



Министерство экономического развития
и сокращения бедности Республики Узбекистан



МОНИТОРИНГ ОСУШЕННОГО ДНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Программа развития Организации Объединенных Наций

Научно-информационный центр Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии

Совместный проект ПРООН и ЮНЕСКО

«Решение насущных проблем человеческой безопасности в регионе Приаралья путем содействия устойчивому сельскому развитию», финансируемый Многопартнерским трастовым фондом ООН по человеческой безопасности для региона Приаралья в Узбекистане

**МОНИТОРИНГ
ОСУШЕННОГО ДНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ**

Под редакцией д.т.н., проф. В.А. Духовного,
д.б.н. Г.В. Стулиной, д.б.н. Ш.М. Кенжабаева

Ташкент 2020

Содержание

Введение	7
1 Краткий обзор исследовательских работ по осушенному дну Аральского моря и его аналогов	12
1.1. Опыт освоения пустынь.....	16
2 Описание изучаемой территории	20
2.1. Арал – современная динамика и изучение.....	20
2.2. Общее описание территории.....	28
2.3. Климат.....	31
2.4. Геоморфологические процессы на осушающемся дне Аральского моря.....	36
2.5. Геологическая, гидрогеологическая характеристика территории исследований.....	37
2.5.1. Водоносные комплексы.....	38
2.6. Почвы.....	40
3 Облесение для борьбы с эрозией – история, современное состояние	44
3.1. Обзор выполненных работ.....	44
3.2. Лесорастительные условия Центральной Азии и роль лесопосадок в Приаралье.....	49
4 Методы исследований	52
4.1. Цели и состав экспедиций. Организация работ.....	52
4.2. Методы полевых исследований.....	59
4.2.1. Методика почвенных исследований.....	59
4.2.2. Методика изучения растительного покрова.....	59
4.2.3. Методика гидрогеологических исследований.....	60
4.2.4. Методика экологического обследования.....	60
5 ГИС и дистанционные измерения, как основа подготовки полевых исследований	62
5.1. Методы.....	62
5.2. Подготовка к полевым исследованиям.....	63
5.3. Маршруты экспедиций.....	70
5.4. Предварительная обработка спутниковых данных.....	73
5.5. Техника неконтролируемой классификации.....	78
6 Результаты	81
6.1. Результаты гидрогеологических исследований.....	81
6.1.1. Анализ и оценка результатов исследований.....	82

6.1.2. Заключение	95
6.1.3. Выводы	96
6.2. Почвенный покров исследуемой территории	97
6.2.1. Почвенный покров западной части обсохшего дна Аральского моря	97
6.2.2. Почвенный покров восточной части обсохшего дна Аральского моря	118
6.2.3. Почвенная карта	128
6.2.4. Заключение	133
6.3. Растительный покров	133
6.3.1. Рекомендации	152
6.4. Экологическая ситуация на осушенном дне моря	167
6.5. Изучение лесорастительного покрова	178
6.5.1. Организация исследований	179
6.5.2. Изучение лесорастительного покрова и рекомендации по результатам экспедиций	179
6.5.3. Результаты обследования новых посевов лесных культур	188
6.5.4. Общие рекомендации	188
6.5.5. Перспективные меры по улучшению фито- и лесомелиоративных работ	193
6.6. Оценка ландшафтов с помощью дистанционного зондирования	196
6.7. Оценка почвенно-растительного покрова и рисков эрозии почвы в Аралкуме, основанная на данных наблюдения Земли	206
6.7.1. Предпосылки и цель настоящего документа	206
6.7.2. Зона исследования	206
6.7.3. Цели	208
6.7.4. Использованные множества данных	208
6.7.4.1. Данные наземного контроля	208
6.7.4.2. Спутниковые данные	213
6.7.5. Методы	214
6.7.5.1. Предварительная обработка данных наземного контроля	214
6.7.5.2. Предварительная обработка спутниковых снимков	217
6.7.5.3. Создание карт почвенно-растительного покрова	220
6.7.5.4. Создание карт экологических рисков	220
6.7.5.5. Оценка точности	220
6.7.5.6. Оценка площади земельного покрова	221
6.7.6. Результаты	222
6.7.6.1. Оценка точности классификатора случайный лес	222
6.7.6.2. Классификация земельного покрова	223
6.7.6.3. Карты экологических рисков	223
6.7.6.4. Краткая информация об изменении почвенно-растительного покрова и экологической опасности	227

6.7.7. Обсуждение.....	232
6.7.8. Рекомендации и практические выводы.....	233
7 Дискуссия.....	235
7.1. Изменение почвенного покрова и его экологическая опасность.....	235
7.2. Мероприятия по снижению отрицательных последствий высыхания Аральского моря.....	239
8 Выводы.....	245
Список использованной литературы.....	247

Авторский коллектив

Научно-информационный центр МКВК

Проф. Виктор Духовный	Главы 1, 2.1, 6.5.2, 7.2, Заключение
Д-р Галина Стулина	Главы 2.2, 2.3, 2.6, 4, 6.2, 7.1, Заключение, формирование книги
Д-р Одилбек Эшчанов	Глава 6.4
Д-р Шавкат Кенжабаев	Главы 5, 6.6
Шерзод Заитов	Главы 5, 6.6
Ислом Рузиев	Подготовка карт ГИС, главы 6.2, 7.1
Клара Курбанова	Техническое оформление

Международный инновационный центр Приаралья при Президенте Республики Узбекистан

Д-р Муратбай Ганиев	Главы 3, 6.5
Камал Идирисов	Глава 6.2

Институт Биоорганической химии

Проф. Санжар Шеримбетов	Глава 6.3
Сайера Абдирахимова	Глава 6.3

КК ГГСтанция Приаральская ГГЭ ГУП «Узбекгидрогеология»

Гайбулло Есенбаев	Главы 2.4, 2.5, 6.1
-------------------	---------------------

Аналитический центр качества, состава и репозитория почв Государственного кадастра

Инна Коженкова	лабораторные анализы
Малика Норкулова	лабораторные анализы

MapTailor Geospatial Consulting, Германия

Д-р Фабиан Лёу (Fabian Löw)	Глава 6.7
-----------------------------	-----------

Авторы книги, исследователи Аральского моря и Приаралья, выражают искреннюю благодарность ПРООН и Министерству инвестиций и внешней торговли Республики Узбекистан за организацию работы и финансовую поддержку.



Введение:

Навстречу новой судьбе Аральского моря

(Воплощая идею Президента Ш.М. Мирзиёева о превращении осушенного дна моря и Приаралья в зону инноваций и технологий).

Трагедия Аральского моря хорошо известна во всём мире как пример разрушительного влияния человека на природу. Именно в таком ракурсе использовалось упоминание Аральского моря тысячами различных воздыхателей по экологии в нашей бывшей большой стране. Особенно изощрялись в этом зарубежные критики советского государства, не замечая, что во всём мире и в главном оппоненте – США – таких примеров множество: озера Моно, Солтен-Лэйк, морское опустынивание дельты Колорадо и дельты Хоакин. Действительно, сокращение в 10 раз объёма четвёртого по величине когда-то пресноводного водоёма мира и формирование на его осушенном дне новой пустыни – Аралкум, является потрясающим примером скоротечной деградации природы под влиянием безрассчётной человеческой деятельности в угоду удовлетворения потребности быстрого растущего населения региона. Полвека всего потребовалось для почти полного прекращения нормального функционирования водоёма и для развития новой природной формации на её месте. Как ни странно, забытые и, казалось бы, заброшенные всеми бывшее дно Арала и Приаралье не превратились в безжизненную пустыню, а начали самоформироваться как сочетание останцов и ветландов Аральского моря и новой одичавшей природной среды диких животных, птиц и солеустойчивых засу-

хоустойчивых древесных пород. Это пространство оказалось источником органического топлива, а потому бывшее безбрежное водное пространство вдруг оснастилось вершушками многочисленных – более сотни – изыскательских и добывающих жидкое золото скважин, привлекущих сюда фирмы многих стран – охотников за этим сырьём. Но ещё раньше них в это трансформируемое пространство пришли оставшиеся вокруг Арала местные жители, занимавшиеся рыбным и пушным промыслом на морских остатках, пришли животноводы верблюдов и мелкого рогатого скота на выпасы, которые образовались на бывших берегах моря. Сюда мигрировали вдоль Амударьи с окрестностей густонаселённых Бухарского и Хорезмского оазисов и самой полупустынной северной Каракалпакии стада джейранов и куланов, а также диких кабанов и волков, а за ними потянулись охотники. Но самое главное – сюда пришли учёные исследователи, взяв под свой, может и недостаточный, контроль процессы, происходящие на этой огромной преобразующейся территории. Вместе с ними пришли представители природоохранных, водохозяйственных, гидрогеологических и дендрологических организаций, которые – каждый по своей линии – пытались в силу скудных тогда финансовых возможностей оказать помощь в выживании природе бурением скважин для пастбищ, созданием системы малых

водоёмов и ветландов, наконец – посадками засухоустойчивых растений. В осушенных от моря участках формирующейся пустыни появились саксаульные рощи, а также заросли джингила, караборака и других пород, устойчивых к засухе.

Наземное экспедиционное обследование, организованное GTZ и Министерством экономической помощи Германии (BMZ) совместно с НИЦ МКВК в период с 2005 до 2011 годы (9 экспедиций), обнаружило, что на 2008 год посадки деревьев, проведенных лесхозами Каракалпакистана при содействии доноров, в основном за счёт бюджета, выжили на площади 240 тысяч гектаров. Наряду с этим на осушенном ранее дне моря было установлено, что рядом и вблизи с этими посадками самозарастанием было охвачено ещё 200 тысяч га!!! Природа себя защищала сама!!!

Но в целом, до 2018 года внимание к Аралу и Приаралью было сконцентрировано лишь на добыче полезных ископаемых и поддержанию – достаточно слабому – местных инициатив сохранившегося населения, в основном, состоящего из местных каракалпаков и немногих русских – аборигенов этой местности, веривших, что для этого края наступит новая эпоха.

И она наступила с приходом на пост руководителя Республики Узбекистан Шавката Миромановича Мирзиёева. Еще будучи Премьер-министром Узбекистана и принимая в Муйнаке Генерального секретаря ООН Пан Ги Муна, он пообещал местному населению преобразить этот край. Став Президентом, он не забыл своих обещаний, и в первом своём выступлении на 72-й сессии Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций 19 сентября 2017 года на заявил: «Преодоление последствий высыхания моря требует сегодня активной консолидации международных усилий». И они не замедлили последовать. На заседании Глав государств – учредителей Международного Фонда спасе-

ния Арала в августе 2018 года в Туркменбаши Президент Узбекистана Ш. Мирзиёев выступил с инициативой объявить регион зоной экологических инноваций и технологий. Правительство Узбекистана и ООН согласовали проект специальной резолюции Генеральной Ассамблеи ООН об объявлении региона Приаралья зоной экологических инноваций и технологий. Проект был рассмотрен на международной конференции высокого уровня «Приаралье – зона экологических инноваций и технологий», прошедшей в Нукусе 25 октября 2019 года. Генеральный секретарь ООН Антониу Гутерриш, направивший в Нукус видеообращение, отметил, что, несмотря на исчезновение моря и многочисленные негативные последствия для условий жизни и здоровья людей, благодаря совместным усилиям правительства Узбекистана и мирового сообщества улучшение ситуации возможно.

Очень важным шагом в практическом осуществлении линии Президента стало создание 27 ноября 2018 г. в штаб-квартире ООН в Нью-Йорке в рамках специального заседания высокого уровня Многопартнерского трастового фонда по человеческой безопасности для региона Приаралья (МПТФЧБ). Цели и направления Фонда направлены на то, чтобы, будучи трансформационным, основанным на потребностях, правах человека и всеохватывающим в своей цели, катализировать и укреплять мультисекторальные и ориентированные на людей меры по преодолению последствий одной из крупнейших антропогенных катастроф в мире. МПТФЧБ обеспечивает согласованную стратегию координации потоков помощи и повышение ведущей роли правительства в процессе содействия для достижения устойчивых результатов. Стратегии Фонда направлены на решение шести кластеров взаимосвязанных проблем:

- (i) Экологическая безопасность;
- (ii) Экономическая безопасность;

- (iii) Продовольственная безопасность;
- (iv) Безопасность в области здоровья;
- (v) Социальная безопасность;
- (vi) Неэффективность донорского содействия.

Наряду с этим, Правительство Узбекистана разработало и утвердило 16 ноября 2018 года своим Постановлением №965ф Дорожную карту мероприятий по выполнению указаний Президента. Одним из первых мероприятий по этой программе явилось массированное развитие работ по облесению осушенного дна моря, как средство стабилизации ландшафта и как новый подход в борьбе с изменением климата.

В 2018 году Правительство Узбекистана развернуло масштабную кампанию по посадке деревьев на высохшем дне Аральского моря для улучшения экологической и социально-экономической ситуации в регионе. К работе были привлечены значительные силы гражданского населения и воинских частей, что позволило охватить за два года площадь почти в миллион гектар. Посадки проводились как наземным методом, так и с помощью самолётов – аэропосевом. Хотя работы по озеленению проводились в основном за счёт национального бюджета, но некоторый вклад осуществили организации ООН. В рамках совместного проекта «Решение насущных проблем человеческой безопасности в регионе Приаралья путем содействия устойчивому сельскому развитию», ПРООН и ЮНЕСКО работали над укреплением технического и институционального потенциала государственного лесного хозяйства в Каракалпакстане. Специальная сельскохозяйственная техника и передвижные вагоны, предоставленные ПРООН / ЮНЕСКО, были поставлены для лесхозов, выращивающих саксаул на засушливом дне Аральского моря, а также для создания питомников для выращивания большего количества саженцев

и дальнейшего посева в окрестностях регионального Лесного хозяйства.

Помимо этого, проект ставит целью укрепить научно-обоснованные подходы и внедрить международную практику эффективных методов лесонасаждения.

В 2020 году на базе проекта организуется серия тренингов для 100 специалистов Комитета по лесоразведению. В работу по Дорожной карте активно вовлечено Министерство инновационного развития. 16 октября 2018 года Президент Республики Узбекистан подписал постановление № ПП-3975 о создании Международного инновационного центра для региона Аральского моря при Президенте Республики Узбекистан. Основными задачами и приоритетными направлениями деятельности Международного инновационного центра определены:

- улучшение экосистемы и устойчивой жизнедеятельности в засоленных землях осушенного дна Аральского моря;
- организация работ по сотрудничеству с международными организациями для разработки и внедрения инноваций и решений многообразных проблем в засоленных средах;
- создание экспериментальных полей для проведения испытаний;
- определение, продвижение и передачу инновационных технологий и подходов, в том числе Агро лесомелиорация, облесение, аквакультуры, биоэнергетика, диверсификация культур, возделывание комплексные культуры, животноводство, улучшение пастбищ, управление засухой и смягчение последствий, адаптация к изменению климата;
- развитие государственно-частного партнерства в области преодоления последствий высыхания Арала и экологического оздоровления бассейна Аральского моря.

Большим достижением этого нового периода работ на дне моря и по Приаралью явилось осуществление за счёт средств Трастового фонда через ПРООН начального этапа нового мониторинга осушенного дна моря, которое было осуществлено в конце 2019 - начале лета 2020 года. Решение Правительства о возобновлении работ по этому мониторингу было по настойчивому ходатайству и обоснованию НИЦ МКВК принято ещё в 2015 году, затем повторено в 2017 году, при этом указывался конкретный источник финансирования – немецкое агентство развития GTZ (впоследствии GIZ). Правительство республики вело с Министерством внешних сношений ФРГ длительные переговоры, но работы так и не начинались. Именно благодаря инициативе Президента Ш.М. Мирзиёева, благодаря формированию Фонда при ООН удалось определить источник финансирования и начать эти очень важные работы.

Перед мониторингом нового периода осушенного дна моря стоял ряд задач, которые определялись как новым периодом освоённых работ по инициативе Президента, так и оценкой динамики изменений природных условий, происшедших на этой территории после последней экспедиции 2011 года. Этот перечень включал:

- а) определение состояния и размеров территории осушки;*
- б) ориентировочная с участием космических наблюдений классификация ландшафта на вновь осушенной площади;*
- в) оценка состояния ландшафта, почв, гидрогеологических условий, фауны и флоры всей осушенной территории;*
- г) состояние растительности, особо искусственных лесопосадок;*
- д) масштабов развития процессов опустынивания, изменения классов ландшафта и зон риска по сравнению с состоянием предыдущего мониторинга 2005-2011 годов;*

- е) выработка рекомендаций по улучшению экологического состояния и продуктивному использованию осушаемой и осваиваемой территории.*

Первые две экспедиции, проведенные в соответствии с данным проектом, выполнялись в течение двух месяцев полевых работ – соответственно в октябре 2019 года и мае-июне 2020 года. После 8 месяцев обработки полевых данных подготовлены два последовательных подробных исследовательских отчёта и данная публикация, включающая подробные картографические материалы, перечень которых прилагается. Двумя экспедициями охвачена площадь 1,2 миллиона гектаров из 2,7 миллионов га полной осушки.

Проведенные экспедиции являются небольшой частью того большого комплекса, который осуществляется по вышеуказанной инициативе Президента Мирзиёева и будут служить в определённой степени компасом для будущего их развития.

В последние годы, благодаря консолидации усилий правительства и международных институтов, в Приаралье развернулось большое строительство, создаются новые рабочие места и развивается инфраструктура. Подготовлена к утверждению и находится в настоящее время в стадии завершения согласования Концепция «Приаралье — зона экологических инноваций и технологий». Завершается строительство многомиллионного комплекса водообеспечения этой зоны, как одного из элементов обновления древнего Южного Приаралья.

Авторы уверены, что проведенные работы и последующий охват всей территории осушки позволят стать основой программы рационального природопользования всей территории бывшего дна моря и Приаралья.



1

Краткий обзор исследовательских работ по осушенному дну Аральского моря и его аналогов

Маловодье 1974-1975 гг., поразившее Центральную Азию и резко отразившееся на притоке воды к Аральскому морю, вызвало всплеск интереса советских учёных к проблеме его будущего сохранения. Этому в определённой степени способствовала позиция Правительства Советского Союза, организовавшего подряд две Комиссии по водообеспечению этого региона: в 1974 году Комиссию Госкомитета по науке и технике под руководством академика И.П. Герасимова и в 1975 году – Совета Министров СССР под председательством первого заместителя председателя Госстроя СССР К.К. Борового. Перед обеими Комиссиями стояли два вопроса: как обеспечить водой нужды Центральной Азии с её быстро растущими населением и экономикой, и как сохранить при этом Аральское море.

Первенцем в развитии научных работ по самому Аральскому морю выступил Институт географии АН СССР во главе с Герасимовым И.П., который немедленно организовал экспедиции с участием выдающихся географов и естествоиспытателей таких как Кузнецов Н.Т., Городецкая М.Е., Кесь А.И. (1980) с целью уточнить режим водности моря и бассейна в целом, Городецкая М.Е., Кесь А.И. по исследованию экономико-географического потенциала в динамике его трансформации (1986), Курочкина Л.Я., Кузнецова Н.Т. по оценке экологического

состояния моря и возможности его сохранения (1986). Несколько позже исследованиями постепенного осушения дна моря и его состоянию были посвящены работы Залетаева В.С., Новиковой Н.М., Кукса В.И. из этого же института, которые провели картирование и районирование территории осушенного дна по состоянию на 1990 год (1992). В том же году Бортник В.Н. Кукса В.И., Цицярин А.Г. опубликовали прогноз снижения уровня моря до 2015 года.

Параллельно на территории Аральского моря ленинградские учёные из Лаборатории гидробиологии солёных вод Института зоологии АН СССР – Плотников И.С., Аладин Н.В., Филиппов А.А – в 1980 году приступили к многолетнему исследованию изменяющейся фауны и флоры Аральского моря, которое они вели до полного исчезновения пресноводной биоты в воде и превращения моря в солёно-насыщенный водоём с совершенно изменившимся характером представителей животного мира. До настоящего времени институт продолжает исследования – теперь уже в пресноводной, в основном, северной части Арала, так называемого Малого (или Северного) моря.

Нельзя не отметить несколько позже начатые работы Московского института океановедения (Завьялов П.С.) по исследованию гидрологии разделённых водоёмов Аральского

морья. В 1965 г. изучены закономерности формирования подземных вод низовий Амударьи в связи с гидрогеологическим обоснованием оросительных и осушительных мероприятий и их взаимосвязь с поверхностными водами и Аральским морем. Составлен отчет и ряд карт (глубины залегания, гидроизогибы зеркала грунтовых вод, схематическая карта гидрогеолого-мелиоративного районирования низовьев Амударьи в масштабе 1:200 000). С 1971 г. начаты планомерные исследования донных, береговых (включая молодую осушку) и дельтовых осадков многочисленными научно-исследовательскими и производственными организациями Узбекистана (РГУ – Резников С.А. Хрусталева Ю.И., Вронский В.А., ГИ и АН СССР – Туровский Д.С., институт геологии и геофизики АН УЗССР – Рубанов И.В., Ишниязов Д.П., Баскова М.А. и др.).

В 1981 г. в издательстве «Фан» вышла монография Рафикова А.А. и Тетюхина Г.Ф. «Снижение уровня Аральского моря и изменение природных условий низовьев Амударьи», в которой на основе полевых и камеральных работ Приаральской экспедиции, отдела географии АН УЗССР за период 1977-1979 гг., дается характеристика коренной трансформации геоэкосистем – опустыниванию Приаралья. Симптомы аридной тенденции развития эко- и геосистем, снижения уровня грунтовых вод, увеличение степени их минерализации, соле-накопление в корнеобитаемом слое почвы, осушение озерно-болотных и деградация тугайных комплексов, усиление ветроэрозийных процессов и образование эоловых форм рельефа и т.д. В 1982-1988 гг. проведены гидрогеологические исследования по обоснованию прогноза изменения гидрогеологических условий Приаралья в связи с понижением уровня Аральского моря. Изучены граничные условия Южно-Приаральского артезианского бассейна (ЮПАБ), дана их количественная оценка, получены новые данные о геологическом строении и гидрогеологических

особенностях Арало-Кызылкумского вала, области разгрузки подземных вод Южно-Приаральского артезианского бассейна, приведены закономерности формирования подземных вод, рассчитан их современный баланс, дан прогноз изменения гидродинамических условий, создана постоянная действующая гидрогеологическая модель ЮПАБ, охарактеризована экологическая обстановка осушенного дна Аральского моря.

С 1976 г. в исследования по проблеме Арала включились многие коллективы Узбекистана. Ишанкулов М.С. и Вухрер В.В. (Институт ботаники АН УЗССР) организовали детальные комплексные экологические исследования на восточном берегу моря. В этот же период крупномасштабные почвенные исследования проводились Институтом почвоведения АН УЗССР – профессором Саттаровым Д.С., Сектименко В.Е. и Поповым В.Г., которые обобщили результаты своих работ в монографии «Состояние почвенного покрова Аральского региона в связи с осушением Аральского моря», выпущенной в 1993 году.

В 1989-1999 гг. проведены комплексные эколого-гидрогеологические и инженерно-геологические съемки (исследование и картографирование) масштаба 1:200 000 осушенной части дна Аральского моря и прилегающей территории в пределах листов К-40-V, VI, К-41-I и L-40-XXXV, XXXVI, L-41-XXXI. Дана качественная и количественная характеристики современных геологических процессов, выявлены интенсивность и направленность их развития, откартированы очаги соле-пылевыноса. Определены основные гидрогеологические параметры водоносных горизонтов и комплексов; загрязнение почво-грунтов, поверхностных и подземных вод и растительности токсичными микроэлементами и тяжелыми металлами. Дана оценка эколого-гидрогеологического состояния территории. Составлен комплект карт М 1:200 000 и эколого-гидрогеологическая карта высохшего дна Арала.

Сделаны первые расчеты объема солей, выносимых с осушенного дна Аральского моря и осложняющих экологию Приаралья.

В 1986-1992 гг. впервые начаты геоэкологические исследования в масштабе 1:50 000 в левобережной части р. Амударьи: между чинком плато Устюрт и старой протокой реки Амударьи, на юге – полуостров Муйнак, на севере – современная береговая линия Арала. Изучались современное состояние геолого-гидрогеологических и экологических условий, гидрохимические и гидродинамические условия подземных вод первого водоносного горизонта от поверхности земли, а так же геоморфология, строение и структура морских отложений. В результате выполненных работ изучены основные оценочные параметры:

- глубина залегания уровня подземных вод и их напор,
- мощность водоносных горизонтов,
- гидрогеологические параметры,
- качество воды, загрязняющие элементы в почво-грунтах и в подземной воде, воздействующие на окружающую среду.

Дана качественная и количественная характеристики современных геологических процессов, выявлены интенсивность и направленность их развития, откартированы очаги соле-пылевыноса. Составлена эколого-гидрогеологическая карта обсохшего дна Арала.

Сделаны первые расчеты объема солей, выносимых с обсохшего дна Аральского моря и осложняющих экологию Приаралья. Определены основные гидрогеологические параметры водоносных горизонтов и комплексов; загрязнение почво-грунтов, поверхностных и подземных вод и растительности токсичными микроэлементами и тяжелыми металлами. Дана оценка эколого-гидрогеологического состояния территории. Составлен комплект карт М 1:50 000.

В 1970-1980 гг. для изучения влияния падения уровня Аральского моря на глубину залегания уровня и минерализации грунтовых вод в осушенной части Аральского моря, создавались региональные гидростворы (Муйнакский, Аккалинский, Арало-Бузгульский, Судочье-Аджибайский), пересекающие все геоморфологические районы и техногенные комплексы до зоны региональной разгрузки подземных вод (Южно-Аральской впадины). Однако створы-наблюдательные пункты не смогли дать площадной характеристики в региональном изменении динамики уровней и химического состава подземных вод.

Первая попытка дать типологическую характеристику лесорастительных условий для песков Средней Азии принадлежит Ратьковскому С.П. Он выделяет пять групп типов песков. Типологическая схема Ратьковского С.П. не отражает всех типов лесорастительных условий песчаных пустынь Средней Азии и в ряде случаев носит частный характер. Петровым М.П. предложена комплексная классификация песчаных пустынь по лесорастительным типам, которая учитывает соотношение 10 важнейших факторов обитания. Исследования Кабулова С.К. («Изменение фитоценоза пустынь при аридизации (на примере Приаралья). Ташкент, «Фан», 1990) показали, что в процессе аридизации осушенных морских заливов происходит закономерная смена фитоценозов, выражающаяся в изменении видового состава, численности и других биопараметров ценнопопуляции. Ведущим факторами их смены выступают изменения влажности и засоленности почвогрунтов. Большое влияние на развитие работ по облесению осушенного дна моря имели фундаментальные работы академика Бабаева А.Г. по закреплению песков пустыни Каракум, и в частности – применение на движущихся песках метода посева в чеки, формируемые камышовым ограждением.

После обретения странами региона независимости наступил период резкого спада работ в ареале Аральского моря вследствие упадка внимания и одновременно резкого снижения экономического потенциала обеих республик, на территории которых располагалось Аральское море. Хотя решениями правительств стран Центральной Азии и Правления Международного Фонда спасения Арала были намечены меры по укреплению сотрудничества в деле рационального и экономного расходования воды между странами бассейна, тем не менее, они были осуществлены лишь частично, и снижение уровня моря продолжалось ускоренными темпами по сравнению с прогнозом и решениями Правления. В 1995–1997 годах было осуществлено строительство первого пионерного объекта на территории осушенного дна моря – создание условий устойчивого водообеспечения и благоустройства озера Судочьего, тем не менее, развитие этого опытного объекта произошло на казахской территории, а на узбекской территории было осуществлено частично.

Технико-экономическое обоснование системы устойчивого обводнения всей дельты Амударьи на сумму 90 миллионов долларов США было подготовлено силами НИЦ МКВК в 2004 году и представлено правительству Республики Узбекистан. С целью экономии средств, в качестве альтернативы этому проекту, был представлен проект «Средазгипроводхлопка» по созданию малых водоёмов, выполнение которого растянулось на последующие 15 лет и он был профинансирован только после прихода к власти Ш.М. Мирзиёева. Все эти годы устойчивое водоснабжение дельты обеспечено не было.

НИЦ МКВК в период 2000–2003 гг. провел экономическую оценку социально-экономического ущерба, который ощутило Приаралье как на южной, так и на северной стороне моря в результате снижения его уровня и потери продуктивности самого моря и Приаралья.

Результаты нашли отражение в двух монографиях: «Оценка социально-экономических последствий экологического бедствия – усыхания Аральского моря» (2001) и «Экономическая оценка локальных и совместных мер по сокращению социально-экономического ущерба в зоне Приаралья» (2004).

Период 1991–2005 гг. практически оставил территорию Аральского моря без каких-либо серьёзных работ, которые позволили бы оценить те процессы деградации ландшафта и трансформации природного и экономического комплекса Арала и Приаралья, которые имели место на этой территории. За период менее нескольких десятилетий происходили процессы исчезновения четвёртого по величине пресноводного водоёма в мире и возникновения пустыни на его месте, на которые в других глобальных условиях потребовались бы столетия. Обидно, что эти трансформации проходили вблизи цивилизованного общества и научного потенциала, которые будучи заняты своим выживанием, упустили надзор и анализ интенсивно проходящих изменений природы и социума. В то же время, на площади осушенного дна моря проходили различной направленности процессы изменения поверхностей, которые развивались и в положительном, и в отрицательном направлении, и ход которых был обусловлен зависимостью от изменения условий, во-первых, от естественной увлажнённости осадками и грунтовыми водами и, во-вторых, от человеческой деятельности.

НИЦ МКВК, как головная научно-исследовательская организация бассейна Аральского моря, не мог пройти мимо этих процессов и постоянно искал партнёров, заинтересованных в этих исследованиях. Поэтому с понятным энтузиазмом было воспринято предложение GTZ о партнёрстве в исследовании этих бурно протекающих процессов, тем более, что немецкие ученые внесли новый элемент в них. Это было использование дистанционно-космических методов оценки ландшафтных изменений, по

которым практически мы имели очень ограниченный опыт и ещё более ограниченные технические и финансовые возможности. В результате, нами с большой благодарностью было воспринято предложение о сотрудничестве с немецкими партнёрами, в котором они взяли на себя дистанционные оценки, а НИЦ МКВК – наземные. За период 2005-2011 гг. было проведено 9 экспедиций на осушенном дне моря, что позволило создать наземный мониторинг осушенного дна при параллельном проведении космических наблюдений.

Проведенные исследования, носившие уникальный комплексный характер с участием многоотраслевых специалистов, установили характер и направленность изменений почв, гидрогеологии, ландшафта, формирование почв на материнских породах в зоне осушки. Исследованию также подверглись деградация вновь формируемого ландшафта и возникновение зон экологического риска опустынивания. Особое внимание было уделено развитию и состоянию лесных посадок засухоустой-

чивых пород деревьев. В целом, было обнаружено, что из всех лесопосадок по данным Управления лесоводства Каракалпакистана на дне моря в 338,8 тысяч га, площадь сохранившихся посевов составила 240 тысяч га или 70,8%. Но наиболее разительным результатом было то, что на территории, обследованной экспедициями, было обнаружено 233 тысячи га самозарастания!!! В ходе этих работ было выделено 17 классов ландшафта, определены перспективы их трансформации из одного класса в другой и на основе этого – составлен прогноз площадей, подвергающихся риску деградации и эрозии.

Материалы комплексного изучения осушенного дна моря приведены в изданной в 2008 г. НИЦ МКВК монографии «Комплексные дистанционные и наземные исследования осушенного дна Аральского моря», которая содержит также детальный анализ динамики моря как по литературным источникам, так и по космическим снимкам до 2007 года.

1.1. Опыт освоения пустынь

Опыт освоения пустынь во всём мире умножается. Во многих странах аридного климата, где пустыни являются обычным явлением, главным направлением экологического благополучия является облесение такими же породами, как и у нас. Характерно, что облесением занято подавляющее большинство населения таких местностей, ибо оно создаёт основу развитию пастбищного животноводства, облагораживанию территории и улучшению климатических условий, в частности, снижению ветровой деятельности. Примеры крупномасштабных работ в этом направлении можно увидеть в Израиле (пустыня Негев), Китае (пустыня Гоби) и Ливийской пустыне в Ливии.

Пионером в деле освоения пустынь, бесспорно, является Израиль. Работы, начатые в этом направлении в пустыне Арава, где располагается знаменитый центр освоения пустынь Сде-Бокер, с 1978 года достигли значительных масштабов по развитию тепличных хозяйств в пустыне Негев, где к настоящему времени освоены десятки тысяч гектар. При этом тепличные хозяйства используют воду как канализационных стоков, доставляемую по трубопроводам с очистных сооружений Тель-Авива, так и минерализованных подземных вод пустыни. Развитию пустынного орошения предшествовало форсированное развитие инфраструктуры – автомобильных дорог, линий связи и ранее (в пустыне Арава) линий электропередач.

Амбициозные проекты в пустыне Негев были начаты в конце 2014 года, после того, как правительство Израиля развернуло работы по обеспечению возобновляемых источников энергии. Два проекта расположены бок о бок в солнечном комплексе, прилегающем к объектам, примерно в 25 милях (около 40 км) к югу от Беэр-Шевы. Проекты включают различные технологии и управляются отдельными консорциумами. Первая из них – это массивная тепловая солнечная электростанция мощностью 121 МВт, которая охватывает более 988 га земли под названием Negev Energy. Она состоит из 28 тыс. тонн стальных конструкций и около 500 тыс. параболических зеркал, которые собирают свет для преобразования в энергию. Завод планирует сократить примерно 245 тыс. тонн выбросов двуокиси углерода в год – эквивалент удаления 50 тыс. автомобилей с дороги – и обеспечить к 2020 году «чистой» энергией до 60 тыс. домашних хозяйств в Израиле. Второй проект – это меньший, площадью 300 га, завод, использующий концентрированную солнечную энергию, включающий в себя массивную солнечную башню высотой 250 метров, самую большую башню в мире, игриво названную «Башней власти». С оцененной стоимостью 800 млн. долл. США, она включает в себя солнечное поле с более чем 50 тыс. программно-управляемых зеркал гелиостата, которые концентрируют солнечный свет на парогенераторе солнечного приемника. Третий проект – солнечная установка мощностью 35 МВт, основанная на фотоэлектрической или PV-мощности, то есть использующую солнечные элементы для выработки электроэнергии. Инициатива пришла с первоначальными вложениями в размере около 100 млн. долл. США и получила название проекта А Шалима Сол. Четвертая инициатива – завод по очистке и обеззараживанию сточных вод Рамат-Ханегева – часть правительственного плана по поддержке солнечных установок, который также включает укрепление инфраструктуры, окружающей комплексы. Вся

эта энергия идет на обслуживание бедуинских поселений и орошение, в основном в теплицах. Цитрусовые на тысячах гектар выращиваются в пустынной зоне северного Негева с уникальной орошаемой системой, которая использует очищенные сточные воды. Наряду с экологически чистым подходом к возобновляемым источникам энергии и солнечной энергии, в проектах есть еще два важных элемента: занятость и туризм. Благодаря тысячам сотрудников по строительству и обслуживанию (многие из бедуинских общин из районов на юге Израиля), эти инициативы вносят большой вклад в местную занятость. Предполагается также, что проект активизирует региональное развитие, содействуя экологическому планированию и стимулируя туризм с его уникальной точкой наблюдения с видом на безбрежные поля теплиц.

Другое применение теплиц. Вода подается в бассейны с рыбой, находящиеся под тепличными тентами. В каждом бассейне располагается механический аэратор и силос с комбикормом. После этого вода подается на механическую очистку – микросетчатый, барабанный фильтр, далее в большой биологический пруд. Эта вода оказывается сильно обогащенной азотными соединениями, которые выделяют рыбы в результате своей жизнедеятельности. Поскольку в Израиле тепло и много солнечных дней, то микроводоросли, а также просто водоросли, быстро растут и «съедают» загрязнения, производимые рыбами. Для контроля растений в большой пруд подсевают растительноядных рыб, например, толстолобика и других. Такую систему замкнутого водоснабжения невозможно построить в климатической зоне со слабым солнечным освещением. Вода из системы никуда не выливается. Воду добавляют только для компенсации испарений. Замкнутая система для выращивания рыбы в соленой воде в пустыне создана в мошаве «Эн Тамар».

В 2009 году в пустыне Гоби (провинция Ганьсу в Северо-Западном Китае) запустили программу по созданию теплиц для выращивания таких товарных культур, как овощи, грибы и виноград. Ведение сельского хозяйства в пустыне Гоби имеет свои преимущества: большое количество солнечного света, а также значительная разница температуры днем и ночью помогают накапливать питательные вещества, а горячий и сухой воздух Гоби в значительной мере защищает растения от вредителей и болезней сельскохозяйственных культур. Первые 50 теплиц, построенных в пустыне, заняли около 800 гектаров. Парники оснащены различными видами высокотехнологичных систем, включая культивирование без обработки, интегрированное управление водой и удобрениями, а также дистанционное управление с помощью приложений для телефонов. К примеру, с помощью приложения «Greenhouse Manager» можно контролировать окружающую среду в теплицах, температуру и влажность в реальном времени, настраивая всевозможные датчики, установленные на телефоне. При нажатии на экран изоляционный слой на крыше парника может автоматически открываться, чтобы впустить более свежий воздух. Применяется здесь капельное и распылительное орошения, что позволяет сократить потребление воды почти на 50% по сравнению с традиционной фермой. Используются субстраты, переработанные из гнилых листьев, соломы, а также коровьих и овечьих отходов жизнедеятельности.

Пустыня Кузупчи — 18 тысяч квадратных километров золотых дюн и барханов, которые извиваются в песчаную дугу с северной части плато Ордос в автономном районе Внутренняя Монголия и к югу от большой излучины реки Хуанхэ в Китае. На протяжении столетий изменение климата и человеческая деятельность лишили эту землю какой-либо растительности, оставив в безысходной

нищете тысячи местных жителей. Здесь не было ни водоснабжения, ни электричества, ни дорог, ни связи. Начало масштабному экологическому проекту, который теперь носит официальное название Kubuqi Ecological and Restoration Project, положил в 1988 году местный житель, основатель корпорации Elion Resources Group, которого называют «королем пустыни», Ван Вэньбяо.

Каждый год в пустыне Кузупчи озеленяют около 34 тысяч гектаров земли. По состоянию на данный момент, озеленено уже около 6 тысяч квадратных километров. Лесопосадки по-прежнему остаются основным методом борьбы с опустыниванием в Кузупчи, но времена изменились, и озеленение теперь должно приносить еще и материальный доход. Убедиться в том, что озеленение Кузупчи уже стало высокотехнологической масштабной производственной цепочкой, можно «не отходя от кассы» — на главной сельскохозяйственной базе. Почву здесь «лечат» лакрицей, корни этого лекарственного растения обладают способностью азотификации, что помогает делать почву более плодородной. На огромных плантациях выращивают картофель, баклажаны, дыни, помидоры, арбузы, подсолнухи, кукурузу и даже лаванду. Выгоду получает и местное население.

Власти Китая планируют в течение шести лет создать «зелёный пояс», который остановит разрастающуюся пустыню Тэнгэр. По информации агентства Xinhua, опубликовавшего фотографии начавшихся работ, в ширину пояс составит один километр, а в длину будет достигать 500 километров. Тэнгэр — четвертая по величине пустыня в Китае, и на её территории есть несколько пресноводных озёр, частично сдерживающих опустынивание территории. Остановить его пытаются также путём высаживания неприхотливых растений, приспособленных к выживанию в сухих и жарких условиях.

В настоящее время в Китае проводятся испытания, в которых ученые изучают возможности мхов и лишайников контролировать распространение безжизненной почвы пустынь, а также выясняется, способны ли эти виды растений активизировать сельское хозяйство в пустыне Тэнгэр в Нинся-Хуэйском автономном округе, сообщает портал <http://agroxxi.ru>. *«Новый метод показывает многообещающие результаты в плане стабилизации пустыни и помогает улучшить плодородие почв».*

Большой опыт освоения пустынь накоплен в Иордании по израильской технологии, в Катаре и Египте по технологии «Сахара», разработанной и внедрённой в этих странах Норвегией, а также в ливийской пустыне на основе дождевания.

Всё это вселяет уверенность, что идеи президента Мирзиёева по превращению осушенного дна моря в зону экологических инноваций являются реальностью!!!

2 Описание изучаемой территории

2.1. Арал – современная динамика и изучение

Аральское море, как всякий замкнутый бессточный водоём, обречён на конкуренцию между зоной формирования и рассеивания в бассейне и его дельтовой частью. При этом, современные тенденции удовлетворения потребностей человека, как основы устойчивого развития, повсеместно приводит к поражению в этой конкуренции природного объекта, к деградации дельты и опустыниванию. Это характерно и для Аральского моря, и для озер Виктория и Чад в Африке, Урмия в Иране и даже для Мексиканского морского залива, куда когда-то впадала полноводная Колорадо и для дельты реки Сан-Хоакин в заливе Сан-Франциско в Соединённых Штатах Америки. Различия в том, что при замкнутых водоёмах осушается дно и формируется пустыня на базе материковых пород дна, а при «морском опустынивании» дно остаётся под водой, но исчезает фауна – оба вышеуказанных залива потеряли почти полностью своё рыбопроизводство вследствие потери притока воды пресной, питательных веществ и биоты, характерной для пресноводной дельты.

Изменение характеристики Аральского моря до 2006 года приведено в предыдущей работе НИЦ по результатам экспедиций первого этапа (Комплексные дистанционные

и наземные исследования осушенного дна Аральского моря, 2008), а также в ряде других работ, посвящённых нашим исследованиям водного режима и экономики Приаралья (Экономическая оценка локальных и совместных мер по снижению социально-экологического ущерба в зоне Приаралья, 2004). Отметим только, что если первые 10 лет падение уровня моря шло в среднем по 20 см в год и наблюдалось за 5 лет на 1 метр, то с 1975 по 1980 годы уровень моря упал уже на 3,26 метра, то есть в среднем за год уровень моря снижался на 0,65 метра. Практически сначала его не замечали, потом закрывали глаза, но потом оказалось много безвозвратных потерь – качество воды в море ухудшилось, пропала пресноводная рыба, прекратилось судоходство и главное – море ушло, оставляя после себя мёртвую породу.

В данной работе усыхание Аральского моря рассматривается в связи с образованием новой суши обнажившегося дна моря (рис. 2.).

Мы приведём для наглядности здесь трагическую динамику исчезновения моря, как наблюдали её мы, свидетели этого процесса, не в силах помешать его ходу. В настоящее время в Узбекистане заметна тенденция к усилению



Рис. 2. Аральское море

сезонных засух, что свидетельствует о проявлении отрицательного влияния процесса высыхания Арала на климатические условия региона. Аральская катастрофа усугубила континентальность климата, усилив сухость и жару в летнее время, удлинив холодные и суровые зимы.

На сегодняшний день водный баланс остаточного Аральского водоема находится в несбалансированном состоянии вследствие ограниченного, а в отдельные годы и отсутствия стока рек Амударья и Сырдарья. В результате происходит дальнейшее падение уровня моря, сокращение площади его поверхности и повышение концентрации рас-

творенных в нем элементов. Из рис. 3. видно, как водоемы Аральского моря меняются в течение последних 20 лет. Южное Аральское море разделилось на восточную и западную части в 2007 году, которые остались слабо связанными с обоих концов. К 2009 году, после сильной засухи более мелководная восточная часть практически исчезла. Затем в период с 2009 по 2018 год уровни воды колебались ежегодно в зависимости от водности года, и существование Восточного водоёма (морем его назвать уже нельзя) определяется притоком, в основном, Амударьи. Данные космических дистанционных наблюдений, собранные за различные по водности 2010-2019 годы, позво-



25 августа 2000 г.



15 августа 2001 г.



20 августа 2002 г.



12 августа 2003 г.



16 августа 2004 г.



12 августа 2005 г.



15 август 2006 г.



16 август 2007 г.



18 август 2008 г.



16 август 2009 г.



26 август 2010 г.



15 август 2011 г.



19 август 2012 г.



25 август 2013 г.



19 август 2014 г.

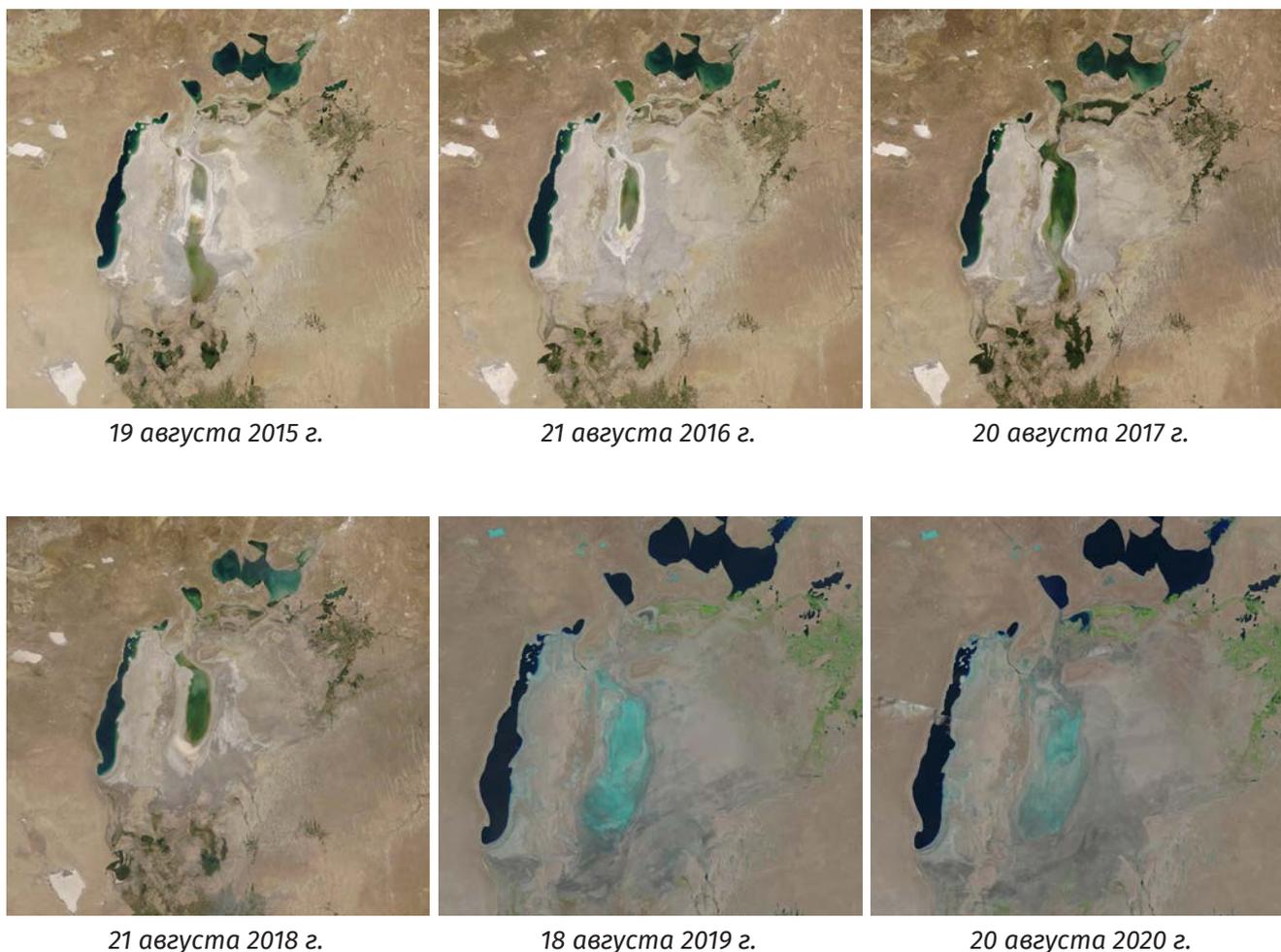


Рис. 3. Изменение водоемов Аральское море за август 2000-2018 гг. на основе космических снимков MODIS (NASA)

лили оценить фактическую динамику изменения площади ветландов и открытой водной поверхности Западной и Восточной частей Большого Аральского моря¹.

Данные мониторинга (табл. 1) показывают, что из-за нестабильного притока воды по годам площадь водной поверхности Западной и Восточной части Большого Аральского моря резко изменяется и зависит от водности года. К 2018 и 2019 годам по сравнению с многоводными 2010 и 2017 годами площадь водной по-

верхности Западной части моря уменьшилась с 380 тыс. до 265,0 тыс. га. Аналогичная картина по Восточной части: соответственно, за этот период площадь уменьшилась с 533,0 тыс. до 128,3 тыс. га в 2018 году и 16,7 тыс. га в июне 2019 г.

Вследствие уменьшения площади водной поверхности увеличились площади ветландов. По сравнению с 2010 годом, площадь ветландов Западной части моря к 2019 году увеличились на 114 тыс. га, а по Восточной

¹ Доступ: http://www.cawater-info.net/aryl/data/monitoring_amu.htm

Таблица 1

**Сопоставление площадей открытой водной поверхности и ветландов
Большого Аральского моря (2010-2019 гг.), тыс. га**

	2010 АВГУСТ	2011 АВГУСТ	2012 Октябрь	2013 АВГУСТ	2014 АВГУСТ	2015 АВГУСТ	2016 АВГУСТ	2017 АВГУСТ	2018 Ноябрь	2019 Июнь
<i>Западная часть Аральского моря, тыс. га</i>										
Ветланды	182,34	165,86	161,25	224,78	186,99	264,55	265,54	283,15	293,0	296,5
Водная поверхность	379,59	396,08	369,66	360,69	337,52	315,78	295,81	278,2	268,4	264,81
<i>Восточная часть Аральского моря, тыс. га</i>										
Ветланды	964,14	1243,9	1214,53	1155,3	1019,59	1183,95	1340,79	1036,02	1353,0	1480,1
Водная поверхность	532,68	252,94	215,99	184,31	103,22	149,19	156,04	460,81	128,3	16,7

части моря увеличение площади ветландов соответственно составило 516 тыс. га.

В таблице 2 приведены данные по суммарному притоку в Большое Аральское море, на рис. 4. – динамика подача воды в Аральское море и дельты рек Сырдарья и Амударья за 2011-2019 гг. На рис. 5. показана динамика сброса воды в Большое Аральское море за 2011-2019 гг.

Из приведенных данных становится ясно, что нынешний режим Большого Аральского моря полностью зависит от приточности по Амударье и коллекторам к Восточному и Западному водоемам и поступлению попусков из Малого моря.

При этом, в Западном море при низкой водности продолжается постоянное снижение уровня воды, но оно пока сохраняет глубину более 20 м. Минерализация здесь растет и достигла на современном уровне 130 г на литр. Мелководный Восточный водоем, который полностью зависит от сбросных вод, колеблется от почти полного высыхания до объёма 17 млрд. м³ с разницей отметок почти в

3 метра. Поэтому Западный и Восточный водоемы остаются сильносолеными с минерализацией от 130 до 350 г/л.

Происходящие изменения физического и химического режимов Аральского моря влияют на современное состояние его биологических систем. Следует отметить, что, несмотря на огромные потери в видовом разнообразии биоты, понесенные в ходе экологического кризиса, современные биологические сообщества Арала нельзя назвать мертвыми или умирающими. В море сложилась весьма специфическая, но достаточно активная экосистема, состоящая из видов планктона и бентоса, сумевших приспособиться к чудовищной солености. Общая биомасса их весьма значительна. Предпринимаются даже попытки коммерческой добычи доминирующего представителя зоопланктона Большого Арала – жаброногого рачка *Artemia*. (Эволюция биологических сообществ, которая будет определяться в первую очередь изменениями физико-химического режима моря, должна находиться в фокусе дальнейших исследований).

Таблица 2

Суммарный приток в Большое Аральское море, млн. м³

Годы	Северное Аральское море		Южное Приаралье		Общий объем сброса воды в Большое Аральское море
	Общая подача воды в Малое Аральское море по реке Сырдарья, г/п Каратерень	В том числе, сброс из Малого Арала в Большой Аральское море	Общая подача воды в дельту реки Амударья, г/п Саманбай с учетом сброса КДС	В том числе, сброс из дельта реки Амударья в Большое Аральское море	
2011	4636	3462	1933	1041	4503
2012	4588	2004	10679	3533	5537
2013	4444	2424	3388	2126	4550
2014	5127	2570	4270	520	3090
2015	4545	2440	8685	4522	6962
2016	4332	2816	4106	1874	4690
2017	7906	6661	11583	6057	12748
2018	3009	3310	1715	846	4156
2019	3697	830	4037	1217	2047

Детальный анализ данных динамики изменения площади осушенного дна Большого Аральского моря (на территории Узбекистана и Казахстана, рис. 6.) и его связь с водоподачей (табл. 2 и рис. 4.) показывает, что общая площадь осушенного дна Большого Арала сильно взаимосвязана с водоподачей. Особенно – изменения площади водной поверхности Восточного водоема, который полностью зависит от сбросных вод, напрямую влияет на изменение площади осушенного дна Большого Арала. Поступающая в Восточную часть вода частично аккумулируется в этой емкости, частично поступает в Западную часть и частично теряется вследствие испарения и фильтрации. Для Восточной части Большого Арала характерно увеличение площади водной поверхности при суммарной приточности к морю более 8 км³ в год. При приточности к морю менее 6 км³ в год происходит снижение площади водной поверхности моря (в настоящее время уровень поверхности воды составляет 26,3 м). Это хорошо видно, когда в 2017 году общий объем сброса воды

в Большой Арал составил 12,7 км³ (табл. 2) и площадь также соответственно увеличилась в три раза – с 156,04 тыс. га до 460,81 тыс. га (табл. 1).

Для Западной части характерен тренд на снижение отметок (в настоящее время уровень поверхности воды составляет 24,7 м) и площади водной поверхности, который осуществляется с разной интенсивностью падения, зависящей от притока воды к морю и наличия воды в Восточной части (перепада уровней между Восточной и Западной частями).

Как видно, основные последствия усыхания Аральского моря, кроме уменьшения объема и водной поверхности, проявились в образовании на месте осушенного дна огромной солевой пустыни площадью более 5,5 млн. га.

В период после последней экспедиции НИЦ МКВК в 2011 года, площадь осушенного дна Большого Арала увеличилась с 4,611 млн. га до 4,998 млн. га, т.е. произошло увеличение осушенного дна Большого Арала на 0,386 млн. га.

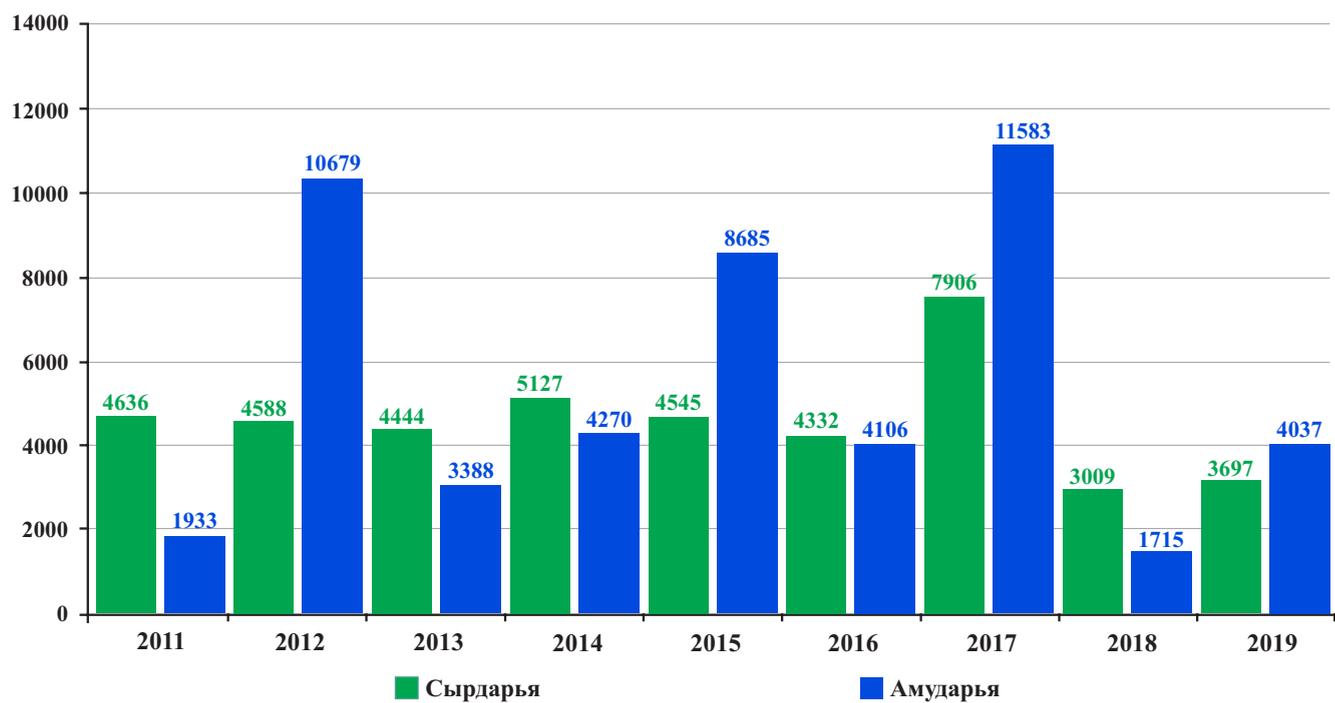


Рис. 4. Динамика подачи воды в дельты рек Сырдарья и Амударья за 2011-2019 гг., млн. м³

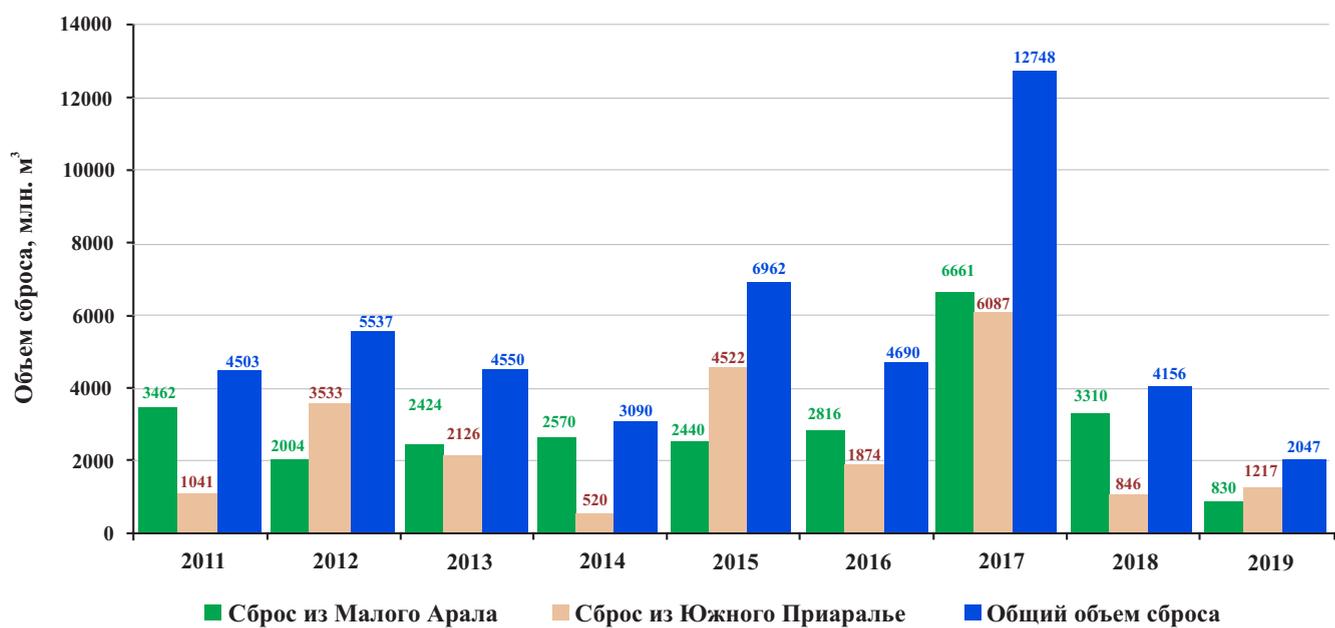
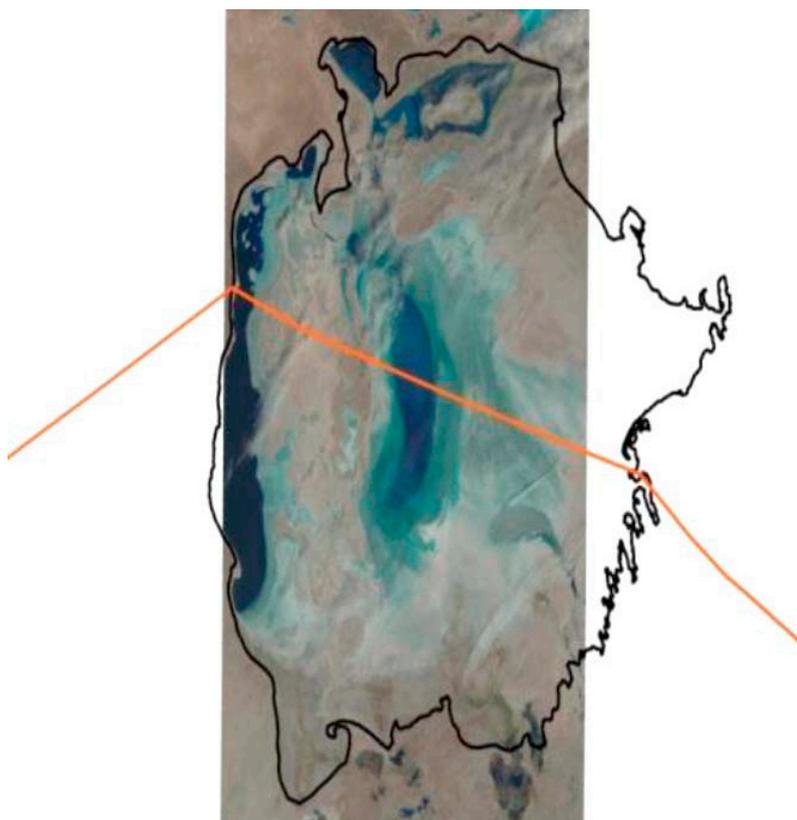


Рис. 5. Динамика сброса воды в Большое Аральское море за 2011-2019 гг., млн. м³



Годы	Общая площадь осушенного дна Большого Аральского моря (км ²)
2005	37661,5
2006	41028,6
2007	40562,5
2008	44666,6
2009	46232,5
2010	42955,7
2011	46112,7
2012	46971,5
2013	47349,3
2014	48950,1
2015	48063,9
2016	48645,5
2017	44747,2
2018	48018,1
2019	49981,6

Рис. 6. Динамика изменения площади осушенного дна Большого Аральского моря (без учета Северного Аральского моря) за 2005-2019 гг.

Очень важный вопрос продолжения мониторинга осушенного дна Большого Аральского моря на территории Узбекистана – это организация управления этой сложной человеко-природной системой. Осушенное дно Арала представляет собой уникальную лабораторию природы. При этом зарождение, развитие и

смена одних формаций другими, или их сочетание отражает эволюцию самих ландшафтов и зависит, прежде всего, от провинциальных или местных особенностей осушенного дна, состава донных отложений, их засоления, глубины залегания и минерализации грунтовых вод.

2.2. Общее описание территории

Гипотеза относительно доисторического периода базируется на геологических работах русских исследователей конца XIX века и начале XX века, которые подтвердили, что в постплеоценовую эпоху часть пустыни Каракум между чинком Устюрта на севере, устьями Мургаба и Теджена на юге и подо-

швой Копетдага на западе была затоплена Большим Аралом. Восточная половина соединенного Арало-Каспийского моря имела, по их мнению, в качестве границы бывшего Каракумского залива чинк береговой линии Унгузов. Это объединенное море покрывало широкую полосу современного Прикаспия

вплоть до подошвы западных отрогов Копетдага. В то время Аральская часть залива всю Сарыкамышскую котловину и образовывала до Питняка залив, занятый ныне современной дельтой Амударьи и Хивинским оазисом. Узбой был проливом, соединявшим обе эти акватории, но, очевидно, нынешний его вид с большими уклонами формировался по мере отчленения Каспия от Арала и увеличения разницы их отметок поверхности воды. В течение последующего геологического периода до наших дней происходило расчленение объединенного Арало-Каспийского бассейна на его составные части и его постепенное сокращение до нынешних размеров. Сначала появился водораздел между Арало-Сарыкамышом и Каспием, затем постепенно обозначилось русло Узбоя. С геологической точки зрения абсолютный возраст моря равен 139 ± 12 тыс. лет. В неогеновый период в результате мощных тектонических движений на территории Центральной Азии в центре Туранской равнины сформировались три глубокие впадины: Аральская, Хорезмская и Сарыкамышская. В раннем и среднем плейстоцене все эти впадины развивались в субаральных условиях.

Целью нынешних экспедиций НИЦ МКВК при участии приглашенного сотрудника-дендролога из Центра Приаралья при Президенте Узбекистана было возобновление мониторинга осушенного дна моря на территории Узбекистана, проведенного ранее в 2005-2011 годы и, к сожалению, прерванного до второй половины 2019 года вследствие отсутствия необходимого финансирования. Общая площадь моря в пределах Узбекистана составляет в данном проекте 3 086 176,08 га, из которых в настоящее время площадь осушки составляет 2 879 192 га.

Территория работ относится к северней зоне Туранской плиты, заключена между географическими координатами $43^{\circ}33'1''$ - $44^{\circ}20'1''$ СШ и $59^{\circ}20'1''$ и $60^{\circ}25'1''$ ВД, представляет собой

плоскую или слабоволнистую равнину с общим уклоном на север, северо-запад. Эоловая новообразованная возвышенная равнина занимает значительную площадь современные барханные пески.

В основном исследования проводились по двум участкам: первый – Левобережная часть р. Амударьи от восточного чинка плато Устюрт до реки Амударьи (Устюртский АБ) и Правобережная часть реки Амударьи до протоки Кокдарья до северо-западной окраины Кызылкумов (Южно-Приаральский АБ). На юге зона работ первого участка ограничивается территорией города Муйнака и урезом моря 1960 года, а также протокой Казахдарья, а на севере – непроходимыми обсохшими дюнами и непроходимыми солончаками осушенного дна Аральского моря, озером Джылтырбас на востоке. Второй участок – от озера Джылтырбас до протоки Кокдарья на восточной границе, на юге – коллекторы КС-3 и Караузьяк. На севере также непроходимые солончаки обсохшего дна Арала.

Основными населенными пунктами в районе работ, связанными с г. Нукусом автомобильными дорогами, являются города Кунград, Муйнак, Тахтакупыр, посёлки Шагырлык, Арал, Казахдарья, Чимбай и Караузьяк.

Преобладающая часть населения (каракалпаки, узбеки, казахи) сосредоточены в зоне орошаемого земледелия. В зоне осушки основная масса населения занята в животноводческом, рыболовном и реже аграрном хозяйстве.

В течение последних 15 лет на осушенном дне моря развернулись большие геологоразведочные работы, осуществляемые коммерческими компаниями различных стран (Китай, Корея, Малайзия) по поиску и разработке нефтяных месторождений. Ныне на бывшем дне моря имеется 45 разведочных и промысловых скважин различных стран. В районе Кунграда построен большой содовый завод.

На основе ряда правительственных решений развёрнуты значительные работы по развитию города Муйнака и упорядочению со-

стояния дельты Амударьи. Это способствовало прекращению оттока населения из Приаралья и появлению активных слоёв населения.

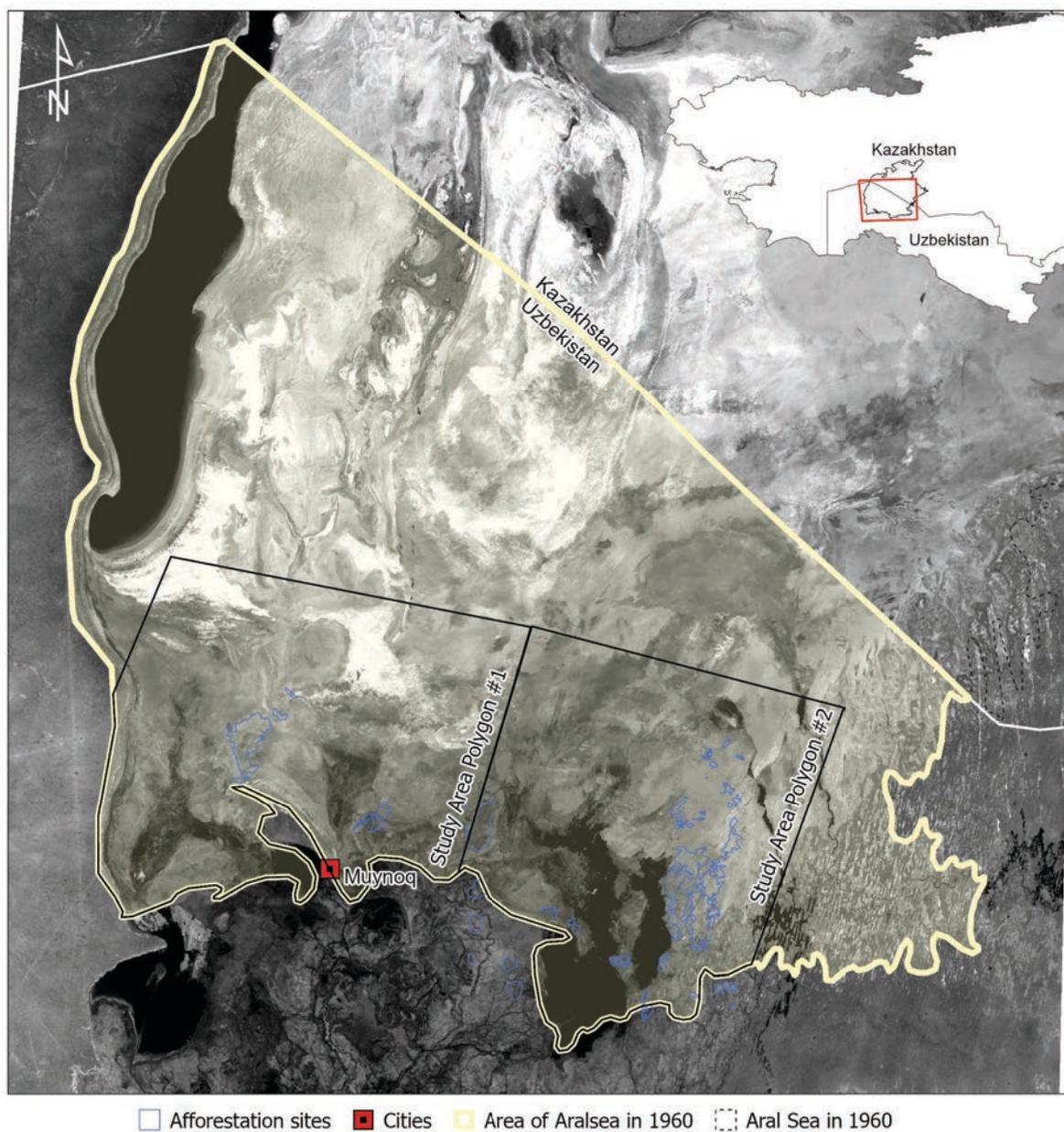


Рис. 7. Узбекская часть Аралкума, т.е. территория в пределах береговой линии Аральского моря примерно в 1960 г. Показаны два полигона исследуемой территории. На заднем фоне показано изображение со спутника Landsat-8, сделанное в октябре 2019 г.

2.3. Климат

Территория исследований располагается в северной части засушливого пояса субтропических широт северного полушария, что сказывается на общей сухости климата, проявляющейся в отсутствии осадков в длительный летний период и резкой континентальности, с характерными высокими её амплитудами.

Территория региона открыта для вторжения различных воздушных масс, что вызывает резкую смену погоды. Особенности циркуляции атмосферы являются главной причиной высокой естественной изменчивости климата. Кроме того, на высокую естественную климатическую изменчивость накладываются различные антропогенные воздействия, значительное из которых сокращение Аральского моря.

Анализ изменений максимальных температур также показал наличие в большинстве

месяцев тенденций к повышению. Интересно отметить, что летом и осенью наиболее заметно проявляется тенденция к повышению минимальных температур, чем максимальных, причем летом на достаточно большом числе станций зафиксировано понижение максимальных температур. В поле изменений минимальных температур (ноябрь) прослеживается климатический вклад усыхания Аральского моря. Он выражается в меньших тенденциях к повышению в Приаралье минимальных температур. Это является следствием эффекта аридизации (понижение влажности в зоне отступления моря), который вызывает увеличение суточной амплитуды температуры воздуха (Муминов Ф.А., Инагамова С.И., 1995). Данный пример указывает, что воздействие отступления моря на микроклимат района в отдельные месяцы уже проявляется в изменении климатических норм.



Рис. 8. Состояние метеостанции на острове Лазарево, фотография экспедиции 2006 год



Рис. 9. Метеостанция на осушенном дне Аральского моря

Высокие значения температуры воздуха и малое количество осадков определяют высокие значения испаряемости до 1900-2000 мм/год, во много раз (17-30) превышающие сумму атмосферных осадков.

Ниже приводится характеристика климата согласно данным метеостанций «Кунград» «Нукус» и «Чимбай»:

Зима в районе исследований умеренно холодная, малоснежная, преимущественно с пасмурной погодой.

Устойчивые морозы начинаются с середины декабря и в самый холодный месяц январь, температура воздуха достигает днем $-2,4$ $-9,60$ °C, ночью от -10 до 20 °C, максимальные значения температуры воздуха достигают до -22 - 28° ниже нуля. Сильные морозы наступают при проникновении сибирского антициклона и могут продолжаться 3-4 месяца (например, 1968-1969, 1993-1994 годы). Осадки зимой выпадают, главным образом, в виде снега, толщина снежного покрова обычно не превышает 5-8 см. Относительная влажность воздуха составляет около 55-80%.

Весна (март-май) характеризуется неустойчивой погодой, облачной, ветренной погодой с максимумом осадков. Температура воздуха днем 4 - 15° C. Осадки выпадают в виде коротких, но сильных дождей в пределах $9,0$ - $37,4$ мм. Относительная влажность воздуха составляет около 26-65%

Лето (июнь-сентябрь) – сухое и жаркое. Температура воздуха днем от $+27$ °C до $+29$ - $+30,4$ °C, а максимальная от 40 °C до 45 °C, ночью от 10 °C до 20 - 23 °C. Осадки выпадают в виде коротких, но сильных дождей в пределах $0,6$ - $6,7$ мм. Относительная влажность воздуха составляет около 25-48%. Во второй половине июня, в связи с интенсивным нагреванием воздуха и поверхности земли начинается термическая депрессия, достигающая наибольшей активности в июле-августе

Осень (октябрь-ноябрь) – сухая, преимущественно ясная погода. Температура воздуха днем от $6,5$ °C до 20 °C, ночью от $5,5$ °C до $-5,4$ °C. Заморозки по ночам начинаются в конце октября. Осадки выпадают в виде дождя и снега. Ветры в течение года преимущественно северо-восточные и восточные. Преобладающая скорость ветра 4 - 6 м/с. Сильные ветры (15 - 22 м/с) бывают редко, главным образом, в осенне-зимний период. Количество атмосферных осадков колеблется от $4,0$ - $41,3$ мм.

Наиболее приближенные к самому морю и осушенному дну являются 2 метеостанции: «Актумсук» и «Лазарево». В таблице 3 приведены данные по метеостанции Актумсук. Метеостанция на острове Лазарева прекратила свою функцию в 1987 году (рис. 8.).

На осушенном дне моря установлены 2 метеостанции, в районе «нулевки» и на берегу Восточного моря (Академией наук Китая) (рис. 9.).

Таблица 3

**Среднегодовая метеорологическая информация по данным метеостанции Актумсук
за период 2000-2018 гг.**

Параметры	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя месячная температура воздуха, °С	-8.1	-7.3	1.7	11.1	19.3	25.0	27.2	25.7	18.1	9.1	1.5	-4.8	9.9
Абсолютный минимум температуры воздуха, t°С/год	-35.7 /2006	-34.1 /2014	-25.3 /2011	-11.5 /2005	0.8 /2018	0.1 /2018	7.1 /2014	5.7 /2015	-4.4 /2017	-15.7 /2014	-21.5 /2016	-28.3 /2012	-35.7 /2006
Абсолютный максимум температуры воздуха, t°С/год	10.0 /2007	13.1 /2016	25.5 /2001	32.6 /2000	37.1 /2014	40.9 /2014	43.4 /2017	43.0 /2006	40.0 /2017	29.0 /2006	28.0 /2006	22.0 /2006	43.4 /2017
Среднее месячное количество осадков, мм	4.2	4.5	11.0	9.2	6.0	3.5	3.1	2.4	1.5	4.3	6.6	6.4	62.7
Средняя скорость ветра за месяц, м/сек	3.9	4.0	3.8	3.5	3.4	3.4	2.9	2.7	2.7	2.8	3.1	3.6	3.3

Средняя повторяемость направлений ветра по 8 румбам, %

С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
10	18	28	8	7	5	20	4

Для того, чтобы отобразить влияние антропогенных воздействий в бассейне Аральского моря на режим влажности, была выполнена работа по станциям, по которым имеются ряды наблюдений с 1931 года. Исходной информацией для этой цели были данные месячного разрешения (Спекторман Т.Ю., Никулина С.П., 2002). Было отобрано 6 станций. Нукус – характеризует орошаемые низовья Амударьи, Тамды – центральный Кызылкум, Ташкент – предгорную зону, район с наиболее сильным влиянием урбанизации, Джизак – Голодную степь, район, где произошло интенсивное увеличение площадей орошаемых земель в последние десятилетия, Чимбай и Муйнак

характеризуют условия Приаралья, причем Муйнак – это бывшая прибрежная станция.

Рассмотрено изменение дефицита влажности, который является очень чувствительным к изменению климата показателем засухи. В отсутствии локальных антропогенных воздействий, этот показатель фиксирует тенденции к росту засушливости в осенне-летний сезон. На рис. 10. приведены графики изменений средних за осенний сезон дефицитов влажности воздуха на выбранных станциях.

Несмотря на то, что станция Нукус находится вблизи орошаемых массивов, тенденции изменений дефицита влажности аналогич-

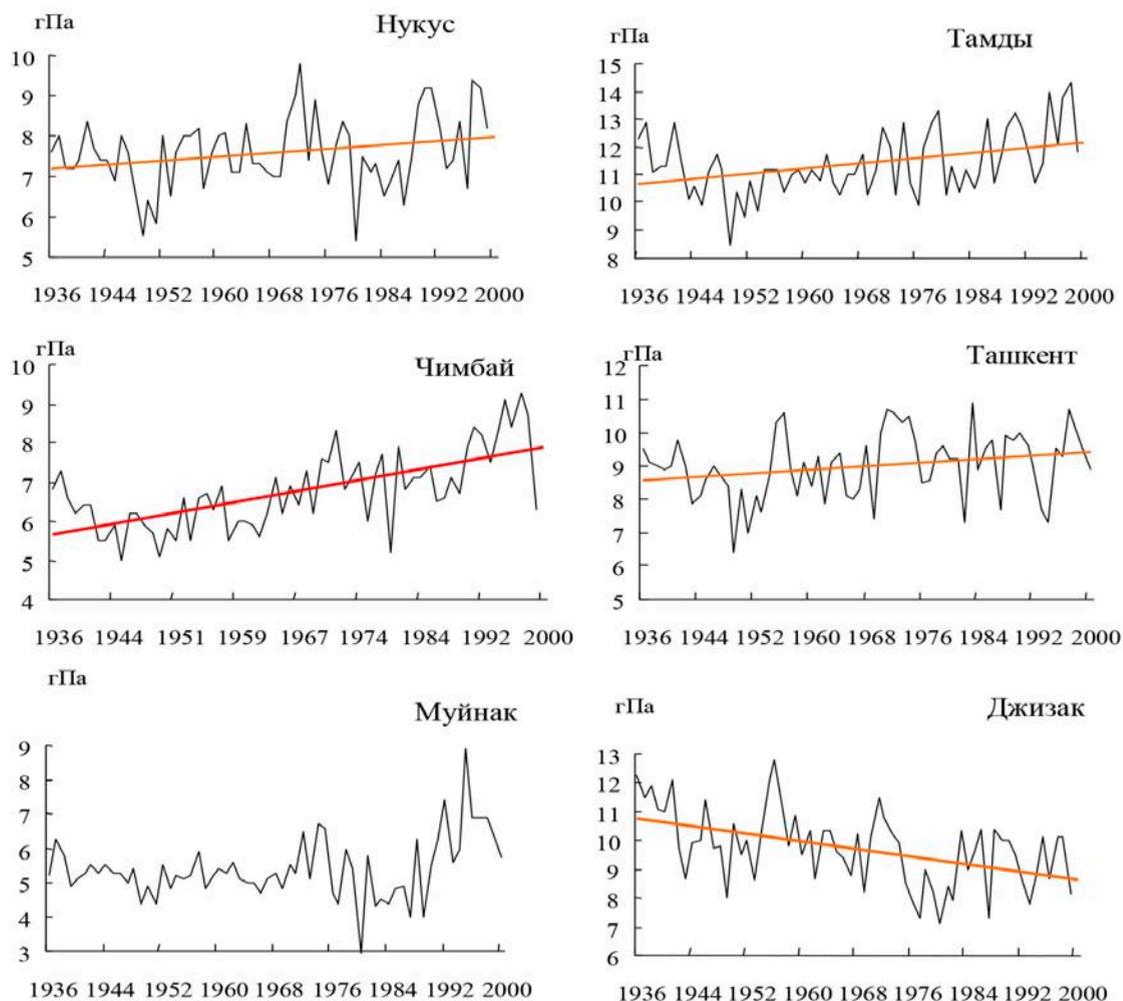


Рис. 10. Изменение среднего за осенний сезон дефицита влажности по отдельным станциям

ны тенденциям изменений, наблюдающимся на станции пустынной станции Тамды: отсутствуют тренды в зимние и весенние месяцы и прослеживаются тенденции к увеличению дефицита летом и осенью. На станции Ташкент тенденции роста дефицита влажности прослеживаются практически во все сезоны, а станция Джизак фиксирует антропогенное уменьшение дефицита влажности (Спекторман Т.Ю., 2002).

В Приаралье тенденции изменения дефицита влажности практически однозначны – с отступанием береговой линии фиксируется увеличение дефицита влажности во все се-

зоны года и увеличение размаха колебаний. Даже визуально заметно нарушение однородности рядов наблюдений, связанное с регрессией Аральского моря.

Антропогенные воздействия на климат, как глобальные (повышение концентрации парниковых газов в атмосфере), так и локальные (урбанизация, увеличение орошаемых массивов, создание водохранилищ и ирригационно-сбросовых озер, сокращение Аральского моря), что затрудняет выявление сигнала глобального потепления и увеличивает неопределенность климатических сценариев в Приаралье.

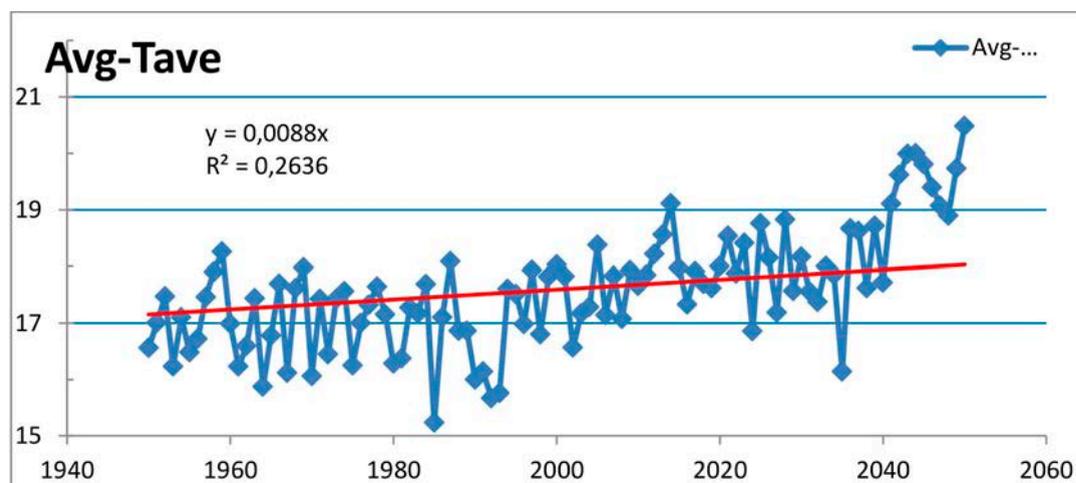


Рис. 11. Сценарий изменения среднегодовой температуры в Приаралье по модели REMO

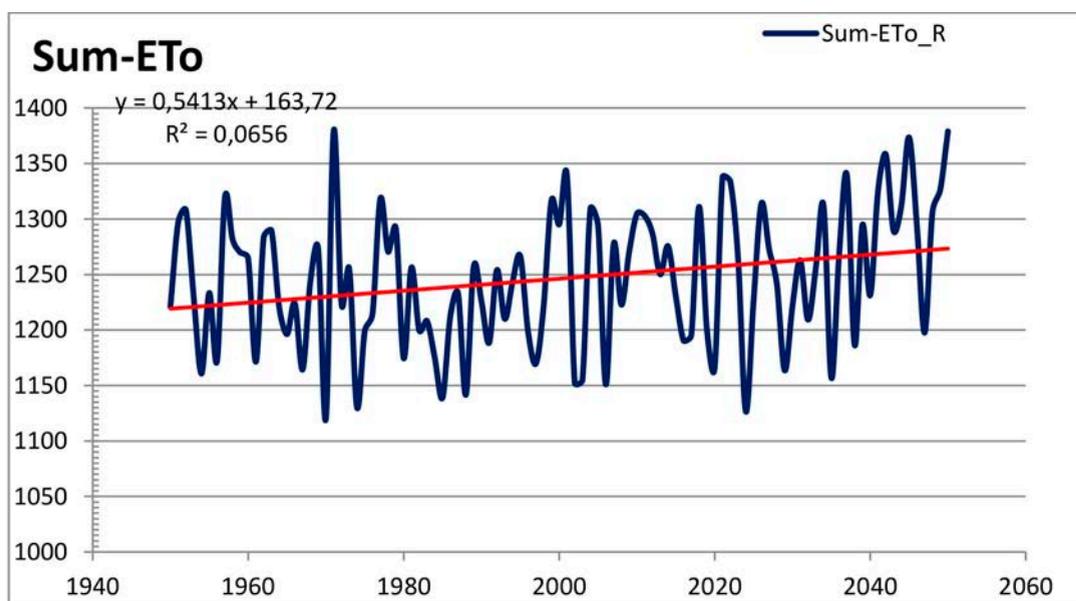


Рис. 12 Сценарий изменения эвапотранспирации (ETo) в Приаралье по модели REMO

Современные развитые модели общей циркуляции атмосферы и разработанные на этой основе региональные модели позволяют построить сценарии изменения климата. Модель REMO (D. Jacob & R. Podzun, 1997) Потсдамского Института Земли, использовалась для оценки климатических параметров Приаралья до 2050 года. Тренды, полученные

при анализе результатов, показывают (рис. 11, 12) рост годовой температуры и потенциальной эвапотранспирации в будущем в условиях дальнейшего высыхания моря. В условиях Приаралья и осушенного дна Аральского моря это означает рост аридизации климата, усиление процессов опустынивания и повышения экологических рисков.

2.4. Геоморфологические процессы на осушающемся дне Аральского моря

Территория работ относится к северной зоне Туранской плиты. В неё входят восточная часть плато Устюрт до старой протоки р.Амударья (Акдарья) на востоке, на севере – обсохшее дно Аральского моря и оз.Судочье, Муйнакская, Шегекульская полдерная зона на юге.

Район работ представляет собой плоскую или слабоволнистую равнину с общим уклоном на север, северо-запад.

Характерной особенностью рельефа является наличие аллювиально-дельтовой равнины р. Амударья, занимающей значительную территорию. Поверхность равнины весьма полого опускается на север к Аральскому морю. Абсолютные высоты аллювиально-дельтовой равнины Амударья изменяются от 70 м, в юго-восточной части бывшего полуострова Муйнак до 25-30 м на севере-востоке и северо-западе. В прибрежной полосе Аральское море оставляет выровненные солончаковые поверхности на отметках 50-40 м. В северо-восточной части аллювиально-дельтовой равнины Амударья широко распространены такыры. Эоловая новообразованная возвышенная равнина занимает значительную площадь современной пустыни.

Рельеф грядочаистый, гряды имеют суб-меридиональную ориентировку и прослеживаются обычно на расстоянии от 0,2 до 1-2 км. Наиболее крупные по размерам современные гряды достигают высоты 3-5 м при ширине до 0,1-0,3 км. Основные гряды отстоят друг от друга на 1-3 км, покрыты солончаками песчаными и песчано-глинистыми супесчаными и суглинистыми к возвышенности Муйнак, луговыми, болотно-луговыми и болотными почвами в дельтовой равнине Амударья.

Бывший полуостров Муйнак имеет форму серпа, обращенного выпуклой стороной к северо-востоку.

Абсолютные высоты его поверхности изменяются от 58 м на побережье до 86 м центральной части. Северный борт – обращенный к суровой лагуне Сургиль, а ныне одноименному солончаку – относительно пологий. Лагуна (ныне солончак) Сургиль, отделяется от современной малой моря и является классическим береговым баром – «Тигровый хвост». Она вытянута более чем на 50 км, заросшая на юге кандымом, тамариксом, саксаулом – прекрасно сохранилась после регрессии моря. Обсохшее дно моря, которое за десятилетия отступило на 60-100 км, представляет собой самую молодую в мире солончаковую пустыню «Аралкум». Эта серая, однообразная и сильно засоленная морская равнина с очень небольшим (0,000256) уклоном на север. На значительной площади она лишена кустарниковой растительности и покрыта лишь сухой солянкой, а на осушке последних лет не растет даже солянка. Покровные данные супеси и суглинки покрыты соляно-гипсовой коркой с многочисленными бугорками и валиками вспучивания и белой тенардитовой пушонкой. Бывшие пляжи, сложенные песками, ныне интенсивно переветрены и представляют собой массивы подвижных или частично закрепленных кандымом и саксаулом бугристо-барханных песков высотой

1-3 м. Обширный, меридионально вытянутый массив подвижных песков расположен к северу от бывшего полуострова Муйнак. Он приурочен к бывшей подводной отмели, оконтуренной горизонталью 30 м.

Район работ второй экспедиции относится к средней зоне туранской плиты, охватывая районы дельты р. Амударья, северо-западные окраины песчаной пустыни Кызылкум и до восточной чинки плато Устюрт. Она представ-

ляет собой плоскую или слабоволнистую равнину с общим уклоном на север, Северо-запад.

Характерной особенностью рельефа является наличие многочисленных останцовых возвышенностей (Кызылджар, Кушканатау, Бельтау и др.) и бессточных котловин (Улкен Карасор, Балыкбай, Кокчатенгиз, Каратерен, Дауткуль и др.) имеющих разницу в отметках на 20-40 м относительно равнины. В южной и юго-восточной частях района исследований расположены невысокие горные хребты Султануздаг, Кокча, Бузгуль и др.

Аллювиально-дельтовая равнина р. Амударьи занимает значительную территорию (более 44 тыс. км²) от Туямуюнской теснины до Аральского моря протяженностью около 400 км. Ширина её перед Сарыкамышской впадиной и Аральским морем (по В.В. Акулову 1959 г) – 320 км.

Поверхность равнины весьма полого опускается с одной стороны к Аральскому морю, а с другой на запад – к Сарыкамышской впадине. Абсолютные высоты аллювиально-дельто-

вой равнины Амударьи изменяются от 100 м в южной, юго-восточной части её до 35-55 м на севере и северо-западе. В прибрежной полосе Аральского море оставляет выровненные солончаковые поверхности на отметках 45-35 м.

В северо-восточной части аллювиально-дельтовой равнины Амударьи широко распространены такыры, общая площадь которых по ориентировочным подсчетам составляет 1500 км². Равнинность территории нарушается действующими водотоками, возвышенностями, сложенными неогеновыми и более древними породами. Эоловая возвышенная равнина занимает значительную площадь Кызылкумской части Каракалпакстана.

Поверхность её полого понижается на север к акватории Арала. Рельеф грядочейный, гряды имеют субмеридиональную ориентировку и прослеживаются обычно на расстоянии 3-4 км. Наиболее крупные по размерам гряды достигают высоты 6-8,0 м при ширине до 0,5 км. Основные гряды отстоят друг от друга на 3-5 км.

2.5. Геологическая, гидрогеологическая характеристика территории исследований

Исследованный район находится на границе двух крупных гидрогеологических структур 1-го порядка: на западе – Устюртского, на востоке – Сырдарьинского. Они разделены Арало-Кызылкумским валом; собственно, по валу соприкасаются структуры 2-го порядка – Северо-Устюртский и Южно-Приаральский артезианские бассейны, в состав которых и входит район исследований.

Западнее Арало-Кызылкумского вала выделяются две гидрогеологические зоны весьма затрудненного и затрудненного водообмена, и зона свободного водообмена. Первые две приурочены к коллекторам пермо-триаса,

юры и мела, верхняя охватывает коллекторы миоцена, плиоцена и четвертичного возраста. Региональным водоупором, разделяющим различные гидродинамические зоны в нижнем и верхнем гидрогеологических этажах, является верхний мел-палеогеновый пласт. Восточнее вала, в образованиях мезо-кайнозоя, выделяется одна гидрогеологическая зона – свободного водообмена, охватывающая весь разрез осадочной толщи от верхней юры до эоплейстоцена-современных отложений. Но здесь верхние мел-палеогеновые образования также являются региональным водоупором. Особенностью распространения водоносных горизонтов и комплексов являются прямые

связи с природными факторами, интенсивно развитыми на территории исследования. Исходя из условий залегания и питания, пространства и разгрузки, геолого-литологического состава водовмещающих пород, нами выделены и охарактеризованы водоносные горизонты и комплексы. Ввиду того, что на территории исследований двух экспедиций, по части гидрогеологии ранее проводились частично в южных частях бурение скважин на договорной основе разными организациями для водоснабжения животноводческих, лесных и др. хозяйств, данный раздел составлен по материалам исследований смежных площадей с учётом некоторых эксплуатационных скважин, пробуренных для водоснабжения откормочного животноводства.

2.5.1. Водоносные комплексы

На основании анализа геологического строения и гидрогеологических условий исследованной территории выделяются следующие водоносные и водоупорные горизонты и комплексы: слабоводоносный аллювиально-морской верхнечетвертичный и современный комплекс, водоносный аллювиально-озерный верхнечетвертичный и современный комплекс, водоносный эоплейстоценовый горизонт; водоупорный акчагыльский локально-водоносный комплекс; водоупорный сенон-палеогеновый комплекс; водоносный верхнемеловой комплекс. Сведения о нижних водоносных комплексах не приводим в связи с малой изученностью и пригодностью в народном хозяйстве.

Слабоводоносный аллювиально-морской верхнечетвертичный современный комплекс

Подземные воды в этих отложениях по всей площади являются первыми от поверхности, глубина залегания уровня изменяется в пределах 0-3 м в северной и польдерных зонах и

3,2 м на остальной площади. Водовмещающие породы – супеси, суглинки, глины, илы и пески илистые. Мощность в пределах 0,2-7,0 м. Подземные воды по всей площади по величине минерализации относятся к соленым и рассолам в пределах от 35 до 200 г/л. По химическому составу воды – хлоридного класса натриевый, реже кальциевый (по О.А. Алекину).

Водоносный аллювиально-озерный верхнечетвертичный и современный комплекс

Распространен по всей площади и содержит подземные воды. Севернее коренного берега подстилают аллювиально-морские, гидравлически связанные между собой. Водоносный комплекс представлен преимущественно песками и супесями с прослоями неравномерно чередующихся в разрезе и простирающую глины и суглинков. Мощность комплекса 5-18 м.

Глубина залегания подземных вод – 3-5 м и имеет свободную поверхность. Взаимосвязь поверхностных вод предыдущими авторами изучались по двум створам скважин, оборудованным на северо-западных окраинах залива Рыбацкий и Джылтырбас, состоящих из 5 скважин на каждом.

Подземные воды сильносоленые и рассолы с минерализацией 40-70 г/л. Несколько ниже в южной части, примыкающей к польдерам Судочье, Джылтырбас и каналам Кунград-Муйнак, Амударья, Казахдарья и Кокдарья с минерализацией от 1,5-3,0 до 13-28 г/л. По химическому составу преимущественно хлоридного класса натриевой группы.

Особое значение в условиях опустынивания и динамики развития, вредных экзогенно геологических процессов в Приаральском регионе имеет дальнейшее изучение подземных вод, приуроченных к верхнему гидрогеологическому этажу. Он залегает выше регионального сенон-палеогенового водоупора

и характеризуется свободным водообменом с поверхностными и атмосферными водами.

Особенностью распространения верхних водоносных горизонтов и комплексов являются прямые связи с природными факторами, интенсивно развитыми на территории исследования.

Водоносный эоплейстоценовый горизонт

Водоносный горизонт получил повсеместное распространение на исследованной территории. Он отсутствует (размыт) лишь на отдельных участках Арало-Кызылкумского вала. На остальной территории перекрыт отложениями аллювиально-озерного и аллювиально-морского комплексов. Подошва горизонта подстилается глинами и мергелями сантон-олигоценового комплекса от АКВ до чинков Устюрта, песчаниками мела в пределах АКВ, глинами, песчаниками, солями восточнее АКВ. Водовмещающие породы представлены преимущественно песками и песчаниками общей мощностью 18-30 м воды горизонта гидравлически взаимосвязаны с водами вышележащих отложений.

Уровни подземных вод обычно на 0,5-1,0 м ниже уровней верхних водоносных комплексов. На юго-восточной правобережной части территории залегают первым от дневной поверхности уровнем на глубине 4,1 м. Расходы скважин не превышают 3,0-3,5 л/с. Коэффициент фильтрации песков и песчаников 1,4-4,9 м/сут. На большей части площади минерализация подземных вод составляет 34,3-84,4 г/л. По химсоставу преимущественно хлоридного класса натриевой группы.

Водоупорный акчагыльский локально-водоносный комплекс

Отложения акчагыла получили распространения в правобережной (восточной) части р. Амударьи. Они перекрываются отложениями эоплейстоцена и подстилаются породами регионального водоупора – палеогеновыми глинами мощностью 50-120 м, кров-

ля залегает на глубинах 22-34 м от дневной поверхности. Уровень подземных вод комплекса, в зависимости от глубины залегания опробованного коллектора, устанавливается на 1,55-6,6 м. Воды слабо напорные, высота напора над кровлей 24-28 м. Удельные дебиты скважин 0,1-0,15 л/с м. Коэффициенты фильтрации песчаников 0,11-0,66 м/сут. Воды горизонта соленые и рассолы с минерализацией 22-85,5 г/л. По химсоставу хлоридного класса натриевой группы. Практического значения подземные воды не имеют.

Водоупорный сенон-палеогеновый комплекс

Региональным водоупором, разделяющим преимущественно грунтовые со свободной гидравлической поверхностью воды и напорные воды среднего гидрогеологического этажа в рассматриваемых регионах, является водоупорная сенон-палеогеновая толща. Разрез ее сложен преимущественно глинами, мергелями и мергелистыми и известковистыми глинами, в разрезе встречаются маломощные прослой глинистых известняков и глинистых песчаников. Мощность колеблется от 545 до 975 м.

Они распространены повсеместно, отсутствуют лишь в пределах Арало-Кызылкумского вала, где водоупорный комплекс размыт и расположен под аллювиально-морскими, верхнечетвертичными и современными отложениями или под отложениями эоплейстоцена. Выходит на поверхность возвышенностей Устюрт, Кызылджар, Бельтау.

Водоносный верхнемеловой комплекс

Подземные воды верхнемеловых отложений на данной территории имеют площадное повсеместное распространение. Они выходят на дневную поверхность в пределах возвышенностей Устюрт, Кызылджар, бывшего полуострова Муйнак Арало-Кызылкумского вала, Бельтау и Кушканатау, а на других погруженных

участках района исследований они вскрываются всеми разведочно-картировочными, опорными скважинами. Исключение составляют своды отдельных брахиантиклинальных и локальных геоструктур Арало-Кызылкумского вала, где водовмещающие породы комплекса частично размыты или дренированы благодаря своему гипсометрическому положению (60-80 м.абс.).

Глубина залегания кровли водоносного горизонта изменяется от 0,0-5,0 м (в пределах возвышенности) до 37-57,0 и более (в прогибах). Вскрытая мощность составляет 50-130 м. По мере падения погружения водоносного комплекса в сторону Аральской впадины подземные воды постепенно погружаются и становятся напорными.

Поскольку водовмещающие пласты песков и песчаников имеют падение на моноклиналиное, осложняющееся целой серией складок, на рассматриваемой территории образуется ряд широтных и субширотных прогибов и поднятий.

Разрез водоносного комплекса сложен толщей неравномерно переслаивающихся песков, песчаников, глин и алевролитов. Коллекторские свойства песчаников в целом низки, полная пористость 20-36%, пористость насыщения 21-28%, коэффициент фильтрации 0,125-3,05 м/сут.

По данным опытно-фильтрационных и лабораторных исследований, водообильность водоносных толщ сравнительно невысока. Дебиты скважины при пробной откачке со-

ставляют 0,5-5,0 л/с и более, при понижении уровня воды 12-15 м.

Минерализация подземных вод комплекса на левобережной части р.Амударьи, начиная от АКВ до чинка Устюрт, изменяется в широких пределах как по площади, так и с глубиной. Это – соленые воды и рассолы с величиной плотного остатка от 37,8 г/л. до 142,4 г/л. Воды хлоридного класса натриевой группы второго и третьего типов. Воды комплекса этой части практически не используются ввиду их высокой минерализации.

Минерализация подземных вод комплекса на правобережной части р.Амударьи намного благоприятнее и изменяется в пределах АКВ до 10,2-15,0 г/л с удалением от АКВ в сторону западных Кызылкумов от 2,5-5,0 г/л. Наименее минерализованные воды комплекса, с сухим остатком 2,0-3,0 г/л развиты в пределах центральной части участка работ Южно-Приаральского бассейна напорных вод. По мере удаления от Арало-Кызылкумского вала в сторону восточных Кызылкумов, т.е. на восточной части участка работ, минерализация подземных вод горизонта уменьшается до 1,7-2,5 г/л.

По химическому составу подземные воды верхнемелового водоносного комплекса хлоридно-сульфатные, магниевые-натриевые. В пределах АКВ и акватории Аральского моря состав меняется на хлоридно-натриевый. Воды комплекса этой части используются для отгонного животноводства и лесного хозяйства и др.

2.6. Почвы

Плоский характер рельефа обсохшего дна, создающий фактически бессточность территории, близкое залегание грунтовых вод, капиллярная способность грунтов, интенсивное испарение способствовали засолению осушки Аральского моря. Причиной значительного

засоления являются отложения солей на дне Аральского моря под маломощным (0,5-1,5 м) слоем ила (Рубанов В.В., 1977). Первые сведения о наличии соли на дне Арала получены Чаловым П.И. (1968), затем Вейнсбергом И.Г. (1972). Образование слоя солей под донными

отложениями связано с выпадением солей из морской воды по мере увеличения ее минерализации. Сами донные отложения, залегающие под водой моря на глубину 1 м и являющиеся материнской породой почвообразования (Бродская Н.Г., 1952), представлены в центральных и западных частях мергелями, в периферических – песками и алевролитами.

Основная часть осушки занята солончаками. Специфические условия почвообразования, сложившиеся на обсохшем дне, предопределили выделение здесь особого подтипа солончаков – приморских солончаков. Местные почвоведы после дискуссий сочли возможным отнести солончаки осушенного дна моря к почвам. Дальнейшие исследования подтвердили правомерность этого решения.

Изучение осушенного дна моря показало, что цепочка преобразования солончаков заканчивается образованием пустынно-песчаных почв под саксаульником, не только под искусственными посадками, но и в местах самозарастания.

Эволюция солончаковых почв проходит этапы: избыточно гидроморфные почвы (марши) → умеренно гидроморфные солончаки → полугидроморфные солончаки → полуавтоморфные солончаки → автоморфные солончаки. На последних стадиях развития почв (Сектименко, 1991) солончаковые процессы, вызванные гидроморфными условиями, затухают, во много раз возрастает роль аридно-зонального фактора, под влиянием которого дальнейшее развитие почв идет типично по пустынному типу.

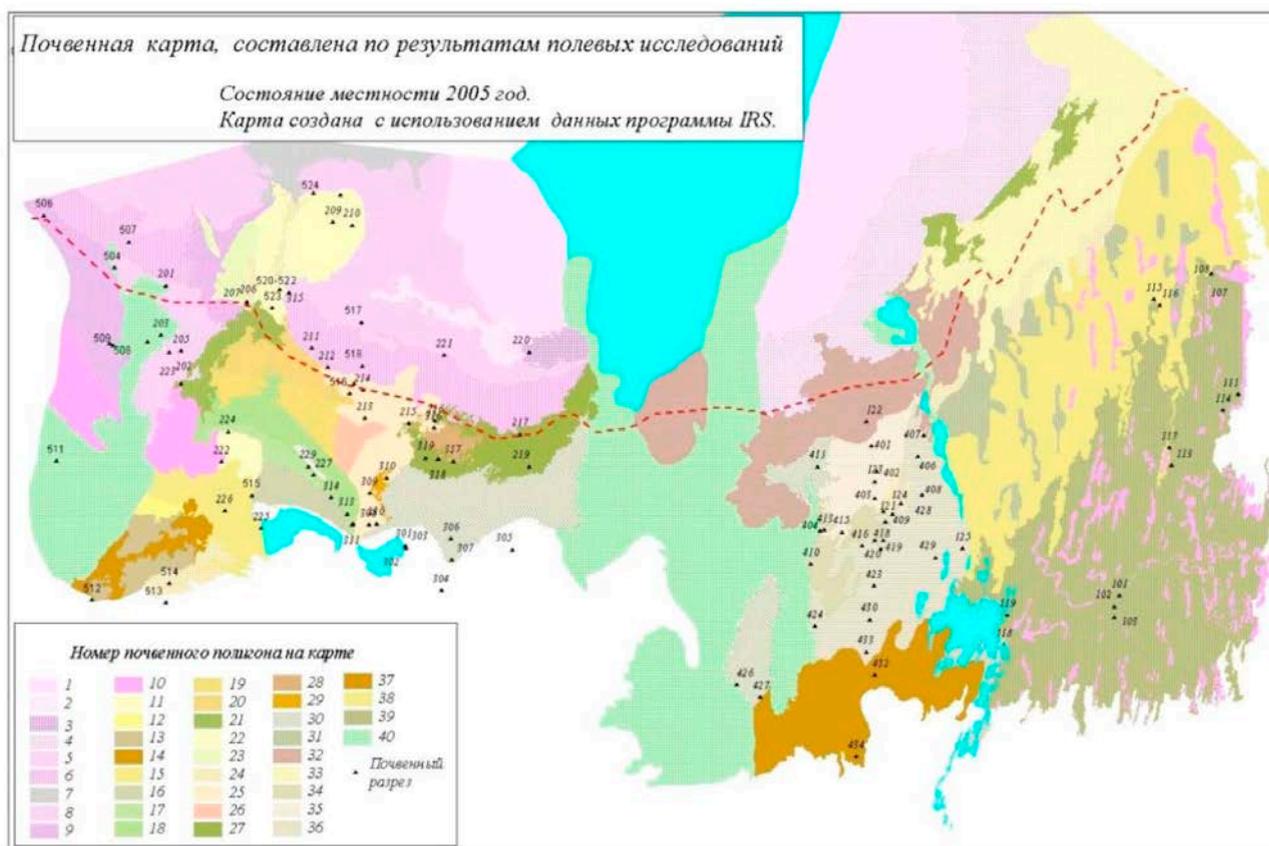


Рис 13 Почвенная карта, по состоянию на 2005 год

Почвообразовательный процесс начинается с момента обнажения морского дна.

В главе 2, рис. 3, показана динамика осушки дна Аральского моря, показано изменение положения береговой линии по годам.

В 1990 году исследование почв обсохшего дна моря было проведено Институтом почвоведения, на основании чего была составлена почвенная карта.

К 1990-м годам на ранее обследованной территории грунтовые воды опустились до 4-7 и более метров и обладали очень высокой минерализацией – до 50 г/л. Гидроморфные и полугидроморфные солончаки здесь трансформировались в полуавтоморфные и автоморфные. Вновь образовавшиеся гидроморфные почвы переместились вслед за отступающим урезом морской воды.

В результате проведения 4 экспедиций на осушенном дне моря в течение 2005-2007 года были изучены условия дальнейших изменений покрытия дна. Была составлена почвенная карта (Духовный В.А. и др., 2008) и выполнен анализ изменения почвенного покрова за 15 лет.

За период с 1990 года произошло увеличение (табл. 4) автоморфных солончаков более

чем на 50 тыс. га, за счет снижения уровня грунтовых вод и перехода гидроморфных почв в их автоморфные аналоги. Сформировались 233,5 тысяч га пустынно-песчаных почв, что является позитивным признаком. Однако значительно увеличилась площадь под песками, с 172 тыс.га до 322 тыс.га, что указывает на интенсификацию эрозионных процессов на обсохшем дне (Духовный В.А. и др., 2008).

По мнению местных почвоведов, обнажившиеся грунты можно рассматривать как почвы, которые отличаются от зональных своими специфическими особенностями. Эти особенности заключаются в динамичности развития почвообразовательного процесса, как в пространстве, так и во времени, в малоразвитости и слабой дифференциации почвенного профиля, низкой биогенности, преобладании процессов разрушения органики и почти полное отсутствие их аккумуляции, а в связи с этим – специфике водно-солевого режима молодых почвогрунтов. И именно эти особенности позволяют почвенному покрову осушенной части дна Аральского моря за короткий отрезок времени проходить вековой цикл развития (Сектименко, 1991; Stulina, Sektimenko 2004).

Таблица 4

Изменение почвенного покрытия осушенного дна Аральского моря

Группы почв	1990 год	2005 год	
		В зоне, охваченной съемкой 1990 г.	В зоне осушки с 1990 по 2005 год
Гидроморфные и полугидроморфные	763204	276340	372568
Автоморфные и полуавтоморфные	114443	165834	8304
Пустынно-песчаные		233460	4381
Песок	172348	321745	81888
Опустынивающиеся луговые		52616	45
	1049995	1049995	467186



3 Облесение для борьбы с эрозией – история, современное состояние

3.1. Обзор выполненных работ

Аридизация Приаралья вследствие усыхания Аральского моря, приморских озер, дельтовых разливов рек Амударьи и Сырдарьи, будучи наложенной на эффект опустынивания обширных территорий осушенной части дна моря и дельт рек, привели к ухудшению экологической обстановки в зоне Приаралья.

Появление растительности на территории осушки после отступления моря является положительным фактором для снижения экологической напряжённости. В первый-третий годы осушения дна моря засоленность глинистых почвогрунтов составляла 0,9-1,2%. Это позволяло интенсивное зарастание на данной территории солеустойчивых видов растений – солероса, сведы и других галофильных растений. В пятый-десятый годы на территории осушенного дна моря засоленность глинистых почвогрунтов дна моря достигла 3,4-5,4%, что исключило возможность семенного возобновления даже наиболее солеустойчивых растений и исключает всходы даже самых солеустойчивых растений. Поэтому основная часть территории моря, осушенная в 1980-1998-е годы, представлена голыми и слабо заросшими пространствами. В четырнадцатый-восемнадцатый годы степень засоленности глинистых почвогрунтов под влиянием

эолового соле-пылевого выноса и атмосферных осадков снизилась до 2,6-3,5%.

Интенсивность размера осушки в последние годы приводит к образованию масштабной площади суши, вышедшей из-под моря, находящейся в отдаленности от источников семян разных пустынных растений. Учитывая процессы появления на данной территории разных видов донного отложения, необходимо разработки различных методов фитомелиоративных работ, которые способствуют самозарастанию растительности, адаптированных местным условиям.

В условиях интенсивного опустынивания и большого дефицита пресной воды, фитомелиорация является доступным и надежным, экономически целесообразным и экологически чистым средством снижения альбедо, уменьшения интенсивности дефляции и эолового переноса засоленной пыли, повышения фитопродуктивности осушенной части дна Аральского моря и пустынных конусов выноса Амударьи.

В таблицах 5-7 приводятся данные о проведении фитомелиорации на осушенном дне моря, начиная с 1980-х годов до 2020 года.

Таблица 5

**Лесовосстановительные работы с 2000-2018 гг. на осушенном дне
Аральского моря за счет донорских средств**

№	Название организации	Годы производства	Общая площадь, га	в том числе	
				Посев, га	Посадка, га
1	ГТЗ (Германия)	2000	1300	200	1100
		2001	4300	1500	2800
		2002	5300	2500	2800
		2003	5500	2800	2700
		2004	3450	2000	1450
		2005	2465	1500	965
		2006	2585	1800	785
		2007	2100	1600	500
	Итого		27000	13900	13100
2	МФСА (Нукусский филиал)	2002	450	450	
		2003	339,7	339,7	
		2004	2551	2551	
		2005	2012,8	2012,8	
		2006	582,6	582,6	
		2007	2667,93	2667,93	
		2008	1250,88	1250,88	
		2009	1145,13	1145,13	
		2010			
		2011	97,54	97,54	
		2014	1632	1632	
		2015	1126,5	1126,5	
		2016	849	849	
		2017	405	405	
		2018	721,4	721,4	
	Итого		15831,48	15831,48	
3	РО «Приаралье»	2004	321,5	321,5	
	Итого		321,5	321,5	
4	ОДСП-1 (РО «Приаралья»)	2004	1000	1000	
		2005	1729	1729	
		2006	1796	1796	
		2007	1775	1775	
	Итого		63000	63000	

№	Название организации	Годы производства	Общая площадь, га	в том числе	
				Посев, га	Посадка, га
5	КОФЮТИС (узбекско-французская компания)	2004	1450	1450	
	Итого		1450	1450	
	ВСЕГО		50903	37803	13100

Таблица 6

Лесовосстановительные работы в 1988-2019 гг. на осушенном дне Аральского моря со стороны Государственных лесных хозяйств при Комитете лесного хозяйства Республики Каракалпакстан

№	Годы производства	Общая площадь, га	в том числе			
			Посев механический	Посадка	Аэропосев	Содействие естественному возобновлению
1	1988 г. и ранее	71730,0	58730			
2	1989	11343,5	11260	83,5		
3	1990	13240	12940	300		
4	1991	9835	8768	1067		
5	1992	6760	6438	322		
6	1993	8729	8374	355		
7	1994	10358	10180	178		
8	1995	11353	11012	341		
9	1996	14872	14322	550		
10	1997	14865	14131	734		
11	1998	14823	14127	696		
12	1999	5751	5036	715		
13	2000	15080	14500	580		
14	2001	16384	15491	893		
15	2002	11870	11150	720		
16	2003	15769	14635	1134		
17	2004	6972,5	6305	667,5		
18	2005	16812	13756	2056		1000
19	2006	14962	7207	3908		3847
20	2007	14400	7375	3015		4010
21	2008	14924	7690	3022		4212
22	2009	15330	6545	4060		4725
23	2010	12602	3375	4527		4700

№	Годы производства	Общая площадь, га	В том числе			
			Посев механический	Посадка	Аэропосев	Содействие естественному возобновлению
24	2011	16794	3600	5094		8100
25	2012	16781	3665	5141		8075
26	2013	16822	3600	4705		8517
27	2014	17338	3575	5058		8705
28	2015	18242	3475	5403		9364
29	2016	18894	8162	5390		5342
30	2017	19043	9733	5410		3900
31	2018	19064	11505	4359		3200
32	2019	460875	119440	15285	326150	-
	Итого	952618,0	450002	85769	326150	90697

В 2019 году (рис. 14) подготовлено для посадок около 1 млн. га на осушенном дне моря, интенсивно проводится аэропосев на 700 га.

Работы по созданию лесных насаждений с закреплением подвижных песков на высошем дне Аральского моря в пределах территории Узбекистана ведутся с 1980 г.

С 2000 года к этой работе подключились международные организации, в частности Германское общество по техническому сотрудничеству (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, GIZ), Международный Фонд спасения Арала, Всемирный банк, Глобальный Экологический Фонд (GEF), Экологический фонд Японии, Посольство Японии и др.

Таблица 7

Сведения о создания искусственных лесных культур на осушенном дне Аральского моря в период 2015-2019 гг.

№	Наименование лесхозов	Всего площадь (га)	В том числе по годам				
			2015	2016	2017	2018	2019
1	Бузатауский	3097	555	701	601	620	620
2	Чимбайский	10185	1937	2020	2073	2075	2080
3	Караузьякский	11733	2230	2344	2382	2387	2390
4	Тахтакупирский	12095	2435	2555	2593	2252	2260
5	Муйнакский	40523	7840	8029	8149	8350	8155
6	Казакдаринский	16435	3245	3245	3245	3200	3500
7	Кунградский	2300	2300				2300
8	Нукусский	380	380			180	200
9	Ходжейлинский	119	119				119

№	Наименование лесхозов	Всего площадь (га)	В том числе по годам				
			2015	2016	2017	2018	2019
10	Нукусский специализированный	10					10
11	Шуманайский	10					
12	Канлыккульский	55					
	Итого	96942	18242	18894	19043	19064	21699

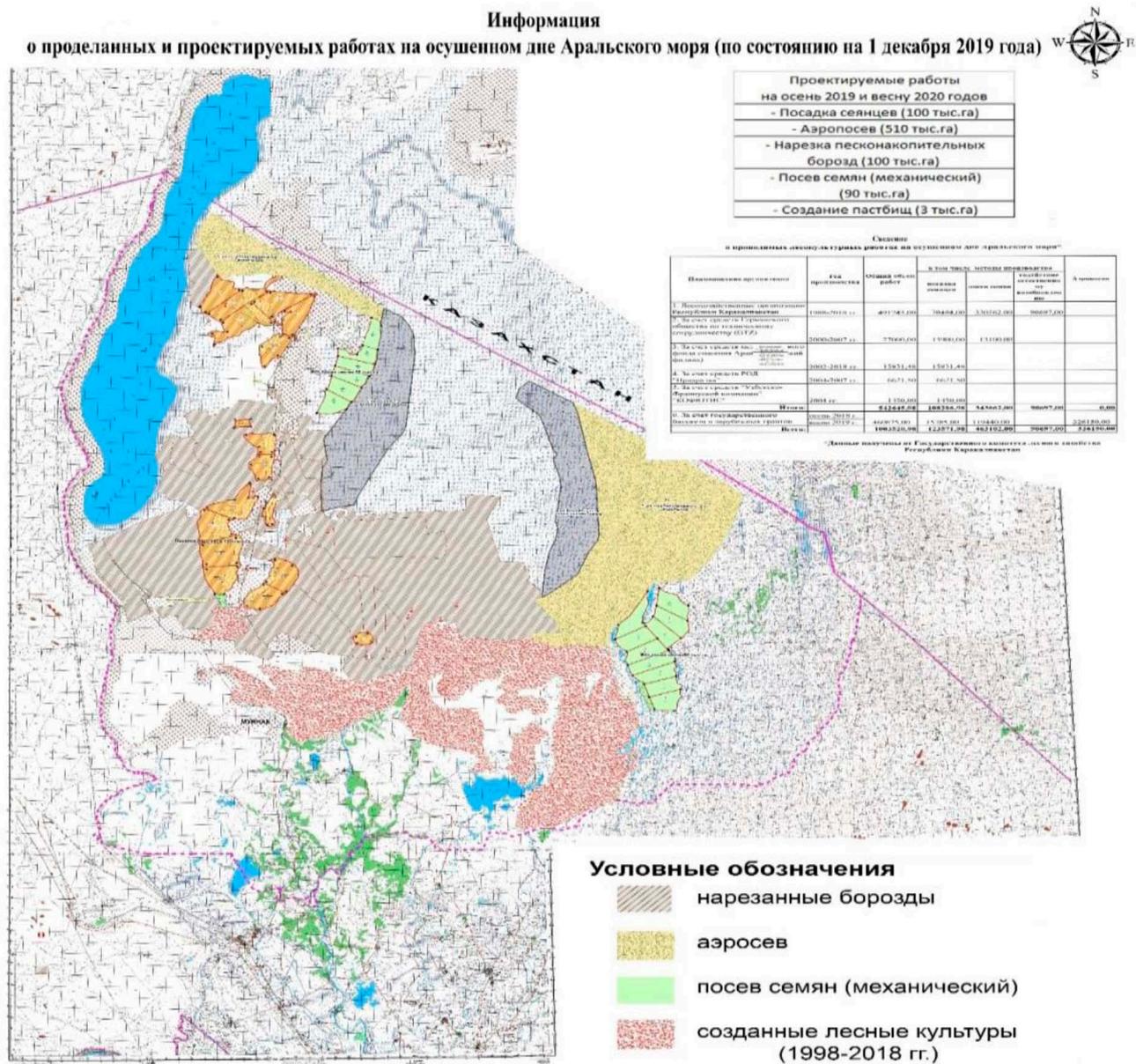


Рис. 14. Информация о проделанных и проектируемых работах на осушенном дне Аральского моря (по состоянию на 1 декабря 2019 года)

3.2. Лесорастительные условия Центральной Азии и роль лесопосадок в Приаралье

Прошедший 24 августа 2018 года в Туркменистане Саммит Глав государств-учредителей МФСА показал, что на фоне общего потепления политического климата в регионе, вопросы экологического здоровья общих рек Центральной Азии, и проблема Арала вновь поднялись на вершину приоритетов руководителей стран.

Это не просто понимание, что устойчивое развитие и улучшение жизни зависит от сохранения природных ресурсов. У стран региона появились определенные возможности для прогресса в восстановлении рек и экосистем, осуществляя их оздоровление на национальном и региональном уровнях.

В этом плане направляющей будущих действий предлагается инициатива Президента Узбекистана, озвученная на Саммите МФСА – объявить Приаралье зоной экологических инноваций и технологий. Это говорит о том, что мы в корне изменяем идеологию решения Аральской катастрофы: не просто привлекаем внимание к экологическому кризису с целью снижения негативных его последствий, а создаем механизм его устранения.

При этом предлагается рассматривать зону Аральского моря как единую водно-экологическую систему (с возможным подразделением на подзоны: Северное и Южное Приаралье). Это позволит консолидировать усилия стран бассейна Арала (включая Афганистан) для инновационного развития региона.

Эффективным методом борьбы с соле-пылепереносом, закрепления движущихся песков, локализации их отрицательного воздействия на окружающую среду, реабилитации экологической обстановки, создания в перспективе стабильной базы для отгонного пастбища, предложенных специалистами, ста-

ло создание защитных насаждений растений, способных произрастать в тяжелых почвенно-климатических условиях пустынь со скудными осадками.

Посадка пустынных растений, поглощая углекислый газ и выделяя кислород, хотя и в меньшей мере, чем хвойные и лиственные породы деревьев, является единственным мощным закрепителем на пути движения песков, создавая вокруг себя благоприятный микроклимат для развития животного и растительного мира в защитной зоне.

Впервые работы по обследованию территории осушенного дна Аральского моря в целях посадки лесных насаждений начались конце 1980-х годов институтом «Узгипролесхоз» и на основании разработанного данным институтом рабочим проектом начались выполняться лесомелиоративные работы. С самого начала до 2018 г. в узбекской части осушенного дна моря были выполнены лесовосстановительные работы и объёме более 500,0 тыс. гектаров. Последние годы Правительство Узбекистана уделяет большое внимание по закреплению движущих песков на осушенном дне Аральского моря. Это сказывается на резком увеличении объёмов работ по восстановлению лесных насаждений. В течение последних двух лет в зоне осушенного дна моря проведены лесовосстановительные работы на площади 1164,3 тыс. га.

Изменения, происходящие здесь, поражают своей динамичностью, что заставляет решать вопросы сохранения этой уникальной зоны, предотвратить ее возможное отрицательное влияние. Осушенное дно моря и Приаралье в настоящее время служат платформой применения инновационных методов преобразования природы. Кроме того, зона осушенного дна моря является уникальной лабораторией

для ученых, которые могут наблюдать и изучать процессы, обычно занимающие века.

Одной из задач комплексной экспедиции НИЦ МКВК в 2019-2020 годах, организованной при финансовой поддержке UNDP с участием инновационного центра Приаралья, является изучение почвенного покрова и состояние растительного мира осушенного дна моря, изменение некоторых экологических показателей за последние годы и динамика по сравнению с предыдущим периодом.

Основные территории обследованной площади в двух экспедиции относятся к государственному лесному фонду Муйнакского лесхоза и Казахдарьинского лесохозяйственного хозяйства. На обследованных территориях произведены в основном искусственные посадки и посевы лесных культур.

На лесорастительные условия оказывают влияние особенности подстилающих пород и мощность скоплений золотых песков. Близкое залегание водонепроницаемых плотных пород ограничивает рост древесной и кустарниковой растительности. В водопроницаемых рыхлых породах корневая система растений развивается лучше и продуктивность их выше, поэтому при построении классификаций нельзя ориентироваться только на характеристику почвенного покрова наносных песков.

Определяющие факторы лесорастительных условий – режим влажности верхних горизонтов песка, глубина залегания грунтовых вод и степень их засоления. Высокая скважность песков и их малая влагоемкость не способствуют накоплению в верхних горизонтах песков количества влаги достаточного для обеспечения посевов и посадок. Обильные атмосферные осадки просачиваются до капиллярного подпора и создают запасы влаги у уровня грунтовых вод.

В зоне пустынных территории выпадает 80-180 мм осадков в год, из них 50% приходится на холодный период года. Четкий максимум

осадков не проявляется. На высохшем дне Арала количество выпадаемых естественных осадков составляет не более 100 мм в год. Летом атмосферные осадки не наблюдаются. Здесь формируется промывной водный режим почвы. Средняя глубина промачивания песчаных почв 100 см, супесчаных 70 и суглинистых – менее 60 см. К весне в метровом слое супесчаной почвы накапливается 80 мм доступной влаги, а в песчаной – 60 мм. В июне метровый слой супесчаной почвы просыхает, однако в песчаных почвах сохраняется прослойка грунта с влажностью больше коэффициента завядания.

Основная приходная часть водного баланса под черносакульниками – осадки. В среднем за 3 года они составили 107,4 мм, конденсация – 25 мм, а гидрометеоры – 7,4 мм. Общий средний годовой приход влаги 139,8 мм. Эта влага расходуется на испарение (76,2 мм) и транспирацию (62,6 мм). Гравитационный сток влаги осадков через зону аэрации под черносакульниками отсутствует.

Таким образом, главная особенность водного режима барханных песков – промачивание осадками всей зоны аэрации, что обуславливает формирование промывного типа водного режима почвогрунтов и накопление влаги в грунтовых водах. В заросших бугристых песках и под высоко-полнотными сакульниками происходит полная изоляция атмосферных осадков от грунтовых вод, т. е. формируется непромывной тип водного режима с мощным непроницаемым горизонтом. Эта особенность определяет специфику работ по лесомелиорации песков пустынь.

На ассортимент пород оказывает влияние качество грунтовых вод. Так, при засоленных водах, даже при небольшой глубине уровня грунтовых вод (до 2 м), могут произрастать только солеустойчивые породы – тамариксы, сакуль черный, черкез, кандым и др. По качеству грунтовые воды делятся на 3 группы:

пресные с плотным остатком до 2 г/л; слабосоленоватые с плотным остатком до 3 г/л и соленые с плотным остатком более 3 г/л.

При оценке лесорастительных условий необходимо учитывать характер рельефа. Это связано с определением приемов агротехники и применением механизированной обработки посадок. Выделяются три типа барханных песков: мелкобарханные – высотой до 1 м; среднебарханные – 1-3 м и крупнобарханные – выше 3 м. Кроме того, для подвижных песков определяют (в зависимости от мощности песчаных скоплений, зарастания песков и ветрового режима района) скорость и тип их движения – поступательный, колебательный, колебательно-поступательный.

В различных климатических условиях приведенная типология песков будет иметь свои особенности.

В пределах климатического пояса по характеру лесорастительных условий выделяются несколько подтипов песков – внутри-

материковые, приморские и приоазисные пески. Методы закрепления и облесения подвижных песков на приморских равнинах и в пределах внутриматериковых пустынь имеют свои особенности. Приморские пески лучше увлажнены и поэтому характеризуются более благоприятными лесорастительными условиями. Засоление поверхностных горизонтов приморских песков обычно более высокое, но все же оно не является критическим для развития ряда солеустойчивых растений. Приоазисные и внутриоазисные пески имеют еще более благоприятные лесорастительные условия, что определяется близким залеганием опресненных грунтовых вод и периодическим увлажнением песков за счет сброса поливных вод за пределы оазисов. В таких условиях возможность облесения и закрепления подвижных песков значительно возрастает. Оазисные пески используют для выращивания не только лесных насаждений, но и (после небольших мелиораций) сельскохозяйственных культур.

4 Методы исследований

4.1. Цели и состав экспедиций. Организация работ.

Как указывалось выше, в результате осушки дна Аральского моря и проводимых работ по поддержанию экологического равновесия во вновь формируемой пустыне Аралкум, происходит постоянное изменение вновь формируемых ландшафтов, как в направлении стабилизации, так и развития процессов риска и опустынивания, как было показано нами в результате девяти экспедиций 2005-2011 годов. Несмотря на увеличивающиеся масштабы стабилизирующих работ, реальное улучшение экологических условий в значительной степени отстает от них вследствие разрушительного действия механизмов и транспорта различных команд и организаций, работающих, в основном, на поиске органического сырья в этой зоне, и его добычи.

Насущно необходимым стал мониторинг состояния осушенного дна моря, с тем, чтобы следить за природным и антропогенным вмешательством в естественное возрождение бывшего Аральского дна и Приаралья, не допустить его деградации и помочь природе в её самоулучшении или хотя бы выдвинуть на первый план охрану этого уникального субъекта от разрушения.

Уникальность процессов, происходящих на осушенном дне моря, в виде значительных площадей самозарастания и формирования на материнской породе дна почв

при параллельном развитии микробиологических процессов, было обнаружено и опубликовано. Результаты предшествующих экспедиций установили самозарастание путём распыла семян от проведенных посадок деревьев на площади более 200 тысяч га, почти равной всей площади искусственных лесных насаждений, зафиксированных на те даты. Более того – на всей этой территории происходили и продолжают ускоренно происходить по мере осушки процессы, которые в других эволюционных условиях требуют десятилетий или даже века, а здесь могут наблюдаться в годовом разрезе.

Исходя из этой значимости и учитывая отсутствие наблюдений на протяжении 8 лет, перед экспедицией были поставлены задачи и практического и научного плана:

- определение состояния и динамики площади территории осушки; ориентировочная с участием космических наблюдений классификация ландшафта на вновь осушенной площади,
- оценка состояния ландшафта, почв, гидрогеологических условий, фауны и флоры всей осушенной территории, состояние растительности, особо – искусственных лесопосадок;
- определение масштабов развития процессов опустынивания, изменения классов ланд-

шафта и зон риска по сравнению с состоянием предыдущего мониторинга 2005-2011 годов;

- выработка рекомендаций по улучшению экологического состояния и продуктивному использованию осушаемой и осваиваемой территории.

Исходя из необходимости, в первую очередь, оценить состояние территории, намеченную для лесопосадок и одновременно оценить прошлые результаты с позиции сохранения их, а также исходя из наличия средств только пока на две экспедиции из планируемых пяти, были определены объекты экспедиций. Исследованию подверглась территория осушенного дна моря от русла

Амударьи (дельты и аванделыты реки) до р. Кокдарья и протоки Тогузаркан, от отметки 53 м (уровень моря 1960 года) до нынешнего уреза воды Восточного моря (фактически возможного к нему приближения).

Первая экспедиция проведена в «Муйнакской зоне» на территории 600 тыс. га – от чинка Устюрта до русла Амударьи и от отметки 53 м до его настоящего уровня (рис. 15). Экспедиция была проведена с 20 сентября по 20 октября 2019 г.

Вторая экспедиция проведена в «Джылтырбаской зоне». Экспедиция проведена в период с 28 мая по 26 июня 2020 г. на территории 600 тыс. га.

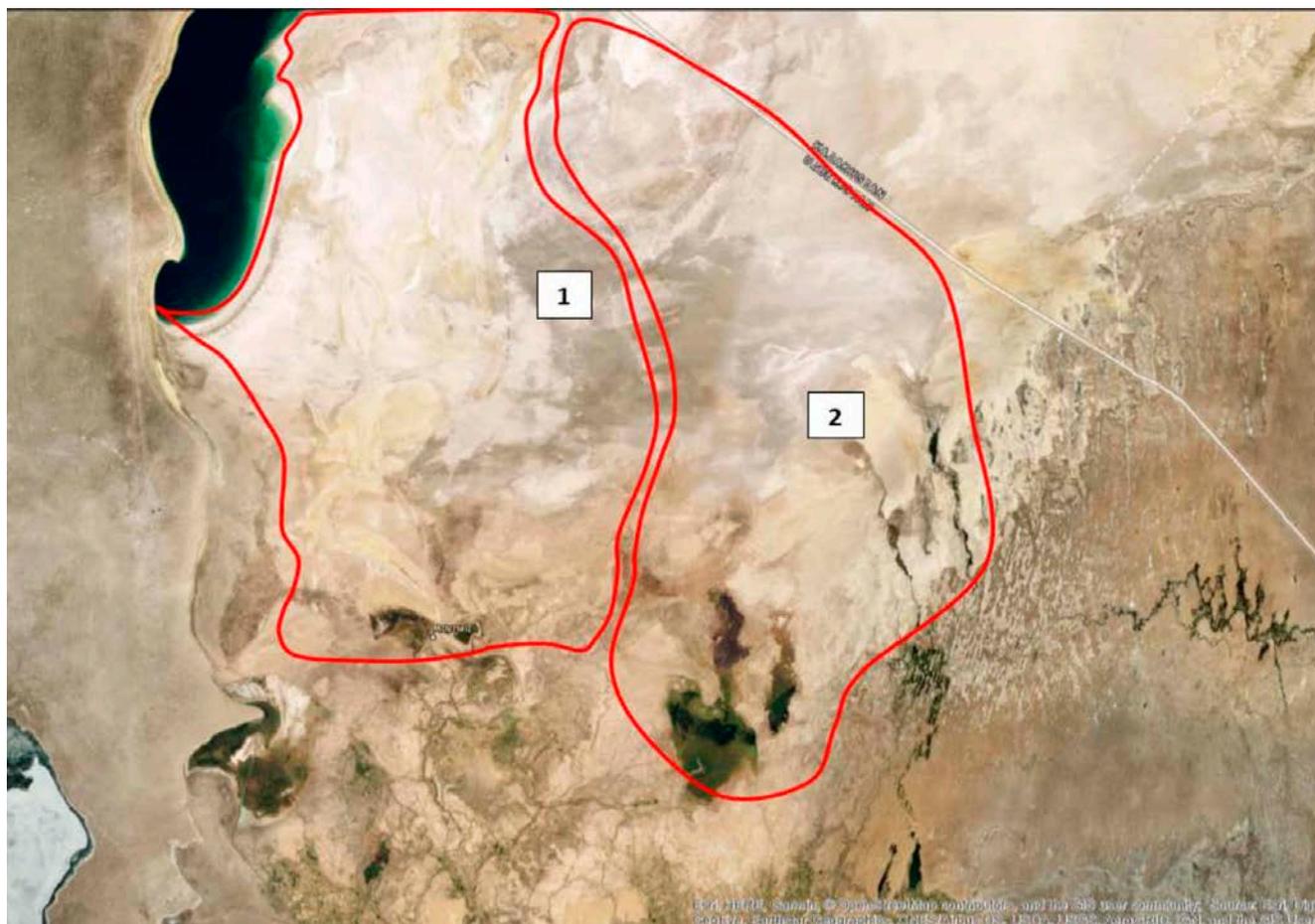


Рис. 15. Территория осушенного дна моря и маршруты первой и второй экспедиций

Экспедиции носили многопрофильный характер.

В состав экспедиции (рис. 16) были включены:

1. Руководитель экспедиции, почвовед – Стулина Г.В.
2. Специалист ГИС – Заитов Ш. (Кенжабаев Ш.)
3. Эколог – Эшчанов О.
4. Дендролог – Ганиев М.Ш.
5. Гидрогеолог – Есембаев Г.
6. Ботаник – Шеримбетов С.
7. Почвовед – Идирисов К.
8. Рабочий (ГИС) – Рузиев И.
9. Рабочий – Зуева Н.
10. Рабочий – Айджанов Ж.
11. Водитель – Степанов В.
12. Водитель – Зуев С.

Состав работ и методы исследования

Программа работ:

- Дистанционные исследования: определение классов поверхности по космическим снимкам.
- Гидрогеология: уровень и минерализация подземных вод.
- Почва: генетическое описание, текстура, гумус, карбонаты, гипс, засоление, солевой состав, тип почвы.
- Растительность: состав, условия естественной растительности и искусственных посадок, оценка их, оценка самозарастания.



Рис. 16. Члены экспедиции на осушенном дне Аральского моря

- Экология: устойчивость ландшафта, классы риска.

Транспорт

В продвижения по маршруту экспедиции были использованы 3 машины: джип Мицубиси Паджеро спорт; джип Ниссан Патруль; Урал-577 (рис. 17).

Маршруты экспедиции

Маршруты экспедиций (рис. 20, 21) были выбраны на основании неконтролируемой классификации космических снимков в приближении к маршрутам предыдущих экспедиций. Маршрут первой экспедиции составил 2500 км. Учитывая большую территорию обследования, было организовано 4 палаточных лагеря (рис. 18, 19). Пробег машин во второй экспедиции составил 2850 км. Было организовано 2 лагеря.

Результаты наземных экспедиций:

- проведено полное описание 2142 точек на местности для идентификации космических снимков

- выполнено ботаническое описание растительности, определены растительные формации;
- выполнено описание состояния естественной растительности и искусственных посадок, в том числе видовой состав, высота и проективное покрытие растительностью во всех ярусах;
- определены процессы самозараствания;
- заложено 56 почвенных разрезов, по которым выполнено морфологическое описание почвенного профиля и отобраны почвенные образцы по генетическим горизонтам;
- проведен мониторинг действующей гидрологической сети 4 кустов и 11 самоизливающихся скважин, проведены замеры УГВ и отбор воды на анализ;
- проведено описание экологического состояния территории и выполнена предварительная оценка экологического риска.



Рис. 17. Экспедиционные машины



Рис. 18. Лагерь экспедиции



Рис. 19. Обед в поле

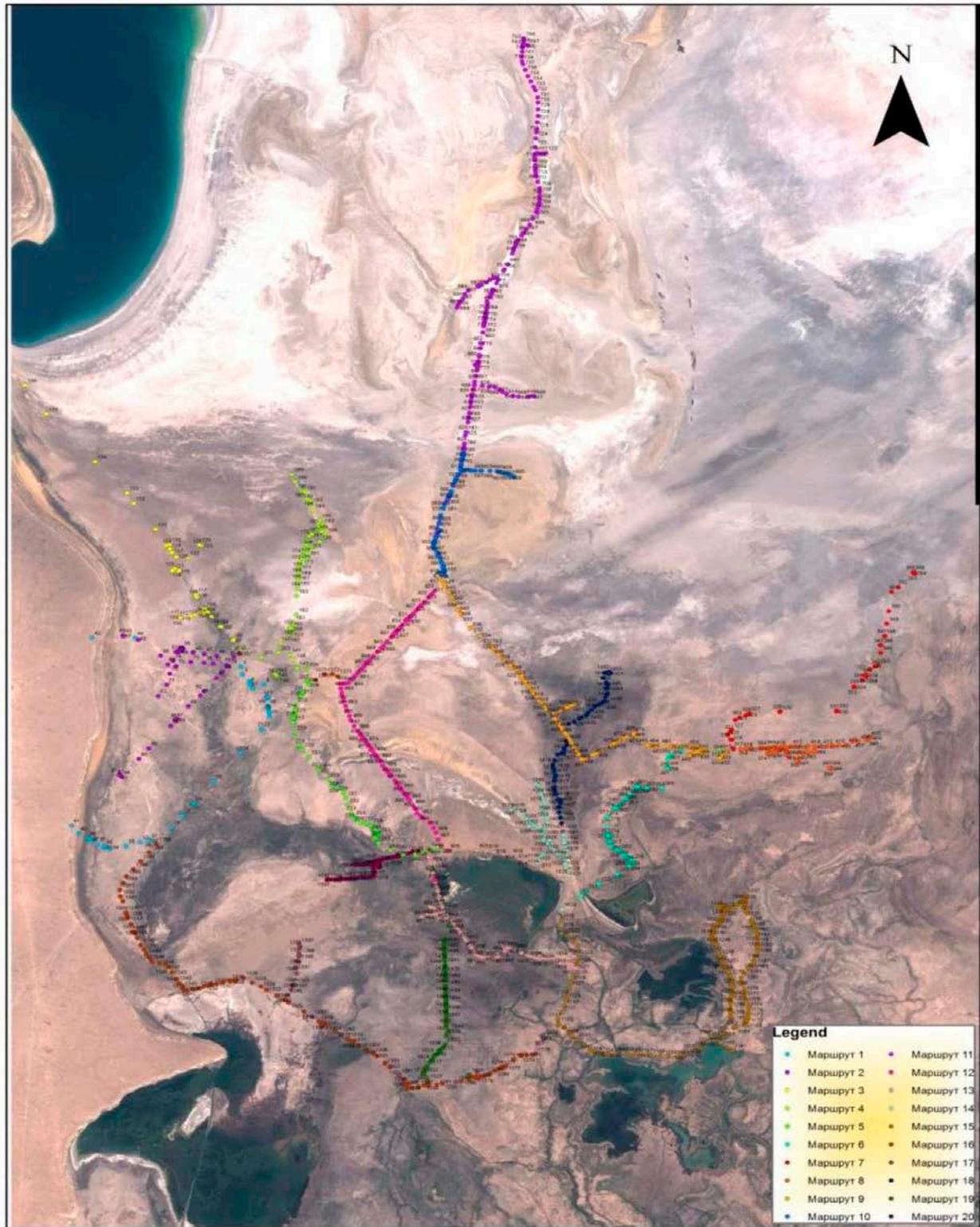


Рис. 20. Маршрут первой экспедиции

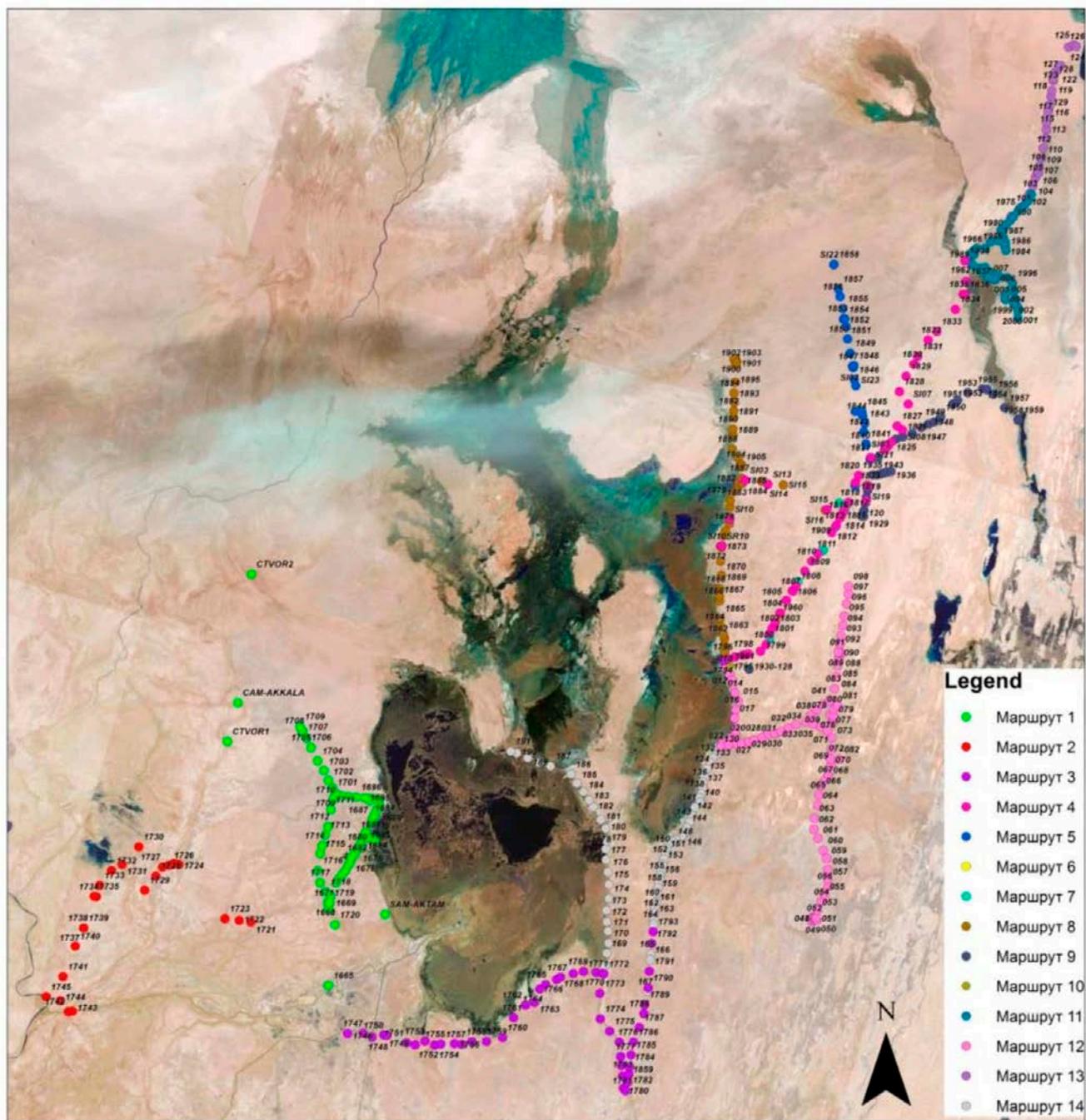


Рис. 21. Маршрут второй экспедиции

4.2. Методы полевых исследований

4.2.1. Методика почвенных исследований

Почвенные исследования состоят из:

1. полевого изучения почвенного покрытия по маршрутам экспедиций
2. лабораторных анализов отобранных образцов
3. анализа полученных данных, составления почвенных карт.

Полевое исследование включает в себя описание местности, выбор ключевых участков, закладку почвенных разрезов, морфологическое описание профиля почвы по генетическим горизонтам, отбор почвенных образцов. Описание почвы выполнено по стандартному образцу. Почвенные образцы передаются в лабораторию для определения химического и физического состояния почв, содержания солей по полному составу водной вытяжки, ее анионному и катионному составу, содержания органического вещества, содержания гипса и карбонатов, механического (гранулометрического) состава почв.

Почвенное исследование преследовало несколько целей:

1. Изучить почвенный покров обсохшего дна моря, построить почвенную карту по состоянию на 2020 год.
2. Проанализировать почвенный покров в связи с анализом вегетативного покрытия, выделить зоны возможных посадок растительности.
3. Сравнить с почвенными картами 1990 и 2006 гг. Определить изменения и оценить тренды

Каждый ключевой участок имеет географические координаты, информация по

нему включена в сводную таблицу полевых наблюдений.

4.2.2. Методика изучения растительного покрова

Характеристика естественного растительного покрова на фоне происходящих изменений дается в геоботаническом описании территории с учётом особенностей растительности и почвенно-грунтовых условий, определяющих площади, подверженных засолению и опустыниванию и прогнозирование их очагов.

Описание растительного покрова начинается с предварительного осмотра исследуемого района для общей ориентировки на местности, а также установления экологических связей растительных сообществ с местными условиями: рельефом, почвами, особенностями увлажнения, засоления почв и т.д. После тщательного осмотра выбирается наиболее типичный участок фитоценоза с определенной представительностью, однородным флористическим составом и условиями места обитания.

Значительное место отводится фитомелиоративному обследованию суши и, в частности, созданных на ней посадок и посевов саксаула, а также кустарников и полукустарников для создания пастбищ. На основе маршрутов объезда и осмотра местности, состояния саксаула и других видов растительности выбираются несколько участков для геоботанического описания почвенных разрезов.

Геоботаническое описание делается одновременно на трёх участках в трёх повторностях

- а) самая хорошая приживаемость;
- б) средняя приживаемость;
- в) плохая приживаемость.

4.2.3. Методика гидрогеологических исследований

Виды, объемы, последовательность и методика проведения входящих в состав гидрогеологической съемки исследований должны обосновываться и выполняться с учетом геолого-гидрогеологических условий изучаемого района и успешного решения основных и дополнительно поставленных перед съемкой задач (Климентов П.П. и др. Методика гидрогеологических исследований, Высшая школа, Москва 1978, 408 с). Они включают сбор ранее приводимых геологических, геоморфологических, гидрологических, гидрогеологических, наблюдений. Различного рода наземные визуальные наблюдения проводятся в процессе маршрутных исследований картируемой территории, являющихся одним из основных неотъемлемых видов работ при гидрогеологической съемке. Получаемый в результате маршрутных исследований материал является важным для изучения и оценки верхних водоносных горизонтов (вскрываемых эрозионной сетью, шахтными колодцами и неглубокими скважинами) и составления соответствующей гидрогеологической карты. По принятому маршруту на отдельных участках проводить при необходимости бурение шурфов для определения уровня и минерализации грунтовых вод.

4.2.4. Методика экологического обследования

Основным методом является изучение ландшафтов осушенного дна, прямое наблюдение, оценка состояния, описание выбранных полевых маршрутов (автомобильных и визуальных), а также описание рельефа местности в точках, почвенного покрытия. Маршруты экспедиции обозначены створами или отдельными отрезками общего пути, для описания характерных образцов. Описательные методы

являются одними из основных в экологическом мониторинге. Прямое, непосредственное наблюдение за изучаемыми объектами, фиксирование динамики их состояния во времени и оценка регистрируемых изменений позволяют прогнозировать возможные процессы в природной среде.

Описательные методы применяются при регистрации основных особенностей изучаемых объектов; картировании экологических явлений; инвентаризации ценных природных объектов. Эти методы являются ключевыми в экологическом мониторинге.

Очень важно в экологических исследованиях обозначить факторы, определяющие экологический статус среды. Для Аральского моря важным фактором является направленность процессов: объем осушки, интенсивность осушки, смена видового состава, состояние растительности, перенос солей, опесочивание поверхности, изменение биогеоценоза и другие.

Следующий шаг экологического мониторинга – экологическое районирование территории.

Цель его – систематизация данных об экологических условиях территорий, оценка их сложности и неоднородности. В последнее время все чаще специалисты-экологи используют в своей деятельности экологическое районирование, поскольку оно имеет не только научное, но и важное практическое значение. В целом исследования можно назвать «мониторинг экологического ландшафта»

Выделяя позитивные и негативные изменения в результате мониторинга осушенного дна моря можно выделить зоны различной степени экологического риска.

Постоянный мониторинг позволяет изучить изменения, происходящие в экосистеме. Важное значение для проведения мониторинга имеют автоматические и дистанционные устройства.



5

ГИС и дистанционные измерения, как основа подготовки полевых исследований

5.1. Методы

В сфере экологических исследований интеграция дистанционных измерений с наземными замераами вызывает все больший интерес. В этом плане, географическая информационная система (ГИС) и дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса относятся к наиболее успешно и динамично развивающимся инновационным направлениям. Понимание важности проблемы внедрения ДЗЗ было подтверждено Распоряжением Президента Республики Узбекистан №Р-5209 от 12.02.2018 «О мерах по развитию космических исследований и технологий в Республике Узбекистан». В этом разделе книги описывается подготовка к полевым исследованиям с применением данных ДЗЗ и ГИС технологий. А также, описана стандартная инструкция проведения наземных замеров для тестирования классов ландшафта на осушенном дне Аральского море с применением GPS-навигатора, фотографирования и внесения информации в полевую форму.

ГИС представляет собой пакет программного обеспечения, предназначенный для создания, визуализации, поиска и анали-

за пространственных данных (Lo & Yeung, 2004). Пространственные данные относятся к информации о географическом положении объекта. Зачастую это предполагает использование географических координат, таких как широта и долгота, определяемое навигатором GPS (*global positioning system*). Наиболее популярная географическая система координат – WGS 84, практикуется в Республике Узбекистан с 2018 г.¹ Под ДЗЗ (*remote sensing*) понимается наблюдение и измерение энергетических и поляризационных характеристик излучения объектов в различных диапазонах электромагнитного (ЭМ) спектра с целью определения местоположения, вида, свойств и временной изменчивости объектов окружающей среды без непосредственного контакта с ними (Campbell, 1996; Jensen, 2004).

Данные по одной и той же исследуемой территории (результаты наземных экологических маршрутных обследований, измерения водно-физических свойств почв, статистические данные, картографические материалы, материалы аэрокосмических съёмок и др.), но полученные из различных источников, пред-

¹ Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан № 1022 от 26 декабря 2017 г. «О применении и открытом использовании на территории Республики Узбекистан международных геодезических систем координат»

ставляют значительный объём разнородной информации, и, в большой степени, имеют разные масштабы. В связи со сложностями обработки, анализа и хранения информации, в геоэкологической оценке используемых территорий повышается роль картографических баз данных, создаваемых на базе ГИС-технологий. Это дает возможность создать единую электронную базу пространственных и атрибутивных данных, увеличить селективность, эффективность обработки, анализа информации, а также, позволяет оперативно получать содержательные картографические документы, как в электронном виде, так и на бумажном носителе.

Учитывая вышеизложенные, все геопространственные данные (включая данные из космических снимков) преобразовывались в системе координат WGS 84. Основным методическим инструментарием для анализа гео-экологической ситуации исследуемой территории использованы следующие методики:

- методы оценки состояния почвенно-растительного покрова по данным оптических систем дистанционного аэрокосмического зондирования (Козодеров и Кондранин, 2008);
- методика мониторинга, моделирование и оценки экосистемы (Lopez & Frohn, 2017);

- предыдущие исследования авторов (НИЦ МКВК, 2008).

Очевидно, что каждая экспедиция по сбору полевых замеров на месте должна быть тщательно спланирована и оптимизирована. Они часто связаны с охватом больших и отдаленных районов, а для этого необходимы логистика и инфраструктура. При проведении полевых исследований необходимо стараться минимизировать усилия и затраты по определению тестовых участков / выборочных мест. Для определения тестовых участков исследования, имеющиеся данные проанализированы, проведена первичная обработка данных ДЗЗ (включая неконтролируемую классификацию) и на основе этих материалов определены маршруты экспедиции, а также составлена полевая форма для описания местности с фиксированием GPS-координат точек полевых наблюдений. GPS фиксирование наземных замеров и полевых наблюдений дает возможность детально анализировать гео-пространственные данные. Данные – в виде матриц по точкам мониторинга – применяются для дешифровки, калибровки, проверки и подтверждения результатов картирования с данных ДЗЗ. Ниже представлены этапы подготовки к полевым исследованиям.

5.2. Подготовка к полевым исследованиям

Этап 1. Определение легенды картирования ландшафтов.

Легенда отражает семантическое «обобщение/генерализация» определенной географической области. Реальный мир можно считать «континуумом» с огромной гранулярностью различной информации. Следовательно, процесс категоризации – это процесс минимизации этой сложности. Важно,

чтобы «производитель карт» обеспечил минимальные требования для правильного использования легенды:

- Четкое и однозначное определение класса;
- Нет классовой семантической нечеткости. Классовая (семантическая) граница не перекрывается с другими классами легенды.

В этом исследовании использовалась уже определенная легенда, содержащая 17 классов из предыдущего исследования 2006 года (табл. 8).

Важно уточнить, что в современных картах вместо «масштаба» следует учитывать «Минимальную единицу картирования» (МЕК). МЕК определяет «наименьшую поверхность

Таблица 8

Класс-легенда карты земного покрова от 2006 года, содержащая 17 специализированных классов (НИЦ МКВК, 2008)

№№	Класс
1	ВОДА
1.1.	Водная поверхность
1.2.	Мелководья, иногда с тростником
2	СОЛОНЧАКИ
2.1.	Маршевые без растительности или с сообществами солероса
2.2.	Мокрые-приморские с ракушкой, иногда с единичными экземплярами солероса и сарсазана
2.3.	Корково-пухлые и корковые без растительности, иногда с единичными экземплярами кустарников (карабарак, гребенщик)
2.4.	Солончаки с навеечным песчаным чехлом с разреженными сообществами лебеды и селина
2.5.	Соровые солончаки замкнутых понижений без растительности, иногда в обрамлении сарсазанников
3	ПЕСКИ
3.1.	Равнинные (с ракушей) без растительности или с разреженными кустарниками (саксаул, гребенщик)
3.2.	Дюнные без растительности
3.3.	Мелко-бугристые (слабо закрепленные) с разреженными сообществами полыни, кустарников и посевами селена.
3.4.	Бугристые и бугристо-грядовые без растительности и слабо закрепленные.
3.5.	Бугристые, бугристо-грядовые закрепленные с эфемерово-полынно-кустарниковыми сообществами.
4	РАВНИНЫ ДЕЛЬТОВЫЕ И АККУМУЛЯТИВНЫЕ
4.1.	Луга на аллювиальных равнинах (тростниковые, разнотравно- злаковые) на аллювиально-луговых, болотно-луговых и лугово-болотных почвах
4.2.	Опустынивающиеся гидроморфные злаково-галофитноразнотравные с кустарниками
4.3.	Кустарниковые заросли (галофитные: тамарикс, карабарак.
4.4.	Опустынивающиеся кустарниковые.
4.5.	Кустарниково-саксауловые (пустынные леса/искусственные насаждения).

земли, представленную на карте, т.е. репрезентативность». Следовательно, МЕК является не только гораздо более точным параметром для представления картографических границ карты, но и влияет на ее тематические детали.

В этом исследовании при определении МЕК необходимо учитывать пространственное разрешение спутниковых изображений (в нашем случае – LandSat с разрешением 30 * 30 м). Таким образом, рекомендуется посещать только участки с однородным земным покровом как минимум на 1 гектаре (или в радиусе 100 м), который определяется как МЕК.

Этап 2. Определение объема полевых замеров по классам легенды.

Единица образцов – это единица площади, которая наблюдается в поле. Это может быть контур полей или земли (в смысле полигона), искусственно определенный сегмент (в виде квадратов, прямоугольников или из предварительной обработки изображения, такой как eCognition или т.п.), разрезы, точки или другие.

Единица выборки полевых замеров по выбранным классам является эталонной единицей, для того, чтобы связать пространственное местоположение на земле с соответствующим местоположением на карте. Форма и размер единицы выборки должны быть определены таким образом, чтобы наблюдения в поле можно было пространственно связать и сравнить с наземным разрешением соответствующей пространственной единицы на карте земного покрова, которые являются либо классифицированными пикселями, либо полигонами.

Опция для выборки полигонов состоит в том, чтобы автоматически генерировать точки наблюдения или области внутри выбранных полигонов. Координаты точек используются для распределения участков наблюдения внутри выделенных полигонов класса. Эту технику можно адаптировать в соответствии

с размером полигона или классом земного покрова, например, назначая более чем один участок наблюдения на больших полигонах. Единица выборки по-прежнему является полигоном, но использование нескольких репрезентативных участков наблюдения позволяет наблюдать полигоны, которые слишком велики, чтобы их можно было наблюдать в одной точке наблюдения.

Для того чтобы получить общее представление, применен метод неконтролируемой классификации изображений k-средних (k-means) с целью определения границ спектрально-однородных регионов/контуров, представляющих однородные типы ландшафтов в 2019 году. Более детальное описание метода неконтролируемой классификации дано в разделе 5.5. Затем, извлеченным полигонам присваивается один из 17 классов земного покрова (табл. 8). Эти полигоны являются целевыми единицами выборки полевых замеров. В пределах каждой целевой единицы выборки одно или несколько мест будут посещаться во время полевой кампании (когда полигоны огромны, может быть несколько точек, где должны собираться данные GPS).

Этап 3. Дизайн выборки замеров.

Схема выборки описывает протокол, по которому отбираются единицы выборки для полевого наблюдения. Целью схемы выборки является определение правильного и прозрачного процесса выбора, который создает репрезентативную выборку карты и эффективно распределяет доступные ресурсы. Существует два различных типа схем выборки: вероятностная выборка и невероятностная выборка. Примеры невероятностной выборки обычно используются для сбора обучающих данных при классификации карт. Примером может служить «обследование местности вдоль дороги», когда исследователь наблюдает «подходящие» образцы земного покрова и их положение вдоль дороги.

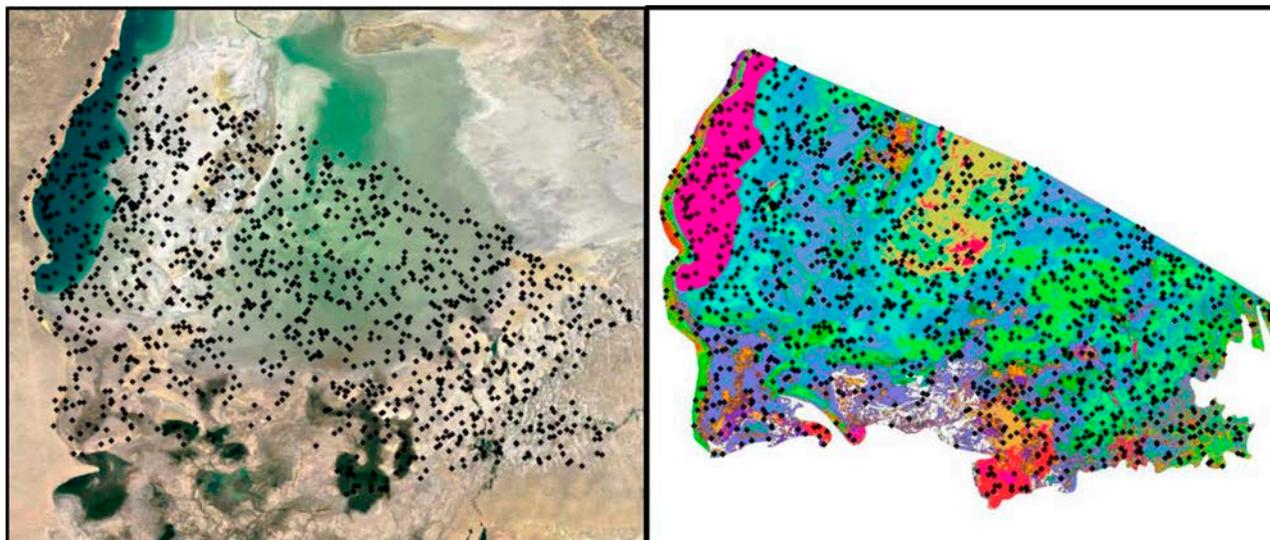


Рис. 22. Карта примера выбранных образцов (левая: Google Maps в качестве фона; правая: неконтролируемая классификация в качестве фона)

Здесь предварительно выбраны количество замеров после вероятностной выборки на основе карту неконтролируемой классификации с тем, чтобы сначала стратифицировать область исследования для лучшего контроля количества замеров на каждый класс карты и обеспечивать, чтобы все классы были хорошо представлены для анализа. Количество образцов, которые выбраны из каждого страта, может быть одинаковым для каждого страта или основано на различных критериях, например, пропорционально количеству образцов на страты или площади. Мы отобрали образцы, пропорциональные площади страты (рис. 22).

Этап 4. Выбор количества образцов.

Один из важнейших вопросов при планировании полевых замеров – определить, сколько образцов необходимо в общей сложности и сколько образцов выделить для каждого слоя (класса карты), чтобы получить удовлетворительную оценку точности карты? В целом, чем больше образцов собрано, тем выше достоверность оценочного результата точности карты, но при определенном числе выборок уровень надежности, который полу-

чают дополнительные образцы, пренебрежимо мал. Тем более, полевые исследования являются дорогостоящими, поэтому желательно найти оптимальное количество собираемых образцов в качестве компромисса между требуемым уровнем надежности и доступными ресурсами для наземного замера.

Часто число измеряемых образцов, предлагаемых для проверки (сравнения), получают на основе нестатистических анализов, эмпирически или просто на опытах экспертов. Например, подход, предложенный Congalton (1991), определяет количество образцов на класс карты или страты в соответствии с количеством классов и размером тестового участка. Это «практическое правило» должно дать ориентир для оценки соответствующего количества всех необходимых образцов (табл. 9).

Следуя этому подходу, нами было планировано взять минимум 1275 образцов, так как общая территория исследуемого объекта меньше 4000 км² (около 2,2 млн.га), а количество исследуемых неконтролируемых классов земельного покрова – 17 классов (т.е., $17 \times 75 = 1275$ образцов).

Предварительные количества образцов по объему классов карты или площадь объекта

Классы карты земельного покрова и площадь полигона	Необходимое количество образцов
< 12 классов или < 4000 км ²	50
> 12 классов или > 4000 км ²	75-100

Этап 5. Инструкция обследования.

Руководящий принцип по проведению обследования определяет, какие данные собираются в полевых условиях и как эти данные должны быть собраны надлежащим образом. Полевые замеры или сбор контрольных данных является фундаментальным этапом подтверждения точности результатов любой модели. Оценка точности предполагает, что

собранные данные на месте являются точными (отражают реальность исследуемой местности), а также представительной/репрезентативной, но на основе независимой выборкой образцов земельного покрытия.

Предполагается, что экспедиции в 2019-2020 гг. в максимально возможной степени следуют предыдущим и известным маршрутам с хорошей доступностью, т.е. так же, как в экспедиции 2006, 2007 и 2009 гг. (рис. 23). Признано,

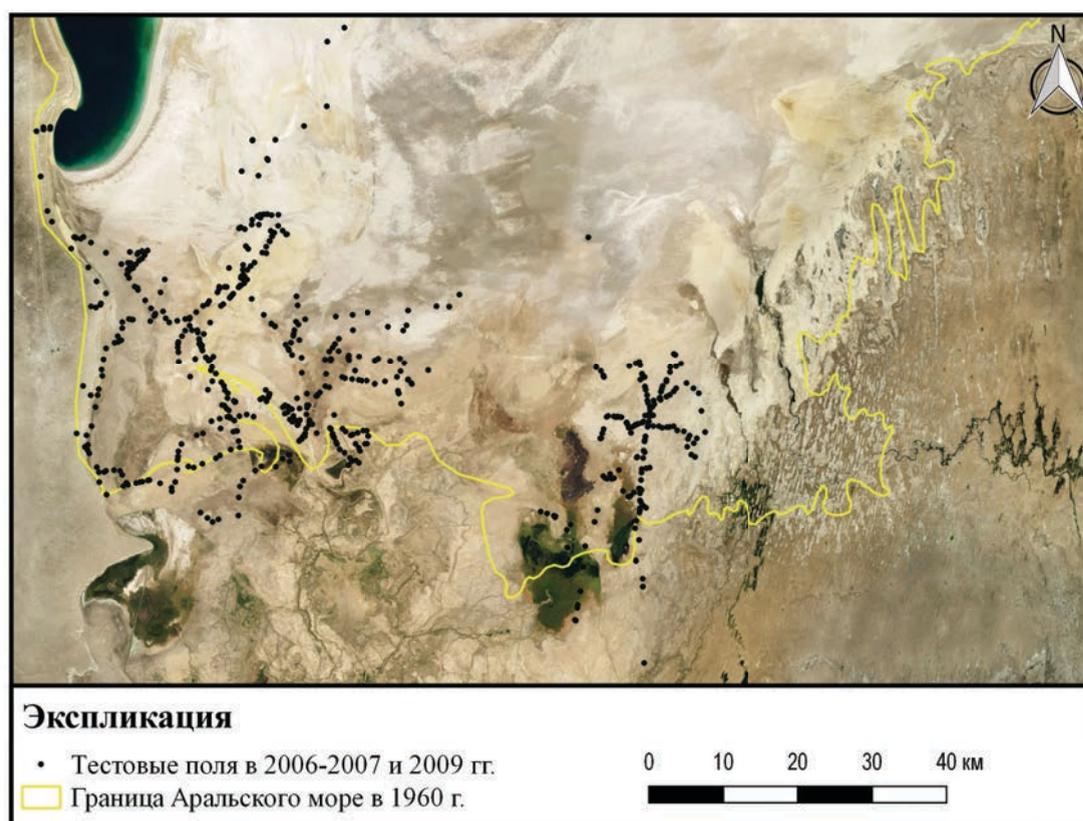


Рис. 23. Расположение полевых точек предыдущих маршрутов из экспедиции осушенного дна Аральского моря в 2006, 2007 и 2009 гг. на фоне Google Maps

Форма внесения визуальных данных обследования

Полевая форма для картирования земельного покрытия/пользования в ККР, 2019-2020 гг.

ID участка:	Дата:	Выполнил (ФИО):
	Время:	

GPS:	Ф/аппар.:
Etrex Vista H.	EOS D20
Etrex	Др.

Облачность:	Сокр.: 0/1/2/3: нет
Местность:	Сокр.: п/сх/х: плоская / слегка холмистая / холмистая
Почва/Литология:	Сокр.: ис/к/х: несвязная / корка / холмистая

ID Точек:	№ Фото.:	Направление:

Точка полигона (WP):	
Начало WP#:	Конец WP#:
Начало WP#:	Конец WP#:

Заполнить если первая фаза не «голая почва»

Натуральная наземная растительность:

	Форма: (Д/К/Н)	Покрывтие: (З/О/Р)	Высота: (см)	Пространственное распротр.: (НП/КС)	Форма листьев: (ШЛ/ИЛ/БЛ)	Основной вид растительности:
Основной слой:						
Второй слой:						
Третий слой:						

Сокр.: Д/К/Т: дерево/куст/травяной; З/О/Р: закрытое/открытое/редкое; НП/КС: непрерывная/кусок; ШЛ/ИЛ/БЛ: широколист / игольчатый / безлиственный

Натуральная водная растительность:

	Форма: (Д/К/Н)	Покрывтие: (З/О/Р)	Высота: (см)	Сезонность воды (>4/2-4/3Т)	Форма листьев: (ШЛ/ИЛ/БЛ)	Основной вид растительности:
Основной слой:						
Второй слой:						
Третий слой:						

Сокр.: Д/К/Т: дерево/куст/травяной; З/О/Р: закрытое/открытое/редкое; >4/2-4/3Т: >4 месяц затопляется/2-4 мес. затоп./затопленный; ШЛ/ИЛ/БЛ: широколист / игольчатый / безлиственный

Возделанная и управляемая земля:

Наземная / Водяная:	Вода: (Р/DV/WL)	Форма: (Д/К/Н)	Форма листьев: (ШЛ/ИЛ/БЛ)	Травянистый: (Да/Нет)	Тип культуры: (П/НП)	Название культуры:

Сокр.: УВП/СВВВ/ЗБ: устойчивая во время вегет. периода/суточная вариация во время вегет./заболоченная; Д/К/Т: дерево/куст/травяной; ШЛ/ИЛ/БЛ: широколист / игольчатый / безлиственный; П/НП: продовольственная культура/ не продовольственная культура

Натуральная наземная без растительности:

Голая почва:	Пухлая / подвижные пески: (Б/П)	Структура (П/И/Г)	Соли: (К/Н/Н)	Тип корки: (С/И)	Редкая вегетация: (Д/Т)	Порода:
Непривязанная						
Затвердевшая	XXX					

Сокр.: Б/П: барханы / плоский; П/И/Г: песок/ил/глина; К/А/Н: корка/накопление/нет; С/И: соль / ил; Д/Т: древесный/травяной

Натуральная водная без растительности:

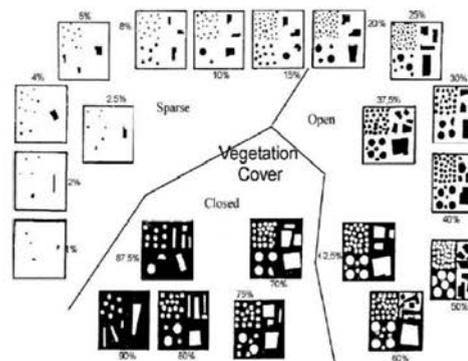
Физическое состояние: (Т/С)	Продолжительность (М/НМ)	Приливная площадь: (По/Пе)	Глубина: (Г/НГ)	Sediment load:

Abbг.: Т/С: течет/стоящий; М/НМ: многолетний/не многолетний; По/Пе: почва/пески; Г/НГ: глубокая/не глубокая

Искусственно без растительности:

Стройки:	Без строительства:

Саранча:	Да	Нет
Имеется		
Кладка яиц:		
примечание:		



что не каждая из предварительно выбранных точек выборки может быть достигнута. Вода (подтопленные участки), точки, расположенные близко к береговой линии, где почвы, вероятно, мокрые и не доступные для вождения транспортного средства, а также песчаные барханы, дюны и густая растительность вдоль дороги будут опущены. Кроме того, если точка расположена в середине полигона или близко к границе между двумя полигонами класса, возможно, придется скорректировать маршрут.

Этап 6. Проведение полевых работ.

Выполнение полевых работ по определению GPS координат типичных ландшафтов местности:

- Ежедневная подготовка и планирование маршрута с использованием подготовленных карт предыдущих экспедиций (рис. 24);
- Отметка GPS координат точек с визуальным обследованием растительного покрова, почвенных особенностей и описанием ландшафта в радиусе в пределах 50-100 м:
 - цифровые фотографии (не менее четырех в каждом направлении: север, восток, юг, запад);
 - ввод данных из GPS навигатора и фотографии в компьютер и резервное копирование после каждой поездки (маршрута);
 - ежедневное сопоставление собранных GPS точек по каждому из 17 классов, подготовленное методом неконтролируемой классификации.
- Ежедневное внесение визуальных наблюдений в полевую форму (табл. 10).

5.3. Маршруты экспедиций

Маршруты для проведения экспедиции определены с учетом изучения изменения эко-ландшафта исследуемой территории по тем маршрутам, которые проводились в 2006-

2007 и 2009 гг. В целом, в течение 2019-2020 гг. организованы 33 маршрута, посещены 2142 участка/точки (табл. 11, рис. 24.).

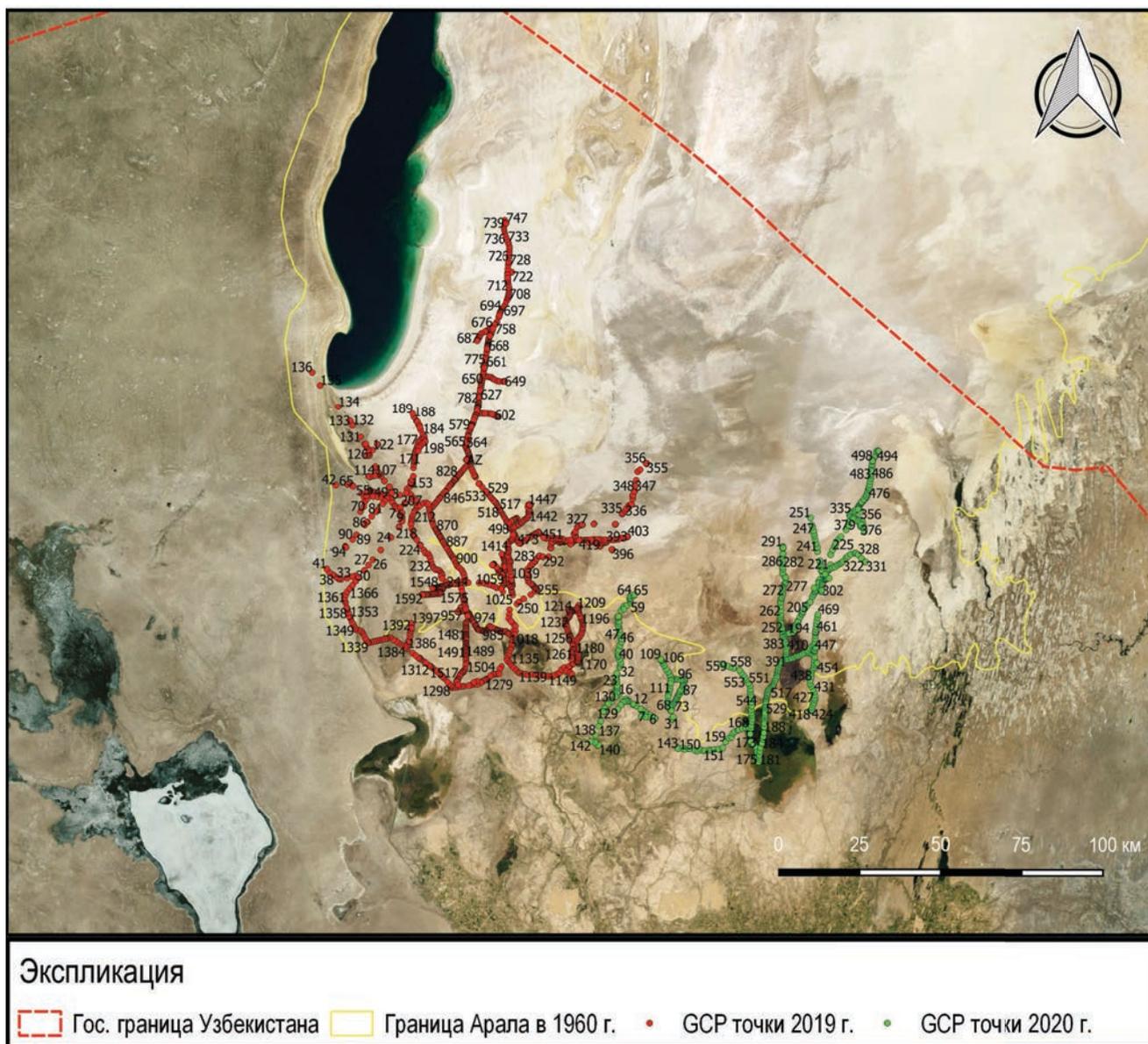


Рис. 24. Маршруты поездки количество посещенных участков/точек о время двух экспедиций 2019-2020 гг. на фоне Google Maps

Маршруты и количество точек двух экспедиций в 2019-2020 гг.

№	Название маршрута	Количество точек (нумерация)
1 экспедиция, 2019 г.		
1	Маршрут №1: от Лагеря №1 в сторону Польшер Аджибай-1 и обратно по кругу. Направление от лагеря: Юг и юго-запад	44 (Т.1-44)
2	Маршрут №2: от Лагеря №1 в по дороге к Чинку. Направление от лагеря: Юго-запад и запад	51 (Т.45-94)
3	Маршрут №3: от Лагеря №1 до береговой линии Западного моря. Направление от лагеря: Север и северо-запад	42 (Т.95-136)
4	Маршрут №4: от Лагеря №1 в сторону Судочье-Аджибайскому гидро-геологическому створу. Направление от лагеря: Север	67 (Т.137-203)
5	Маршрут №5: от Лагеря №1 в сторону Междуреченского водохранилища (через "Тигровый хвост"). Направление от лагеря: Юг	46 (Т.204-249)
6	Маршрут №6: от Лагеря №2 в сторону Польшер Аджибай-2 (через между Муйнакское вдхр. и Рыбачье до старого русла Инженерузяк). Направление от лагеря: Север и северо-восток	66 (Т.250-315)
7	Маршрут №7: от Лагеря №2 в сторону осушенного дно Восточного моря (вдоль русла Амударьи). Направление от лагеря: Север и северо-восток	41 (Т.316-356)
8	Маршрут №8: от Лагеря №2 в сторону Польшер Жылтырбас-1 (вдоль береговой линии (Бердыбек)). Направление от лагеря: Восток	63 (Т.357-419)
9	Маршрут №9: от Лагеря №2 в сторону нулевой отметки. Направление от лагеря: Север и северо-запад	124 (Т.420-550)
10	Маршрут №10: от Лагеря №3 в сторону острова «Возрождения». Направление от лагеря: Север	270 (Т.551-819)
11	Маршрут №11: от Лагеря №4 (от "Нулёвки") до северо-западной части Муйнакского вдхр. Направление от лагеря: Юг	92 (Т.820-911)
12	Маршрут №12: от Лагеря №4 до посёлка «Арал» и далее экспериментальный участок международного инновационного центра Приаралье и вокруг Муйнакского вдхр. Направление от лагеря: Юг, юго-восток	112 (Т.912-1023)
13	Маршрут №13: от Лагеря №4 вдоль береговой линии (через "Тигровый хвост"). Направление от лагеря: Север	94 (Т.1024-1117)
14	Маршрут №14: от Лагеря №4 до русло Амударьи (через Парлантау). Направление от лагеря: Север-юг и юг-север (круг)	152 (Т.1118-1269)

№	Название маршрута	Количество точек (нумерация)
15	Маршрут № 15: от Лагеря № 4 до северной части оз. Судочье (вдоль дамбы). Направление от лагеря: Запад и север	104 (Т.1270-1373)
16	Маршрут № 16: от Лагеря № 4 в сторону нестабильной экологической зоны – песчаные барханы через оз. Судочье. Направление от лагеря: Запад и север	24 (Т.1374-1400)
17	Маршрут № 17: от Лагеря № 4 в сторону в сторону «нефтяной буровой». Направление от лагеря: Север	53 (Т.1401-14 53)
18	Маршрут № 18: от Лагеря № 4 до Кызылджар, канала Тек Узек. Направление от лагеря: Юг	72 (Т.1454-1525)
19	Маршрут № 19: от Лагеря № 4 в сторону северо-востока оз. Судочье. Направление от лагеря: Юг и юго-запад	72 (Т.1454-1525)
2 экспедиция, 2020 г.		
1	Маршрут № 1: от Лагеря № 1 до Аккалы (вдоль канала Варашилова до берега нового русла Амударьи (проток Урдабай)). Направление от лагеря: Запад-северо-запад-север	69 (Т.1-69)
2	Маршрут № 2: от Лагеря № 1 до Аккуль. Направление от лагеря: Север	55 (Т.70-120)
3	Маршрут № 3: от Лагеря № 1 до дамбы Казахдарьи (проток Амударьи)). Направление от лагеря: Запад-юго-запад	22 (Т.121-142)
4	Маршрут № 4 (переезд): от лагеря № 1 до лагеря № 2 (центральный лагерь лесхоза). Направление от лагеря: Юг-юго-восток-север	49 (Т.143-191)
5	Маршрут № 5 от лагеря № 2 до временного моста Кукдарьи. Направление от лагеря: Север-северо-восток	43 (Т.192-233)
6	Маршрут № 6 от лагеря № 2 до почвенного разреза № 22 от 2005 г. Направление от лагеря: Северо-восток-север	18 (Т.234-251)
7	Маршрут № 7 от лагеря № 2 до почвенного разреза № 21 от 2005 г. (вдоль границы барханов высотой 6-8 м). Направление от лагеря: Север	42 (Т.252-293)
8	Маршрут № 8 от лагеря № 2 до Северного лагеря лесхоза	4 (Т.294-297)
9	Маршрут № 9 от лагеря № 2 до Правого берега Кокдарьи	36 (Т.298-331)
10	Маршрут № 10 от лагеря № 2 до почвенных разрезов 2005 г.	2 (Т.332-333)
11	Маршрут № 11 от лагеря № 2 до Левого берега Кокдарьи	47 (Т.334-380)
12	Маршрут № 12 от лагеря № 2 до Трассы – Створ скважин Гидрогеологической службы	89 (Т.381-469)
13	Маршрут № 13 от лагеря № 2 до Китайского канала «Газаркент»	29 (Т.470-499)
14	Маршрут № 14 от лагеря № 2 до дамбы Джилтырбас	62 (Т.500-561)

5.4. Предварительная обработка спутниковых данных

При подготовке к полевым исследованиям и определения маршрутов по изучению ландшафтов обсохшего дна Аральского моря, проводился предварительный анализ и обработка космических снимков из Google Планета Земля (вер. 7.3.2.5776) и спутниковые снимки Sentinel-2, Landsat-5 Thematic Mapper (TM) и Landsat-8 OLI (Operational Land Imager), скачанные из архива EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Доступ к архиву возможен как для простого просмотра каталога, так и для непосредственного получения хранимых в нём материалов (после регистрации на сайте).

Основу данных в системе Google Планета Земля представляют спутниковые снимки Landsat (разрешение 15 м/пиксель), GeoEye-1 (0,41 м/пиксель) и QuickBird-2 (разрешение 0,68 м/пиксель), полученные от компании DigitalGlobe (Ступин, 2011). Все эти снимки имеют поперечную цилиндрическую проекцию Меркатора (Universal Transverse Mercator, UTM) по системе координат WGS-84.

Оператором миссии Sentinel-2 является Европейское космическое агентство (ESA), которое предоставляет данные по съемкам в открытом доступе любому пользователю. Снимок Sentinel-2 проходит систематическую обработку по уровню 1C, выполненную Центром по обработке получаемых данных (PDGS). Продукт Level-1C состоит из плиток 100x100 км² (орто-изображений в проекции UTM/WGS84).

Оператором миссии Landsat-5 и Landsat-8 является Центр исследований и науки земельных ресурсов Геологической службы США (USGS Earth Resources Observation and Science – EROS Center) в партнерстве с NASA.

Снимок Landsat-8 имеет систематическую обработку по уровню 1 (после геометрической и атмосферной коррекции и радиометрической калибровки) и состоит из плиток с предварительным размером сцены 170 км (север-юг) и 183 км (запад-восток) в проекции UTM/WGS84 (EROS, 2015). Необходимо отметить, что все системы спутниковых и дистанционных данных имеют четыре типа разрешения:

1. *Пространственное разрешение* определяет линейные размеры (пиксели) изображения, т.е. площадь поверхности земли, покрытую пикселем изображения. Большая площадь, покрытая пикселем, означает низкое пространственное разрешение и наоборот. Пространственные разрешения Sentinel-2, Landsat-5 и Landsat-8 представлены в таблице 12.

2. *Спектральное разрешение* соответствует количеству диапазонов ЭМ спектра и размеру зон съемки регистрируемых съемочной аппаратуры. Спектральные разрешения каналов (band) Sentinel-2, Landsat-5 и Landsat-8 даны в таблице 12.

3. *Временное разрешение* определяет, как часто датчик получает изображения определенной области на поверхности Земли. Если Sentinel-2 получает изображения каждые 10 дней, то Landsat-8 – каждые 16 дней.

4. *Радиометрическое разрешение* соответствует ширине динамического диапазона используемого датчика космического аппарата, т.е. количеству уровней дискретизации, соответствующих переходу от абсолютно черного к абсолютно белому цвету (чувствительность датчика к величине принимаемой ЭМ энергии).

Таблица 12

Пространственные и спектральные разрешения спутниковых снимков Sentinel-2, Landsat-5 TM (thematic mapper) и Landsat-8 OLI (Operational Land Imager)

Каналы*	Диапазон спектрального разрешения, $\mu\text{м}$	Пространственные разрешения, м
<i>Sentinel-2 (Immitzer et al., 2016)</i>		
Band 1 – Аэрозоль (Coastal/aerosol)	0.430 - 0.457	60
Band 2 – Синий (Blue)	0.440 - 0.535	10
Band 3 – Зеленый (Green)	0.537 - 0.582	10
Band 4 – Красный (Red)	0.646 - 0.684	10
Band 5 – Red Edge 1	0.694 - 0.713	20
Band 6 – Red Edge 2	0.731 - 0.749	20
Band 7 – Red Edge 3	0.769 - 0.797	20
Band 8 – Близкий инфракрасный (Near Infrared (NIR1))	0.773 - 0.908	10
Band 8A – Близкий инфракрасный (Near Infrared (NIR2))	0.848 - 0.881	20
Band 9 – Пар воды (Water vapor)	0.932 - 0.958	60
Band 10 – Циреус (Cirrus)	1.337 - 1.412	60
Band 11 – Инфракрасный короткой волны (SWIR1)	1.539 - 1.682	20
Band 12 – Инфракрасный короткой волны (SWIR2)	2.078 - 2.320	20
<i>Landsat-8 OLI (EROS, 2015)</i>		
Band 1 – Аэрозоль (Coastal/aerosol)	0.435 – 0.451	30
Band 2 – Синий (Blue)	0.452 – 0.512	30
Band 3 – Зеленый (Green)	0.533 – 0.590	30
Band 4 – Красный (Red)	0.636 – 0.673	30
Band 5 – Близкий инфракрасный (Near Infrared (NIR1))	0.851 – 0.879	30
Band 6 – Инфракрасный короткой волны (SWIR1)	1.566 – 1.651	30
Band 7 – Инфракрасный короткой волны (SWIR2)	2.107 – 2.294	30
Band 8 – Панхроматик (PAN)	0.503 - 0.676	15
Band 9 – Циреус (Cirrus)	1.363 - 1.384	30
Band 10 – Термический ИК (TIR1)	10.60 - 11.19	100
Band 11 – Термический ИК (TIR2)	11.50 - 12.51	100

Каналы*	Диапазон спектрального разрешения, $\mu\text{м}$	Пространственные разрешения, м
<i>Landsat-5 TM (Источник: https://landsat.gsfc.nasa.gov/the-thematic-mapper/)</i>		
Band 1 – Синий (Blue)	0.45 – 0.52	30
Band 2 – Зеленый (Green)	0.52 – 0.60	30
Band 3 – Красный (Red)	0.63 – 0.69	30
Band 4 – Близкий инфракрасный (Near Infrared (NIR))	0.76 – 0.90	30
Band 5 – Инфракрасный короткой волны (SWIR1)	1.55 – 1.75	30
Band 6 – Яркость тепловой (температура)	10.40 – 12.50	120
Band 7 – Инфракрасный короткой волны (SWIR2)	2.08 – 2.35	30

* Для анализа данных использованы выделенные цветом каналы.

Снимок Sentinel-2 использовался исключительно для подготовки и планирования экспедиции, а Landsat-5 и Landsat-8 использовались для создания карт в 2006 и 2019/2020 гг., соответственно.

В целом, пять плиток снимка Landsat покрывают всю территорию узбекской части Аральского моря (акватория 1960 г., рис. 25, слева). Для создания карт классификации и зоны риска использовался 47 (26) снимков в 2019 г. (и 2006 г. соответственно) и 33 снимка с 4 плиток Landsat (пути 160-161, строки 29-30). Хотя некоторые плитки покрывают общую территорию частично, они были использованы для заполнения пробелов и достижения полного покрытия в пределах территории двух экспедиций 2019-2020 гг.

Для анализа коэффициента спектральной яркости отражающей поверхности (*surface reflectance*), в основном каналы 1-7 сенсора OLI наземных объектов (ландшафтов), а также для разработки линейной регрессии моделирования контролируемой классификации, использованы две плитки (пути 161, строки 29-30) Landsat-8 за 2019-2020 гг. с облачностью до 20%, чтобы облака не покрывали исследу-

емую территорию (табл. 13). Это связано с тем, что все точки экспедиции 2006-2007 и 2009 гг., а также 2019-2020 гг. находятся внутри этих двух плиток Landsat (рис.25, справа).

Геологическая служба США (USGS) предоставляет данные Landsat 8 по отражательной способности поверхности (*surface reflectance*) для сенсоров оперативного наземного сканера / теплового инфракрасного датчика (Operational Land Imager - OLI / Thermal Infrared Sensor - TIRS) по запросу через *EarthExplorer*. Продукты *Surface Reflectance* уже обработаны в Центре EROS с пространственным разрешением 30 метров. Интерфейс EROS Science Processing Architecture (ESPA) по требованию корректирует эти снимки. Все снимки Landsat-8 из архива сайта преобразованы в значения отражательной яркости (*surface reflectance*), поэтому их можно напрямую использовать для анализа коэффициента спектральной яркости отражающей поверхности наземных объектов, а также и для вычисления индексов растительности.

Для обработки этих снимков использовано программное обеспечение Quantum GIS (QGIS, вер. 2.18.24) и язык R (RStudio, вер. 3.4.0).

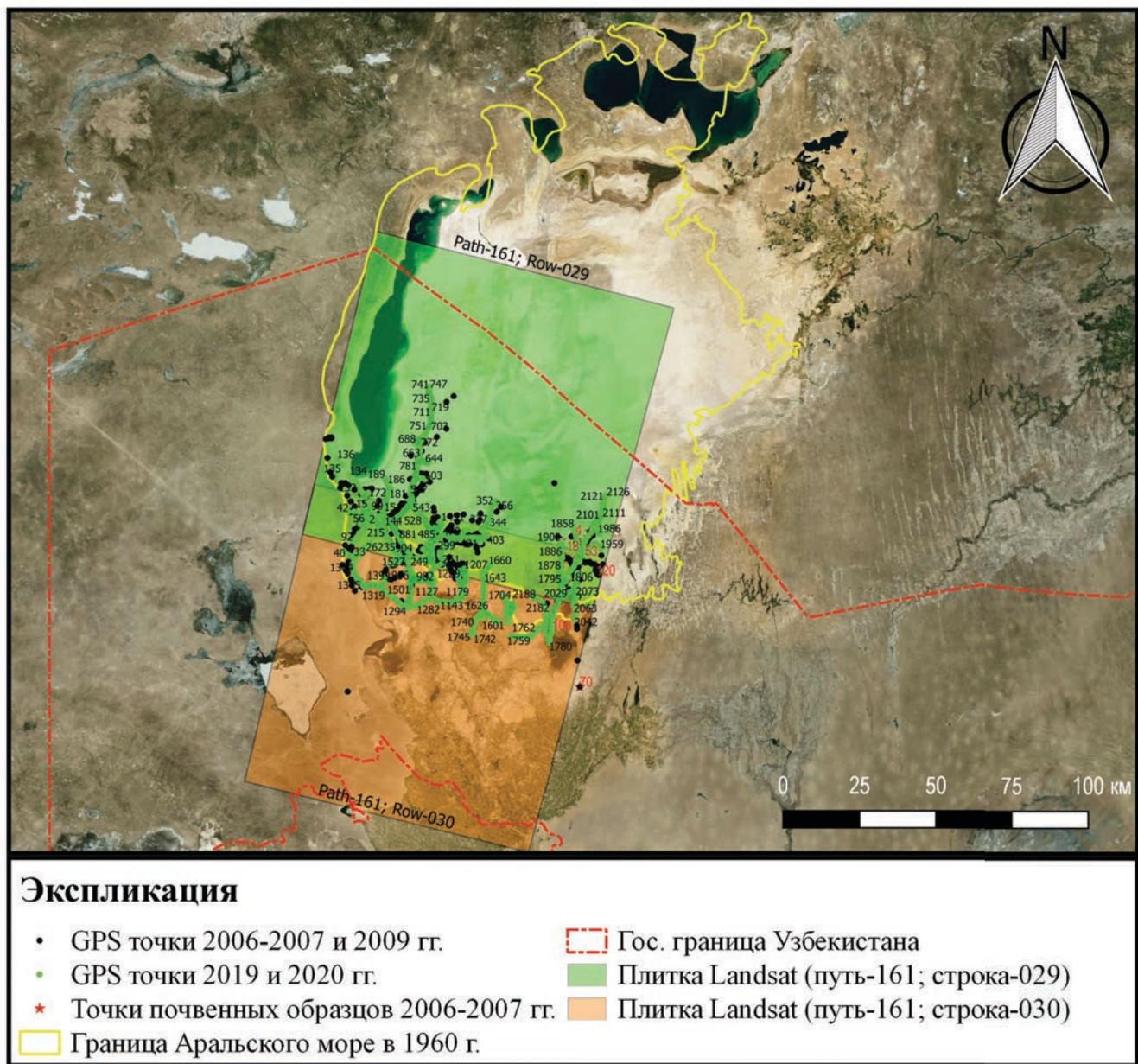


Рис. 25. Карта покрытия пятью плитками Landsat узбекской части Аральского море (слева) и двумя плитками территории исследования всех экспедиций (справа) на фоне Google Maps

Таблица 13

Список снимков Landsat-8, использованных для анализа коэффициента спектральной яркости отражающей поверхности (surface reflectance) на основе полевых данных 1-й и 2-й экспедиций 2019-2020 гг.

Дата съемки	Дорожки плитка		Облачность, %	Уголь азимута солнца, о	Сенсор (каналы)
	Path	Row			
20-мар-2019	161	29	8	151.73	OLI (Band1-Band7)
20-мар-2019	161	30	12	150.61	OLI (Band1-Band7)
7-май-2019	161	29	0	145.68	OLI (Band1-Band7)
7-май-2019	161	30	3	143.66	OLI (Band1-Band7)
23-май-2019	161	29	8	142.34	OLI (Band1-Band7)
23-май-2019	161	30	6	139.98	OLI (Band1-Band7)
8-июн-2019	161	29	0	138.98	OLI (Band1-Band7)
8-июн-2019	161	30	0	136.32	OLI (Band1-Band7)
24-июн-2019	161	29	0	136.87	OLI (Band1-Band7)
24-июн-2019	161	30	0	134.13	OLI (Band1-Band7)
11-авг-2019	161	29	3	143.58	OLI (Band1-Band7)
11-авг-2019	161	30	20	141.65	OLI (Band1-Band7)
12-сен-2019	161	29	0	153.60	OLI (Band1-Band7)
12-сен-2019	161	30	9	152.34	OLI (Band1-Band7)
28-сен-2019	161	29	8	158.00	OLI (Band1-Band7)
28-сен-2019	161	30	18	157.00	OLI (Band1-Band7)
14-окт-2019	161	29	6.5	161.39	OLI (Band1-Band7)
14-окт-2019	161	30	1.3	160.58	OLI (Band1-Band7)
2-фев-2020	161	29	0.1	154.52	OLI (Band1-Band7)
2-фев-2020	161	30	0	153.72	OLI (Band1-Band7)
22-мар-2020	161	29	4.8	151.54	OLI (Band1-Band7)
22-мар-2020	161	30	8.5	150.39	OLI (Band1-Band7)
9-май-2020	161	29	0.44	145.08	OLI (Band1-Band7)
9-май-2020	161	30	0	142.99	OLI (Band1-Band7)
25-май-2020	161	29	0	141.66	OLI (Band1-Band7)
25-май-2020	161	30	0	139.22	OLI (Band1-Band7)
10-июн-2020	161	29	0	138.44	OLI (Band1-Band7)
10-июн-2020	161	30	0	135.74	OLI (Band1-Band7)

5.5. Техника неконтролируемой классификации

Классификация является одной из основных задач обработки спутниковых изображений, и требует применения специализированных программных пакетов. Техника классификации изображения предусматривает процесс количественного отбора данных из изображений и группирования точек или частей изображения в классы, предназначенные для представления различных физических объектов или типов. Результатом выполнения процесса классификации изображения будут являться карты классификации.

Известны два типа классификации:

- классификация без обучения (неконтролируемая классификация)
- классификация с обучением (контролируемая классификация)

В данном разделе книга будем рассматривать методологию неконтролируемой классификации. Неконтролируемая классификация (иногда называется алгоритмом кластеризации), применяется при отсутствии априорной информации (наземных данных) об объекте съемки, и в основном используется для предварительного выбора тестовых полей, и следовательно – определения маршрута исследования. Поскольку кластерный анализ относится к цифровым автоматизированным методам обработки космических изображений, он позволяет выделять контуры с неконтрастной по спектральной яркости структурой, например растительность, открытые почвы и вода, другие объекты.

Наиболее популярными среди алгоритмов неконтролируемой классификации (кластеризации) являются алгоритмы *K-Means* и

ISODATA. В нашем случае мы использовали алгоритм *K-Means* (Theiler & Gisler, 1997) в программном комплексе Quantum GIS (QGIS, вер. 2.18.24). Для этого выбран комбинированный метод *Iterative Minimum Distance* (Forgy, 1965) и *Hill-Climbing* (Rubin, 1967) в программном модуле QGIS - SAGA GIS (2.3.2). Данный метод позволяет выбирать распределение значений математических ожиданий (т.е., итерации) для кластеризации снимков. С учетом имеющейся класс-легенды карты земного покрова от 2006 года, содержащей 17 специализированных классов (табл. 8), мы выбрали 17 кластеров и 100 итераций. В течение первой итерации кластеризации пространство равномерно разбивается на области, центром каждой из которых являются средние значения индекса растительности (NDVI) по кластерам. После итерации рассчитывают реальные средние значения спектральных признаков по полученным кластерам, т.к. их средние значения меняются в зависимости от преобладающих яркостей попавших в них пикселей. Затем выполняется вторая итерация, в процессе которой повторяют кластеризацию с новыми средними значениями и рассчитывают границы кластеров. После этого определяют новые средние значения и выполняют новую итерацию. Такие пересчеты повторяются до тех пор, пока все пиксели с заданной вероятностью (порог сходимости) не попадут в какой-либо кластер (табл. 14).

Растровые слои NDVI двух плиток (путь 161, строки 29-30), вычисленные по соотношению двух каналов $((\text{Band5}-\text{Band4})/(\text{Band5}+\text{Band4}))$; Rouse et al., 1973) Landsat-8 OLI снимка от 12 сентября 2019 г. являлись основой для автоматического разделения пикселей изображения на 17 групп, сходных по спектральным характеристикам пикселей (рис. 26).

Таблица 14

Статистические параметры кластеризации Landsat-8 OLI снимка от 12 сентября 2019 г.

ID Кластеров	Среднее значение NDVI		Стандартное отклонение NDVI	
	P161R029	P161R030	P161R029	P161R030
0	0.364	0.3052	0.048	0.0235
1	-0.903	-0.7393	0.024	0.0393
2	-0.992	-0.6514	0.015	0.0231
3	0.245	0.2320	0.025	0.0189
4	0.178	-0.5704	0.017	0.0246
5	-0.826	0.1730	0.021	0.0157
6	-0.751	-0.4818	0.021	0.0273
7	0.126	0.1230	0.012	0.0127
8	-0.677	-0.3807	0.021	0.0297
9	0.092	-0.2768	0.009	0.0316
10	0.640	0.3973	0.094	0.0324
11	-0.607	0.0841	0.021	0.0092
12	0.064	-0.1632	0.008	0.0331
13	-0.533	0.0570	0.034	0.0108
14	0.039	0.6952	0.006	0.0593
15	-0.246	0.5373	0.082	0.0439
16	0.023	-0.0482	0.007	0.0317

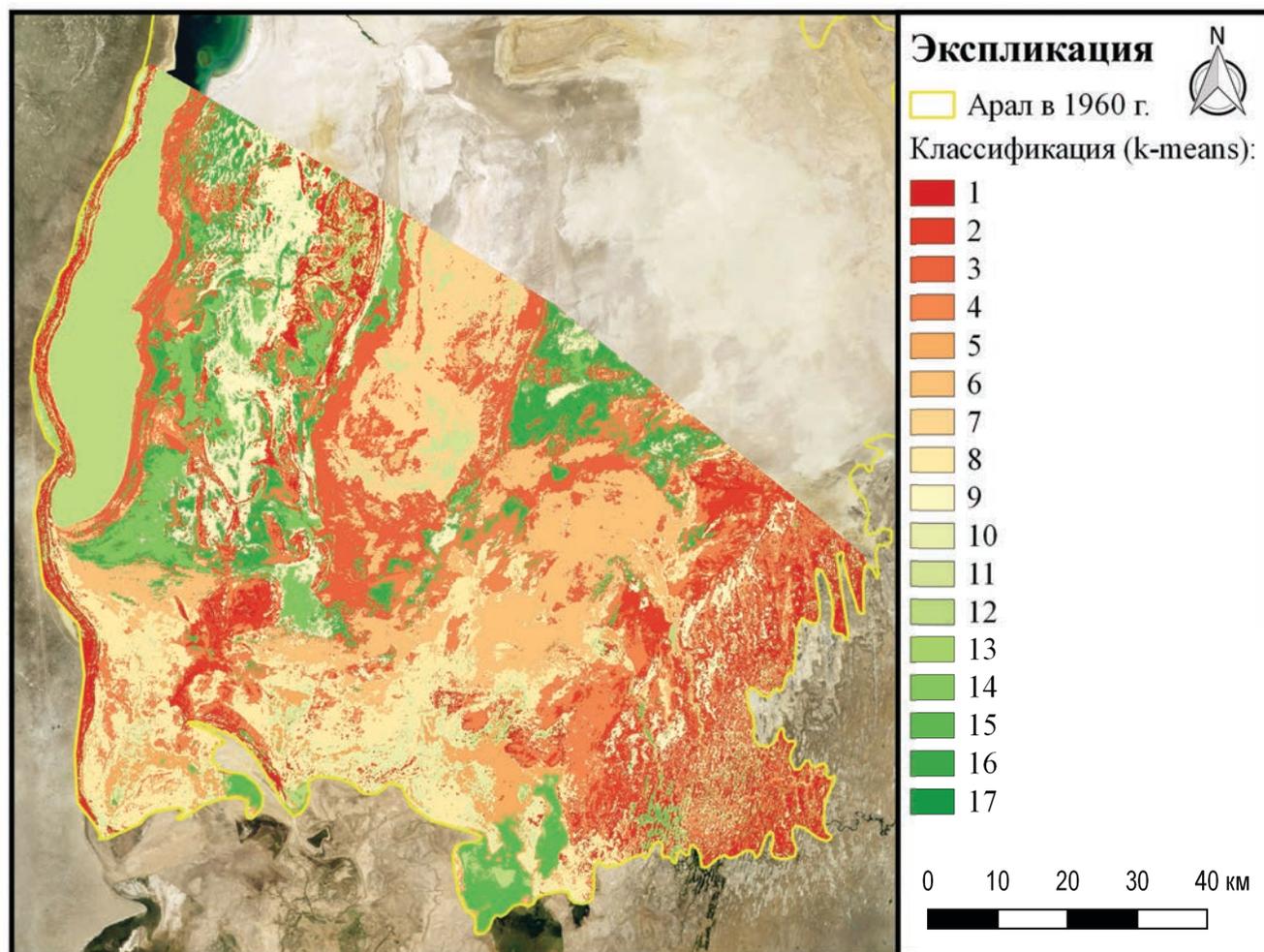


Рис. 26. Карта неконтролируемых классов на основе Landsat-8 OLI от 12 сентября 2019 г. на фоне Google Maps

6 Результаты

Комплексное изучение осушенного дна Аральского моря позволило получить ясное представление о его состоянии на данный момент по многим аспектам. На основании анализа полученных материалов специалистами составлено описание территории, отражены основные причины опустынивания, выявлены зоны экологического риска и предложены пути сохранения уникального природного объекта.

В данную главу включены результаты гидрогеологических, почвенных, экологических, ботанических, дендрологических исследований.

Особое внимание уделено использованию космических снимков и графической информационной системы ГИС, позволяющих проводить оценку больших территорий в динамике.

6.1. Результаты гидрогеологических исследований

Объекты исследования относятся к бассейнам безнапорных вод лево- и правобережного Нижнеамударьинских месторождении безнапорных вод и напорных подземных вод Устюртского и Южно-Приаральского артезианских бассейнов. Также рассматривались участки и площади техногенного воздействия подземных вод на обсохшей части акватории Аральского моря в Каракалпакстане.

В основном исследование проводилось на двух участках. Первый – левобережная часть р.Амударьи от восточного чинка плато Устюрт до реки Амударьи (Устюртский АБ) и правобережная часть реки Амударьи от протоки Кокдарья до северо-западной окраины Кызылкумов (Южно-Приаральский АБ). На юге ограничивается орошаемыми зонами, а на севере – непроходимыми обсохшими дюнами берега Аральского моря, оз. Джылтырбас на

востоке. Второй участок – от оз. Джылтырбас до протоки Кокдарья на восточной границе, на юге – коллекторы КС-3 и Караузьяк. На севере также непроходимые солончаки обсохшего дна Арала.

Основными задачами являлись: изучение современного состояния гидрогеологических условий подземных вод, прогнозирование этих изменений, изучение гидрогеологических процессов под воздействием природных и техногенных факторов.

Для решения целевой задачи в процессе исследований были проведены замеры уровня и качественного состояния подземных вод и их изменения под воздействием природных и техногенных факторов с целью прогнозирования выявленных изменений подземных вод, их взаимодействия с окру-

жающей средой, а также предупреждения и выдачи рекомендаций по устранению последствий негативных процессов. Все целевые задачи решались путем проведения обследования территории и наблюдательных пунктов, замеров уровней, отбора проб воды из встреченных скважин в процессе исследований двух экспедиций.

6.1.1. Анализ и оценка результатов исследований

Как сказано выше, водоносные горизонты современных морских отложений южного побережья отступившей части Аральского моря, ограниченные с юга гидроизогипсой с абсолютной отметкой 50 м, с севера – Аральским морем, с востока старой протокой р.Акчадарьи – северное побережье Кызылкумов, с запада

– чинком Устюрта, условно можно называть Северо-Устюртским и Южно-Приаральским гидрогеологическим районом грунтовых и напорных вод.

Гидрогеологические условия характеризуются распространениями здесь водоносных комплексов морских новоаральского (ma) и подстилающих их аллювиально-озерных амударьинских (al) и морских (m1) голоценовых отложений, и они имеют повсеместное распространение в пределах обсохшего дна моря.

На режим грунтовых вод в пределах обсохшего дна Аральского моря оказывает влияние как падение уровня Аральского моря, которое является региональным базисом их разгрузки, так и периодические сбросы с озера Судочьего и Рыбацкого водоема.

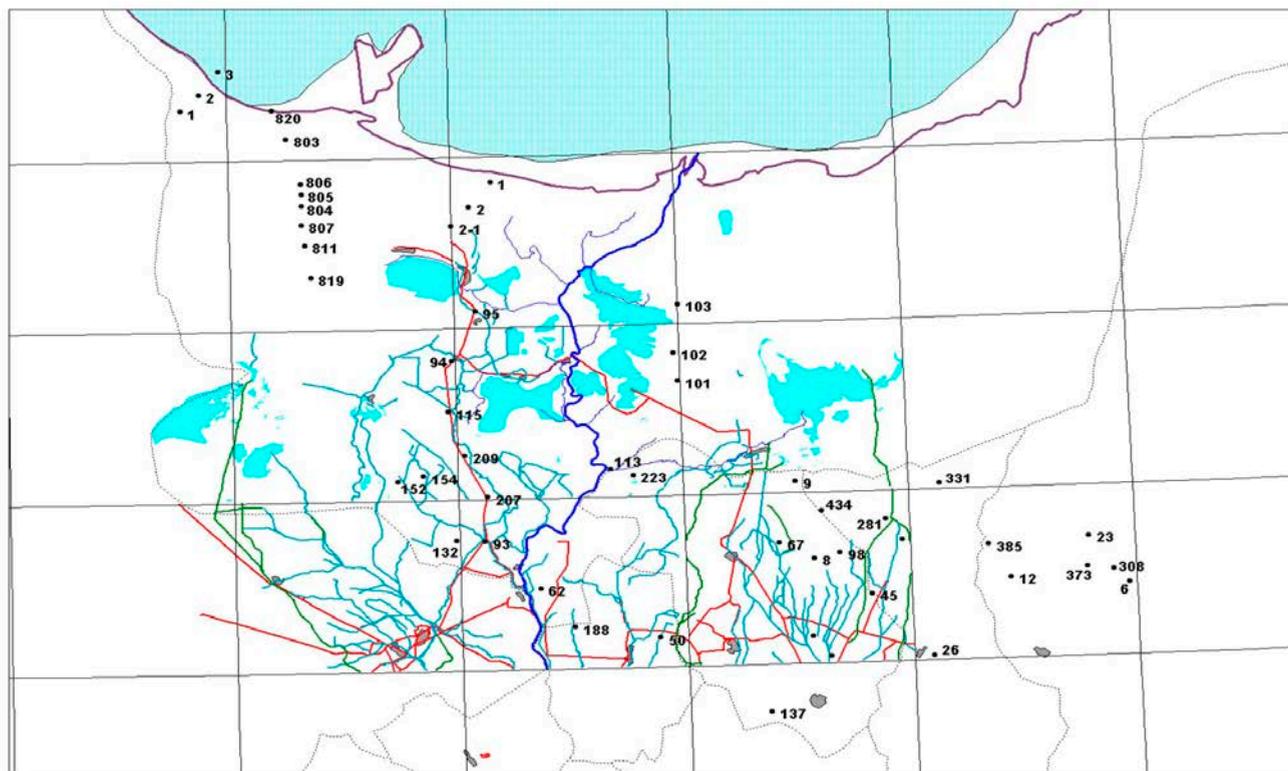
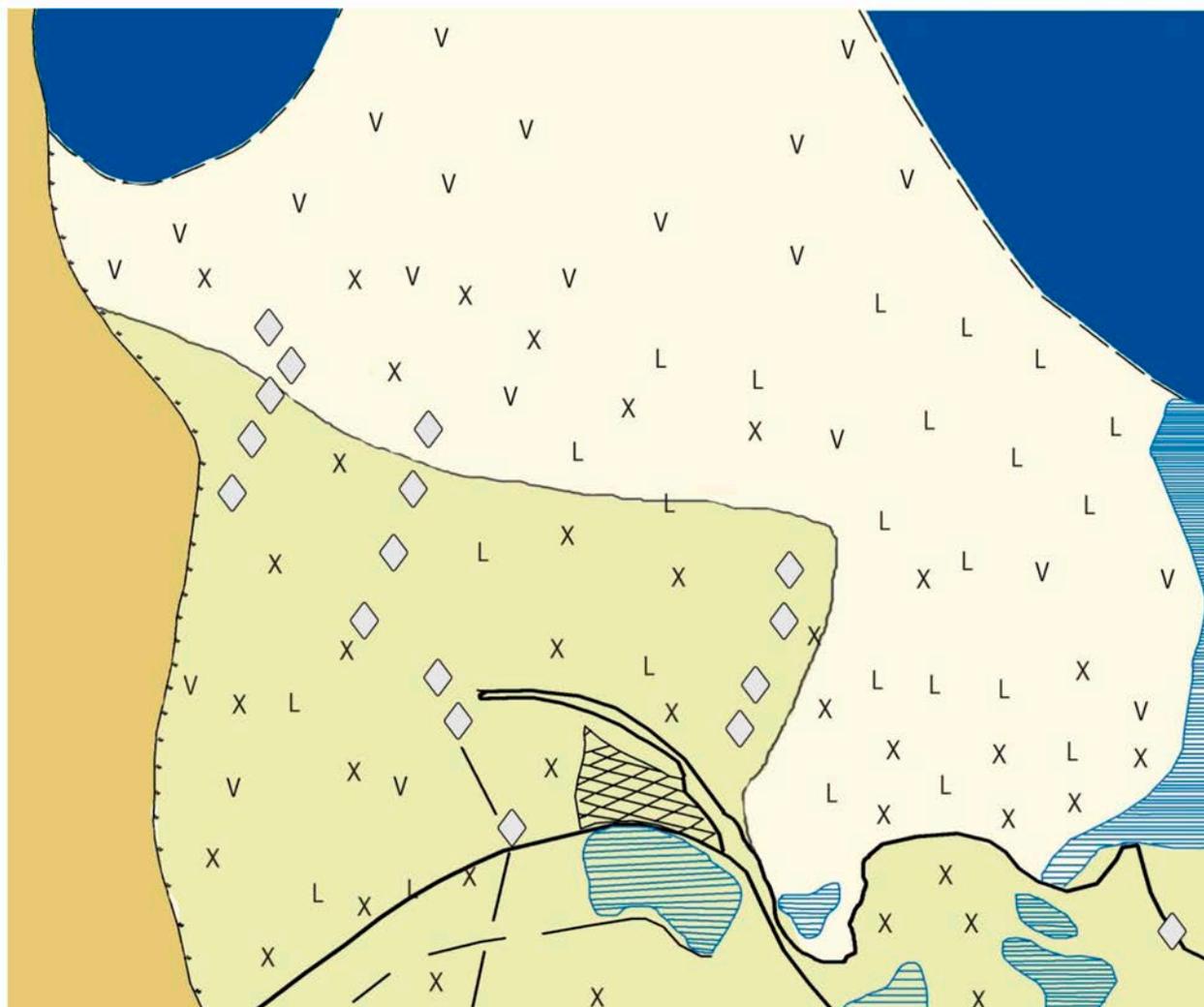


Рис. 27. Схема расположения гидрогеологических створов обсохшего дна моря



Условные обозначения

1 Глубина залегания уровня подземных вод на октябрь месяц 2006 г.



0,0 — 3,0 м



3,0 — 10 м

2 Минерализация подземных вод на октябрь месяц 2006 г.

LL — 1,5 г/л;

VV — 1,5-3,0 г/л;

XX — Более 3,0 г/л

Рис. 28. Наблюдательные гидрогеологические скважины Судочье-Аджибайского и Муйнакского створов. Уровень грунтовых вод в Муйнакской части осушенного дна моря 2006 год

Гидрохимический режим грунтовых вод формируется под влиянием климатических, гидрологических и мелиоративных факторов, а также под влиянием орошения.

Характеристика уровня и гидрохимического режима грунтовых вод Муйнакской части, первых от поверхности водоносных комплексов, приводится по двум гидрогеологическим створам (рис. 27) – Судочье-Аджибайскому и Муйнакскому, во второй экспедиции – по Джылтырбаской части и Аккалинскому створу. В связи с осушкой моря и падением уровня грунтовых вод, Муйнакский и Аккалинский створы закрыты с 2010 г., и наблюдения в настоящее время по ним не проводятся.

Судочье-Аджибайский створ.

Створ расположен в западной части обсохшего дна моря между чинком Устюрт и Арало-Кызылкумским валом и состоит из 10 гидрохимкустов (рис. 28 и 29). Скважины характеризуют режим подземных вод, голоценовых, плейстоценовых и частично верхнемеловых (туронский, коньякский и сантонский ярусы).

Гидрогеологические условия зоны размещения створов характеризуются распространением здесь водоносных комплексов морских новоаральского (ma) и подстилающих их аллювиально-озерных амударьинских (al) и морских (m₁) голоценовых отложений, и они имеют повсеместное распространение в пределах западной части

Изменения глубины залегания уровня за многолетний период (2004-2017 гг.), в зависимости от расположения наблюдательных гидрогеологических скважин, приводятся на примере многолетних наблюдений за уровнем ГВ.

Створ ГКХ-5 расположен в наибольшем удалении от моря (рис. 30). Уровень грунтовых вод находился в 2017 году на глубине 7,9 м,

Изменение уровня за 13 лет незначительное, составляет 1,33 м, или 0,1 м в год. Небольшие изменения уровней грунтовых вод в разрезе лет и минерализации (в 70 г/л) объясняется влиянием Аджибайского залива.

Гидрогеологические условия зоны размещения створов характеризуются распространением здесь водоносных комплексов морских новоаральского (ma) и подстилающих их аллювиально-озерных амударьинских (al) и морских (m₁) голоценовых отложений, и они имеют повсеместное распространение в пределах западной части

Изменения глубины залегания уровня за многолетний период (2004-2017 гг.), в зависимости от расположения наблюдательных гидрогеологических скважин, приводятся на примере многолетних наблюдений за уровнем ГВ.

Створ ГКХ-5 расположен в наибольшем удалении от моря (рис. 30). Уровень грунтовых вод находился в 2017 году на глубине 7,9 м, Изменение уровня за 13 лет незначительное, составляет 1,33 м, или 0,1 м в год. Небольшие изменения уровней грунтовых вод в разрезе лет и минерализации (в 70 г/л) объясняется влиянием Аджибайского залива.

Изменение глубины залегания уровня и минерализации грунтовых вод по скважине ГХК-7, расположенной на юге створа, происходит за счет влияния Судочье-Караджарской польдерной системы. Если рассматривать тенденцию динамики уровня грунтовых вод, то следует отметить, что уровень грунтовых вод незначительно изменился – от 5,5 м в 2004 году до 5,04 м в 2011 году. При этом произошли резкие изменения в период 2011-2017 гг. – от УГВ 5,04 м до значения УГВ 1,7 м в 2017 году, т.е. со средней амплитудой колебания в этот период 0,48 м в год. Отмечается подъем уровня на 0,6-0,9 м в 2013 г и в 2016 г. Минерализация подземных вод меняется в широких пределах и составляет от 54,7 до 29,1 г/л.



Рис. 30. Динамика уровня и минерализации грунтовых вод Судочье-Аджибайский створ куст ГХК-5

Тенденция изменения уровня и минерализации подземных вод по скважинам Судочье-Аджибайского створа за данный период приводится на рис. 31. Сбросы с озера Судочье оказывают влияние на режим уровня грунтовых вод, который проявляется в подъеме уровня и снижении минерализации.

По скважинам ГХК-3, расположенным в средней части створа (рис. 32), глубина за-

легания уровня подземных вод за многолетний период (2004-2006 гг.) изменилась от 1,18 до 0,3 м. Снижение УГВ с 2006 по 2017 гг. от 0,3 м. до 4,22 м связано со снижением уровня Рыбацкого водоема, который прямо влияет на режим ПВ данных наблюдательных пунктов створа. Изменения минерализации колеблется от 25 г/л до 100 г/л.

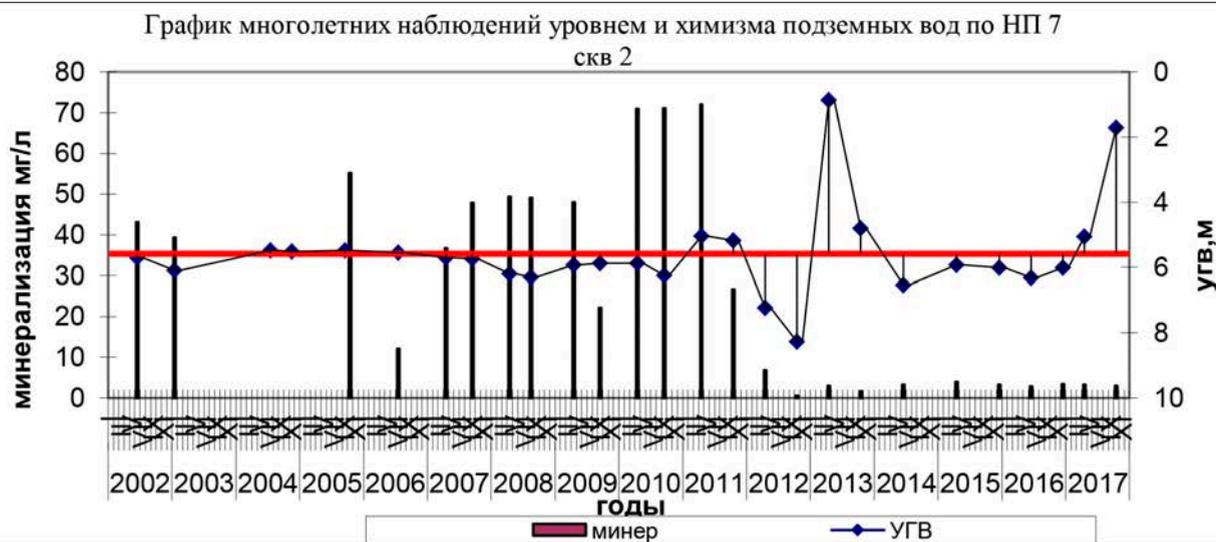


Рис. 31. Динамика уровня и минерализации грунтовых вод Судочье-Аджибайский створ по ГХК (гидрохим куст) -7

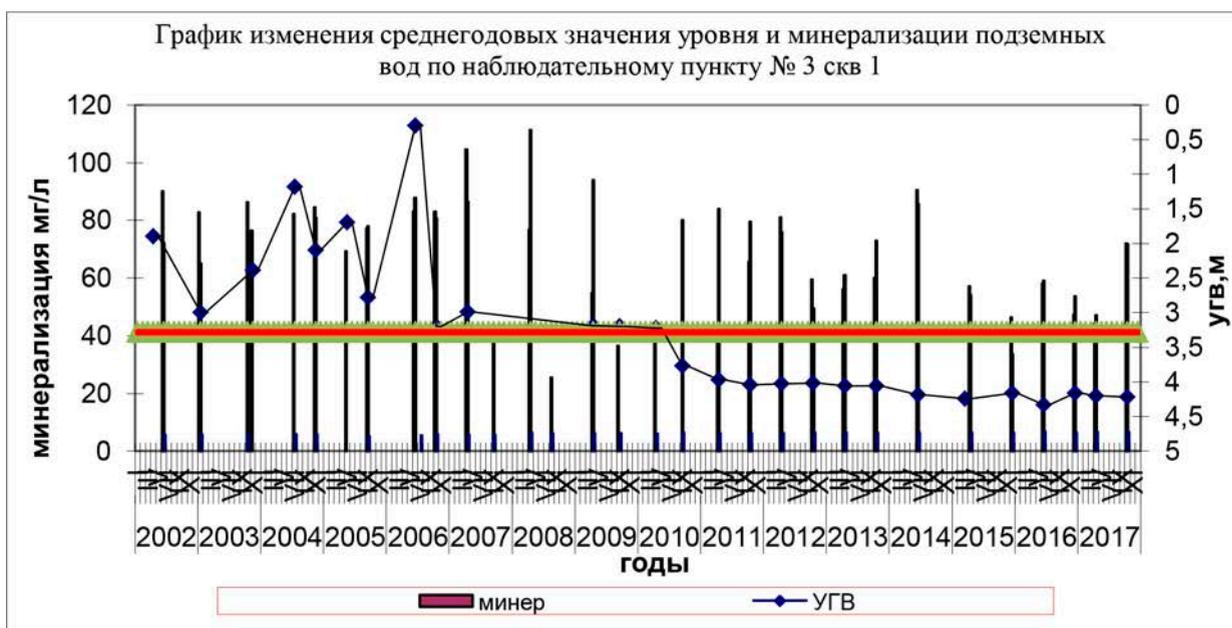


Рис. 32. Динамика уровня и минерализации грунтовых вод Судочье-Аджибайский створ по створу ГХК -3

Наиболее приближенный к урезу воды на 2017 год – куст ГХК-801 (рис. 33), в котором УГВ в большей степени зависит от уровня моря. В 2009-2017 гг. уровень грунтовых вод практи-

чески установился на уровне 7 м при минерализации 30 г/л, снизившись на 1 метр, то есть по 0,1 м в год.



Рис. 33. Динамика уровня и минерализации грунтовых вод Судочье-Аджибайский створ по ГХК -801(2)

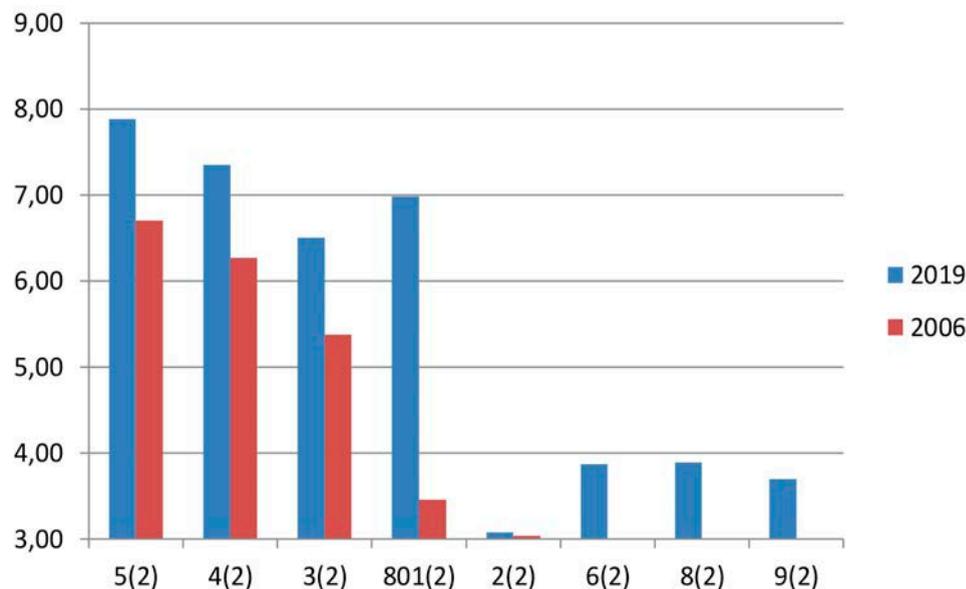


Рис. 34. Уровни грунтовых вод в створах ГХК, расположенных относительно уреза воды

Как видно из рис. 34, снижение уровня отмечается по скважинам, расположенным на периферии дельты р. Амударьи за пределами обсохшего дна моря и по скважинам, расположенным на севере створа.

Режим уровня ПВ за период исследований меняется с юга на север. В скважинах, расположенных в южной части створа ГХК-6-7, отмечается подъем уровня на 0,37 м, который продолжался до осени 2015 г., а в 2017 г. уровень снизился до первоначальных отметок.

В северном направлении, по мере приближения к современному урезу моря влияние сбросов из водоёмов дельты уменьшается (рис. 28, 29) и режим изменения УГВ северных скважин определяется естественным снижением уровня моря.

Проблема взаимодействия моря и грунтовых вод и его влияния на грунтовые воды изучалась в течение многих лет. Поиски ответа затруднялись тем фактом, что это влияние было очень слабым и не могло быть обнаружено существующей техникой и методами исследований. Некоторый подпор грунтовых

вод со стороны моря существовал, однако поток был столь ничтожным, что измерить этот подпор не представлялось возможным.

Данными, полученными ранее (проект «Aral Kum») доказано, что грунтовые воды двигаются в сторону моря, но разгружаются в зоне подпора, представленной полосой шириной в среднем 250 м, примыкающей к уровню моря на момент исследований. В балансе Арала грунтовый сток не участвует. Наблюдаемый сток по осушенному дну моря почти полностью испаряется в атмосферу. Разгрузка подземных вод меловых отложений путем вертикальной фильтрации в Аральское море увеличилась с 1,23 м³/с (0,04 км³/год) в 1960 г. до 1,8 м³/с (0,06 км³/год) в 1990 году. Общая величина подземного стока грунтовых и напорных вод составила 4,67 м³/с или 0,14 км³/год с площади рассматриваемой территории, т.е. увеличилась в 2 раза по сравнению с 1960 годом.

По последним данным разгрузка подземных вод в Аральскую котловину составит 0,12 км³/год.

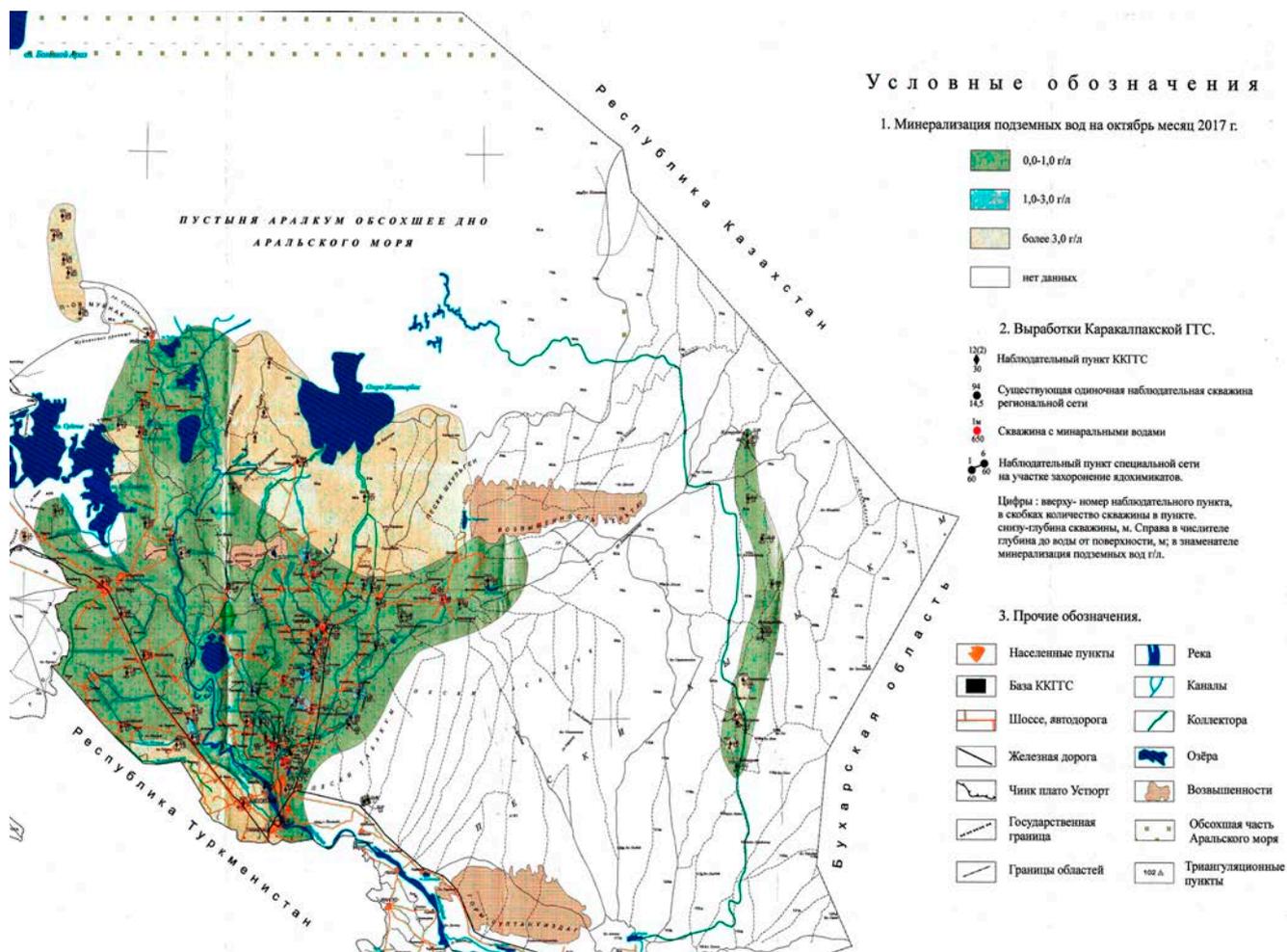


Рис. 35. Минерализация уровня грунтовых вод

В целом, величина подземного стока в Аральское море слишком мала по сравнению с поверхностным стоком и ни в коей мере не оказывает влияния на положение уровня Аральского моря.

Многолетние наблюдения показывают, что влияние Аральского моря на положение уровня грунтовых вод распространяется на расстояние до 15-25 км от первоначальной береговой линии. Стабилизация уровней грунтовых вод за последние годы указывает на практическое отсутствие взаимосвязи между ныне существующим морем и грунтовыми водами в дельте.

Тем не менее, вопрос о роли подземных вод в общем водном балансе Аральского моря еще нельзя считать полностью решенным, поскольку ответ на него связан с многочисленными трудно исследуемыми и учитываемыми факторами.

На рис. 35. представлена карта минерализации грунтовых вод.

В связи с дальнейшей осушкой моря и потерей контакта уровня грунтовых вод и уровня моря, в июле 2019 года были установлены 3 новых куста гидрогеологического мониторинга на новой осушке ГХК-6, ГХК-8, ГХК-9 (рис. 29, 36).



Рис. 36. Скважины наблюдения за уровнем грунтовых вод, ГКХ-1, установка июль 2019, по дороге на Возрождение

Муйнакский створ.

Створ расположен восточнее полуострова Муйнак и включает 3 гидрохимкуста. Многолетние режимные наблюдения по этому створу показывают, что в пределах части Муйнакского створа, охватывающей собственно обсохшее дно моря, динамика уровня и гидрохимического режимов ГВ по скважинам ГКХ-3-5, расположенным на севере створа, лишь частично зависит от грунтового потока, идущего со стороны Рыбацкого полей и русел р. Амударьи, а в основном, прямо определяется отступлением береговой ли-

нии Аральского моря. В связи с отступлением моря и снижением уровня грунтовых вод (рис. 37) в наблюдательных скважинах, Муйнакский створ снят с наблюдения в 2010 г. В настоящее время здесь имеются две заброшенные скважины, последние замеры по ним: по скважине №2 – 1.97 м, х – 43о54'00", у – 58о59'22.6" и по скважине №3 – 2.13 м, х – 44о01'09", у – 59о05'26".

На осушенном дне Восточного моря пробурены три самоизливающиеся скважины (рис. 38). Характеристики их приведены в таблице 15.



Рис. 37. Уровни грунтовых вод, м, Муйнакский створ, НП 1



Рис. 38. Самоизливающаяся скважина

Сведения о скважинах Аралкумской ГГП 2019

№ пп	№ сква- жины	Координаты WGS_84		Интер- вал уста- новки филь- тра	Глу- бина сква- жины м	Мине- рализа- ция г/л	Жест- кость экв/ млг	УГВ	Примеч для ориентир
		N	E						
1	46	44°16'01,40"	59°01'51,10"	185-195 210-220 218-295	350	40.3	168	само- излив +7л/с	14,0(10,0 км)
2	44	44°21'57,70"	58°59'12,00"	240-270	350	62.5	158	само- излив +5л/с	25,0(7,0км)
3	3	44°39'20,60"	59°00'46,00"	170-190 300-320	350	45.1	288	2.9	
4	42	44°45'00,10"	58°50'15,80"	185-205 290-310	345	54.5	280	3.39	
5	1	44°47'09,40"	59°00'31,20"	247-275	344	47	300	3.14	
6	38	44°51'40,60"	58°59'42,70"	245-275 305-315	322	28.1	190	1.3	82(1,2км)
7	36	44°52'53,40"	59°07'04,40"	200-225 255-270	350	34	198	0	84(12 км)
8	35	44°59'26,90"	59°04'22,50"	190-200 220-250	334	45.5	210	8.74	98(2км)
чистка Мойнак									
1	1ч (уч.Ша- гала)	44°59'58,06"	59°21'56,44"	196-206 216-236	300	3	2.5	само- излив +7л/с	на СВ части о. Возрожде-ние
2	2ч (уч.умид)	44°51'41,22"	58°59'44,43"		110	32.1	201	1.3	
3	3ч(0км)	43°59'18,67"	59°00'53,95"		170	-	-	5.2	от 0 обр.расч. На лево 15

Аккалинский створ

Аккалинский створ расположен в центральной части первого участка между Арало-Кызылкумским валом и оз. Джылтырбас. В настоящее время из пяти наблюдательных пунктов нами обнаружены только 4 куста, состоящие из двух и трех скважин на каждом кусте. Первый куст №437 (рис. 39), состоящий

из трех скважин (№234, 235 и 236) глубиной 40, 21 и 10 м соответственно, расположен на северной окраине п. Казахдарья. Уровни подземных вод в них при обследовании находились в пределах 2,37 м - скв. 234, 3,77 м - скв. 235 (рис. 40) и 9 м в скважине №236. Из каждой скважины отобраны пробы воды для лабораторных химанализов. Минерализация подземных вод в скважинах находится в преде-

лах 5,2, 2,7 и 8,4 г/л при жесткости 50,2, 14, и 46 мг-экв/л соответственно.

Второй куст №111, состоящий из трех скважин (№1, 2 и 3) глубиной 31, 18 и 11 м соответственно, расположен в 16 км на северо-запад от п. Казахдарья (НП 437). В настоящее время существует только одна скважина из трех. Уровень подземных вод при обследовании находился в пределах 7,12 м. Минерализация отобранных подземных вод из скважины составляла 6,4 г/л при жесткости 57,1 мг-экв/л.

Третий куст №112, состоящий из четырех скважин (№1, 2, 3 и 4) глубиной 68, 31, 18 и 10,7 м соответственно, расположен в 11 км на север от наблюдательного пункта 111. При обследовании имелись все 4 скважины. Четвертая скважина оказалась сухой. Уровни подземных вод в них находились в пределах 9,05-10,79 м. Минерализация подземных вод, отобранных из скважины, равна 24,1 г/л при жесткости 132,0 мг-экв/л.

Четвертый последний куст Аккалинского створа, расположен на бывшей береговой ли-

нии моря с абсолютной отметкой 46 м. Створ состоит из 4 скважин (1, 2, 3, и 4) неизвестно, почему с высокими – до 2,5 м – превышениями. Глубины скважины 92, 51, 28 и 6,5 м соответственно. При обследовании четвертая скважина оказалась сухой. Во второй и третьей скважинах замерить уровни и отобрать пробы воды не удалось в связи с приваренной крышкой. Уровни подземных вод в них находились в пределах 5,79 м, а в крайней скважине на глубине 11,7 м было сухо. Минерализация подземной воды, отобранной из скважины, равна 33,6 г/л при жесткости 134,0 мг-экв/л.

Протяженность створа соответствует длине участка более 40 км по бездорожью с очень трудными условиями проходимости, с некоторыми объездами вокруг сыпучих песков и барханов. Кроме того, на этом первом участке нами были обследованы 4 глубокие самоизливающие скважины, оборудованные на меловой водоносный горизонт для водоснабжения животноводства, лесных хозяйств и мелкоаэрозисного орошения. При обследовании всех встреченных глубоких самоизливающих сква-

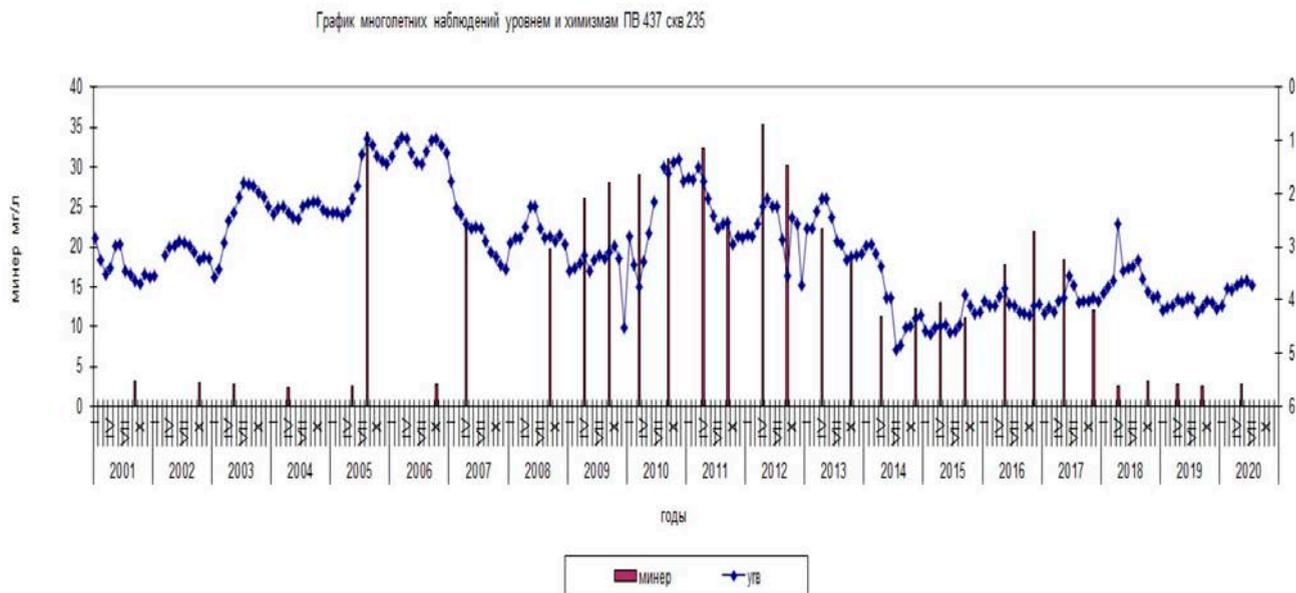


Рис. 39. Режим уровня грунтовых вод, с 2001 по 2020 год



Рис. 40. Аккалинский створ наблюдения за УГВ



Рис. 41. Колодец в фермерском хозяйстве у Ворошиловской прорвы (протока Майлыюзек)

жин по мере возможности замеряли расходы воды и отбирали пробы воды на химанализы. Расходы самоизливающих скважин составляют до 2-3 л/с, температура воды 40-45^оС. Минерализация подземной воды, отобранной из этих 4 скважин, находится в пределах 1,7-2,5 г/л при жесткости 3,4-7,0 мг-экв/л.

Кроме того, в низине обнаружен один колодец (рис. 41) (тн. 28), глубиной 7 м (у чабана вблизи фермы, на урезе старой протоки Майлыюзек центральной части участка). Уровень воды в колодце 1,97 м от земли. Минерализация подземной воды, отобранной из колодца, находится в пределах 2,6 г/л при жесткости 16,0 мг-экв/л.

Режим уровня ПВ как по всей акватории Арала, так и по территории исследований, меняется с юга на север. В скважинах, расположенных в южной части – вблизи водотоков и озер, отмечается подъем уровня на 0,2-0,5 м, который продолжался до осени (в вегетационный период), а в невегетационный период уровень снизился до первоначальных отметок.

Сбросы с озера Джылтырбас, коллекторов КС-1, КС-3, а также из канала Казахдарья оказывают влияние на режим уровня грунтовых

вод, которое проявляется в подъеме уровня и снижении минерализации.

В северном направлении, по мере приближения к современному урезу моря, влияние сбросов уменьшается и режим изменения УГВ северных скважин определяется естественным снижением уровня моря.

Второй участок, как отмечено выше, расположен между оз. Джылтырбас и прот. Кокдарья на восточной границе, на юге – коллекторы КС-3 и Караузьяк. Данный участок очень мало изучен с точки зрения гидрогеологии. Протяженность участка более 70 км по бездорожью с очень трудными условиями проходимости и некоторыми объездами вокруг сыпучих песков, болот, барханов и мокрых солончаков.

На втором участке наблюдательные пункты госмониторинга подземных вод, оборудованные на безнапорный (верхний горизонт), также и напорных подземных вод, отсутствуют. Нами здесь были обследованы 4 глубоких (до 500 м) самоизливающих скважины, оборудованные на меловой водоносный горизонт для водоснабжения животноводства, лесных хозяйств и мелкоозасного орошения.



Рис. 42. Дарьябай кран

Расходы самоизливающих скважин в пределах 0,8-4,0 л/с (скв: Арал 2-4 л/с, Арал 2 – 3 л/с, Немис кран – 1 л/с и Дарьябай кран 0,8 л/с) (рис.42). Температура воды 37-41оС. Минерализация подземных вод, отобранных из этих 4 самоизливающихся скважин, находится в пределах 1,6-1,8 г/л при жесткости 2,6-5,2 мг-экв/л.

6.1.2. Заключение

В связи с высыханием Аральского моря в Приаралье возник сложный комплекс экологических, социально-экономических и демографических проблем, имеющих по происхождению и уровню последствий глобальный характер, проявляющийся в следующем:

- деградация дельты Амударьи;
- усиление процесса опустынивания обширной территории;

- вынос солей и пыли с осушенного дна Арала;
- загрязнение и засоление водных и земельных ресурсов;
- дефицит питьевой воды;
- истощение генофонда растительного и животного мира;
- изменение климата и ландшафта Приаралья;
- ухудшение состояния здоровья населения и его генофонда;
- исчезновение традиционных промыслов хозяйствования – рыбоводства и животноводства, а также охотничьего промысла.

Деградация земель и процессы опустынивания: на высохшей части моря появились обширные территории солевых полей, превратившиеся в новую пустыню Аралкум пло-

щадью более 5,7 млн. га, охватившую территории Узбекистана, Казахстана и Туркменистана.

Отступление Аральского моря обнажило из-под воды громадные территории, занятые, как правило, солончаками, рапными озерами, которые имеют исключительно высокую минерализацию.

Высокая испаряемость создает дополнительные условия для ещё большего засоления вод и почво-грунтов. Широко развитые процессы дефляции и опустынивание территории создают условия для выноса песка и солей в оазисы Каракалпакстана и Хорезма.

Наиболее важным для данной территории является решение вопроса миграции солевых масс, заключенных в рассолах и рапе водоносных свит неоген – антропогена.

В период 1989-1995 гг. исследователями Приаралья выполнена эколого-гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка масштаба 1:200 000 осушенной части дна Аральского моря в пределах листов L-41– XXI. Составлены геохимическая, гидрогеологическая, инженерно-геологическая, эколого-геологические карты.

Однако, в период с 1995 по 2020г. произошли изменения состояния геологической среды под воздействием техногенных факторов, и требуется выполнить изучение и оценку изменений состояния геологической среды территории исследований.

Особое значение в условиях опустынивания и динамики развития вредных экзогенно-геологических процессов в Южно-Приаральском регионе имеет дальнейшее изучение подземных вод, приуроченных к верхнему и нижнему гидрогеологическому этажу. Первый залегает выше регионального сенон-палеогенового водоупора и характеризуется свободным водообменом с поверхностными и атмосферными водами.

6.1.3. Выводы

1. Снижение уровня Аральского моря на изменение режима ПВ верхнечетвертичных и современных отложений Амударьинского и Аральского комплексов оказывает существенное влияние только в пределах обсохшего дна моря, т.е. между береговыми линиями 53,0 м. абс. (1961 г.) и 30,0 м. абс. и более (2010-2019 гг.) отметках.

2. Для улучшения экологической обстановки обсохшей части Аральского моря необходимо:

- фитомелиоративная защита (лесхоз) – основное.
- рационально использовать воды существующих самоизливающихся скважин для отгонного животноводства, лесных хозяйств и др.
- увеличить территории польдерной зоны (увлажнить для предотвращения соле-пылепереноса), при нехватке поверхностных вод – путем бурения новых скважин на воду.
- увеличить количество фермерских хозяйств отгонного животноводства с водоснабжением из подземных вод путем бурения новых скважин на меловой водоносный горизонт с минерализацией 2-3 г/л.
- в связи интенсивным изменением береговой линии, опустыниванием Аральского моря для изучения уровенных и гидрохимических режимов подземных вод было бы целесообразным проложить гидроствор между оз. Джылтырбас и Архангельским валом, оборудовав спаренными наблюдательными скважинами через каждые 7-10 км на верхний и нижний водоносный горизонты протяженностью до непроходимой территории в сторону Аральского моря.

6.2. Почвенный покров исследуемой территории

Процессы высыхания Аральского моря привели к образованию новой формации почвенного покрова обсохшего дна.

Материнская порода современного почвообразования на осушенном дне Аральского моря имеет морской, озерный, аллювиальный, золовый генезис.

Первоначально морское дно видоизменяется в связи с происходящими процессами: происходят обнажение авандельты, высыхание остаточных озер с образованием рапы, запесочивание, передвижение песочных масс и передвижение барханов

Начальный этап формирования почвенного покрова связан с интенсивным засолением вышедших из-под уровня воды грунтов и образованием в зоне активного пляжа маршевых и приморских солончаков. В результате в процессе осушки, изменения гидрогеологических условий, происходят дальнейшие преобразования почвенного покрова, формируются разновидности солончаков. На последних стадиях развития почв солончаковые процессы, вызванные гидроморфными условиями, затухают, но во много крат возрастает роль аридно-зонального фактора, под влиянием которого дальнейшее развитие почв идет типично по пустынному типу.

При изучении почвенного покрова на обсохшем дне Аральского моря нами были выделены и описаны следующие разновидности приморских почв: солончаки полугидроморфные, солончаки гидроморфные, солончаки полуавтоморфные, солончаки автоморфные, пустынно-песчаные почвы, опустынившиеся аллювиально-луговые дельтовые почвы, пески, закрепленные в различной степени. При проведении лесомелиоративных мероприятий потребуются дифференцированный подход к выбору почвенных условий.

Исследования в поле включали маршруты и описание точек ландшафта, растительности, почвенного покрытия. На типичных выбранных участках были заложены 56 почвенных разрезов. Глубина заложения составляла 1,5 м. При необходимости были сделаны почвенные прикопки. Проведено морфологическое описание профиля по требуемому формату, выделены генетические горизонты, из середины которых отобраны почвенные образцы, дано описание почв по генетическим горизонтам и фотографии почвенных профилей. Почвенные образцы анализировались для определения химических и физических свойств почв на содержание органического вещества, гумуса, качественного и количественного состава воднорастворимых солей, а также гипса и карбонатов. Лабораторные анализы были выполнены лабораторией Аналитического центра качества, состава и репозиторий почв при Комитете по земельным ресурсам, геодезии, картографии и государственного кадастра.

6.2.1. Почвенный покров западной части обсохшего дна Аральского моря

Первая экспедиция включала в себя изучение почвенного покрова Муйнакской части осушенного дна моря.

Муйнакская часть осушенного дна моря, в основном, имеет равнинный характер с общим уклоном в западном и северном направлении. В середине массива проходит песчаная коса с барханами, в настоящее время соединившаяся с островом Лазарево.

На рис. 43. показаны маршруты экспедиций и расположение почвенных разрезов.

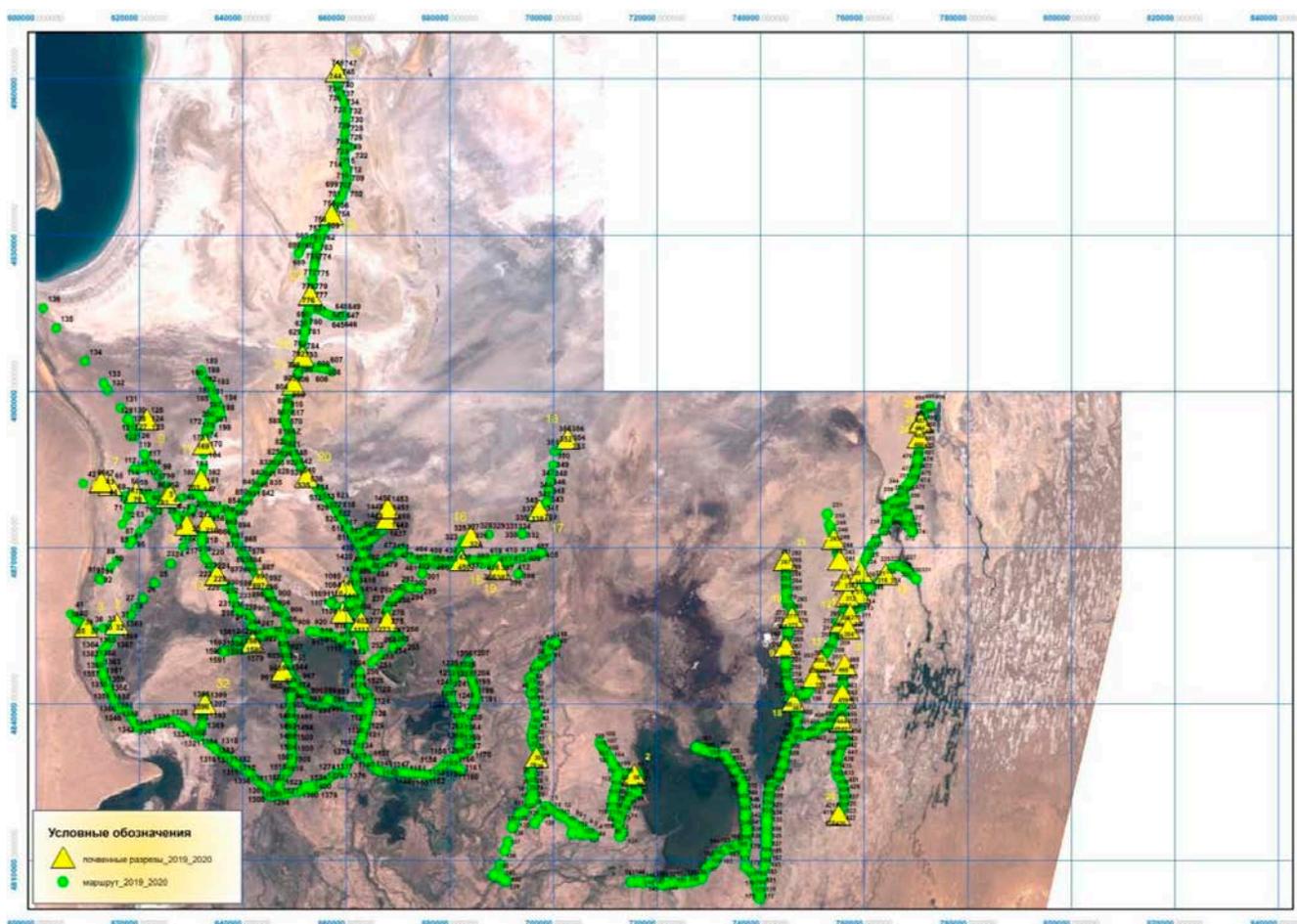


Рис. 43. Расположение почвенных разрезов

Солончаки приморские гидроморфные и их разновидности

К гидроморфным солончакам относятся солончаки в почвообразовательном процессе которых участвуют грунтовые воды при их глубине 0-3 м. К гидроморфным солончакам следует отнести маршевые солончаки, гидроморфные и умеренно-гидроморфные с глубиной грунтовых вод 0-2 м, полугидроморфные, с глубиной грунтовых вод 2-3 м. Деление это условное, так как участие грунтовых вод определяется и параметрами почв, например, гранулометрическим составом. При классификации почв важное внимание обращается

и на состояние почвы при ее морфологическом описании.

Маршевые солончаки (рис.44) представляют собой полосу, окаймляющую море, периодически затапливаемую морской водой. Маршевые солончаки имеют промывной режим и равномерное распределение солей по профилю, тип засоления солончаков хлоридный. По гранулометрическому составу они имеют широкий спектр от глин до песка.

Формирование маршевых солончаков в связи с осушкой Аральского моря имеет свои особенности.



Рис. 44. Узкая полоса маршевого солончака, Западное море

На рис. 44. приводится пример маршевых солончаков Западного моря, которые образуются в результате периодического поступления воды в море и последующего высыхания их в засушливые годы. На побережье Западного моря маршевые солончаки выделяются узкой полосой, так как поступление воды в Западное море в последние годы весьма незначительное (рис. 45) и процесс здесь в основном односторонний в направлении осушки.

Периодически промывной режим сменяется на выпотной, а первоначально хлоридный тип засоления – на хлоридно-сульфатный и сульфатно-хлоридный, с плотным остатком в максимуме до 15%. Процесс преобразования маршевых солончаков в приморские (рис. 46) протекает приблизительно в течение трех-четырех лет и связан с изменением характера распределения солей в почвенном профиле и накоплением их в первой метровой толще. Уровень грунтовых вод при этом снижается с 0,5 до 1,5 м.

Солончаки полугидроморфные, гидроморфные, умеренно-гидроморфные

Гидроморфные приморские солончаки занимают более половины площади обсыхающего морского дна. Они распространены между полуавтоморфными солончаками и современным урезом воды в море. Полугидроморфные почвы представлены как корковыми (непрочно и прочно-корковые), так и корково-пухлыми разновидностями. Иногда встречаются прибрежные солями пятна пухляков, легко поддающихся дефляции. В некоторых местах, где поверхностные горизонты представлены супесчано-песчаными отложениями, видны следы ветровой эрозии.

В виду широкого распространения эти солончаки образуются на отложениях различного механического состава, имеют часто слоистый профиль, иногда смешанного аллювиально-морского генезиса.

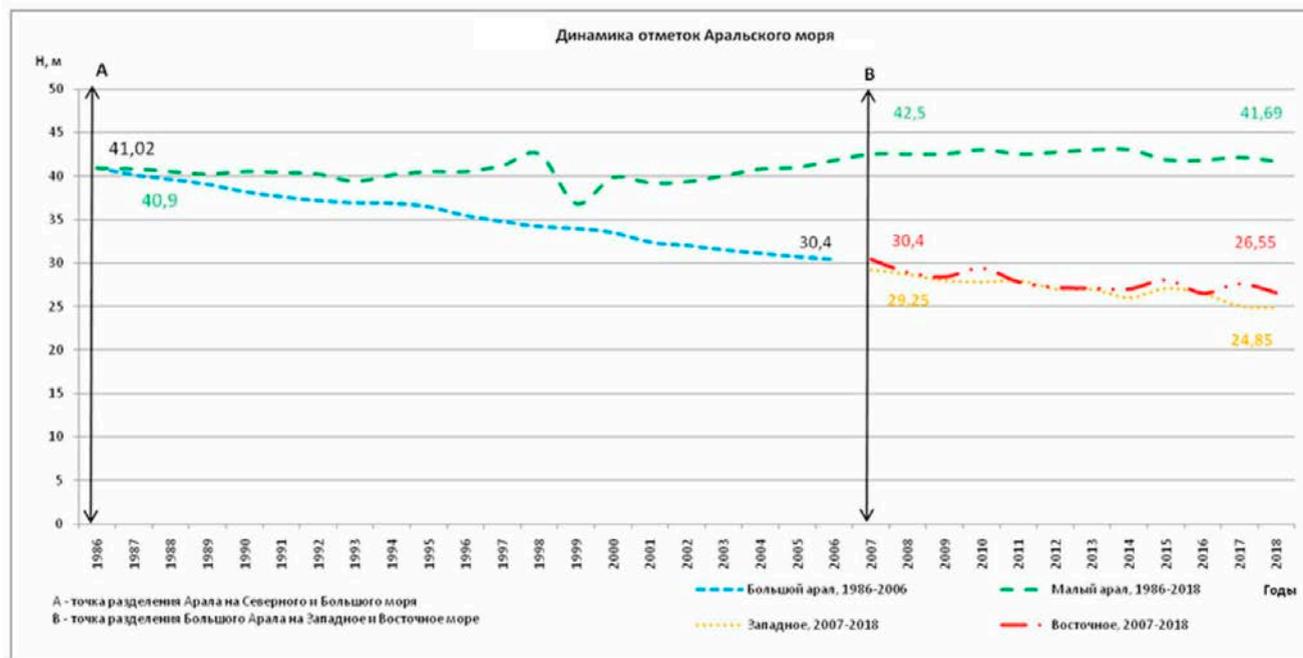


Рис. 45. Динамика отметок Аральского моря



Рис. 46. Переход от маршевого в гидроморфный приморский солончак

Растительность представлена различными ассоциациями, в зависимости от расположения контура полугидроморфного солончака: карабаракково-гребенщиковой, гребенщиковой, солеросами, остатками тростниковой растительности и открытой поверхностью без растительности.

Наблюдаемые нами типичные гидроморфные (умеренно-гидроморфные) солончаки с близкими грунтовыми водами приурочены к западной осушенной части Восточного моря. Уровни грунтовых вод по створу от нулевой отметки изменяются от 1,5 до 0,8 м. По гранулометрическому составу почва относится к супесчаным и песчаным (Р. 21, Р.23, Р. 24, Р.25) (табл. 16) и слоистым с суглинистыми прослойками (Р.22) (рис. 47, табл. 16). Почвы имеют сульфатно-хлоридное и сульфатное засоле-

ние, по степени засоления сильно и среднезасоленные по ЕСе и слабо- и средnezасоленные по Cl и Na (рис. 48).

Значения по ЕСе dS/m составляют от максимума в верхней части суглинистого профиля 161,6 dS/m в разрезе Р.22 и до 329,6 dS/m в разрезе Р.18, тяжелосуглинистой и глинистой почвы, остальные разрезы, имеющие супесчаный и песчаный состав, не имеют четкой дифференциации солей по профилю.

Разрез Р.18 был заложен в умеренно-гидроморфных условиях, по всему профилю имеет тяжелый гранулометрический состав (табл. 16). Почва – приморский солончак, образованный на слоистых аллювиально-морских отложениях авандельты и морского дна фото (рис. 48, 49).

<p align="center">Схема чертежа почвенного разреза Разрез Р-22</p>	<p align="center">Горизонт и мощность в см</p>	<p align="center">Описание разреза: механический состав, влажность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболоченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности</p>
	0-2	Корка светло-серая, сухая
	2-10	Песок, соль, влажный, бесструктурный, блестит на солнце
	10-12	Прослойка легкого суглинка, ржавого цвета, большое количество солей, рыхлый, бесструктурный, в некоторых местах коричневые оструктуренные включения
	12-28	Темная, серая, почти синяя влажная глина, слоистая, на гранях слоистых отдельностей ржавые пятна
	28-36	Сизая, большое количество ржавчины, комковатая структура 1-2 см, мокрая, переход заметный
	36-46	Темно-серый, мокрый, ржавые пятна, более рыхлый, рассыпается на мелкие комочки, ракушки.
	46-60	Темно-серый, влажноватый, легкий суглинок, порошистый, много ракушек, ржавые пятна, горизонт суше остальных
	60-90	Мокрый, сизый, ржавые пятна, легкий суглинок, неоднородный

Рис. 47. Описание профиля, разрез Р-22, солончак приморский гидроморфный (умеренно гидроморфный) на материнской породе морского генезиса



Рис. 48. Солончак приморский умеренно-гидроморфный, Борозды, нарезанные Андижанским вилоятом

<p align="center">Схема чертежа почвенного разреза Разрез Р-18</p>	<p align="center">Горизонт и мощность в см</p>	<p align="center">Описание разреза: механический состав, влаж- ность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболо- ченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности</p>
	0-1	Корка, соль
	1-8	Коричневый, сероватый, пухлый, рыхлый, легкий суглинок
	8-22	Серый, влажноватый, плотноватый, белесый за счет большого количества солей, 7-18 прослоек белого цвета
	22-38	Сизый, влажный, тяжелый суглинок, комковато-ореховатая структура, редкие белые пятна (соль) 37-40 слой
	38-45	Почти белый, влажный, глина, мелкий, комковато-ореховый слой, переход заметный
	45-70	Сизая глина, пластичная, мокрая

Рис. 49. Описание профиля, разрез Р-18, солончак приморский (умеренно гидроморфный) полугидроморфный на материнской породе аллювиально-морского генезиса

Авандельты, как и дельты, формируются из материала гидровзвесей. Здесь также образуется слоистый по литологии профиль, но если в дельтах в любом случае чередуются слои аллювиального генезиса, то в авандельтах они перемежаются со слоями морских осадков, что четко наблюдается в профиле почв на аллювиально-морском материале.

Полугидроморфные приморские солончаки формируются при залегании минерализованных грунтовых вод в пределах 2-3 м. Минерализация грунтовых вод достигает 20-80 г/л. Тип минерализации преимущественно хлоридный магниево-натриевый.

Полугидроморфные приморские солончаки, непрочно-корковые почвы характеризуются разрезами Р. 9 и Р.11 (рис. 50, 51). Почвы очень сильно засолены по всему профилю в оценках классификаций по ЕСе м (24-69 dS/m), TDS (2-9 %), по Na и по Cl (табл. 16). Тип засоления хлоридный (рис. 51).

По гранулометрическому составу почвы относятся к глинам, припесчаненным с поверхности и подстилаемым сизой мокрой глиной.

Во всех почвенных горизонтах наблюдаются ржавые окисные цвета, пятна и белый налет, раздробленные ракушки. Все свидетельствует о морском генезисе породы.

Почва периодически высыхает и снова увлажняется, о чем свидетельствуют окисный налет ржавого цвета.

В настоящее время естественное покрытие нарушено повсеместно нарезанными под лесопосадки бороздами.

Гидроморфные приморские солончаки встречаются около наливных водоемов, в депрессиях дна, вокруг многочисленных остаточных озёр. К тому типу относятся почвы высыхающей депрессии, озёра вдоль Тигрового хвоста, озёрно-рапового вида, почва разреза 31 на соляной шоре.

Минерализация грунтовых вод хлоридно-магниево-натриевого состава здесь достигает 65 г/л. С поверхности почвы тёмно-серая корка очень плотная, толщиной

2-3 см, средне-суглинистая, сильно-засоленная, хлоридно-сульфатного типа засоления.



Рис. 50. Полугидроморфный приморский солончак, непрочно корковый

Схема чертежа почвенного разреза Разрез Р-9	Горизонт и мощность в см	Описание разреза: механический состав, влажность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболоченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности
	0-2	Корка, непрочная, супесь
	2-15	Светло-серый, сыроватый, большое количество ракушек, очень рыхлый, средний суглинок с песком неоднородным
	15-32	Темно-серый, коричневатый, влажноватый, плотный, комковато-ореховатая структура, легко рассыпается в руке, большое количество ржавых пятен и белого налёта, включение раздробленных ракушек, тяжелый суглинок
	32-42	Темно-серый, коричневый оттенок, ржавый по всему периметру, хорошо выраженная призматическая структура, по граням покрыта ржавым налетом, тяжелый суглинок, переход заметный
	42-55	Темно-серый с бурыми пятнами, влажный, с белыми ракушками, мучнистое включение карбонатов, очень пластичный, глина, переход заметный
	55-73	Мокрая глина с ржавыми пятнами
	73-100	Сизая глина

Рис. 51. Описание профиля, разрез Р-9, солончак приморский полугидроморфный на материнской породе морского генезиса



Рис. 52. Гидроморфный солончак, шора

Остальной профиль – сильно и очень сильно засоленный уплотненный песок, по типу засоления сульфатно-хлоридный (табл. 16).

В приморских солончаках полугидроморфных промывной режим сменяется на выпотной.

Наиболее податливыми к ветровой эрозии среди полугидроморфных солончаков являются пухлые солончаки, поверхность которых представлена порошистым землисто-солевым слоем, а также солончаки, сформированные на супесчано-песчаных отложениях.

На поверхности последних образуется очень слабая песчано-солевая корочка, которая легко разрушается ветром. Поверхность почвы покрывается плоскими (пластовыми) очагами дефляции. Эти солончаки являются активными продуцентами солей, выносимых ветром за пределы котловины бывшей акватории. Растительность представлена различными ассоциациями, в зависимости

от расположения контура полугидроморфного солончака: карабароково-гребенщиковой, гребенщиковой, солеросами, остатками тростниковой растительности и открытой поверхностью без растительности.

Солончаки приморские автоморфные и полуавтоморфные

Автоморфные (разрезы Р.2, Р.7, Р.13, Р.14, Р.15, Р.16, Р.19, Р.20, Р.27, Р.28, Р.29, Р.30, Р.35) (табл. 16) и относящиеся к ним полуавтоморфные (разрезы Р.1, Р.3, Р.4, Р.5, Р.6, Р.8, Р.10, Р.26, Р.33, Р.34) (табл. 16) приморские солончаки распространены в южной части обсохшего дна. Солончаки автоморфные формируются в условиях залегания грунтовых вод глубже 5 метров. Чаще всего они встречаются в комплексе с песками. Автоморфные солончаки представлены в основном корковыми и корково-пухлыми разновидностями. Землисто-солевая корка прочно бронирует поверхность почвы

Схема чертежа почвенного разреза Разрез Р-31	Горизонт и мощность в см	Описание разреза: механический состав, влажность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболоченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности
	0-2.5	Корка плотная, темная, серая, с темным пятном
	2.5-6	Песок соленый, светло-коричневый, слоистый
	6-25	Светло-коричневый, слоистый, тонкие по 0,5 см, мелких корней растений
	25-37	Серый с ржавыми пятнами, белая соль заметная
	37-53	Рыжий песок с ракушками
	53-90	Мелкий, легкий суглинок, весь профиль сырой

Рис. 53. Описание профиля, разрез Р-31, солончак приморский гидроморфный на материнской породе озерно-морского генезиса

и предохраняет, залегающий под нею порошисто-пухляковый горизонт, от ветрового разрушения. Этому способствует и высохший растительный покров, иногда очень густо покрывающий поверхность земли. Разрушение землисто-солевой корки и уничтожение остатков растительного покрова ведет к активизации эолово-эрозионных процессов.

Большой массив автоморфных солончаков расположен в средней части изучаемой территории, приуроченный к песчаной косе вытянутой с юга на север: разрезы Р.12, Р.13.

Ниже приводится описание разреза Р.13, заложенного в старом саксаульнике, почва – корково-пухлый солончак, автоморфный (рис. 54, 55).

Восточная часть территории, примыкающая к авандельте и авандельта реки заняты

автоморфными солончаками и пустынно-песчаными почвами: разрезы Р.15, Р.16, Р.19, Р.20 (табл.16) (залив Фищенко). Слоистый характер грунтов, образованных наносами реки, приводит к тому, что при высыхании почвогрунтов в профиле образуются мощные трещины усыхания. В эти трещины попадают атмосферные и поверхностные воды и размывают их. Образуются карстово-суффозионные воронки, иногда очень крупных размеров (рис. 56).

В периферических частях авандельты при высыхании также образуются трещины усыхания, но они скрыты под песчано-супесчанными морскими осадками.

Автоморфные солончаки являются переходной стадией к пустынно-песчаным почвам, поэтому в оценке почвы следует указать, что такой процесс имеет место: разрезы Р.13, Р.15.



Рис. 54. Солончак корково-пухлый автоморфный

<p align="center">Схема чертежа почвенного разреза Разрез Р-13</p>	<p align="center">Горизонт и мощность в см</p>	<p align="center">Описание разреза: механический состав, влажность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболоченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности</p>
	<p align="center">0-1</p>	<p>Корка светло-серая, сухая, в ненарушенном состоянии плотная, большое количество мелких корней, супесь песок</p>
	<p align="center">1-6</p>	<p>Подкорка, супесь светло-серая, пылит, сухая, большое количество корней, мелких, остаточные ракушки, целые и раздробленные</p>
	<p align="center">6-16</p>	<p>Светло-серый, сухой, рыхлый, бесструктурный, пылит, мелкие корни растений, в профиле бурый оттенок, переход заметный по плотности</p>
	<p align="center">16-37</p>	<p>Серый с коричневым оттенком, плотноватый, неоднородный в сложении, ореховатая структура, между отдельностями поры заполнены мелкоземом верхнего горизонта</p>
	<p align="center">37-58</p>	<p>Серый с коричневым оттенком, почти сухой, комковатая структура, легкий суглинок, в середине горизонта 0-10 см линзы песка, на солнце искрит, большое количество ракушек</p>
	<p align="center">58-85</p>	<p>Почти сухой, серый с коричневым оттенком, слоистый, комковатая структура, средний суглинок, по профилю слои песка, палевые пятна, карбонаты, встречаются остатки ракушек</p>
	<p align="center">85-90</p>	<p>Очень плотный, темно-серый, холодит руку, легкий суглинок, крупно-комковатый</p>

Рис. 55. Описание профиля, разрез Р-13, солончак приморский автоморфный корково-пухлый



Рис. 56. Карстово-суффозионные воронки (упканы)



Рис. 57. Солончакаutomорфный непрочнo-корковoй

<p align="center">Схема чертежа почвенного разреза Разрез Р-15</p>	<p align="center">Горизонт и мощность в см</p>	<p align="center">Описание разреза: механический состав, влажность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболоченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности</p>
	0-1	Корка, рыхлая
	1-6	Светло-серая, с палевым оттенком, сухой, пылит, рыхлый, бесструктурный, блестит на солнце, много ракушек, переход заметный, песок, супесь
	6-10	Сыроватый, коричневый с сизыми прослойками, мелко комковатая структура, рыхлый, отдельное включение, местами рыжие пятна, легкий суглинок
	10-30	Сырой, плотный, хорошо выраженная ореховатая структура 0,5-1 см в ненарушенном сложении выглядит слоистым, включения белого цвета, мучнистые, включения в виде камней похоже на стекло (гипс) 0,5-1,5 см, трещины заполнены палевым мелкоземом, коричневый
	30-39	Сырой, коричневый с сизыми пятнами, включение в виде мелких камушков 0,5 см, большое количество ржавых пятен, тяжелый суглинок
	39-44	Однородный по цвету коричневый, крупно ореховато комковатая, включение в виде камней как стекло, 0,5-2 см гипс, тяжелый суглинок, глина, ржавые пятна
	44-77	Песок, светло-коричневый с рыжими пятнами, тонко пористый песок

*Рис. 58. Описание профиля, разрез Р-15, солончак приморский автоморфный
На морской материнской породе, периодически увлажняемый из Инженер-Узьяка*



*Рис. 59. Солончак прочно-корковый
полуавтоморфный (разрез Р-10)*



*Рис. 61. Солончак корковый полуавтоморфный,
местами с ракушечником, разрез Р-1*

<p align="center">Схема чертежа почвенного разреза Разрез Р-10</p>	<p align="center">Горизонт и мощность в см</p>	<p align="center">Описание разреза: механический состав, влажность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболоченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности</p>
 <p>Профиль трещиноватый, трещины до 20 см заполненным грунтом с 22 см, рыхлый, бурый, бесструктурный</p>	0-1	Корка
	1-22	Рыхлый, легкий суглинок, бурый, практически сухой, пылит, бесструктурный, пластинчатая, переход заметный
	22-30	Темно-серый с палевым оттенком тяжелый суглинок, много мелких корней, хорошо выраженная ореховатая структура, влажноватый, переход заметный по влажности.
	30-65	Влажный, темно-серый, тяжелый суглинок, очень пластичный, комковатая структура слабо выраженная, редкие белые пятна, переход постепенный
	65-90	Влажный (почти мокрый), пластинчатый, бесструктурный, редкие белые точки (ракушечник), глина вязкая.

Рис. 60. Описание профиля, разрез Р-10, солончак приморский полуавтоморфный прочно-корковый на материнской породе морского генезиса

Засоление меняется по ЕСе от 9 до 60 dS/m, по TDS от 1 до 9 %.

Автоморфные солончаки, расположенные в западной и в южной части изучаемой территории вдоль чинка (разрезы Р.2, Р.35, Р.27) (табл. 16), также встречаются в комплексе с бугристыми песками, с барханами, заросшими и слабозаросшими.

Автоморфные почвы – корковые и корково-песчаные, но незакрепленные искусственно или естественно они являются опасностью – источником соле-пылепереноса.

В приморских солончаках (полуавтоморфных) (рис. 59) имеет место выпотной режим. Капиллярная кайма в особенно тяжелых грунтах поднимается до поверхности почвы и на границы её происходит интенсивное испарение и осаждение солей в верхнем горизонте, что демонстрируют результаты водной вытяжки образцов разреза (разрез Р.10) (рис. 60).

В слое 0-20 см разреза Р.10 засоление почвы равно ЕСе 120-180 Ds/m, TDS 13,7–16,7 %. Остальные горизонты имеют значения засоления по ЕСе 20-25, TDS 1,7–2,3 %.

В профиле разреза 5 соответственно значения засоления ЕСе 165, TDS 12,2 % и ЕСе 11-70, TDS 0,8-9,6 %.

Аналогично предыдущему примеру полуавтоморфная почва (разрез Р.1) (рис. 61, 62) характеризуется скоплением солей в верхнем горизонте ЕСе 247,2 Ds/m и TDS 16,284 %.

Соответственно данным по уровню залегания грунтовых вод, все приведенные примеры демонстрируют: несмотря на то, что разрезы расположены в условиях глубоких грунтовых вод (> 5 м) и по этому признаку их следует отнести к автоморфным солончакам, тяжелый гранулометрический состав этих почв обеспечивает хорошую капиллярную подпитку из грунтовых вод и выпотной режим влажности,

поэтому они отнесены к полуавтоморфным почвам. При проведении морфологического описания почв было отмечено, что профиль почвы очень влажный, в нижней части даже мокрый.

Пустынно-песчаные почвы

На изучаемой территории пустынно-песчаные почвы встречаются двух типов.

Первый тип – это генетически сформированные, старые почвы, находящиеся в длительном почвообразовательном процессе. Эти почвы приурочены к островным ландшафтам.

В результате эоловой деятельности они часто перекрыты песком.

Второй тип – это молодые примитивные пустынно-песчаные почвы (рис. 63). В их профиле уже четко определяется гумусовый горизонт, но они еще сохраняют признаки засоления, присущие солончакам, на которых образованы пустынно-песчаные почвы.

Для демонстрации начального процесса почвообразования, перехода к пустынному типу и формированию пустынно-песчаных почв, были заложены два разреза в некотором удалении друг от друга. Один под старым

Схема чертежа почвенного разреза Разрез Р-1	Горизонт и мощность в см	Описание разреза: механический состав, влажность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболоченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности
	0-1	Корка, довольно плотная, белая, мелкопористая, сверху ракушечник, засоленный
	1-10	Коричневая, почти суховатая, влажноватая, бесструктурная, пылит, включение большого количества ракушечника, переход заметный соль
	10-26	Темно-серый, тяжелый суглинок (слегка опесчаненный), сыроват, плотный, слоистое сложение, пластинчато-ореховатая структура, мелкие белые пятна
	26-43	Заметное отличие от остальных горизонтов, тяжелый суглинок, темно-серый влажноватый, хорошо выраженная ореховатая структура в ненарушенном сложении, слоистая, редкие белые пятна, переход заметный по цвету
	43-57	Глина, влажноватая, хорошо выраженная, средне-комковатая структура, рассыпается на оgranённые комки, по граням светлый окрас подтеков, редкие мелкие до 1 см белые пятна, переход постепенный
	57-73	Тяжелый суглинок, темно-серый, влажноватый, плотный, выраженная комковато-пластинчатая структура, подтеки ржавые, супесчаные, светло-серые, редкие, белые мелкие пятна
	73-100	Глина, пластичная влажная, однородная достаточно плотная, слабовыраженная

Рис. 62. Описание профиля, разрез Р-1 солончак приморский полуавтоморфный, корковый на материнской породе морского генезиса

саксаулом, другой – на пустом незаросшем месте (разрезы Р.30 и Р.29) (рис. 63, 65), севернее Рыбачьего залива.

Для характеристики морфологического профиля пустынно-песчаных почв приводится описание разреза Р.30, заложенного на территории десятилетних искусственных посадок саксаула.

Как следует из морфологического описания, профили почв практически идентичны, имеют одинаковый гранулометрический состав, однако процессы изменения уже прослеживаются в двух направлениях перехода к пустынно-песчаной почве: солончак приморский (разрез Р.29) имеет хлоридный тип засоления, пустынно-песчаная почва (разрез Р.30) – хлоридно-сульфатный тип засоления.



Рис. 63. Пустынно-песчаная почва под старым саксаульником, разрез Р-30

<p align="center">Схема чертежа почвенного разреза Разрез Р-30</p>	<p align="center">Горизонт и мощность в см</p>	<p align="center">Описание разреза: механический состав, влажность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболоченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности</p>
	0-1	Корка сухая, супесь, на поверхности большое количество остатков растений
	1-5	Сухой, супесь, слабо выраженная комковатая структура, много корней мелких, пылит, переход заметный
	5-20	Сыроватый, легкий суглинок, светло-коричневого цвета, в руке рассыпается, редкие белые пятна 1-2 мм плотнее предыдущего, переход заметный
	20-47	Очень плотный, коричневый, комковатая структура, по структурным граням ржавые пятна, тяжелый суглинок, в профиле слоистый
	42-45	Серый песок
	47-56	Белесый, плотный, сырой, ракушечник слой, песок
	56-85	Бурый, сырой, непрочная структура, рассыпается в руке, слоистый, легкий суглинок, на глубине 65 см до дна разреза мощный корень 6 см,

Рис. 64. Описание профиля, разрез Р-30 пустынно-песчаная почва

Содержание гумуса соответственно в верхней части профиля 0.42 и 0.60 %

Песчаные образования с золовым эрозионно-аккумулятивным рельефом

Высыхание моря привело к перераспределению песчаного материала и формированию золово-аккумулятивного ландшафта (рис.67).

К настоящему времени сформировалось несколько песчаных массивов, находящихся в данный момент в различной степени стабильности.

Это два массива на контакте с аллювиально-дельтовой равниной Амударьи и заливом

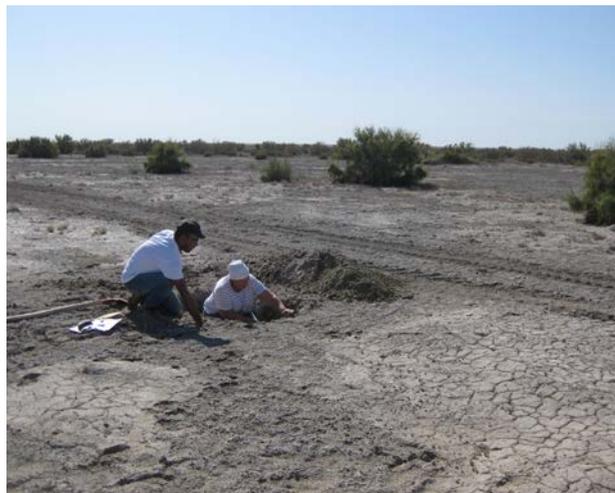


Рис. 65. Приморский полувтоморфный корковый солончак, разрез Р-29 на расстоянии 10 м от формирующейся пустынно-песчанной почвы, разрез Р-30

Схема чертежа почвенного разреза Разрез Р-29	Горизонт и мощность в см	Описание разреза: механический состав, влажность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболоченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности
	0-1,5	Корка сухая, плотноватая, на поверхности ракушки
	1,5-4	Сухой, пылит, супесь, блестит на солнце, редкий ракушек
	4-18	Сухой, серый, легкий суглинок с редкими ржавыми пятнами, блестит на солнце, много ракушек, без корней растений
	18-33	Плотный, сыроватый, коричневый, крупно-комковатая структура, почти весь ржавого цвета, средний суглинок (тяжелый суглинок), остатки ракушек и песок прослойка (30-33 см) в нижней части профиля. Переход заметный
	33-38	Ракушечник, блестит на солнце, супесь, почти белого цвета (белесый), светло-серый, очень редкие бурые пятна.
	38-69	Светло-коричневый, сыроватый, песок, легкий суглинок, блестит на солнце, на глубине 52-54 см коричневая прослойка, в профиле много ракушек, корней растений нет, переход заметный
	69-95	Желтый, с рыжими прослойками, сыроватый, не прочная комковатая структура, плотноватый

Рис. 66. Описание профиля, разрез Р-29, солончак приморский автоморфный, корковый

Аджибай. Восточная часть изучаемой территории обсохшего дна местами имеет грядо-во-барханный характер.

При продвижении на запад к водной протоке аккумулятивный рельеф сменяется на мелкобугристый с незакрепленными подвижными песками. Северная половина этих массивов зачастую имеет характерный для дефилирующих поверхностей рельеф: не разрушенные припесчаненные поверхности дна чередуются с многочисленными глубокими очагами дефляции. Южная часть, несмотря на активную дефляцию, местами покрыта сравнительно хорошим травостоем. Здесь при автоморфном режиме увлажнения формируются пустынные песчаные почвы. Верхние горизонты почвенного покрова представляют собой подобие рыхлой дернины.

В районе залива Аджибай, западней Муйнакского залива, песчаный массив приобретает кочковатый рельеф. Здесь произрастает довольно разнообразная кустарниковая и травянистая растительность. На закрепленных травянистой растительностью поверхностях формируются примитивные пустынные песчаные почвы.

Цепь средних и высоких полужакрепленных бугров и барханов тянется вдоль полуострова Тигровый хвост. Здесь местами присутствуют пустынно-песчаные почвы.

У западного побережья полуострова располагается массив, сложенный морскими осадками и обломками третичных отложений. Он вытянут с юга на север вдоль побережья. Сейчас обломки третичных пород обнажены или частично пересыпаны грубым щебнисто-песчаным материалом с примесью ракушек. Часть территории погребена под отдельными невысокими буграми навейных песков. Грядовые барханы, ориентированные с севера востока на юго-запад, высотой до

5-7 метров, незаросшие, тянутся вдоль почти все полосы конуса выноса, песчаной косы, в средней части массива. Восточная часть этого регионального поднятия занята равнинными незакрепленными песками с отложениями коренных пород.

Общий рельеф территории представляет собой равнину с уклоном в сторону современного уреза воды и уклоном от чинка к заливу Аджибай. Процесс высыхания моря здесь наблюдался в двух направлениях. Море отходило от коренного обрывистого берега Устюрта на восток и одновременно отодвигалось на север. Обрывистый чинк Устюрта сложен слоистыми четвертичными отложениями (рис.68).

В результате анализов полученных полевых и лабораторных данных по типичным почвенным разрезам выполнена классификация почв (табл. 15). Результаты проведенной работы приводятся ниже.



Рис. 67. Золотой эрозионно-аккумулятивный рельеф



Рис. 68. Чинк Устюрта

Почвенная классификация 2019 г.

№ пп	№ точки (GPS)	Краткая характеристика почвы** (Стулина Галина, Идирисов Камалатдин, Рузиев Ислон)			
		№ почвенного разреза	Тип почвы	Гранулометрический состав	Тип засоления
1	9	1	Солончак приморский, корковый, такыровидный полуавтоморфный	Средний и тяжелый суглинок по профилю	хлоридный/сульфатно-хлоридный
2		2	Солончак приморский, автоморфный, (полуавтоморфный),	Средний тяжелый суглинок по профилю	Ch / Ch
3	37	3	Солончак приморский, корковый, полуавтоморфный, периодически промываемый	Тяжелый суглинок	
4	45	4	Солончак приморский, непрочно-корковый, полуавтоморфный, периодически промываемый такыровидный пверхностный	Глинистый и тяжелый суглинок, супесь в нижней части профиля	Ch-S / S-Ch
5	51	5	Солончак приморский, корковый, мокрый с поверхности, полуавтоморфный	Суглинок и глина, супесь в нижней части профиля	Ch / S-Ch
6	65	6	Солончак запесчаненный, непрочно-корковый, полуавтоморфный	Суглинок и глина	S-Ch / S-Ch
7	66 (43 старая)	7	Песок с большим количеством ракушечника. Подстилается глиной.	Слоистая комплекс супеси и легкого суглинка, глина в нижней части профиля	S / Ch-S
8	112	8	Солончак, такыровидный, полуавтоморфный, борозды	Суглинок	S / Ch / S-Ch
9	124	9	Солончак, непрочно-корковый, полугидроморфный, борозды	Глина, запесчаненная с поверхности	Ch / Ch
10	148	10	Солончак прочно-корковый, полуавтоморфный	Глина, суглинок с поверхности	Ch / Ch
11	166	11	Солончак корковый, полугидроморфный, борозды	Глина, супесь с поверхности	Ch / Ch (S-Ch)
12	211	12	Солончак запесчаненный	Легкий суглинок, супесь с поверхности	S / Ch-S

№ пп	№ точки (GPS)	Краткая характеристика почвы** (Стулина Галина, Идирисов Камалатдин, Рузиев Ислон)			
		№ почвенного разреза	Тип почвы	Гранулометрический состав	Тип засоления
13	233	13	Солончак корково-пухлый, запесчаненный автоморфный, ближе к пустынно-песчаной почве, (под саксаульником)	Тяжелый суглинок, супесь с поверхности	Ch-S / S-Ch
14	274	14	Солончак автоморфный, намытый, уплотнен с глубины ближе к пустынно-песчаной почве	Легкий суглинок, глина в нижней части профиля	S / S-Ch
15	317	15	Солончак –корково-пухлый с поверхности, автоморфный загипсованный	Глина с супесью в верхней и нижней части профиля	S / S-Ch
16	326	16	Солончак припесчаненный, корковый (слой соли на глубине 20-26 см), полуавтоморфный	Слоистый, суглинок, супесь	S / Ch
17	337	17 (прикопка)	Солончак с ракушечником	Легкий суглинок	S / Ch - S
18	353	18	Солончак, корковый, умеренно-гидроморфный, сильно засоленный с поверхности, борозды (Анд. вилоят)	Слоистый комплекс, тяжелый суглинок, глина,	Ch-S S-Ch S-Ch Ch-S
19	383	19 (прикопка)	Солончак прочно-корковый, местами перекрытый песком, полуавтоморфный	Слоистый комплекс, легкий суглинок, суглинок, супесь	Ch / S-Ch
20	535	20	Солончак, непрочно-корковый, полуавтоморфный, загипсованный, местами запесчаненный, слабозасоленный, борозды	Слоистый комплекс с преобладанием супеси с поверхности и в нижней части	S / Ch-S
21	583	21	Солончак умеренно-гидроморфный, борозды	Песок связанный	S / Ch-S
22	614	22	Солончак гидроморфный, корковый, борозды	Суглинок, супесь в верхней части профиля	S-Ch / S-Ch
23	656	23	Солончак, песок засоленный, рыхлая корка, умеренно гидроморфный	Супесь, песок в нижней части	Ch-S / S-Ch
24	742 3 скв. артез.	24	Солончак непрочно-корковый, засоленный песок, около куста, гидроморфный	Супесь, песок	Ch-S / S-Ch

№ пп	№ точки (GPS)	Краткая характеристика почвы** (Стулина Галина, Идирисов Камалатдин, Рузиев Ислон)			
		№ почвенного разреза	Тип почвы	Гранулометрический состав	Тип засоления
25	745	25	Солончак запесчаненный, непрочно-корковый, гидроморфный	Песок пористый	S / Ch-S
26	888	26	Солончак, прочно-корковый, полуавтоморфный на озерно-аллювиальных отложениях (УГВ, 2,5-3 м)	Слоистый комплекс, легкий суглинок и тяжелый суглинок	S-Ch / S-Ch
27	954	27	Пустынно-песчаная, намытая почва, автоморфная	Суглинок, супесь в верхней части профиля	(S-Ch) S / S
28	1036	28	Солончак (ближе к пустынно-песчаной почве) периодически промываемый	Супесь, песок	
29	1082	29	Солончак прочно-корковый, автоморфный, ракушки на поверхности	Слоистый, неоднородный, легкий суглинок, супесь, уплотненный песок	Ch / Ch
30	1082	30	Пустынно-песчаная почва, (около дерева), автоморфный	Слоистый, неоднородный, легкий суглинок, супесь, уплотненный песок	Ch-S / S-Ch
31	1096	31	Шора, черный цвет, гидроморфный (0-1,5 м) Солончак на озерно-морских отложениях	Суглинок с поверхности, песок по профилю	Ch (Ch-S) / S-Ch
32	1398	32	Солончак на озерно-аллювиальных отложениях, корковый. Ракушечник с поверхности, около барханов	Слоистый, тяжелый суглинок, суглинок в нижней части, легкий суглинок и супесь в верхней части	(S-Ch) Ch / S-Ch
33	1442	33	Солончак корковый, полуавтоморфный, периодически промываемый	Суглинок легкий и тяжелый	S-Ch / S-Ch
34	1448	34	Солончак корковый, (вздыбленная корка) полуавтоморфный	Суглинок легкий и тяжелый	Ch / Ch-S (Ch)
35	1564	35	Солончак корковый, автоморфный, периодически промываемый	Суглинок легкий и тяжелый, глина в нижней части	Ch/S / S-Ch

6.2.2 Почвенный покров восточной части обсохшего дна Аральского моря

Несомненно, что вся территория осушенного дна моря имеет единые характеристики, однако в геоморфологическом, геологическом и почвенном смысле, кроме общего, каждая часть осушки имеет свои особенности. Так, в настоящее время Муйнакская часть осушки примыкает как к Западному, так и Восточному морям. Джылтырбаская часть примыкает, после разделения Большого Аральского моря, к Восточному морю. Это накладывает особенности на происходящий почвообразовательный процесс. Особенности осушки привели и к различному соотношению почвенных разностей.

Солончаки полугидроморфные, гидроморфные, умеренно-гидроморфные

Уровень Восточного моря в большей степени зависит от поступления в него водных источников и зависит не от естественного режима уровня моря, а от антропогенных факторов, определяющих его режим.

В связи с этим, существует сложность в выделении маршевых солончаков, образование которых по природе связано с естественным колебанием уровня моря, что формирует полосу, периодически увлажняемую и промываемую вдоль моря.

Поступление воды в Восточное море меняется в зависимости от водности года, но часть моря необратимо переходит в сушу. Таким

Схема чертежа Почвенного разреза Разрез Р-22, 2005 год	Горизонт и мощность в см	Описание разреза: механический состав, влажность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболоченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности
Кусок сгнившего дерева	0-3	Песок, серый, сухой, рыхлый, ракушечник
	3-7	Светло-серый, сизый, сухой, плотный, пластинчатой структуры (л.суг), песок
	7-14	Темно-серый, влажный, рыхлый песок с включениями мелких ракушек, раздробленные ракушки
	14-27	Коричневый влажный, глина с ржавыми пятнами
	27-31	Прослойка песка желтого
	31-47	Глина, с включениями песка ржавые пятна
	47-63 2 обр.	Песок с ржавыми пятнами
	63-150	Глина красная

Рис. 69. Описание профиля, (разрез Р-22, 2005 г.) солончак маломощный гидроморфный

образом, осушка Восточного моря приводит к образованию значительной площади приморского гидроморфного и полугидроморфного солончака (рис. 69) на морских отложениях, отгороженного от всего массива осушки грядой барханов и приморских дюн, непроходимых незакрепленных и подвижных.

В 2005 году был заложен разрез Р-22 на маломощном гидроморфном солончаке с 15 см, подстилаемый мокрой красной глиной на границе с массивом барханов.

В настоящее время дефлирующие пески значительно передвинулись в юго-западном направлении, перекрыли собой гидроморфные почвы на морских отложениях. По химическому составу приморские гидроморфные солончаки имеют высокую степень засоления

хлоридного типа, равномерное распределение солей по профилю.

Другие условия образования гидроморфных и полугидроморфных почв – разливы Кокдарьи, залива Джылтырбас, протоки Тогузаркан.

Гидроморфные почвы, образованные на аллювиальных и морских отложениях имеют переслаивающийся гранулометрический профиль Р.16(2), (рис. 70, 71).

Засоление всего почвенного профиля хлоридное. Степень засоления зависит от гранулометрического состава: средне и сильнозасоленный изменяется от 2 до 15 dS/m, EC dS/m от 0,6 до 3,2, TDS от 0,2 до 1,2 %, высокая степень засоления относится к тяжелым по гранулометрическому составу слоям.



Рис. 70. Солончак гидроморфный, соляная корка, разрез Р-16 (2)

Для гидроморфных солончаков характерно наличие соляной корки на поверхности, очень сильнозасоленной P.16(2), EC - 64 dS/m, TDS – 7,8 %.

В легких почвах P-24(2) корка непрочная, слабощная, в условиях тяжелого и среднего гранулометрического состава поверхности корка прочная, вздыбленная, поверхность такырообразная P-25(2). Высокая степень засоления с величинами ECe – 21.5 dS/m – 123.2 dS/m, TDS – 3-14 % в слое 0-20 см почвенного профиля P-24(2) и ECe 25.5 dS/m – 242.0 dS/m почвенного профиля P-25(2).

Наличие хлоридных солей, неблагоприятные условия для приживаемости растений.

В Муйнакской части вокруг Аджибайского залива озерные отложения. Около Аджибайского залива, около Джылтырбаса в результате периодического увлажнения и высы-

хания откладываются аллювиальные озерные породы. Авандельта.

Вдоль русла Амударьи откладываются отсортированные аллювиальные отложения.

Разливы зал. Джылтырбас и оз. Куат и их частота влияют на почвенный покров прилегающей территории. Разрез P-10(2) был заложен в области влияния залива в посадках саксаула. Почвенное покрытие представлено комплексом прочно-коркового и корково-пухлого солончака полугидроморфного, УГВ – 2-3 м.

По типу засоления хлоридно-сульфатного, сульфатно-хлоридного, соответственно.

Гранулометрический состав – рыхлый песок с максимум солей в верхних горизонтах по ECe 30,80 dS/m и 11,8 dS/m, по TDS 3,9-1,5 % сильно и средnezасоленных. Остальной профиль почвы средне-засоленный сульфатно-хлоридного типа.

<p align="center">Схема чертежа Почвенного разреза Разрез P-16(2)</p>	<p align="center">Горизонт и мощность в см</p>	<p align="center">Описание разреза: механический состав, влажность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболоченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности</p>
	0-2	Корка, светло-серая, белесая, плотная, супесь, засоленная
	2-10	Серый, сухой, пылит, блестит на солнце, мало ракушек
	10-25	Палевый, сырой, тонкозернистый, песок, белесый
	25-40	Влажный, охристый, палевый, крупнозернистый песок, нижняя граница более светлая, 40-42 см прослойка ракушечника
	42-50	Темно-серый, мокрый, белые пятна, встречаются раздробленные ракушки, тяжелый суглинок
	50-60	Охристый, с белыми пятнами, мокрый, неоднородный по мех, составу, легкая глина
	60-80	Мокрый песок, рыжий, охристый, с раздробленными ракушками
	80-100	Сизый мокрый песок

Рис. 71. Описание профиля, разрез P-16(2), солончак гидроморфный, корковый, с поверхности соляная корка

Почвы автоморфные и полуавтоморфные

Автоморфные почвы и полуавтоморфные почвы P.5(2), P.8(2), P.13(2), P.17(2), P.20(2), P.21(2), P.22(2) расположены в центральной части массива, где в меньшей степени сказывается влияние залива Джылтырбас и р. Кокдарья.

В то же время, присутствие рядом барханов обеспечивает песчаное супесчаное покрытие поверхности этих почв.

В связи с этим почва в разрезах P-5(2) (рис. 72, 73) и P-8(2) по всему профилю по грану-

лометрическому составу – рыхлый песок. Незасоленная и слабосоленая со значениями E_{сe} соответственно 0,4-0,9 dS/m, TDS 0,1-0,7 %; E_{сe} 1-4,5 dS/m и TDS 0,1-0,6 %.

Тип засоления почв хлоридно-сульфатный.

Поверхность почвы покрыта плотным ракушечником.

Разрез P-13(2) супесчаный и песчаный по всему профилю, незасоленный и слабозасоленный в поверхностных горизонтах.

Разрезы: P-20(2), P-22(2) можно отнести к автоморфным почвам, по залеганию уровня грунтовых вод 3-5 метров. Их расположение

<p>Схема чертежа Почвенного разреза Разрез P-5(2)</p>	<p>Горизонт и мощность в см</p>	<p>Описание разреза: механический состав, влажность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболоченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности</p>
	0-2	Светло-серый, сухой, рыхлый, большое количество ракушек, мелкие корни растений, песок рассыпается, переход заметный по плотности
	2-21	Песок, светло-серый, сухой, блестит на солнце, очень рыхлый, сыпучий, встречаются целые ракушки, много мелких корней
	21-40	Светло-серый, сыроватый, холодит руку, песок, мелкие корни растений, блестит на солнце, ракушечник мелкий, слоистый
	40-54	Средне-зернистый песок, блестит на солнце, тонкие остатки корней, ракушечник, ржавые пятна по ходу растений
	54-79	Сырой, слоистый, слои тонкого и средне-зернистого песка, в нижней части профиля включение в виде ракушечника
	79-81	Светло-серый, крупно зернистый песок, сырой, встречаются ракушки
	81-120	Сырой, с сизым оттенком, средне-зернистый песок, немного мелких ракушек раздробленных, переход заметный по мех. составу
	120-150	Темно-серый с сизым оттенком, с запахом сероводорода, слоистый, структурный, суглинок

Рис. 72. Описание профиля, разрез P-5(2), солончак непрочно-корковый запесчаненный с ракушечником, полуавтоморфный с признаками оглиения в нижнем слое

на шорах и рядом с шорами объясняет высокую степень хлоридный тип засоления.

Пустынно-песчаная почва

Пустынно-песчаная почва образуется, как было показано в предыдущих исследованиях (НИЦ МКВК, 2008) под саксаулом десятилетнего возраста.

Представителями перехода от солончаков в процессе образования пустынно-песчаных почв являются разрезы Р-21(2), Р-17(2) (рис. 73). Хотя органика в почве присутствует незначительно, по содержанию органического вещества, как и практически все почвы этой территории, бедные, это объясняется их механическим составом: песок супесь, структура формируется по почвенному профилю.

В описании почвы отмечена хорошо выраженная структура.

Песчаные образования с эоловым эрозийно-аккумулятивным рельефом

Обсохшее дно Аральского моря между Кокдарьей и Джылтырбасом, протокой и Тогузарканом, в основном имеет вид наклонной равнины, претерпевшей изменения под действием иссушения и эоловых процессов.

Гряды барханов и дюн опоясывают изучаемую территорию и тянутся с северо-востока на юго-запад в центральной части (рис. 75). Барханы, дюны и пески, покрывающие почву, занимают значительную площадь.

По содержанию органического вещества, как и практически все почвы этой территории, бедные, что объясняется их механическим составом: песок супесь.



Рис. 73. Формирование пустынно-песчаной почвы

<p align="center">Схема чертежа Почвенного разреза Разрез Р-21(2)</p>	<p align="center">Горизонт и мощность в см</p>	<p align="center">Описание разреза: механический состав, влажность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболоченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности</p>
	0-2	Серый, сухой, небольшое количество ракушек, растения однолетние
	2-6	Серый, сухой, пылит, супесь, в ненарушенном состоянии, слоистый, тонко пористое сложение, мелкие включения ракушек, блестит на солнце
	6-13	Светло-серый с палевым оттенком, пылит, очень рыхлый, много ракушек, блестит на солнце
	13-15	Темно-серый, сыроватый, хорошо выраженная мелко ореховатая структура, много корней растений, легкий суглинок, редкие включения в виде ракушек, похож на гумусовый горизонт (<i>образец не брали</i>)
	15-47	Серый с охристыми подтеками по ходу корней сыроватый, плотный, слабо выраженная структура, слоистое сложение, супесь, почти нет ракушек переход заметный
	47-59	Темно-серый, неоднородный по цвету, по граням отдельности сизые оттенки, встречаются ракушки, комковато-пластинчатая структура 1 см, легкий суглинок
	59-64	Охристый, крупнозернистый песок, влажный, много раздробленных ракушек (<i>образец не брали</i>)
	64-87	Темно-серый с сизым оттенком, влажный, неоднородный по цвету, встречаются белесые прослойки, непрочная ореховатая структура, корни растений
	87-115	Сизый, темно-серый, мокрый, слабо-выраженное отражение по граням, охристый налет, много ракушек целые рыжего цвета, глина

Рис. 74. Описание профиля, разрез Р-21(2), солончак корково-пухлый автоморфный в процессе формирования пустынно-песчанной почвы



Рис. 75. Закрепленные барханы на осушенном дне Аральского моря

Опустынивающиеся аллювиально- и озерно-луговые почвы

Почвы представлены разрезами Р-1(2) и Р-2(2). Аллювиально-луговые почвы занимают значительную часть вдоль старого русла р. Амударья (рис. 21). В связи с тем, что Амударья поменяла свое русло после сооружения плотины в Междуречье, часть территории между старым и новым руслом и между новым руслом и заливом Джылтырбас оказались в зоне опустынивания. Периодическое колебание уровня з. Джылтырбас вызывает периодические затопление и высыхание почвенного профиля и приводит к вторичному засолению почвы. Это приводит к смене растительности, переходу луговых и лугово-болотных почв в солончаки. Разрез Р-2(2). расположен около з. Джылтырбас (рис. 76).

Изучение почвенных условий показывает что, луговая почва в процессе опустынивания перешла в корково-крупно-ячеистый (такыровидный) полугидроморфный солончак. Почва сохраняет содержание большого количества органики в поверхностном горизонте, по содержанию гумуса 4.3%, почва относится к очень богатой. Однако сильно-засоленный почвенный профиль с хлоридно-сульфатным засолением свидетельствует о наличии процесса опустынивания. Аналогично процессы опустынивания наблюдаются в руслах Амударья. Сохранение органики, 0.7% - 5.35% содержание гумуса, питательных элементов 16-160 мг/кг P₂O₅, 337,1-467,1 мг/кг K₂O поверхностный горизонт уже слабо и средне-засоленный.

<p align="center">Схема чертежа Почвенного разреза Разрез P-2(2)</p>	<p align="center">Горизонт и мощность в см</p>	<p align="center">Описание разреза: механический состав, влажность, окраска, структура, плотность, сложение, новообразование, включение, характер вскипания, характер перехода горизонтов, признаки заболоченности, засоленности, солонцеватости и прочие особенности</p>
	0-0.1	Корка, темно-серый плотный, с поверхности соль
	0.1-16	Светло-серый, сухой, пылит, рыхлый бесструктурный, блестит на солнце, ржавые пятна большое количество белых включений карбонатов, супесь, переход заметный
	16-20	Палевый с рыжеватыми пятнами, большое количество белых пятен размером 0.1 мм, расположенных вертикально, (карбонаты.?) сыроватый, непрочной структуры, корни растений легкий суглинок, переход заметный по плотности
	20-43	Тёмно-серый, большое количество средних и крупных корней, по ходу корней ржавые пятна, белые пятна (карбонаты), меньше чем в предыдущем горизонте, легкий суглинок
	43-49	Светло-серый, влажноватый, блестит на солнце, супесь, встречаются средние и крупные корни растений, мучнистые белые пятнистые включения, также рыжие подтеки корней, переход заметный по мех. составу
	49-73	Тёмно-серый, влажноватый, легкосуглинистый, блестит на солнце, комковато-ореховатая структура, большое количество средних и крупных корней растений, по ходу корней ржавые подтеки, редкие белые пятна (включения)
	73-83	Тёмно-серый, влажный, в ненарушенном сложении плотноватый, непрочно-комковатая структура, по ходу корней ржавые подтеки, супесь, включение белые пятна.
	83-110	Светло-серый, влажный песок, блестит на солнце, переход заметный по плотности
110-150	Темно-серый, влажный, плотный в ненарушенном сложении, в нарушенном бесструктурный, слоистый по граням блестит, грани ржавого цвета, блестит на солнце, в профиле слоистый, ржавые корни, встречаются карбонаты (белые пятна), супесь	

Рис. 76. Описание профиля, разрез P-2(2), солончак корковый, крупно-ячеистый, полугидроморфный, опустынивающаяся луговая

Почвенная классификация 2020 г.

№ пп	№ точки (GPS)	Краткая характеристика почвы** (Стулина Галина, Идирисов Камалатдин, Рузиев Ислам)			
		№ почвен- ного раз- реза	Тип почвы	Гранулометрический состав	Тип засоле- ния
1	33	1 (2)	Аллювиально луговая	Суглинок средний в верхних горизонтах, подстилаемый супесью	Ch-S / Ch Хлорид- но-суль- фат-ный/ хлоридный
2	93	2 (2)	Солончак корковый, крупно-ячеистый, полугидроморфный	Слоистый, суглинок лёгкий, супесь, песок связный	Ch / S-Ch
3	218	3 (2)	Солончак гидроморфный, (полугидроморфный)	Супесь, песок рыхлый	Ch-S / S-Ch
		Скв. 3			
4	221	4 (2)	Солончак запесчаненный гидроморфный	Песок связный, песок рыхлый в средней части профиля	Ch-S / Ch
5	235	5 (2)	Солончак непрочно-корковый запесчаненный полуавтоморфный с признаками оглиения в нижнем слое	Песок рыхлый по всему профилю	Ch-S
6	243	6 (2)	Солончак припесчаненный полугидроморфный полуавтоморфный с признаками оглиения в нижних слоях	Песок рыхлый подстилаемый суглинком тяжелым	Ch-S / Ch
7		7 корни	описания нет	Песок рыхлый, суглинок тяжелый Песок рыхлый	S-Ch / Ch-S
		Прикопка №7			

№ пп	№ точки (GPS)	Краткая характеристика почвы** (Стулина Галина, Идирисов Камалатдин, Рузиев Ислон)			
		№ почвен- ного раз- реза	Тип почвы	Гранулометрический состав	Тип засоле- ния
8	247	8 (2)	Солончак сильно запесчаненный, непрочно-корковый, полуавтоморфный	Песок рыхлый Песок рыхлый	Ch-S
		Арал. дно около 8 разреза			Ch-S
9	263	9 (2)	Солончак непрочно-корковый полуавтоморфный	Слоистый профиль, песок связанный, песок рыхлый, суглинок лёгкий, суглинок средний	Ch
10	274	10 (2)	Солончак комбинированный, прочно-корковый, корково-пухлый, песчаный полугидроморфный,	Супесь, с поверхности, песок рыхлый по профилю	Ch /Ch-S
11	290	11 (2)	Солончак непрочно-корковый, полуавтоморфный	Однородный, песок рыхлый	Ch-S / Ch
12	294	12 (2)	Солончак корковый, полугидроморфный, поверхность мелкая рябь	Песок связанный, в нижней части, суглинок лёгкий	Ch
13	297	13 (2)	Солончак автоморфный непрочно-корковый, полуавтоморфный (автоморфный) покрытый ракушками	Однородный, супесь	Ch-S / Ch
14	298	14 (2)	Солончак запесчаненный, полуавтоморфный (полугидроморфный)	Однородный по профилю, песок рыхлый	Ch-S / Ch
15	305	15 (12)	Солончак прочно-корковый (похоже, что это пониженная часть незапесчаненная)	Песок рыхлый, подстиляется тяжелым и легким суглинком	Ch
16	323	16 (2)	Солончак гидроморфный, корковый, с поверхности засоленный	Однородный, песок связанный, супесь	Ch
17	332	17 (2)	Солончак непрочно-корковый, автоморфный (полуавтоморфный)	Слоистый, песок связанный, песок рыхлый подстиляется суглинком тяжелым	S-Ch / Ch

№ пп	№ точки (GPS)	Краткая характеристика почвы** (Стулина Галина, Идирисов Камалатдин, Рузиев Ислом)			
		№ почвенного разреза	Тип почвы	Гранулометрический состав	Тип засоления
18	333	18 (2)	Солончак прочно-корковый с признаками олуговения	Слоистый, супесь, песок рыхлый, песок связный, суглинок средний, глина лёгкая	Ch
19	381	19 (2)	Солончак гидроморфный	Слоистый, супесь, песок рыхлый, суглинок лёгкий	Ch
20	415	20 (2)	Солончак корково-пухлый, автоморфный	Супесь на среднем и легком суглинке	Ch/-S
21	442	21 (2)	Солончак корково-пухлый, автоморфный на пути к пуст. почве	Супесь подстиляется суглинком легким, средним, тяжелым	Ch
22	454	22 (2)	Солончак непрочно-корковый, припесчаненный автоморфный	Однородный слой, супесь, песок связный	Ch
23	106	T. 106	Солончак прочно-корковый, корка	Суглинок лёгкий	Ch
24	340	T. 340	Прочно-корковый ячеистый, корка	Супесь	X
25	499	26(2)	Солончак непрочно-корковый, полугидроморфный	Песок связный Песок связный	Ch
					X
26			борозды		X
27			Арал		X-C
28	491	24 (2)	Солончак прочно-корковый	Супесь Песок связный Песок рыхлый	Ch
29	498	25 (2)	Солончак прочно-корковый ячеистый, полугидроморфный.	Суглинок средний с поверхности, профиль Песок связный, рыхлый, супесь	Ch

6.2.3. Почвенная карта

В результате выполненных полевых, лабораторных работ, анализа полученных результатов построена почвенная карта (рис. 77)

территории осушенного дна Аральского моря по состоянию на 2020 год. Выделено 50 почвенных разностей, которые реализованы на карте контурами. Экспликация к почвенной карте дана в табл. 18.

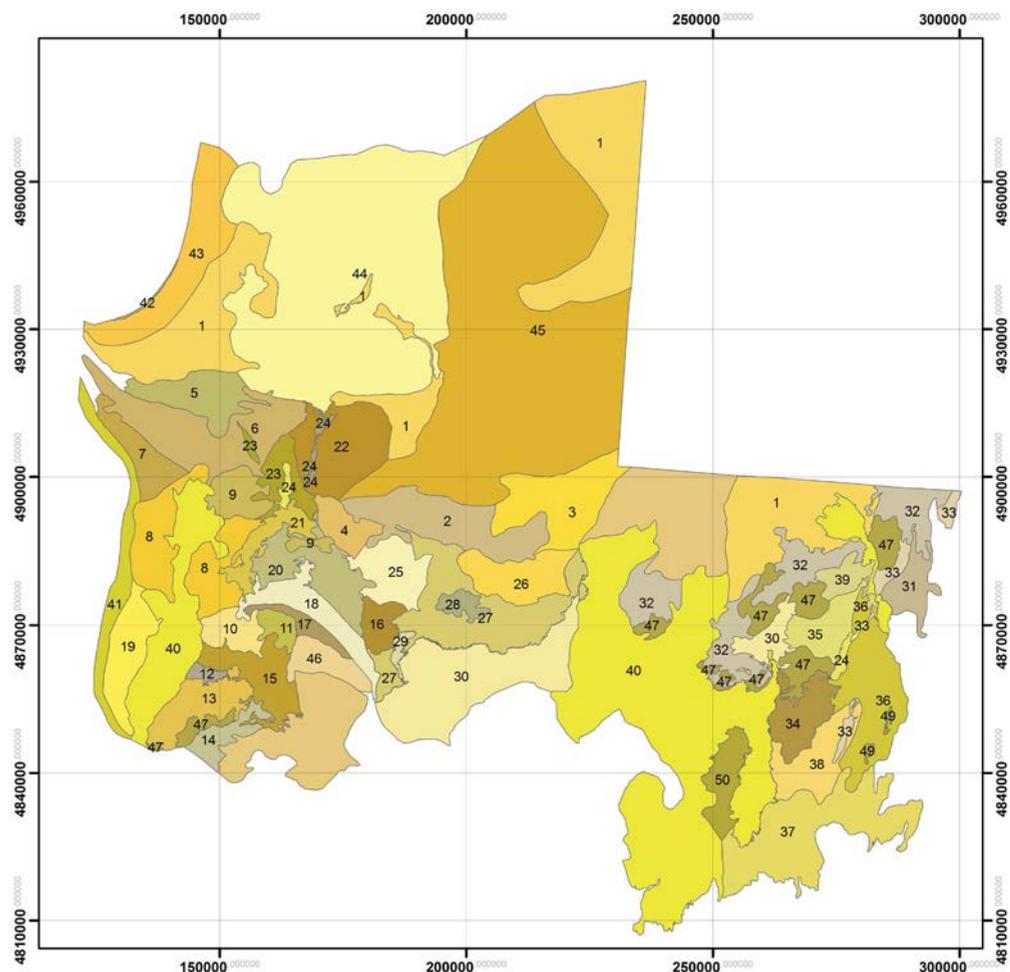


Рис. 77. Почвенная карта осушенного дна Аральского моря, 2020

Таблица 18

Экспликация к почвенной карте по состоянию на 2020 г.

№ контура	Название почвы	Гранулометрический состав
1	Солончак приморский избыточно увлажненный (соляная корка)	Слоистый комплекс суглинков, супесей, песка
2	Солончак приморский полугидроморфный прочно-корковый местами с солевыми массивами	Слоистый комплекс суглинков, супесей
3	Солончак, корковый, умеренно-гидроморфный, сильно засоленный с поверхности, борозды (Анд. вилоят) на аллювиально-морских отложениях	Слоистый комплекс суглинков, супесей, песка, с преобладанием суглинков

№ контура	Название почвы	Гранулометрический состав
4	Солончак, непрочно-корковый, полуавтоморфный, загипсованный, местами запесчаненный, слабозасоленный, борозды	Слоистый комплекс суглинков, супесей, песка
5	Солончак приморский умеренно гидроморфный корковый, местами припесчаненный, борозды	Слоистый комплекс суглинков, супесей, песка
6	Солончак приморский полугидроморфный непрочно-корковый, местами припесчаненный	Слоистый комплекс суглинков, супесей
7	Солончак приморский гидроморфный непрочно-корковый, припесчаненный	Слоистый комплекс суглинков, супесей
8	Солончак приморский, корковый, мокрый с поверхности, полуавтоморфный периодически промываемый, местами такыровидный	Слоистый комплекс суглинков, супесей, песка, подстилаемый тяжелыми и средними суглинками
9	Солончак приморский умеренно гидроморфный корково-пухлый, припесчаненный, местами солевая корка	Слоистый комплекс суглинков, супесей, песка, подстилаемый тяжелыми и средними суглинками
10	Солончак корково-пухлый, запесчаненный автоморфный, полу-автоморфный ближе к пустынно-песчаной почве, (под саксаульником)	Супесчано-суглинистый, с выраженными упканами
11	Солончак приморский умеренно гидроморфный корковый, местами припесчаненный	Тяжело- и среднесуглинистые (местами слабоприпесчаненные) на слоистых суглинках с прослойками супесей и песков
12	Солончаки приморские автоморфные корковые, кочковатые	Глинистые и тяжелосуглинистые (сверху припесчаненные)
13	Солончаки автоморфные с наваянными слабозаросшими бугристыми песками и высокими барханами	Супесчано-песчаные с мощными прослойками глин и тяжелых суглинков в нижней части профиля
14	Солончак на озерно-аллювиальных отложениях, корковый. Ракушечник с поверхности, около барханов.	Супесчано-песчаные с мощными прослойками глин и тяжелых суглинков в нижней части профиля
15	Пустынно-песчаная почва	Легкоосуглинистая, утяжеленная книзу
16	Пустынно-песчаная почва	Слоистый комплекс супесей, песков. суглинков
17	Сочетание солончаков приморских гидроморфных и избыточно-гидроморфных (приозерно-раповых) и равнинно-мелкобугристых песков	Песчаные, в озеровидных западинах легкосуглинистые и супесчаные

№ контура	Название почвы	Гранулометрический состав
18	Солончак приморский умеренно гидроморфный перекрытый песком	Супесчано-песчаные
19	Солончак приморский, корковый, полуавтоморфный, периодически промываемый	Супесчано-песчаные
20 20 ^a	Солончак прочно-корковый, автоморфный, ракушки на поверхности с песчаными массивами (идет образование к пустынно-песчаной почве)	Слоистый комплекс с преобладанием супесей и песков над суглинками и глинами
21	Солончак приморский полуавтоморфный с песчаными массивами	Глинистые и суглинистые с прослойками супесей и песков в нижней части профиля
22	Песок незакрепленный в комплексе с солончаками борозды	Слоистый комплекс с преобладанием супесей и песков
23	Солончак приморский полугидроморфный непрочно-корковый, перекрытый незакрепленным песком, с выходами коренных пород в виде валунов	Слоистый комплекс с преобладанием супесей и песков
24	Песок с ракушечником	песок
25	Солончак корковый, полуавтоморфный, периодически промываемый, в комплексе с барханами	Слоистый комплекс суглинков, супесей, песка
26	Солончак приморский полугидроморфный непрочно-корковый, местами припесчаненный, с отдельными пятнами ракушечника	Слоистый комплекс суглинков, супесей, песка
27	Солончак полуавтоморфный и автоморфный корково-пухлый и непрочно-корковый загипсированный	Глинистая и суглинистая в нижней части профиля
28	Солончак полуавтоморфный и автоморфный корково-пухлый и непрочно-корковый загипсированный	Глинистая и суглинистая в нижней части профиля
29	Песок закрепленный	песок
30	Солончак автоморфный в комплексе с незакрепленными песками	Слоистый комплекс супесей, песков. суглинков
31	Солончак избыточно увлажненный	Слоистый комплекс супесей, песков. суглинков
32	Солончаки гидроморфные перекрытые песками	Преимущественно супесчано-песчаные с прослойками суглинков и глин
33	Дюны	Песок

№ контура	Название почвы	Гранулометрический состав
34	Солончак полугидроморфный, полуавтоморфный с слабозакрепленными песками	Преимущественно супесчано-песчаные с прослойками суглинков и глин
35	Солончак сильно запесчаненный, непрочно-корковый, полуавтоморфный, полугидроморфный	Суглинисто-песчаные
36	Солончак умеренно гидроморфный местами перекрытый подвижными песками	На тяжелосуглинистых и среднесуглинистых отложениях
37	Комплекс полуавтоморфных и полугидроморфных солончаков с песчаными буграми и барханами	Слоистый комплекс различного мех.состава
38	Солончак автоморфный местами перекрытый песком (посадки)	Песчано-супесчаные на слоистых отложениях различного механического состава (от глин до песков)
39	Солончаки приморские полугидроморфные перекрытые мощным чехлом подвижных незакрепленных песков	Супесчано-песчаные
40	Комплекс солончаков озерно-раповых (соровых) с пустынно-песчаной почвой реликтовых островов	Супесчано-песчаные
41	Песок с большим количеством ракушечника. Подстиляется глиной.	Слоистая, комплекс супеси и легкого суглинка, глина в нижней части профиля
42	Маршевый солончак	Слоистый комплекс суглинков, супесей
43	Мокрый солончак	Слоистый комплекс суглинков, супесей
44	Песчаный массив	Песок
45	Солончак приморский избыточно увлажненный	Слоистый комплекс суглинков, супесей
46	Материк	
47	Барханы	Песок
48	Луговые опустынивающиеся	Глинистые, тяжело- и среднесуглинистые (припесчаненные) на слабослоистых отложениях различного механического состава
49	Шора	Слоистый комплекс песка, суглинки, глина
50	Приозерно-раповый солончак, гидроморфный, полугидроморфный, заиленный, периодически затопляемый	Песчано-супесчаные на слоистых отложениях, местами с наличием глины и суглинков

6.2.4. Заключение

Проведенный мониторинг покрытия обсохшего дна Аральского моря, большой объем полевых и лабораторных данных, полученных в процессе выполнения экспедиций, послужат основой для дальнейших исследований генетических особенностей уникальных почв, образовавшихся на дне моря. Скоротечность происходящих на Арале процессов требует фиксации современного состояния, в противном случае будет упущена возможность изучения процесса формирования зональных пустынных почв.

В настоящее время по нашему мнению, приморские солончаки обсохшего дна Аральского моря следует рассматривать как интразональные почвы. Однако, они имеют четкую локальную зональность. Генетические типы почв, согласно классическому представлению почвообразования, имеют горизонтальную и вертикальную зональность. На изучаемой тер-

ритории зональность четко прослеживается. Для островной системы Акпетков характерна смена почвенного покрытия в направлении от высыхающих озер к выступающей над ними материковой части. Для равнинной части смена почвенного покрова происходит в связи с осушкой и увеличения горизонтальной полосы осушенной площади. Так как осушенная территория была в прошлом дном моря и находилась на разной глубине, то имеет место и вертикальная зональность, связанная с характером донных отложений. Временной фактор почвообразования особенно выразителен в этих условиях, как нигде ранее.

Как известно, согласно классическому докучаевскому почвоведению выделяются 5 основных факторов почвообразования: климат, рельеф, материнская порода, растительность, возраст. В данном случае возраст имеет особо важное значение.

6.3. Растительный покров

Высохшее дно Аральского моря – открытая, пустынная и уникальная «лаборатория» в Центральной Азии. Высохшая поверхность дна Аральского моря содержит, в основном, различные уровни почвенных солей и песков. Причиной такого химического состава почвы является ежегодное увеличение содержания минералов – сульфатов, хлоридов, натрия, магния.

Важно отметить, что процесс формирования почвы на данной территории все еще продолжается. Современное экологическое состояние высохшего дна Аральского моря подчеркивает важность всестороннего изучения биологических объектов Приаралья, имеющих большое научное и практическое значение не только для науки и технологий, но и промышленности страны.

В данное время одним из проблемных вопросов формирования биоразнообразия Аралкума является естественное формирование растительного покрова, который представляет собой большой научно-практический интерес для ботаников, экологов и лесоводов.

В период с момента усыхания Аральского моря до сегодняшнего времени, значительная часть высохшей территории оживилась песко-, пыле- и солеукрепляющими растениями.

Но не вся часть территории осушки оживилась лесопосадками: большая часть этой территории до сих пор остается непокрытой растительностью с остатками ракушек и белой засоленной поверхностью (рис. 78).

Необходимость досконального изучения дна моря вызвана образующимися новыми



Рис. 78. Высохшее дно Аральского моря

естественными комплексами растительных сообществ, структурой, развитием и жизнедеятельностью растений, сукцессией и изменением ландшафта. Образовавшаяся суша и происходящие на ней процессы определяют необходимость детального изучения динамики (миграций) растений.

Галофильные виды и сообщества – непременный компонент флоры и растительности пустынной зоны, где повышенное содержание солей характерно практически для всех типов почв.

Мировые ресурсы галофитов характеризуются большим разнообразием родов, видов

и популяций экотипов. Глобальный генофонд галофитов насчитывает 2000-2500 видов. В Центральной Азии описано 700 видов (Акжигитова, 1982).

Современные процессы изменения природной среды дельты Амударьи – прекращение паводковых разливов, расширение площади орошаемых земель и высыхание дна Аральского моря – способствуют активизации соленакопления и расширению позиций галофильной растительности.

Повышенное содержание солей в почве благоприятно сказывается на развитии и накоплении биомассы галофитов. Галофильные

свойства имеют, в основном, соленакапливающие представители семейства маревых (*Chenopodiaceae*) и меньше – солевыделяющие их представители.

Галофильный тип растительности (*Halophyta*) широко распространен по всей осушенной части Аральского моря. Они формируются на различных засоленных почвах пустынь Аралкума. В южной части осушенного дна Аральского моря присутствуют практически все виды групп галофитных сообществ. Это было ещё раз теоретически и практически подтверждено при исследовании растительности в последние годы.

Химические и физические характеристики биосферы определяются образовавшимися сравнительно постоянными средами, обеспечивающими существование живой материи в экосистеме. Экосистема состоит из сообщества всех живых организмов в данном районе и имеет сбалансированный цикл химических элементов и потока энергии. Существует гомеостатическая взаимосвязь между неживой (абиотической) окружающей средой и живыми организмами (биотическая окружающая среда).

Цель данного исследования – определение видового состава растений южного Аралкума, изучение современного состояния растительного покрова и выявление динамики миграций растений осушенного дна моря.

В ходе первой экспедиции (2019 г.) был исследован растительный покров со следующими крупными массивами юго-западной части высохшего дна Аральского моря: Тигровый хвост, Ахантай, Учсай, Муйнакский залив, окрестность озера Сарыбас, остров Лазарева по периметру Восточного чинка Устюрта, вокруг местности «нулевой» и другие пункты; во второй экспедиции (2020 г.) были изучены следующие массивы высохшего юго-восточного дна Аральского моря: окрестности поселков Казахдарь, от Джилтырбаса до Кокдарь, охватывающие земли Каратерена и Кокдарь.

Все полевые работы с вышеперечисленными названными пунктами проводились по взаимному согласованию между членами экспедиции, в установленный период времени.

Целью данных экспедиций явилось определение весенне-летнего видового состава высших растений юго-восточного Аралкума, изучение современного состояния растительного покрова.

Объект исследования – флора и растительность высохшего дна Аральского моря его южной части: растительные (более 300 экземпляров гербарные) материалы, собранные во время экспедиции. Таксономическая идентификация выполнена в Институте биоорганической химии АН РУз и лаборатории Центрального гербария (TASH) Института ботаники АН РУз.

В ходе исследований были использованы классические морфолого-географические, традиционно геоботанические и другие полевые методы. При изучении растительного покрова использованы маршрутно-геоботанические методы (Быков Б.А, 1953; Лавренко Е.М., 1959; Ярошенко П.Д., 1961; Ниценко А.А., 1971; Шеляг-Сосонко Ю.Р. и др., 1991, «Растительный покров Узбекистана», 1972, а также классификация Закирова К.З. и Закирова П.К., 1978).

При регистрации растительной формации и ассоциации использована классическая общепринятая форма №1 (по шкале Drude) (среда обитания, количество видов растений, жизненные формы и др.), по которой исследованы травянистые растения площадью 10 м², деревья и кустарники – 100 м², более редкие растительные сообщества проводились – 250 м² по 7 бальной системе: сор3 – 7 балл; сор2 – 6 балл; сор1 – 5 балл; сп1 – 4 балл; сп2 – 3 балл; сп3 – 2 балл; сол – 1 балл. Полученные геоботанические материалы обобщены и систематизированы по классификационной схеме Закирова К.З. и Закирова П.К., 1978.

В результате идентификации гербарных образцов, собранных в ходе второй экспедиционно-исследовательской работы было определено 74 вида высших растений, относящихся к 51 родам, 21 семейству более 2060

(2019 г. – 1500, 2020 г. – 560) точек высохшего дна Аральского моря, а также растительные сообщества, определяемые большинством образований растительного покрова (табл. 19, 20, рис. 78-104).

Таблица 19

Список видового состава высших растений высохшего дна Южного Аралкума

№	Семейства	Виды растений	Роль в растительном покрове
1	<i>Chenopodiaceae</i>	1. <i>Haloxylon aphyllum</i> (Minkw.) Iljin.	Доминант
		2. <i>Haloxylon persicum</i> Bunge ex Boiss.	Доминант
		3. <i>Halostachys belangeriana</i> (Moq.) Botsch.	Доминант
		4. <i>Salsola richteri</i> Kar.	Доминант
		5. <i>Salsola paletziana</i> Litv.	Доминант
		6. <i>Salsola dendroides</i> Pall.	Доминант
		7. <i>Salsola micranthera</i> Botsch.	
		8. <i>Salsola paulsenii</i> Litv.	
		9. <i>Corispermum aralo-caspicum</i> Iljin	
		10. <i>Climacoptera crassa</i> Botsch.	Временный доминант
		11. <i>Climacoptera aralensis</i> (Iljin) Botsch.	Временный доминант
		12. <i>Climacoptera lanata</i> Pall.Botsch.	Временный доминант
		13. <i>Salicornia europaea</i> L.	Временный доминант
		14. <i>Atriplex pratovii</i> Sukhor.	Временный доминант
		15. <i>Bassia hyssopifolia</i> (Pall.) Kuntze.	Временный доминант
		16. <i>Suaeda crassifolia</i> Pall.	
		17. <i>Suaeda cuminata</i> Moq.	
		18. <i>Ceratocarpus arenarius</i> L.	
		19. <i>Agriophyllum lateriflorum</i> (Lam.) Moq.	
		20. <i>Halocnemum strobilaceum</i> (J.Pall.) M.Bieb.	
		21. <i>Halimocnemis karelinii</i> Moq.	
		22. <i>Horaninovia ulicina</i> B.Fisch. et C.A. Mey.	
		23. <i>Chenopodium album</i> L.	
		24. <i>Halogeton glomeratus</i> C.A. Mey.	
2	<i>Tamaricaceae</i>	25. <i>Tamarix hispida</i> Willd.	Доминант
		26. <i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.	Доминант
		27. <i>Tamarix florida</i> Bunge	Субдоминант
		28. <i>Tamarix laxa</i> Willd.	Субдоминант

№	Семейства	Виды растений	Роль в растительном покрове
3	<i>Capparaceae</i>	29. <i>Capparis spinosa</i> L.	
4	<i>Nitrariaceae</i>	30. <i>Nitraria schoberi</i> L.	Доминант
5	<i>Solanaceae</i>	31. <i>Lycium ruthenicum</i> Murr.	Доминант
6	<i>Peganaceae</i>	32. <i>Peganum harmala</i> L.	Субдоминант
7	<i>Zygophyllaceae</i>	33. <i>Zygophyllum oxianum</i> Boriss.	
8	<i>Elaeagnales</i>	34. <i>Elaeagnus turcomanica</i> Kozlowsk.	
9	<i>Asteraceae</i>	35. <i>Karelinia caspia</i> (Pall.) Less.	Субдоминант
		36. <i>Lactuca undulate</i> Ledeb.	
		37. <i>Acroptilon repens</i> (L.) DC.	
		38. <i>Artemisia terrae-albae</i> Krasch.	Доминант
		39. <i>Artemisia diffusa</i> Krasch.	Доминант
10	<i>Apocynaceae</i>	40. <i>Cynanchum sibiricum</i> Willd.	
11	<i>Convolvulaceae</i>	41. <i>Convolvulus erinaceum</i> Ledeb.	
12	<i>Boraginaceae</i>	42. <i>Heliotropium arguzioides</i> Kar. et Kir.	
		43. <i>Heterocaryum rigidum</i> DC.	
13	<i>Orobanchaceae</i>	44. <i>Orobanche cernua</i> Loefl.	
14	<i>Fabaceae</i>	45. <i>Alhagi pseudalhagi</i> (Bieb.) Desv.	Доминант
		45. <i>Ammodendron conollyi</i> Bunge ex Boiss.	Доминант
		47. <i>Astragalus ammodendron</i> Bunge	Доминант
		48. <i>Astragalus villosissimus</i> Bunge	Доминант
		49. <i>Halimodendron halodendron</i> (J.Pall.) Voss	
		50. <i>Glycyrrhiza glabra</i> L.	
		51. <i>Eremosparton aphyllum</i> (Pall.) Fisch. et Mey.	Доминант
15	<i>Plumbaginaceae</i>	52. <i>Limonium gmelini</i> (Willd.) Kuntze	Субдоминант
		53. <i>Limonium otolepis</i> (H.Schrenk) Kuntze	
16	<i>Polygonaceae</i>	54. <i>Calligonum acanthopterum</i> Borszcz.	
		55. <i>Calligonum aphyllum</i> (J.Pall.) W. R. Guerke	Доминант
		56. <i>Calligonum aralense</i> Borszcz.	Доминант
		57. <i>Calligonum caput-medusae</i> H.Schrenk	Доминант
		58. <i>Calligonum macrocarpum</i> Borszcz.	Доминант
		59. <i>Calligonum microcarpum</i> Borszcz.	Доминант
		60. <i>Calligonum eriopodum</i> Bunge	Субдоминант
		61. <i>Calligonum junceum</i> (Fisch. et Mey.) Litv.	Субдоминант

№	Семейства	Виды растений	Роль в растительном покрове
17	Brassicaceae	62. <i>Descurainia sophia</i> (L.) C. J. Webb et Silipr.	
		63. <i>Strigosella africana</i> (L.) Botsch.	
		64. <i>Strigosella scorpioides</i> (Bunge) Botsch.	
		65. <i>Tetracme quadricornis</i> (Steph.) Bunge	
		66. <i>Octoceras lehmannianum</i> Bunge	
18	Cyperaceae	67. <i>Carex physodes</i> M.Bieb.	
19	Poaceae	68. <i>Stipagrostis karelinii</i> (Trin. et Rupr.) Tzvelev	Доминант
		69. <i>Stipagrostis pennata</i> (Trin.) De Winter	Доминант
		70. <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	Доминант
		71. <i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl.	
		72. <i>Eremopyrum orientale</i> (L.) Jaub. et Spach	
21	Typhaceae	73. <i>Typha angustifolia</i> L.	Субдоминант
22	Salicaceae	74. <i>Populus diversifolia</i> Schrenk.	Доминант

Анализ распределения родов и видов по семействам показывает, что 6 крупных семейств *Chenopodiaceae*, *Tamaricaceae*, *Fabaceae*, *Polygonaceae*, *Poaceae*, *Brassicaceae* объединяют 58 видов; остальные семейства составляют 16 видов. Самое большое семейство *Chenopodiaceae* объединяет 16 родов и 24 вида; 12 семейств имеют только по одному роду и виду.

Во время исследования (2019-2020 гг.) выявлены следующие виды доминантных и субдоминантных растений в галофильном (*Halophyta*), псаммофильном (*Psammophyta*), гипсофильном (*Gypsophyta*) и тугайном (*Potamophyta*) растительном покрове Южного Аралкума.

Доминанты и субдоминанты галофильной растительности – *Halophyta*

Черный саксаул – *Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin. Доминант. Галоксерофильное дерево, достигающее (3) 4-5 м высотой.

Солянка древовидная – *Salsola dendroides* Pall. Доминант. Галомезоксерофильный кустарничек до 1-1,5 м высотой.

Соляноколосник Беланже – *Halostachys belangeriana* (Moq.) Botsch. Доминант. Галомезоксерофильный кустарник до 1,5-2,5 м высотой.

Гребенщик щетинистоволосый – *Tamarix hispida* Willd. Доминант. Галомезоксерофильный кустарник, достигающего 2-3 м высотой.

Селитрянки Шобера – *Nitraria schoberi* L. Доминант. (Гало)ксеромезофильный кустарник до 1-1,5(3) м высотой.

Дерева русская – *Lycium ruthenicum* Murr. Доминант. Галомезоксерофильный кустарник до 1-1,5(3) м высотой.

Карелиния каспийская – *Karelinia caspia* (Pall.) Less. Субдоминант. Галомезофильный многолетник до 1-1,5 м высотой.

Кермек Гмелина – *Limonium gmelini* (Willd.) Kuntze. Субдоминант. Галомезофильный многолетник до 0,5-1 м высотой.

Климакоптера мясистая – *Climacoptera crassa* Botsch. Временный доминант. Галомезофильный однолетник до 15-30 см высотой.

Климакоптера аральская – *Climacoptera aralensis* (Iljin) Botsch. Временный доминант. Галомезофильный однолетник до 15-40 см высотой.

Климакоптера шерстистая – *Climacoptera lanata* (Pall.) Botsch. Временный доминант. Галомезофильный однолетник до 20-40 см высотой.

Солерос европейский – *Salicornia europaea* L. Временный доминант. Галомезофильный однолетник до 15-30 см высотой.

Лебеда Пратова – *Atriplex pratovii* Sukhor. Временный субдоминант. Галомезофильный однолетник до 15-20 см высотой.

Бассия иссополистная – *Bassia hyssopifolia* (Pall.) Kuntze. Временный субдоминант. Галомезофильный однолетник до 20-30 см высотой.

Доминанты и субдоминанты псаммофильной растительности – *Psammophyta*

Саксаул белый – *Haloxylon persicum* Bunge ex Boiss. Доминант. Псаммомезоксерофильное дерево, достигающего 4-5 м высотой.

Аммодрон Конолли – *Ammodendron conollyi* Bunge ex Boiss. Доминант. Псаммомезоксерофильный кустарник до 2-3 м высотой.

Астрагал песчанодревесный – *Astragalus ammodendron* Bunge. Доминант. Псаммомезоксерофильный кустарник до 1-2 м высотой.

Солянка Рихтера – *Salsola richteri* Kar. Доминант. Псаммомезоксерофильный кустарник до 2-3 м высотой.

Солянка Палецкого – *Salsola paletziana* Litv. Доминант. Галомезоксерофильный кустарник до 2-2,5 м высотой.

Кандим голова Медузы – *Calligonum caput-medusa* Schrenk. Доминант. Псаммо-

мезоксерофильный кустарник до 2,5-3 м высотой.

Кандим аральский – *Calligonum aralense* Borszcz. Доминант. Псаммомезоксерофильный кустарник 2 м высотой.

Кандим безлистный – *Calligonum aphyllum* (J.Pall.) W. R. Guerke. Доминант. Псаммомезоксерофильный кустарник 2 м высотой.

Кандым крупноплодный – *Calligonum macrocarpum* Borszcz. Доминант. Псаммомезоксерофильный кустарник 2 м высотой.

Кандым мелкоплодный – *Calligonum microcarpum* Borszcz. Доминант. Псаммомезоксерофильный кустарник 2 м высотой.

Кандим чешуйчатоплодный – *Calligonum eriopodum* Bunge. Субдоминант. Псаммомезоксерофильный кустарник 2 м высотой.

Кандим ситниковый – *Calligonum junceum* (Fisch. et Mey.) Litv. Субдоминант. Псаммомезоксерофильный кустарник 2 м высотой.

Полынь белоземельная – *Artemisia terrae-albae* Krasch. Доминант. Ксерофильный (псаммоксерофильный) полукустарничек до 30 см высотой.

Полынь раскидистая – *Artemisia diffusa* Krasch. Доминант. Ксерофильный полукустарничек до 40 см высотой.

Верблюжья колючка обыкновенная – *Alhagi pseudalhagi* (Bieb.) Desv. Доминант. (Гало)ксеромезофильный многолетник до 1-1,5 м высотой.

Аристида перистая – *Stipagrostis pennata* Trin. Доминант. Псаммомезоксерофильный многолетник 1 м высотой.

Аристида Карелина – *Stipagrostis karelinii* Roshev. Доминант. Псаммомезоксерофильный многолетник 1,5 м высотой.

Доминанты и субдоминанты гипсофильной растительности – Gypsophyta

Эremosparton безлистный – *Eremosparton aphyllum* (Pall.) Fisch. et Mey. Доминант. Псаммомезоксерофильный кустарник до 1,5-2 м высотой.

Астрагал косматейший – *Astragalus villosissimus* Bunge. Доминант. Псаммомезоксерофильный полукустарник до 1 м высотой.

Гармала обыкновенная – *Peganum harmala* L. Субдоминант. Псаммомезоксерофильный многолетник до 25-40 см высотой.

Доминанты и субдоминанты тугайной растительности – Potamophyta

Туранга разнолистная – *Populus diversifolia* Schrenk. Доминант. Мезофильное дерево до 5-8 м высотой.

Гребенщик многоветвистый – *Tamarix ramosissima* Ledeb. Доминант. Галомезоксерофильный кустарник до 1,5-3 м высотой.

Гребенщик яркий – *Tamarix florida* Bunge. Субдоминант. Галомезоксерофильный кустарник до 1,5-2 м высотой.

Гребенщик рыхлый – *Tamarix laxa* Willd. Субдоминант. Галомезоксерофильный кустарник до 1,5-2 м высотой.

Тростник южный – *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud. Доминант. Гигромезофильный многолетник до 2-3 м высотой.

Рогоз узколистный – *Typha angustifolia* L. Субдоминант. Гигромезофильный многолетник до 2-3 м высотой.

Таблица 20

Основные доминирующие виды растительного покрова Южного Аралкума и их места обитания (почва)

Ассоциации	Доминанты и субдоминанты	Обилие	Почва		
			солончак	глина	песок
Ф о р м а ц и я черносаксауловая – <i>Haloxyletaaphylli</i>					
Черносаксауловая	<i>Haloxylonaphyllum</i> (Minkw.) Iljin	cop ³	+	+	+
Джингилово-черносаксауловая	<i>Haloxylonaphyllum</i> (Minkw.) Iljin	cop ²	+	+	-
	<i>Tamarixramosissima</i> Ledeb <i>T. hispida</i> Willd.	cop ¹	+	+	-
Черкезово-черносаксауловая	<i>Haloxylonaphyllum</i> (Minkw.) Iljin	cop ²	+	+	-
	<i>Salsolarichter</i> Kar.	cop ¹	+	+	-
Карабараково-черносаксауловая	<i>Haloxylonaphyllum</i> (Minkw.) Iljin	cop ²	+	+	-
	<i>Halostachysbelangeriana</i> (Moq.) Botsch.	cop ¹	+	+	-
Ф о р м а ц и я куянсуяковая – <i>Ammodendretaconollyi</i>					
Джингилово-куянсуяковая	<i>Ammodendronconollyi</i> Bunge ex Boiss.	cop ²	-	-	+
	<i>Tamarixramosissima</i> Ledeb	cop ¹	-	-	+
Черкезово-куянсуяковая	<i>Ammodendronconollyi</i> Bunge ex Boiss.	cop ²			+
	<i>Salsolarichter</i> Kar.	cop ¹	-	-	+

Ассоциации	Доминанты и субдоминанты	Обилие	Почва		
			солончак	глина	песок
Селиново-куянсуяковая	<i>Ammodendron conollyi</i> Bunge ex Boiss.	cop ²	-	-	+
	<i>Aristida pennata</i> Trin.	cop ¹	-	-	+
Ф о р м а ц и я черкезовая – <i>Salsolarichteri</i>					
Джужгуново-джингилово-черкезовая	<i>Salsolarichteri</i> Kar.	cop ²	-	-	+
	<i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb	sp ²	-	-	+
	<i>Calligonum sp. sp.</i>	cop ²	-	-	+
Черносаксаулово-черкезовая*	<i>Salsolarichteri</i> Kar.	cop ¹	-	-	+
	<i>Haloxylon aphyllum</i> (Minkw.) Iljin	sp ¹	-	-	+
Куянсуяково-черкезовая	<i>Salsolarichteri</i> Kar.	cop ²	-	-	+
	<i>Ammodendron conollyi</i> Bunge ex Boiss.	cop ¹	-	-	+
Ф о р м а ц и я кызылджингиловая – <i>Tamaricetamosissimae</i>					
Кызылджингиловая	<i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb	cop ³	+	+	-
	<i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb	cop ²	-	+	-
	<i>T. hispida</i> Willd.	cop ¹	-	+	-
Тростниково-кызылджингиловая	<i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb	cop ²	-	+	-
	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. Ex Steud.	cop ¹	-	+	-
Солеросово-кызылджингиловая	<i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb	cop ²	+	-	-
	<i>Salicornia europaea</i> L.	cop ²	+	-	-
Балыккузово-кызылджингиловая	<i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb	cop ²	+	-	-
	<i>Climacopteralanata</i> (Pall.) Botsch.	cop ²	+	-	-
Черносаксауло-кызылджингиловая*	<i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb	cop ¹	+	+	-
	<i>Haloxylon aphyllum</i> (Minkw.) Iljin	sp ²	+	+	-
Ф о р м а ц и я ерманыджингиловая – <i>Tamaricetahispida</i>					
Акбашево-ерманыджингиловая	<i>Tamarix hispida</i> Willd.	cop ²	-	+	-
	<i>Kareliniacaspia</i> (Pall.) Less.	sp ³	-	+	-
Карабараково-ерманыджингиловая	<i>Tamarix hispida</i> Willd.	cop ²	+	+	-
	<i>Halostachys belangeriana</i> (Moq.) Botsch.	cop ¹	+	+	-
Тростниково-ерманыджингиловая	<i>Tamarix hispida</i> Willd.	cop ²	-	+	-
	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. Ex Steud.	cop ¹	-	+	-
Ф о р м а ц и я селиновая – <i>Aristidetapennata</i>					
Селиновая	<i>Aristida pennata</i> Trin.	cop ²	-	-	+

Ассоциации	Доминанты и субдоминанты	Обилие	Почва		
			солончак	глина	песок
Джузгуново-селиновая	<i>Aristida pennata</i> Trin.	cop ²	-	-	+
	<i>Calligonum caput-medusa</i> Schrenk	cop ¹	-	-	+
Ф о р м а ц и я карабараковая – <i>Halostachetabelangeriana</i>					
Карабараковая	<i>Halostachysbelangeriana</i> (Moq.) Botsch.	cop ³	+	+	-
Акбашево-карабараковая	<i>Halostachysbelangeriana</i> (Moq.) Botsch.	cop ²	+	+	-
	<i>Kareliniacaspia</i> (Pall.) Less.	cop ¹	+	+	-
Черносаксаулово-карабараковая	<i>Halostachysbelangeriana</i> (Moq.) Botsch.	cop ²	+	+	-
	<i>Haloxylonaphyllum</i> (Minkw.) Iljin	sp ¹	+	+	-
Ерманыджингилово-карабараковая	<i>Halostachysbelangeriana</i> (Moq.) Botsch.	cop ²	+	+	-
	<i>Tamarixhispidata</i> Willd.	sp ³	+	+	-
Ф о р м а ц и я кумузумовая – <i>Nitrarietaschoberi</i>					
Карабараково-кумузумовая	<i>Nitrariaschoberi</i> L.	cop ²	+	+	-
	<i>Halostachysbelangeriana</i> (Moq.) Botsch.	cop ¹	+	+	-
Янтачно-карачингилово-кумузумовая	<i>Nitrariaschoberi</i> L.	cop ²	-	+	-
	<i>Lyciumruthenicum</i> Murr.	cop ¹	-	+	-
	<i>Alhagipseudalhagi</i> (Bieb.) Desv.	sp ²	-	+	-
Ф о р м а ц и я балыккузовая – <i>Climacopteralanata</i>					
Смешанно-балыккузовая*	<i>Climacopteralanata</i> (Pall.)Botsch.	cop ³	+	-	-
	<i>C. aralensis</i> (Iljin) Botsch.	cop ¹	+	-	-
Алабутаво-балыккузовая	<i>Climacopteralanata</i> (Pall.)Botsch.	cop ²	+	+	-
	<i>Atriplexfominii</i> Iljin	sp ²	+	+	-
Бассиево-балыккузовая	<i>Climacopteralanata</i> (Pall.)Botsch.	cop ²	+	-	-
	<i>Bassiahysopifolia</i> (Pall.) Kuntze	cop ¹	+	-	-

Примечание: * – ассоциации, впервые приводимые автором

Для уменьшения выноса токсичных веществ необходимо закрепление подвижных песков и солончаков. Закрепителями подвижных барханных песков и солончаков, несомненно, играют большую роль виды доминантов и субдоминантов растительного покрова.

Результаты лабораторных исследований гербарных образцов дают возможность сде-

лать заключение о том, что доминирующими видами являются в основном галофильные и некоторые псаммофильные растения из семейств *Chenopodiaceae*, *Tamaricaceae*, *Fabaceae*, *Polygonaceae* и др., так как они образуют формации, ассоциации и занимают определенную часть осушенной территории (табл. 21–23).

Таблица 21

Видовой (флористический) состав некоторых псаммофильных сообществ Южного Аралкума

Виды растений	Типы растительности			
	псаммофильная	псаммофильная	псаммофильная	псаммофильная
	Ассоциации			
	селиновая	акбашево-черносаксауловая	черносаксауловая	джузгуновая
Координаты	60° 14' 8.556» E 43° 51' 47.639» N	60° 14' 44.725» E 43° 51' 57.229» N	60° 19' 32.930» E 43° 54' 10.444» N	60° 21' 21.992» E 43° 58' 8.807» N
Дата описания	9.06.2020	9.06.2020	9.06.2020	11.06.2020
№ участок (точек)	317	318	327	371
Проективное покрытие, %	55-60	35-40	50-60	35-40
Размер участка	100 м ²	100 м ²	100 м ²	100 м ²
<u>Деревья</u>				
<i>Haloxylon aphyllum</i>	sol	sp ₁	cop ₁	-
<u>Кустарники</u>				
<i>Astragalus villosissimus</i>	-	-	sp ₂	sp ₂
<i>Calligonum sp.</i>	sol	sol	sp ₂	cop ₁
<i>Tamarix hispida</i>	sol	sol	-	-
<i>Salsola sp.</i>	-	-	-	sol
<u>Травы</u>				
<i>Stipagrostis pennata</i>	cop ₃	-	cop ₁	-
<i>Stipagrostis karelinii</i>	-	-	-	sp ₂
<i>Karelinia caspia</i>	sol	cop ₂	-	-
<i>Atriplex pratovii</i>	sol	-	-	-
<i>Euphorbia seguieriana</i>	-	sol	-	sol
<i>Phragmites australis</i>	-	-	sol	-
<i>Horaninovia ulicina</i>	-	-	-	sp ₂
<i>Alhagi pseudalhagi</i>	-	-	-	sol
Итого	6	5	5	7

Таблица 22

Видовой (флористический) состав некоторых галофильных сообществ Южного Аралкума

Виды растений	Типы растительности			
	галофильная	галофильная	галофильная	галофильная
	Ассоциации			
	джузгуново-черносаксаулово-черкезовая	джузгуново-черносаксаулово-черкезовая	джузгуново-черносаксаулово-черкезовая	черносаксаулово-черкезовая
Координаты	60° 10' 39.943» E 43° 55' 4.066» N	60° 10' 30.533» E 43° 55' 41.041» N	60° 10' 10.981» E 43° 56' 55.378» N	60° 10' 1.225» E 43° 57' 16.852» N
Дата описания	5.06.2020	5.06.2020	5.06.2020	5.06.2020
№ участок (точек)	242	244	246	247
Проективное покрытие, %	70-80	60-70	50-60	45-50
Размер участка	100 м ²	100 м ²	100 м ²	100 м ²
<u>Деревья</u>				
<i>Haloxylon aphyllum</i>	cop ₁	cop ₁	cop ₁	cop ₁
<u>Кустарники</u>				
<i>Salsola richteri</i>	sp ₁	sp ₁	sp ₁	cop ₂
<i>Calligonum macrocarpum</i>	cop ₃	cop ₃	cop ₃	-
<i>Tamarix hispida</i>	sp ₁	-	-	-
<u>Травы</u>				
<i>Horaninovia ulicina</i>	sp ₂	sp ₂	sp ₂	sp ₂
<i>Atriplex pratovii</i>	sol	-	-	-
Итого	6	4	4	3

Таблица 23

Видовой (флористический) состав некоторых тугайных сообществ Южного Аралкума

Виды растений	Типы растительности			
	тугайная	тугайная	тугайная	тугайная
	Ассоциации			
	юлгуновкая	юлгуновкая	туранговкая	тростниковкая
Координаты	59° 26' 14.626» E 43° 35' 44.023» N	59° 37' 46.286» E 43° 28' 22.030» N	59° 19' 37.600» E 43° 23' 38.594» N	60° 10' 15.395» E 43° 38' 45.917» N
Дата описания	31.05.2020	1.06.2020	2.06.2020	12.06.2020
№ участок (точек)	32	68	142	452

Виды растений	Типы растительности			
	тугайная	тугайная	тугайная	тугайная
	Ассоциации			
	юлгуновая	юлгуновая	туранговая	тростниковая
Проективное покрытие, %	90	40-50	50-60	65-70
Размер участка	50 м ²	50 м ²	50 м ²	50 м ²
<u>Деревья</u>				
<i>Populus diversifolia</i>	-	sol	cop ₁	sol
<i>Elaeagnus orientalis</i>	-	-	sol	-
<u>Кустарники</u>				
<i>Tamarix hispida</i>	cop ₁	cop ₁	-	sp ₁
<i>Tamarix florida</i>	-	cop ₁	-	-
<i>Tamarix sp.</i>	-	-	sp ₂	-
<i>Halostachys belangeriana</i>	-	sp ₂	-	-
<i>Ziziphus jujuba</i>	-	-	sol	-
<u>Травы</u>				
<i>Climacoptera aralensis</i>	sp ₂	-	-	-
<i>Zygophyllum fabago</i>	sol	sol	sol	-
<i>Euphorbia seguieriana</i>	sol	-	sp ₂	-
<i>Alhagi pseudalhagi</i>	sp ₂	-	sol	cop ₂
<i>Phragmites australis</i>	sp ₂	sp ₂	-	-
<i>Karelinia caspia</i>	-	sp ₂	sp ₂	sp ₂
<i>Taraxacum officinale</i>	sol	-	-	-
<i>Corispermum aralo-caspicum</i>	sol	-	-	-
<i>Limonium otolepis</i>	sp ₂	-	-	-
<i>Aeluropus littoralis</i>	cop ₁	sp ₂	-	-

Виды растений	Типы растительности			
	тугайная	тугайная	тугайная	тугайная
	Ассоциации			
	юлгуновья	юлгуновья	туранговья	тростниковья
<i>Chenopodium album</i>	sol	-	-	-
<i>Atriplex tatarica</i>	-	sol	sol	-
<i>Carex sp.</i>	-	sol	-	-
<i>Agriophyllum lateriflorum</i>	-	-	sol	-
Итого	11	10	10	4

Примечание: видовой состав всех точек (2062) прилагается в виде отдельной таблицы.

Некоторые виды являются доминантами и субдоминантами нескольких ассоциаций. Например, *Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin, *Tamarix hispida* Willd., *Salsola richteri* Kar., *Ammodendron conollyi* Bunge ex Boiss., *Halostachys belangeriana* (Moq.) Botsch., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Stipagrostis pennata* Trin., *Climacoptera lanata* (Pall.) Botsch., *Artemisia terrae-albae* Krasch., *Artemisia diffusa* Krasch. и др.

По результатам изучения фитоценозов южной части высохшего дна Аральского моря были выделены следующие галофильные растительные группы. Ниже приводятся итоги исследования галофильной растительности, играющие большую роль в сложении биологического разнообразия высохшего дна Аральского моря.

I. *Haloxyleta aphyllus* – черносаксауловая формация распространена по всей территории высохшего дна Аральского моря, особенно она развивается большими массивами на южной части. Со снижением уровня Аральского моря (с 1960-х годов), на песчаных берегах и песчаных массивах постепенно появились (после ряда сукцессий растительных группировок) сообщества саксаула.

Эдификатор этой формации – черный саксаул – *Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin, галоксерофильное дерево, семейства маревых (*Chenopodiaceae*), достигающее (3) 4-5 м высоты, как представитель этой формации он является доминирующим растением в верхнем ярусе растительного покрова на различных засоленных почвогрунтах высохшего дна Аральского моря (рис. 82, 83). При исследовании черносаксауловой формации нами было выделено 6 ассоциаций:

- a) черносаксауловая (*Haloxylon aphyllum*);
- b) однолетносолянково-черносаксауловая (*Haloxylon aphyllum*, *Atriplex pratovii*, *Suaeda crassifolia*, *Climacoptera lanata*). Распространена на мокром, пухлом солончаке;
- c) солянково-карабараково-черносаксауловая (*Haloxylon aphyllum*, *Halostachys belangeriana*, *Salsola nitraria*). Распространена на сильно засоленных почвах и корковых, корково-пухлых солончаках;
- d) черкезово-юлгуново-черносаксауловая (*Haloxylon aphyllum*, *Tamarix hispida*, *Salsola richteri*). Распространена на средне засоленных почвах и корково-пухлых солончаках;

е) адраспаново-черкезово-черносаксауловая (*Haloxylon aphyllum*, *Salsola richteri*, *Peganum harmala*). Распространена на средне засоленных почвах и песках;

ф) разнотравно-черносаксауловая (*Haloxylon aphyllum*, *Eremopyrum orientale*, *Descurainia sophia*, *Salsola paulsenii*). Распространена на засоленных почвах и песках.

II. *Halostachydetta belangeriana* – карабараковая формация распространена на засоленных местообитаниях высохшего дна Аральского моря. Данная формация впервые нами была зарегистрирована в юго-западной части Аралкума в 2007 году. Многолетние наблюдения показали, что ассоциации карабараковой формации год за годом хорошо развиваются и формируются по всей осушенной территории моря и играют значительно большую роль в сложении растительного покрова и биоразнообразии.

Эдификатор этой формации – соляноколосник Белянжеровский – *Halostachys belangeriana* (Moq.) Botsch., галоксерофильный кустарник, семейства маревых (*Chenopodiaceae*), достигающей 2-3,5 м, сильно разветвленный с членистыми стеблями и супротивными ветвями (рис. 99). Однолетние побеги сочные, цилиндрические, членистые, сизовато-темнозеленые, к осени чернеющие. Листья редуцированы до пленчатых, коротко-треугольных чешуек, которые, срастаясь попарно, образуют вокруг стебля несколько отстающий от него двухлопастный поясок. Во время исследований нами были выделены 3 ассоциации:

а) солянково-черносаксауло-карабараковая (*Halostachys belangeriana*, *Haloxylon aphyllum*, *Salsola micranthera*);

б) черкезово-карабараковая (*Halostachys belangeriana*, *Salsola richteri*);

с) однолетнесолянково-юлгуново-карабаровая (*Halostachys belangeriana*, *Tamarix hispida*, *Climacoptera lanata*, *Salicornia europaea*);

III. *Tamariceta hispidae* – юлгуновое формирование широко распространено на засоленных почвах и солончаках по всей части юго-западного высохшего дна Аральского моря. В составе этой формации часто встречаются другие виды и гибриды рода *Tamarix*, которые образуют смешанные сообщества, заселяющие несколько десятков гектар в разных местах осушки. Формация считается одним из лидирующих сообществ, формирующихся на данной территории. Роль формации в сложении биоразнообразия высохшего дна Аральского моря весьма характерна.

Эдификатор этой формации – гребенщик щетинистоволосый – *Tamarix hispida* Willd., галомезоксерофильный кустарник, достигающий 2-3 м высотой, семейства гребенщиковых (*Tamaricaceae*) (рис.79, рис. 86). Крона образована многочисленными тонкими и мелкими ветвями и веточками или грубыми и тупыми ветвями. Листья чешуйчатые, в основании с ушками. Молодые ветви и листья, опушенные прямыми короткими волосками. Кора буро-красная.

а) смешанноюлгуновое (*Tamarix hispida*, *T. laxa*, *T. ramosissima*, *T. spp.*);

б) астрагалово-черносаксауло-юлгуновое (*Tamarix hispida*, *Haloxylon aphyllum*, *Astragalus ammodendron*);

с) однолетнесолянково-юлгуновое (*Tamarix hispida*, *Bassia hyssopifolia*, *Climacoptera lanata*, *Salicornia europaea*, *Atriplex pratovii*);

д) бассиво-дерезаво-юлгуновое (*Tamarix hispida*, *Lycium ruthenicum*, *Karelinia caspia*, *Bassia hyssopifolia*)

IV. *Halocnemeta strobilacei* – сарсазановое формирование.

Эдификатор этой формации – сарсазан шишковатый – *Halocnemum strobilaceum* (J.Pall.) M.Bieb. галоксерофильный небольшой сероватый кустарничек до 70 см, семейства маревых (*Chenopodiaceae*), сильно разветвлен-

ный с членистыми стеблями и супротивными ветвями, образующий круговины или бугры с распростертыми, густыми, в свою очередь ветвистыми и б. ч. укореняющимися ветвями (рис. 97). Годовалые побеги цилиндрические, сочные, членистые, с короткими цилиндрическими или почти булавовидными члениками. Листья не развиты, в виде супротивных почти щитковидных чешуек. Местообитание пухлые и корковые солончаки.

a) сарсазановая (*Halocnemum strobilaceum*);

b) однолетнесолянково-сарсазановая (*Halocnemum strobilaceum*, *Salicornia europaea*, *Climacoptera aralensis*, *Suaeda crassifolia*);

c) черносаксауло-жузгуно-сарсазановая (*Halocnemum strobilaceum*, *Calligonum aphyllum*, *Haloxylon aphyllum*);

d) кермеко-курчаво-полынно-сарсазановая (*Halocnemum strobilaceum*, *Artemisia terraealbae*, *Atraphaxis spinosa*, *Limonium otolepis*).

V. *Climacoptereta aralensis* – климакоптеровая формация.

Эдификатор этой формации – климакоптера аральская – *Climacoptera aralensis* (Iljin) Botsch. Временный доминант, галомезофильный однолетник до 15-40 см высотой, семейства маревых (*Chenopodiaceae*). Стебли и ветви во время плодоношения покрыты редкими, прямыми, короткими, торчащими волосками. Ветви и листья очередные или только самые нижние супротивные, низбегающие. Кормовые пастбищные растения, особенно в осенне-зимний период.

a) климакоптеровая (*Climacoptera aralensis*, *C. lanata*, *C. spp.*)

b) однолетнесолянково-климакоптеровая (*Climacoptera aralensis*, *C. lanata*, *Bassia hyssopifolia*, *Atriplex pratovii*, *Tamarix hispida*)

VI. *Mixto-Chenopodiacea* – однолетнесолянковая формация (рис. 88).

a) юлгуно-однолетнесолянковая (*Suaeda crassifolia*, *Climacoptera spp*, *Salsola paulsenii*, *Tamarix hispida*);

b) камишево-однолетнесолянковая (*Bassia hyssopifolia*, *Climacoptera lanata*, *Salicornia europaea*, *Phragmites australis*).

Среди выделенных галофильных растительных групп по количеству ассоциаций и растений, а также обилия, лидирует черносаксауловая формация – *Haloxyleta aphyllus*.

Несмотря на неблагоприятные условия окружающей среды, на площади дна высохшего Аральского моря установлено развитие сообществ этих растений и их широкое распространение.

Вопрос о том, какие виды растений впервые появляются на дне осушенного моря, имеет большое теоретическое и практическое значение. Известно, что в окрестности осушенной зоны каждого озера и моря впервые начинает произрастать *Salicornia europaea*. За ним появляются галофиты, которые приспособлены произрастать на фоне со сравнительно меньшим количеством солей в почве.

По итогам исследований выявлены изменения состава флоры и растительности в зависимости от изменений минерального состава почвы и грунтовых вод от морского дна до Аральского моря (воды). В старой береговой линии (на территориях) растительный покров составляет более 40-50% и оказывает большое положительное влияние на формирование устойчивых экосистем. На старых побережьях уровень растительного покрова снижается в сторону моря.

Растительность побережья озера Сарыбас (Рыбачье) сформирована растениями Дельты Амударьи. Нужно отметить, что в данное время на побережье озера Сарыбас растительный покров все ещё продолжает формироваться. Дальнейшая наша цель – досконально изучить растительность данной территории и

связь растительного покрова с другими озерами осушенного дна Аральского моря.

Следует отметить, что более 30 видов высших растений территорий Юго-Западного Аралкума – это итоги флористических исследований за последние три года. Представленное количество растений (30) и таксономические единицы обязательно могут измениться (увеличиться) в связи с продолжением дальнейшей миграции и формирования флоры.

В первые годы на безводных территориях, растения встречались в одиночку или вовсе не встречались. Это связано с тем, что уровень почвы в первый год выпуска воды очень высок.

Выяснилось, что основную массу исследованных площадей представляет обилие растительного покрова галофит, приспособленных к различным засоленным почвам. Из-за высокого содержания солей и высокой минерализации подземных вод приводились сложные условия для роста и развития видов растений. Несмотря на это, местами наблюдались относительно хорошо сформированные комплексы растений в песках и областях с относительно низким содержанием солей. В то же время можно увидеть, что большинство обезвоженных участков образуют покров галофильной растительности, приспособленной для выращивания на разных засоленных почвах.

Формирование растительного покрова дренажа Аральского моря является одним из основных факторов освоения засушливых земель.

По хозяйственному значению преобладают кормовые растения – 24 видов, закрепители песков и солончаков – 10 видов, эфирно-масличные и алкалоидные – 9 видов, лекарственные – 7 видов.

В целях определения – к какой экологической группе относится каждый вид, проана-

лизированы научные источники и материалы, собранные во время экспедиций. Согласно данным научных источников, в результате по местообитаниям растений выявлены 3 типа: галофиты, псаммофиты и гипсофиты. Анализ по распределению экологических групп показывает, что галофиты составляют большое количество видов.

Можно отметить, что большинство видов растений Южного Аралкума представлены видами, которые приспособлены произрастать на разных по уровню засоленности почвах и засоленных песках. Нужно особо отметить, что в связи с сильной засоленностью почв вегетация однолетних солянок ухудшается. В связи с этим на участках первого года зарастания моря растений вообще мало, и они не растут.

Наблюдения показали образование фитогенных бугров и барханов, достигающих в среднем от 1,5 до 2-3 м высоты и 1,5-3,7 м в диаметре. Каждый такой фитогенный бархан удерживает в среднем 15-20 т солесмешанного песка (почвогрунт).

Результаты исследований можно использовать при написании научных трудов по флоре осушенного дна Аральского моря, разработке современной системы высших растений Узбекистана. Данные исследований формаций и ассоциаций можно использовать при освещении дальнейшего формирования растительных сообществ Аралкума. Определенные нами виды можно использовать при закреплении подвижных песков и солончаков в фитомелиоративных работах, а имеющие кормовое значение – как пастбищные угодья в животноводстве.

Нуждающиеся в охране исчезающие виды растений определены на основе анализа гербарных данных и изучения научных источников, а также исследования материалов, собранных во время экспедиций. В результате выявлен один вид: *Atriplex pratovii* Sukhor., нуждающийся в охране, ареал которого со-

кращается. В результате исследований расширен ареал их распространения.

Можно отметить, что около 5-6% флоры Южного Аралкума считаются видами, нуждающимися в охране и являющимися редкими для данной территории.

В результате наших исследований удалось выделить доминанты и субдоминанты, играющие большую роль в миграции флоры и растительности.

В таблице 24 даны некоторые особенности миграции флоры и растительности.

Таблица 24

Миграция флоры и растительности Южной части дна Аральского моря

Группы миграции	Краткая характеристика	Типы растительности	Растения – доминанты и субдоминанты	Почв. Соотношение
Мигрирующая	Группа формируется полосой первых лет осушки, возникающий вслед за отступлением моря. Группа продолжает формироваться в прогрессивной динамике.	Галофильные однолетники	<i>Salicornia europaea</i> , <i>Climacoptera lanata</i> , <i>C. aralensis</i> , <i>Suaeda crassifolia</i> , <i>Bassia hyssopifolia</i> , <i>Atriplex pratovii</i>	Солончак (мокрый)
Расширяющаяся	Группа формируется на более поздних стадиях зарастания осушенного дна. Распространение их идет по направлению от коренного берега к урезу воды. Группа продолжает формироваться в прогрессивной динамике.	Галофильные и псаммофильные кустарники и полукустарники	<i>Tamarix ramosissima</i> , <i>T. hispida</i> , <i>Halostachys belangeriana</i> , <i>Salsola richteri</i> , <i>Haloxylon aphyllum</i> , <i>Calligonum eriopodum</i> , <i>C. caput-medusa</i> и др.	Солончак (корковый и пухлый), засоленный песок
Стабилизирующая	Группа формируется у побережья коренных берегов бывшего моря, которое требует менее соленый почвогрунт. Группа формируется в прогрессивной динамике, но относительно медленнее чем предыдущие.	Псаммофильные многолетники и полукустарники	<i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Stipagrostis pennata</i> , <i>Carex physodes</i> , <i>Halimodendron halodendron</i> , <i>Astragalus ammodendron</i> , <i>Ammodendron conollyi</i> и др.	Засоленный песок
Сокращающаяся	Группа сокращающихся видов, которые характерны для гигро- и гидрофильных растений, бывших у мелководий и представителей лугово-тугайной флоры. Группа в регрессе.	Травянистые болотные, гигро- и гидрофильные одно и многолетники	<i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Najas marina</i> , <i>Zostera minor</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Typha angustifolia</i>	Болота

Высокая адаптация растительных групп – типы растительности (галофильная, псаммофильная) свидетельствует о нестабильности экологических условий.

Однолетние гипергалофиты (*Salicornia europaea* L., *Suaeda crassifolia* Pall., *Bassia hyssopifolia* (Pall.) Kuntze, *Climacoptera aralensis* (Iljin) Botsch. и др.) приспособлены расти на сильнозасоленных почвах. Поэтому они осваивают новые участки осушающегося моря.

Благодаря гипергалофитам, которые понижают засоленность почвы, за ними формируются галомезоксерофильные и галоксеромезофильные кустарники и полукустарники из семейств *Chenopodiaceae* и *Tamaricaceae*. Но эти виды (группы) растений не являются основными представителями флоры и растительного покрова.

Псаммофильные многолетники и полукустарнички (*Artemisia terrae-albae* Krasch., *Stipagrostis pennata* Trin., *S. karelinii* Roshev., *Carex physodes* M.Bieb., *Astragalus ammodendron* Bunge, *Ammodendron conollyi* Bunge ex Boiss., *Atraphaxis spinosa* L. и др.) занимают значительно большую часть осушенной территории. Есть виды растений, ареал которых сокращается в связи с высыханием мелководных водоемов и грунтовых вод.

Существует связь между засоленностью почвы и разнообразием растений. На сильнозасоленной почве обнаружены растения солерос, климакоптера, солянокосник, на средnezасоленной почве – гребенщик и некоторые представители однолетних солянок, а на малозасоленной почве – кермек, черный саксаул, а также наблюдается вегетация различных трав (эфемер, эфемероидов).

По итогам исследований по определению закономерностей формирования флоры юго-западной части осушенного дна Аральского моря можно сделать следующие **выводы**:

1. В процессе формирования флоры и растительности осушенного дна Аральского

моря пионерами являются однолетние гипергалофиты: *Salicornia europaea* L., *Suaeda crassifolia* Pall., *Bassia hyssopifolia* (Pall.) Kuntze, *Climacoptera aralensis* (Iljin) Botsch., *C. lanata* (Pall.) Botsch., *Atriplex pratovii* Sukhor и др. Они мигрируют на месте высыхания моря.

2. Основными доминирующими видами флоры являются ареал-расширяющиеся галофиты и псаммофиты: *Tamarix hispida* Willd., *T. ramosissima* Ledeb, *Halostachys belangeriana* (Moq.) Botsch., *Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin, *Salsola richteri* Kar., *Calligonum eriopodum* Bunge, *C. caput-medusa* Schrenk, *Astragalus ammodendron* Bunge, *Ammodendron conollyi* Bunge ex Boiss., *Stipagrostis pennata* Trin. и др.

3. Ареалами сокращающихся видов флоры являются гигро и гидрофиты: *Ceratophyllum demersum* L., *Najas marina* L., *Zostera minor*, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Typha angustifolia* L. и др.

4. Миграция флоры идет в следующем порядке: мигрирующие растения (галофиты: гипергалофиты, галомезофиты) → ареал расширяющиеся растения (галоксеромезофиты, галомезоксерофиты) → относительно стабилизированные растения (псаммофиты: псаммоксеромезофиты, псаммоксерофиты).

Начиная от основания берега до дна высохшего моря, растительный покров и состав флоры естественно будет меняться с изменением состава почвы, грунта и водного режима.

В последующие годы отмечено, что на месте высохшего дна моря растительность почти не растет.

В результате последующих отступлений озера произрастание растений вообще может не происходить в связи с наступлением солончаков, образующих белую засоленную поверхность почвы.

Следует отметить, что геоботанические данные сообщества растительного покрова южного Аралкума не окончательны. Дальнейшее изучение растительного покрова данной тер-

ритории, несомненно, должно привести к уточнению сообществ южной части осушенного дна Аральского моря, в связи с продолжением формирования флоры и растительности.

Вышеуказанные ассоциации можно использовать для закрепления песков и солончаков, а также в качестве кормовых пастбищ в весенний и осенний периоды. Дальнейшее детальное изучение растительного покрова исследуемых территорий, несомненно, может способствовать решению экологической проблемы Приаралья (рис. 82, 84, 85, 87, 92, 93, 96).

Год за годом в составе почв Аралкума увеличивается содержание сульфатов и хлоридов таких минералов, как натрий, магний, калий. Доказано, что покрытие площадей засоленных почв растениями происходит за счет природных закономерностей, обуславливающих поэтапное заселение псаммофильными рас-

тениями почв, освоенных ранее галофитами. Ландшафт, в том числе и степень формирования растительного покрова (количественный состав и разнообразие) в направлении от бывшего коренного берега моря к воде (Аральского моря) уменьшается.

Практическое значение результатов работы заключается в том, что разработан подход к проведению фитомелиоративных работ по заселению высохшего дна Аральского моря перспективными видами растений (*Tamarix hispida*, *T. ramosissima*, *Halostachys belangeriana*, *Haloxylon aphyllum*, *Salsola dendroides*, *S. orientalis*, *Climacoptera aralensis*, *Nitraria schoberi*, *Lycium ruthenicum*, *Limonium otolepis*) для укрепления подвижных песков и солончаков; раскрыта перспективность использования растений данного региона как ресурсной базы для развития фармацевтической промышленности республики.

6.3.1. Рекомендации

В результате проведенных наблюдений во время экспедиций и лабораторных исследований нами составлены практические рекомендации, которые состоят в следующем:

- рекомендовано использовать ряд видов растений в фитомелиоративных работах на высохшем дне Аральского моря;
- рекомендовано использовать растения Приаралья в качестве природного источника для выделения из них белково-пептидных компонентов с высокой биологической активностью, и в дальнейшем создания на их основе лекарственных средств нового поколения.

Учет продолжительности формирования флоры южного Аралкума показал, что количество растений и состав таксономических единиц, несомненно, увеличиваются. На основе

наблюдений, проведенных в период экспедиций, можно предположить, что через несколько сотен лет флора южного Аралкума придет к стабильному состоянию, как и в соседних с ним природно-географических районах.

В результате наших исследований был подтвержден тот факт, что покрытие растений площадей с солеными почвами происходит за счет природных закономерностей, обуславливающих смену галофильных растений представителями псаммофильных растений.

Наши результаты способствуют лучшему пониманию фундаментальных механизмов адаптации растений к стрессовым факторам окружающей среды, а также разработке стратегии периодического посева перспективных форм и видов растений в районе высохшего дна Аральского моря, для укрепления подвижных песков и солончаков.

Некоторые доминирующие виды растений и их растительные сообщества Южного Аралкума



Рис. 79. *Tamarix ramosissima*, *Haloxylon aphyllum*, *Stipagrostis pennata*



Рис. 80. Кокдарья. *Phragmites australis*



Рис. 81. *Eremophyton orientale* и однолетние солянки



Рис. 82. *Haloxylon aphyllum*



Puc. 83. Horaninovia ulicina, Calligonum sp u Haloxylon aphyllum



Puc. 84. Stipagrostis pennata, Haloxylon aphyllum



Puc. 85. Stipagrostis pennata



Puc. 86. Alhagi pseudalhagi, Tamarix hispida, Phragmites australis



Puc. 87. Calligonum caput-medusae



Puc. 88. Ammodendron conollyi



Рис. 89. *Nitraria schoberi* и однолетние солянки с черно саксаулом



Рис. 90. Барханные бугры. Однолетние солянки и разные кустарники



Рис. 90. Барханные бугры. Однолетние солянки и разные кустарники



Рис. 91. Limonium otolepis, Tamarix hispida



Рис. 92. Разнотравные естественные пастбища



Рис. 93. Тростниковая формация. *Phragmites australis*, *Tamarix* spp



Рис. 94. Тугайная растительность. *Populus diversifolia*



Puc. 95. Populus diversifolia



Puc. 96. Alhagi pseudalhagi, Tamarix spp



Puc. 97. Halocnemum strobilaceum



Puc. 98. Atriplex pratovii, Climacoptera aralensis



Puc. 99. Halostachys belangeriana



*Puc.100 Tamarix hispida Willd., Tamarix ramosissima Ledeb.,
Astragalus villosissimus Bunge*



*Puc. 101. Haloxylon aphyllum (Minkw.) Iljin., Astragalus villosissimus Bunge,
Ammodendron conollyi Bunge ex Boiss*



Puc. 102. Haloxylon aphyllum (Minkw.) Iljin



Puc. 103. *Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin., *Tamarix hispida* Willd.,
Climacoptera sp



Puc. 104. *Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin., *Climacoptera lanata* Pall.Botsch.,
Salsola richteri Kar., *Tamarix hispida* Willd

6.4. Экологическая ситуация на осушенном дне моря

Обе экспедиции 2019-2020 гг. охватили площадь осушенного дна Аральского моря – около 1200 тысяч гектар на территории Республика Узбекистан. На этих территориях, которые принадлежат к наиболее ранней осушке дна, выявлены достаточно неоднородные процессы и резкие отличия в ландшафте.

Осушенное дно Арала представляет собой уникальную лабораторию природы, где под воздействием естественных процессов идёт формирование нового ландшафта с постепенным формированием почвенного покрова на фоне растительности. Но в тоже время, происходят и деструктивные процессы под действием опустынивания и антропогенного разрушения возникающего хрупкого естественного покрова. При этом зарождение, развитие и смена одних формаций другими или их сочетание отражает эволюцию самих ландшафтов и зависит, прежде всего, от местных особенностей обсохшего дна, состава донных отложений, их засоления, глубины залегания и минерализации грунтовых вод, направления и силы ветра, а также вмешательства человека. По направлению маршрута экспедиции можно было наблюдать различный растительный покров и ландшафт сочетания с различными формами мезо- и микрорельефа.

Ландшафт – это природный, генетически однородный территориальный комплекс. Один из главных компонентов ландшафта – растительный покров. Все эти процессы взаимосвязаны между собой, находятся под воздействием облесения и сами влияют на его состояние. Установлены процессы зарастания растительного покрова кустарниками *Tamarix hispida* Willd (жынғыл) в ассоциации с *Halostachys belangeriana* Botsch (Соляноколосник Беланже, корабарок) или *Phragmites australis* (Тростник обыкновенный), а также густые многолетние заросли саксаула.

В процессе предыдущих экспедиций анализ данных дистанционного зондирования земли, ландшафтов территории обсохшего дна Аральского моря и данных полевых исследований позволил специалистам GTZ, фирмы Terra и НИЦ МКВК (Духовный В.А. и др., 2008) сократить число подразделов ландшафта и сузить состав классов для создания тематической карты с учетом целей и задач проекта. Данный состав классов позволяет оценить степень эрозионной опасности, проследить динамику процессов опустынивания. В результате анализа спектральных характеристик было выделено 17 классов, приведённых в главе 5.2.

Определенный и согласованный для территории обсохшего дна перечень классов соответствует целям и задачам проекта – определение эрозионно опасных территорий и территорий для проведения перспективных фитомелиоративных работ.

Оценка ландшафтов по степени экологической опасности

Для перспективного развития и разработки природоохранных мероприятий очень важно оценить ландшафт осушенного и осушающегося дна моря с позиции возможных изменений, развития процессов дефляции, пыле- и солепереноса. В основу таких оценок должна быть положена классификация ландшафтов в увязке с почвенным покровом, состоянием растительности и другими факторами.

По своей природе ландшафт – это крайне неравновесная, изменчивая система, для которой характерны суточные, годовые и многолетние ритмы. Современная трансформация природной среды в Приаралье, имеющая региональный масштаб, оценивается нами как антропогенно обусловленный процесс аридизации. Особенностью этого процесса является то, что пусковым механизмом выступил чело-

век. В связи с тем, что данный процесс развивается на фоне пустынных зональных условий, ведущим фактором динамики выступает сокращение влаги и эволюция ландшафтов идет в направлении форм, соответствующих пустынным комплексам, данный процесс называется «опустыниванием».

Как уже отмечалось выше, экологическая опасность рассматривается с позиции агрессивности ландшафта для жизни и возможности хозяйственной деятельности человека.

Экологическая опасность проявляется не только в сиюминутном состоянии ландшафтов, но и может проявиться при том или ином хозяйственном вмешательстве в динамику их формирования, так как ландшафты обсохшего дна Аральского моря находятся в настоящее время в очень неустойчивом (нестабильном) состоянии. Таким образом, оценка экологической опасности проводится с учетом динамики проходящих на площади процессов в соответствии со схемой, приведенной ранее (Духовный В.А. и др., 2008).

Таблица 25

Шкала оценки экологической опасности для результатов классификации

Степень (ступень) экологической опасности	Индекс на карте	Распределение классов по степени нестабильности территории
Нет (практически отсутствует)	1	1.3 1.4 2.1 2.2 2.5 4.1 4.3 4.5
Слабая	2	1.1 1.2 3.5 4.2
Средняя	3	2.3 3.4 4.4
Сильная	4	2.4 3.1 3.2 3.3

Шкала экологической опасности принята согласно оценке развития деструктивных экзогенных процессов:

1. Экологическая опасность практически отсутствует

2.1 Маршевые солончаки без растительности или с сообществами солероса, избыточно гидроморфные.

2.2 Мокрые-приморские солончаки с ракушкой, иногда с единичными экземплярами солероса и сарсазана, гидроморфные.

2.5 Соровые солончаки замкнутых понижений без растительности, иногда в обрамлении сарсазанников, гидроморфные и полугидроморфные.

4.1 Луга на аллювиальных равнинах (тростниковые, разнотравно-злаковые) на аллювиально-луговых, болотно-луговых и лугово-болотных почвах.

4.3 Кустарниковые заросли (галофитные: тамарикс, карабарак) на аллювиально-луговых почвах.

4.5 Кустарниково-саксауловые (пустынные леса/искусственные насаждения) на пустынно-песчаных почвах.

Солончаки не представляют опасности, так как большую часть года находятся в гидроморфном режиме.

В ландшафтах озерных равнин периодически или постоянно обводняемых речными и коллекторно-дренажными водами отсутствует опасность, так как они относятся к гидроморфному режиму. Кроме того, растительность является одним из основных факторов, определяющим динамическое состояние ландшафта. Луга на аллювиальных равнинах имеют достаточно высокое проективное покрытие, а кустарниковые заросли способствуют закреплению подвижных песков.

2. Слабая экологическая опасность

1.2. Мелководья, иногда с тростником.

3.5. Бугристые, бугристо-грядовые закрепленные пески с эфемерово-полынно-кустарниковыми сообществами.

4.2. Опустынивающиеся аллювиально-луговые почвы, гидроморфные, со злаково-галофитноразнотравными сообществами с кустарниками.

Данные классы отнесены к слабой экологической опасности, так как их существование зависит от поступления в дельту воды, то есть от водности года. Так, например, в маловодные годы площадь водной поверхности значительно уменьшается, что в свою очередь влечет за собой угнетение тростниковой растительности.

3. Средняя экологическая опасность

2.3 Корково-пухлые и корковые солончаки без растительности, иногда с единичными экземплярами кустарников (карабарак, гребенщик)

3.4 Бугристые и бугристо-грядовые пески без растительности и слабо закрепленные.

4.4 Опустынивающиеся лугово-аллювиальные почвы, покрытые кустарниковыми растениями.

Поверхность без растительности, иногда с единичными экземплярами кустарников (карабарак, гребенщик) являются одним из основных поставщиков соли и пыли в атмосферу. Опустынивающиеся кустарниковые представляют опасность с точки зрения деградации растительного покрова, что в свою очередь может повлечь за собой интенсивное развитие эоловых процессов. Бугристые и бугристо-грядовые пески, не закрепленные растительностью, занимают значительные территории обсохшего дна Аральского моря. Степень проективного покрытия колеблется от 20 до 40%, что способствует развитию эоловых процессов. Поэтому межбарханные понижения являются основным поставщиком соли и пыли в атмосферу.

4. Сильная экологическая опасность

2.4 Солончаки с навейным песчаным чехлом с разреженными сообществами лебеды и селена.

3.1 Равнинные (с ракушей) без растительности или с разреженными кустарниками (саксаул, гребенщик).

3.2 Дюнные без растительности.

3.3 Мелко-бугристые (слабо закрепленные) с разреженными сообществами полыни, кустарников и посевами селена.

Данные классы представляют собой территории с интенсивным развитием экзогенных процессов и представляют собой наивысшую степень экологической опасности – формирование очагов солепылепереноса. Значительная часть территории развивается в автоморфном режиме.

Экологическая ситуация на осушенном и осушающемся дне моря находится под рядом воздействий, которые являются двумя сторонами преобразования этого объекта:

- опустынивания, проявляющегося в виде отступления моря, вплоть до исчезновения отдельных водоёмов; обнажения материнской породы дна и постепенного формирования на ней нового ландшафта; развития новых биологических процессов (зарастания, почвообразования, формирования микробиологической биоты) и параллельно – тут же возникающих процессов эоловых трансформаций;
- обводнения периферийных участков моря, как со стороны дельты, так и другими водными объектами, включая коллектора, скважины, сбросные каналы;
- антропогенного влияния в виде как защитных и помогающих природе выжить мероприятий (облесения, зарыбления остаточных водоёмов и их биологическое использование), так и

негативных во вред природе мер в виде геолого-разведочных и добывающих работ. Сюда также нужно отнести нерегулируемый приток воды, как к дельте, так и к останцовым водоёмам, по реке и по втекающим на эту территорию коллекторам.

Учитывая стохастичность естественных двух процессов, а также существующую пока разновекторную направленность антропогенных воздействий, приходится констатировать, что нынешняя экологическая ситуация является крайне неустойчивой, а главная цель экологической деятельности – достижение устойчивости функционирования и продуцирования трудновыполнимой и требующей больших затрат и усилий по управлению и поддержанию природно-антропогенной стабильности.

В настоящее время трудно определить, какая площадь находится под влиянием чисто природных побуждающих факторов (отход береговой линии и осушка дна моря, развитие переноса

песка и само зарастание, уменьшение площади и объёма водоёмов), какая хищнически используется и разрушается нефтедобытчиками, а что будет подвергнуто устойчивому увлажнению. Это можно будет определить точно после завершения экспедиционного обследования всех трёх миллионов гектар узбекской части дна моря, а также и проведения многолетнего анализа космических наблюдений за зонами увлажнения. Ниже показаны колебания величин зон увлажнения в табличной форме. Два останца Аральского моря на территории Узбекистана имеют (табл. 26) площадь 422 тысячи га.

В НИЦ МКВК регулярно, на протяжении многих лет, проводится мониторинг Аральского моря и Приаралья с использованием спутниковых снимков Landsat 8 OLI. Снимки позволили определить площади ветландов и открытой водной поверхности на территории Аральского моря в динамике с начала года (табл. 1 в гл.2.1) и площади ветландов и открытой водной поверхности Приаралья (рис. 105, табл. 26, 27).

Таблица 26

Площади ветландов Приаралья, га

Водоем	19.02.2020	22.03.2020	25.05.2020	10.06.2020	28.07.2020
Судочье	20613,6	21799,0	29466,78	32837,28	43851,93
Междуреченское	28506,8	28295,5	31002,77	33072,59	34936,58
Рыбачье	6018,6	8271,2	8676,63	8854,92	8891,82
Муйнакское	11200,9	13705,1	15217,56	15274,17	15557,85
Джылтырбас, ограниченный дамбой	36993,5	38807,6	41897,2	41817,8	41740,7
Джылтырбас (вместе с бывшей правой и левой протокой)	71151,3	77756,8	93206,6	97683,2	98829,8
Думалак	15358,5	15604,3	15860,64	16016,07	16049,19
Макпалколь	7283,6	7655,7	7854,11	8031,14	7946,27
Машан-Караджар	25361,1	25861,6	26299,38	26414,4	26590,26
Водная поверхность южнее Муйнака	8900,9	9536,2	9605	9605	9605
Водная поверхность по руслу р. Казахдарья	4751	4751	4751	4751	4751
оз. Закирколь	2339,0	2253,7	2692,12	2721,6	2791,3
Итого:	238 479,8	254 298,6	286 530,4	297 079,8	311 542,3

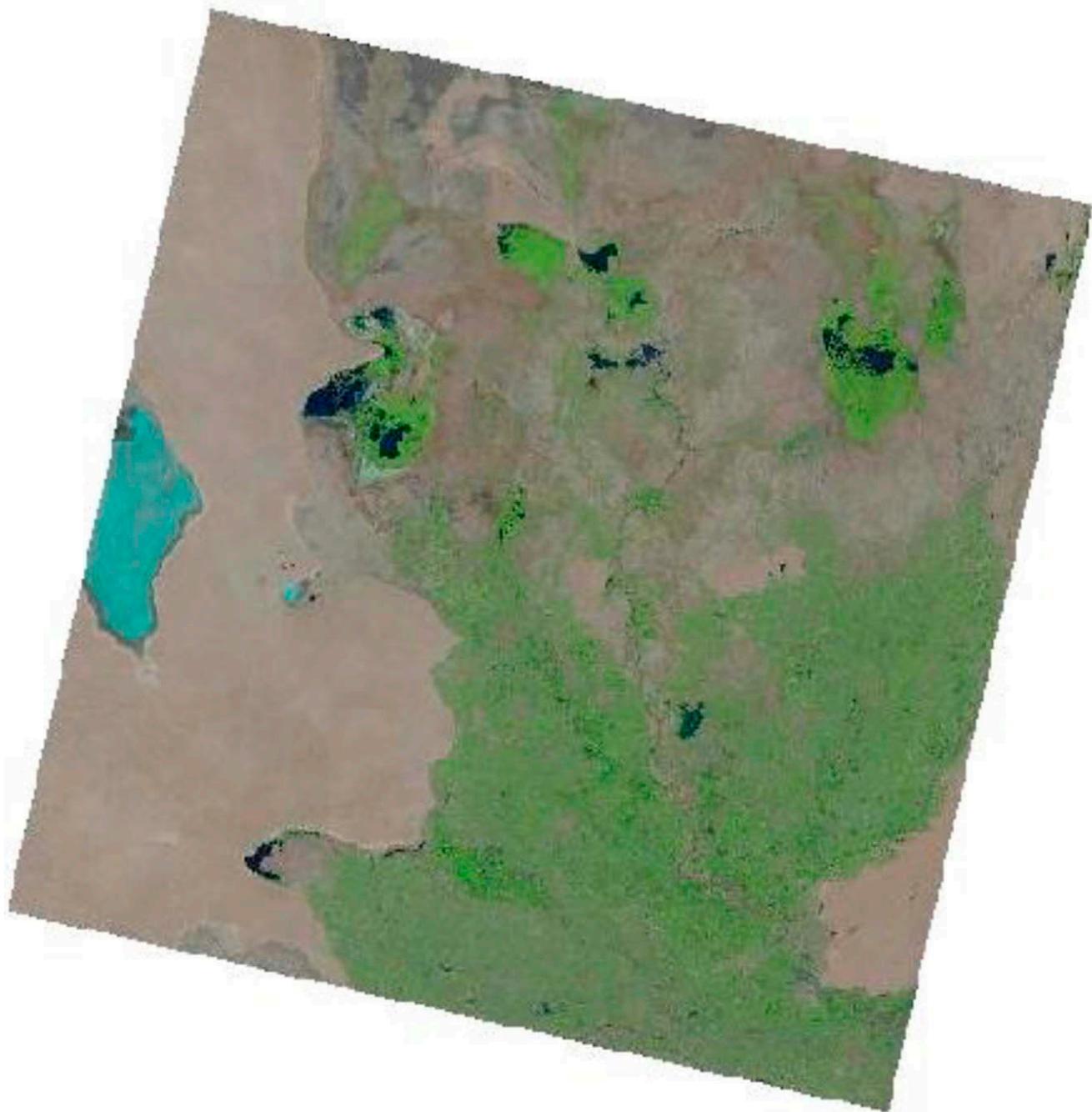


Рис. 105. Ветланды Приаралья

Таблица 27

Площади открытой водной поверхности Приаралья, га

Водоем	19.02.2020	22.03.2020	25.05.2020	10.06.2020	28.07.2020
Судочье	37910,3	36724,9	29057,22	25686,72	14672,07
Междуреченское	9277,1	9488,4	6781,23	4711,41	2847,42
Рыбачье	5474,3	3221,7	2816,37	2638,08	2601,18
Муйнакское	4963,0	2458,8	946,44	889,83	606,15
Джылтырбас, ограниченный дамбой	10478,8	8664,7	5575,14	5654,52	5731,65
Джылтырбас (вместе с бывшей правой и левой протокой)	27799,6	21194,1	5744,34	1267,74	121,14
Думалак	691,4	445,6	189,36	33,93	0,81
Макпалколь	1400,3	1028,2	829,89	652,86	737,73
Машан-Караджар	1839,8	1339,3	901,62	786,6	610,74
Водная поверхность южнее Муйнака	704,0	68,7	0	0	0
Водная поверхность по руслу р. Казахдарья	0	0	0	0	0
оз. Закирколь	452,2	537,5	99,18	69,66	0
Итого:	100 991,3	85 172,5	52 940,7	42 391,3	27 928,8

В результате уменьшения площади водной поверхности увеличились площади ветландов. По сравнению с 2010 годом, площадь ветландов Западной части моря к 2019 году увеличилась на 114 тыс. га, а по Восточной части моря увеличение площади ветландов соответственно составило 498 тыс. га. Крайне неустойчиво и слабо предсказуемо обводнение дельты Амударьи и всех водоёмов – остатков Аральского моря, сформировавших новое Приаралье, которое простирается и на территории осушенного дна Аральского моря, создавая нестабильность ландшафта и одновременно трудности в использовании потенциала этой огромной территории по аналогии с лучшими примерами зарубежной практики.

Например, в первой экспедиции обводнение наблюдалось на территории бывшего залива Аджибай, куда осуществлялись сбросы воды из системы озер Судочье. Вода также сбрасывалась из водоёмов Муйнак и Рыбачье и из водохранилища Междуречье. В многовод-

ном 2017 году вокруг сбросных русел Аджибай образовались увлажненные зоны, на которые распространились семена кустарников и других видов растений, что способствовало естественному самозарастанию значительной территории. Также во время второй экспедиции обнаружили много затопленных территорий в зоне действия водоёма Джылтырбас, проток Кокдарья и Казахдарья, где наблюдалась достаточно гидроморфная растительность. Проблема состоит в том, что сохранение этой растительности требует постоянного поддержания увлажнения и обводнённости, которая, к сожалению, абсолютно не обеспечивается.

Учитывая значительное влияние естественного состояния дна, природных процессов и воздействий, а также антропогенных факторов, классификация территории является динамичным процессом. На основе сопоставления ситуации 2006 года и нынешней в процессе экспедиций, сохранявших по возможности маршрут прошлых лет, получена

динамика трансформации рельефов на территории, охваченной двумя экспедициями, нашедшая отражение в прилагаемой матрице. Ниже приводится схема и матрица трансфор-

мация классов. Матрица составлена на основании оценки территории по 17 классам (рис. 106, табл. 28).

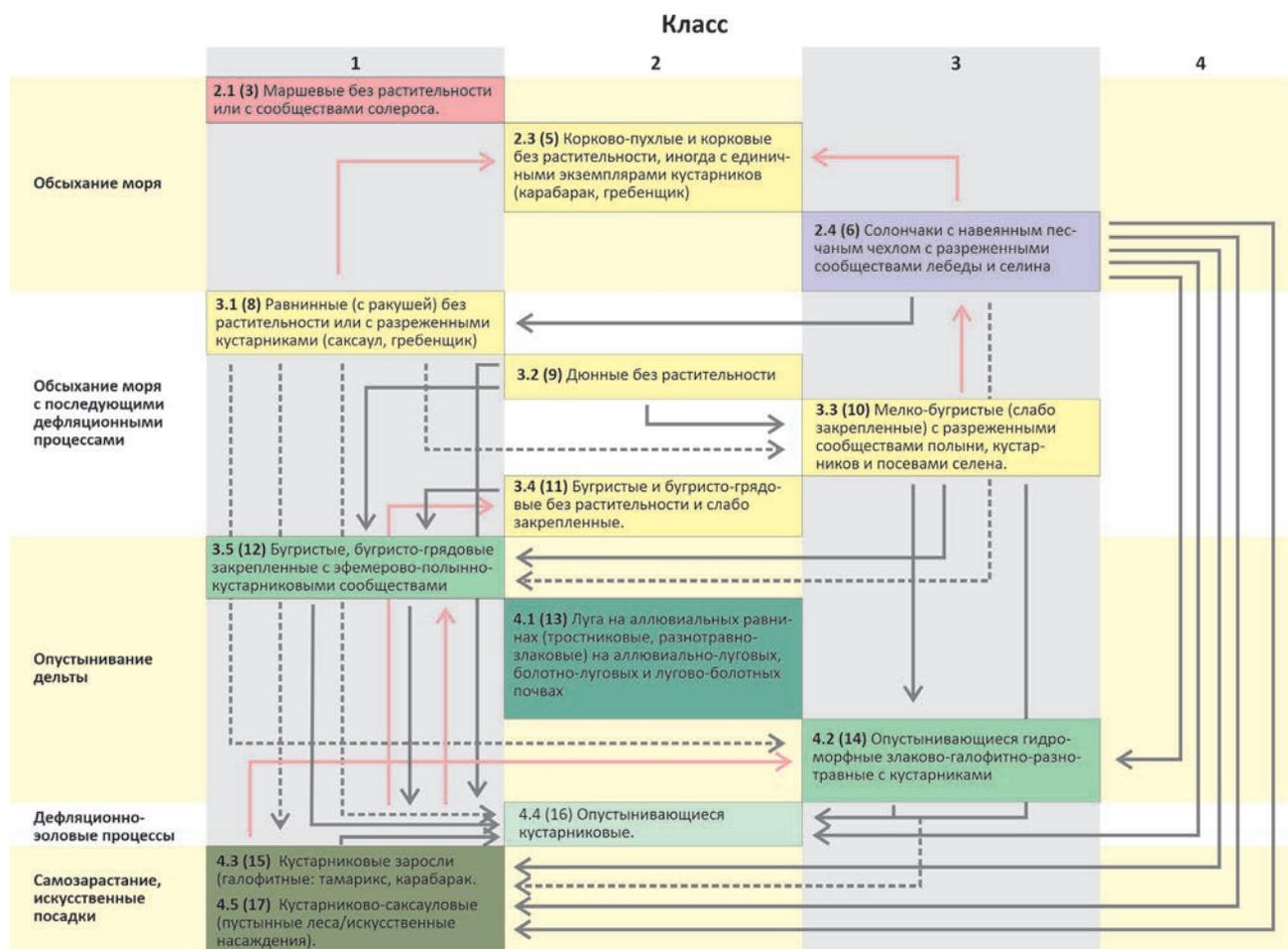


Рис. 106. Направленность трансформации классов поверхности усыхающего моря, регулируемое развитие процесса, возможное развитие процесса

Таблица 28

Матрица трансформации классов поверхности усыхающего моря

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1																	
2																	
3																	
4																	
5					6				1								
6					6	113		9		2	9		6	17		16	
7																	
8					5	1		53		1	8	3	13	58			
9						1		2		5	2	54	8	34			4
10					2	3				2		28	17	24	14		5
11					2	1				1	3	1		15	44	35	9
12												20					
13												11		14	20	12	5
14														10	32	6	4
15											1	1		5	28	9	
16														21	12	16	6
17														12	1	1	2
	1.1	1.2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5

Здесь по вертикали приведены классы на уровне 2006 года, по горизонтали – 2019 года. Зелёным цветом отображены наиболее часто попадающиеся трансформации. Ниже приведены примеры этих изменений.

Точка 147. В 2006 г. соответствовала 6 классу: 2.4 (6). Солончаки с навевным песчаным чехлом с разреженными сообществами лебеды и селина. В 2019 году класс не менялся и остался 6. Редкий саксаул в ассоциации с очень редким карабарком. Равнинная местность, почва с белыми пятнами и с ракушками.

Точка 583. В 2006 году соответствовала 8 классу: 3.1 (8). Равнинные (с ракушей) без растительности или с разреженными кустарниками (саксаул, гребенщик). В 2019 году класс не

менялся. Рельеф местности равнинный с нарезанными бороздами. Солончак умеренно-гидроморфный. Посадка саженцев тамарикса по бороздам, четко видно редкие результаты.

Точка 27. В 2006 год ландшафт местности почвенного и растительного покрова был по легенде 14 класс: 4.2 (14) – опустынивающиеся гидроморфные злаково-галофитно разнотравные с кустарниками. В 2019 году стал 15-класс: 4.3 (15). Кустарниковые заросли (галофитные: тамарикс, карабарак). Рельеф равнинный, почва – корковый солончак с ракушками. Растительный покров из карабарака с высотой растений до 0,3 м с растительным покровом 60%.

Точка 44. В 2006 году была 11 класс 3.4 (11). Бугристые и бугристо-грядовые без растительности и слабо закрепленные. В 2019 году поменялась на 16 класс: 4.4 (16). Опустынивающиеся кустарники, почва – корково-пухлый солончак с ракушками, нарезаны песко-накопительные борозды. Редкие молодые саксаулы, смешанные с однолетними травами высохшими.

Точка 99. В 2006 соответствовала 14 классу 4.2 (14). Опустынивающиеся гидроморфные злаково-галофитноразнотравные с кустарниками. В 2019 году стала 15 класс: 4.3 (15). Кустарниковые заросли (галофитные: тамарикс, карабарак). Рельеф равнинный, почва полугидроморфная солончак. Где не растут растения, почва имеет белые соляные пятна. Грунтовая вода близкая. Растительный покров в основном тамарикс, хорошо развитой с высотой почти до 2,0 м. Встречается карабарак, климакоптера.

Точка 866. В 2006 году была класс 10: 3.3 (10). Мелко-бугристые (слабо закрепленные) с разреженными сообществами полыни, кустарников и посевами селена. В 2019 году стала 12 класс: 3.5 (12). Бугристые, бугристо-грядовые закрепленные с эфемерово – полынно-кустарниковыми сообществами. Имеется барханы высотой до 1,0 м. Почва песчаная с ракушками. Многолетние саксаулы высотой до 3 м. Местами климакоптера, высохшие однолетние травы. Имеется молодой саксаул, идет самозарастание.

Точка 1107. В 2006 году был класс 9: 3.2 (9). Дюны без растительности. В 2019 году стал 12 класс: 3.5 (12). Бугристые, бугристо-грядовые закрепленные с эфемерово-полынно-кустарниковыми сообществами барханные пески высотой 0,5-1,0 м. почва песчаная с ракушками, каменистыми покровами. Многолетний саксаул с высотой 0,5-1,5 м, вместе молодым саксаулом, идет самозарастание. Также имеется карабарак, кандым, селин, ажрик (*Aristida* L.), верблюжья колючка (лат. *Alhâgi*).

Точка 1359. В 2006 году соответствовала 9 классу: 3.2 (9). Дюны без растительности.

В 2019 году стала 17 класс: 4.5 (17). Кустарниково-саксауловые (пустынные леса/искусственные насаждения). Саксаул старой посадки высотой 2-3 м, идет самозарастание, высохшие однолетние травы.

Весь маршрут обеих экспедиций был сведен в соответствующую таблицу, формат которой приведен ниже, и на основе её сделана разбивка по классам риска, которая сведена в таблицу и сравнена с данными дистанционных классификаций. В качестве примера приведена выдержка из указанной таблицы 29.

После затопления на часть осушенного дна моря с водой пришли семена кустарников и других видов растительности, что способствовало возрастанию растительного покрова на осушенном дне моря. Это означает, что необходимо поддерживать некоторые интервалы при сбросах для образования увлажненных зон на осушенном дне Большого Арала.

При отсутствии повторного увлажнения на осушенном дне моря в течение длительного периода, почвы деградируют, уровень грунтовых вод снижается, содержание солей в почве увеличивается. Значительно снижается и биоразнообразие. Заросший растительный покров начинает высыхать.

Во время экспедиции определено, что сбросные воды не всегда могут поступать в прежних направлениях, где раньше затопляло. Причинами этого служат искусственные дамбы, каналы и дороги, сделанные газовиками и нефтяниками, работающими на осушенном дне Арала, особенно на обследованной территории первой экспедиции в Муйнакской части осушки. Необходимо отметить, что эти водные сооружения, дамбы, каналы, а также инженерные объекты (асфальтированные, гравийные и грунтовые дороги) строятся самовольно без согласования с местными водохозяйственными организациями, которые эксплуатируют локальные водоемы в Приаралье.

Во время наземных экспедиций также были изучены самоизливающиеся скважины для во-

доснабжения, животноводства и мелкооазисного орошения.

Необходимо отметить, что на территории между руслом Амударьи и Джылтырбасом в районе Казахдарьи, близко к населенным пунктам идет деградация пастбищ, особенно

вокруг самоизливающейся скважины – из-за постоянного выпаса животных, в основном домашнего скота и лошадей.

Данное время на территории между Джылтырбасом и Кокдарьей, а также в зоне за

Таблица 29

Оценка степени экологической опасности классов почвенно-растительного покрова на осушенном дне Аральского моря

Номера маршрута	Общее количество точек	Рельеф описываемой местности	Данные почвенно-растительного покрова	Оценка степени экологической опасности
2019 год				
1	44 (Т.1-44)	Рельеф местности охваченной первого маршрута изменчивая, в начале равнинная, далее с переходом рельефа с барханными песками. Местами поверхности земли на осушенном дне моря имеются провалы и воронки (опканы) диаметром 0,1-0,4 м. Далее рельеф равнинный, редкие дюны. В продолжение маршрута рельеф равнинный	С начало основными ландшафтными растениями были карабарак с растительным покровом 20-30% с высохшими ветвями. Далее появляется редкая растительность, посев семян в весенний период 2018 года результатов не дал, на песчаных холмах высота растений 0,2 м. Песчаные холмы иногда достигают 10-20 м. Далее описываемая территория по маршруту меняется на редкий 5-6 летний саксаул, высотой 1,8 м, идет процесс само зарастания, почва покрыта однолетними травами, высохшими после летного периода, посевные линии видны, но результатов нет. Почва местами темный солончак. Растительный покров 10%., далее 4-5-летний саксаул, много молодого саксаула, идет интенсивное само зарастание. Растительный покров почти 100%, обнаружена болезнь саксаула. Другая описываемая местность была затоплена водой, из-за этого появился растительный покров в основном из тамарикса, с покровом 60%. Далее почва уплотненная, работал буровой агрегат газовиков, растительный покров состоит из однолетних высохших трав. В большинстве мест вдоль маршрута нарезаны борозды для накопления песка. На бороздах изредка посажены саженцы, где посажено зарастания почти нет или очень мало.	В начале (25%) средняя экологическая опасность, Далее (25%) сильная экологическая опасность, И в остальных точках маршрута в основном слабая (40%), встречаются редкие средняя (10%) экологическая опасность

Номера маршрута	Общее количество точек	Рельеф описываемой местности	Данные почвенно-растительного покрова	Оценка степени экологической опасности
2	51 (Т.45-94)	Рельеф местности в основном равнинная, местами имеется очень редкие дюны,	В начале маршрута наблюдались редкие молодые саксаулы, смешанные с высохшими однолетними травами. Далее очень редкие дюны с тамариксом и корабараксом высотой растений 0,4-1,0 м. Почва пухлый солончак, на поверхности мокрый, местами белого цвета, нарезаны песко-накопительные борозды. Ландшафт меняется на очень редкие кустарники тамарикса, карабарока, Селитрянки Шобера (лат. <i>Nitraria schoberi</i>). Обнаружены высохшие саженцы саксаула. Далее по маршруту наблюдаются смешанные заросли корабарока изредка с тамариксом. Благодаря земляной дамбе определенная территория до дамбы затоплялась водой. В этой местности пошел процесс само зарастания кустарников карабарока и тамарикса. С другой стороны дамбы, поля без растительности, но с очень редкими небольшими дюнами, где растет селитрянка Шобера. В конце маршрута меняется ландшафт на редкие многолетние саксаулы высотой до 3,5 м и с однолетними высохшими травами.	В начале маршрута сильная (43%) экологическая опасность , далее переход на смешанный класс нет экологического риска и слабая экологическая опасность (33%). В остальных точках средняя (24%) экологическая опасность

Кокдарьей, геофизики проводили взрывные работы для обследования на нефть и газ.

В районе Казахдарьи, между руслом Амударьи и Джылтырбасом, обнаружили дорогу, где в нескольких местах обвалились заасфальтированные участки и образовались большие крутые обрывы, которые могут быть опасными для проезда автомобилей работающего персонала и для населения на этой территории.

Локальные водоемы южного Приаралья имеют определенный резерв и соответствующий проектный уровень воды. В многоводные годы лишние воды вынужденно сбрасываются в сторону осушенного дна Большого Аральского моря. Амударьинский сток характеризуется большой изменчивостью, имеются кратковременные паводковые попуски, представляющие опасность для сооружений.

Поэтому строительство на дне моря водохозяйственных сооружений и инженерных объектов без согласования с местными водохозяйственными организациями, которые эксплуатируют локальные водоемы Приаралья, ставит также под угрозу безопасность самих этих нефтегазовых объектов. При такой несогласованности проектных данных и места объектов, возможно, будет иметь последствие в виде затопления газовых скважин и объектов, на которых ведутся в настоящее время буровые работы нефтегазовых компаний.

Еще одна негативная сторона проводимых работ на осушенном дне газавиками и нефтяниками: строительство дорог, дамб, сбросных каналов препятствует процессам самозарастания и сохранности растительности.

Негативное воздействие на окружающую среду новой инфраструктуры на дне моря также связано с работой буровых установок, которые ведут к уничтожению травяного покрова и растительности на дне осушенного моря, где процессы восстановления протекают особо медленно. На обсохшем дне работает множество буровых агрегатов для бурения скважин по добыче природного газа. На территориях, где стоит буровой агрегат и где уже закончили бурения, на площади около 2-3 га полностью уничтожен растительный покров. Даже по истечении 10 лет на месте бурения растительность не восстанавливается.

Во исполнение поручения Президента Республики Узбекистан по созданию «зеленого покрова» на высохшем дне Аральского моря в декабре 2018 года начались крупномасштабные работы для облесения на дне высохшего Арала на площади более 1 миллиона гектаров к концу 2019 года. Для ускорения действия облесения на осушенном дне Арала в 2019 году было выделено финансирование в размере 400 млрд. сумов из государственного бюджета Узбекистана. Мобилизовано более 530 тракторов со всех областей республики и два самолета Ан-2. Подготовлено 1532 тонны семян саксаула и 73 тонны карабарака. В период с декабря 2018 года по март 2019 года были проведены работы на площади 451 600 гектаров. При помощи двух самолетов Ан-2 было посеяно 323 150 га. 119 440 га засеяны сельскохозяйственной техникой. 3 тысячи гектаров засеяны дельтапланами.

Результаты наземных экспедиции показывают, что большинству исследуемых территорий вдоль маршрута, особенно в зоне обследования первой экспедиции обнаружили почти

везде нарезанные борозды для накопления песка. На этих бороздах пока саженцы посажены очень редко, а где сделана посадка, результаты очень плохие, очень редкая приживаемость.

Согласно полевым исследованиям, само зарастание особенно активно рядом и в конце участков с искусственными посадками на территориях, реализованных международных проектов (например, GTZ), а также на территориях, облесение которых на осушенном дне Арала выполнено самим Госкомлесхозом, где правильно выбраны места. Это доказывает, что выбор мест посадки должен быть тщательно изучен и необходимо правильно определять их размещение. Для обеспечения хорошей приживаемости необходимо детальное изучение экологического состояния местности, в том числе почвенного покрова на части выделенных участков, также необходимо определить граничные условия по уровням и минерализации грунтовых вод. Это убедительно указывает на положительное воздействие работ по уменьшению негативных последствий на экологическую ситуацию в районе обсохшего дна Аральского моря.

Еще одна экологическая проблема осушенного дна Аральского море является загрязнение мусором. Во время обеих экспедиции по маршрутным направлениям мы часто видели места брошенных остатков пустых стеклянных и пластиковых бутылок, пластиковые пакеты. Ближе к городу Муйнак (музей «Кладбище кораблей») появился полигон строительного мусора. Требуется предпринять неотложные меры со стороны Госкомэкологии по предотвращению отрицательного воздействия на экологию осушенного дна Арала.

6.5. Изучение лесорастительного покрова

Крупномасштабные работы, развёрнутые по решению Правительства Узбекистана во исполнение инициативы Президента

Узбекистана Ш. Мирзиёева, на фоне естественных природных трансформаций, для которых при отсутствии таковых потребовались

бы века, формируют изменения, поражающие своей динамичностью. Это заставляет рассматривать мониторинг осушенного дна моря и происходящих на нём процессов в качестве одного из основных инструментов решения вопроса такого преобразования и частичного сохранения этой уникальной зоны, с целью предотвращения развития на ней возможных отрицательных явлений. Осушенное дно моря и Приаралье в настоящее время служат платформой применения инновационных методов преобразования природы. Кроме того, зона осушенного дна моря является уникальной лабораторией для ученых, которые могут наблюдать и изучать процессы веков за жизнь одного поколения.

Вопрос возобновления мониторинга осушенного дна моря после прекращения немецкого финансирования этих работ в 2010 году поднимался в ряде правительственных документов. Но был решён лишь после создания Много-партнерского Трастового Фонда ООН по человеческой безопасности для региона Приаралья путём организации комплексной экспедиции НИЦ МКВК в 2019-2020 годах при финансовой поддержке ПРООН с участием Международного инновационного центра Приаралья при Президенте Республики Узбекистан. Одной из задач этих экспедиций является изучение почвенного покрова и состояние растительного мира части осушенного дна моря, изменение некоторых экологических показателей за последние годы и динамика по сравнению с предыдущим периодом.

Основные территории обследованной площади в двух экспедициях относятся, как уже указывалось, к государственному лесному фонду Муйнакского лесхоза и Казахдарьинского лесохозяйства. На обследованных территориях искусственные посадки и посевы лесных культур, в основном, проводились, начиная с 1980-х годов до сегодняшнего дня.

6.5.1. Организация исследований

Исследования включили маршруты и описание точек ландшафта, растительности, почвенного покрытия. В ходе обследований были определены объёмы проведенных лесовосстановительных работ, методы проведения лесокультурных и фитомелиоративных мероприятий, выявление очагов болезни и вредителей растений на обследуемой территории, определения приживаемости проведенных лесовосстановительных работ, а также состояния естественного возобновления междурядьях и вокруг лесных массивов старших возрастов. По ходу прохождения маршрута участники строго засекали любые факторы, которые могли оказывать влияние на приживаемость посадок, их возраст, состояние, болезни и эффективность. К таким факторам, в частности, отнесены наличие каналов, озёр, протоков и других источников увлажнения, наличие пастбищ, скважин – действующих и заброшенных, дорог и повреждений антропогенного характера, нанесенных растениям.

6.5.2. Изучение лесорастительного покрова и рекомендации по результатам экспедиций

Освоение пустынь в условиях научно-технической революции – задача трудная и ответственная. С одной стороны, требуются значительные капитальные вложения, особый подход, применение соответствующих методов и технических средств, с другой – тесная связь с вопросами охраны окружающей среды, улучшением экологической обстановки, научным прогнозом нежелательных последствий вмешательства человека в сложившееся природное равновесие. При этом необходимо иметь в виду, что природа пустынь особенно неустойчива и легкоранима. Аридные биогеоценозы – хрупкие системы, в результате антропогенного воздействия они быстро разрушаются и

относительно медленно восстанавливаются. Их сохранение в условиях повышенной хозяйственной нагрузки требует постоянного совершенствования организации и технологии рационального землепользования, применения комплекса специальных мероприятий.

Результаты проведенных исследований в первой экспедиции

Первая экспедиция охватила юго-западную часть осушенного дна, она проводилась из четырёх лагерей, по 16 маршрутам и зафиксировала 1581 точку наблюдения.

Выдержка из полевого журнала дендролога приведена ниже в качестве примера.

«Маршрут 2 (Т.45-Т.94)»

Второй маршрут от первого лагеря по дороге к чинку в юго-западном и западном направлениях (Т.45-Т.94). Территория – равнина с уклоном к чинку.

Были отмечены следующие особенности.

Территория значительно меняется, исходя из того, что какое количество воды поступают вниз, в водохранилище Туямуюн по течению реки Амударьи. В обеспеченные годы вода разливается из Аджибайского залива, держится длительное время, способствуя развитию тамарикса и карабарака. Карабаракский массив с 80% покрытием (Т.45-Т.47). Часть маршрута (Т.50-Т.64) проходит через нарезанные борозды неоднородного вида редкими экземплярами климокоптеры, карабарака, тамарикса и саксаульника. Мокрые и сухие пятна солончаков чередуются. В точке (Т.65) имеются редкие заросли саксаульников возрастом 3-5 лет и всходы тамарикса, покрытие 5%. (Т.66) имеет координаты 43 точки предыдущих экспедиций, саксаул в плохом состоянии. Открытое пространство (Т.67-Т.70) – мертвый посев саксаула. В точках (Т.71-Т.73) естественные массивы

саксаульников возрастом 10-12 лет и тамарикса, покрытие 50%. Карабаракский и тамариковый массив в (Т.74-Т.81), покрытие 85%. Тамариковый массив (Т.87), покрытие 70%».

Кроме того, подробное описание растительности, хорошо систематизированное, приведено ботаником. Наконец, в журнале эколога и в его обобщающих ведомостях также приведены характеристики растительности, в том числе самозарастания, которое он установил по сопоставлению с результатами 2006 года. Особое внимание в первой экспедиции уделено новым посадкам и подготовке для них борозд.

Выводы по первой экспедиции

- Наблюдается интенсивное естественное возобновление междурядных и вокруг произведенных межкультурных работ.
- Большинство территории массива Тигровый хвост и вдоль чинка Устюртского плато часто подвергается затоплению. Благодаря этому на данной территории появляется естественная возобновление тамарикса, карабарака и других солеустойчивых видов культур (рис. 107, 108).
- На этой территории проводились нарезка борозд (рис. 109) для дальнейшей посадки пустынных растений.
- Сразу же после нарезки песко-накопительных борозд производится посадка солеустойчивых пород.
- Из-за преждевременного проведения лесокультурных работ на нарезанных бороздах с не накопленным за песочным слоем, степень приживаемости посаженных растений не удовлетворительная.
- На некоторых территориях появляются очаги болезней пустынных растений как мучнистая роса и галлица (рис. 110).



Рис. 107. Примеры растительности Тигровый хвост



Рис. 108. Растительность вдоль Чинка



Рис. 109. Нарезанные борозды



Рис. 110. Определение болезни саксаула



Рис. 111. Фотографии проведения первой экспедиции

Рекомендации по зоне первой экспедиции:

- Учитывая, что нарезка борозд на этих территориях преждевременно, надо подождать пока подпочвенная грунтовая вода вниз опустились и здесь появились суглинистые почвообразование, которые благоприятно для развития корневой системы пустынных культур.
- Ежегодно после второго года нарезки борозд надо проводить исследования и ждать, пока количество песконакопления, позволит производить посадки лесных культур. Аэропосев надо проводить на тех площадях, где тамариксо-карабараковые заросли высыхают и начинается засыпание песков.
- Необходимо принять меры по борьбе с болезнями, а также вредителями пустынных лесных массивов.
- Рекомендуем создание двух научно-исследовательских станций для лабораторных исследований экологической оценки и возможно экологических рисков на осушённом дне Аральского моря.
- Для получения достоверной информации и создания базы данных, а также проведения мониторинга с соответствующими сопоставлениями предыдущими анализами исследованиями, надо проводить ежегодную постоянную экспедицию, включающую в состав высококвалифицированных и опытных специалистов и экспертов.

Результаты проведенных исследований во второй экспедиции

Вторая экспедиция (рис. 112) охватила в основном юго-восточную часть осушенного дна. Обследование проходило из трёх лагерей, 14 маршрутов, 561 точки наблюдения. Местность

по этой экспедиции более бугристая и с большим наличием водных факторов, нарушающих обычный ход процессов обрастания пустынно-устойчивой растительностью.

Выводы по второй экспедиции

1. На некоторых местах из-за понижения грунтовых вод начинают высыхать тамарикс и карабарак. Кроме кустарников, на этой территории встречаются кормовые культуры, такие как янтак и новые виды – лимониум. Вдоль асфальтовой дороги встречаются дружные всходы гармалы (адраспан, исирик).
2. В прибрежной зоне Амударьи произрастает тугайная растительность, такая как туранга и жида (лох).
3. В результате поднятия уровня грунтовых вод и затопления сбросовыми водами р.Кокдарьи близлежащие территории посадки GTZ 2005 года погибло свыше 90%.
4. То же вдоль озера Куат.

Рекомендации по второй экспедиции

- На участке Арал (северная часть) – озеро Джылтырбас необходимо провести лесопосадочные работы (саксаул, черкез, кандым, селин). Местность песчаная (подвижные пески). Незакреплённые участки целесообразно дополнить междурядья кормовыми растениями.
- В западной части озера Джылтырбас необходимо дополнить междурядья саксаульников черкезом Рихтера, кандымом и селином.
- В северной части озера Джылтырбас (граница с Казахстаном) провести лесопосадочные работы на засоленных частях, целесообразно посевом и посадкой гребенщика и карабарака. Местность не закреплена.
- В южной части озера Джылтырбас целесообразно провести лесопоса-

- дочные работы с применением посева кормовых растений, так как местность в течение длительного времени используется животноводством на основе 5 скважин.
- Восточная часть коллектора КС-3 до Джылтырбаса – провести лесопосадочные работы. Местность слабо закреплена пустынными растениями и подвергается ветровой эрозии.
 - Восточная часть озера Куат (начиная со скважин Дарьябая до скважин Чимбай, с дороги Буровой и вниз до острова Тербенбес) дополнить междурядья посадками и посевами кормовых культур.
 - На севере озера Куат саксаульники подвержены заболеваниям (мучнистая роса). Кустарники отстали от роста. Необходимо провести посадку и посев черкеза Рихтера. Результаты обследования показали, что черкез является более устойчивым к различным заболеваниям.
 - На севере местность до границы с Казахстаном подвижные пески слабо закреплены. Учитывая то, что местами сильнозасоленные почвы (конец Кокдарьи), необходимо провести посев и посадку более солеустойчивых растений (гребенщик, карабарак). Рекомендуется применение авиации, так как местность труднопроходимая.
 - По берегам Кокдарьи не нужно проводить лесопосадочные работы так, как правый и левый берег Кокдарьи начиная с кладбища «Кабаклы ата» до конечной части Кокдарьи заросли гребенщиком и карабарак. Местность непроходимая.
 - По берегам Тогызаркан и Кытай казган провести лесопосадочные работы с применением посева кормовых растений. Местность слабо закреплена, встречаются единичные экземпляры кустарников.
 - Восточная часть до границы с Казахстаном и вся северная часть не закреплена. Требуются широкомаштабные лесопосадочные работы с применением различных технологий посадок.

Обобщение результатов количественного учёта состояния посевов различных древесных культур, сделанное на основании обзора ежедневных маршрутов экспедиций, позволило определить распространение различных пород по зоне каждой экспедиции (табл. 30). Как видно, покрытие общее территории в зоне первой экспедиции составляет 32%, во второй – более 60%. Такое соотношение определяется большей обводнёностью зоны второй экспедиции. В тоже время, в обеих зонах превалирует саксаул.

Таблица 30

Обобщение анализа количественного состояния пород дендрологического обследования

№ Экспедиции	Покрытие поверхности экспертная оценка, %				
	Саксаул		Влаголюбивые: камыш, тростник	Тамарикс, карабарак	Нарезанные борозды
	Всего	В хорошем состоянии			
I	18,8	12,7	6,2	12,9	23,9
II	36,2	30,0	18,5	15,5	12,0



Рис. 112. Проведение второй экспедиции

6.5.3 Результаты обследования новых посевов лесных культур

Результаты изучения новых посадок показали, что в зимне-весенний период 2018-2019 годов проведена работа по посеву лесных культур и других пустынных растений на площади 461 тыс. га (рис. 113).

На сегодняшний день семена посевов, осуществленных с помощью самолета Ан-2 на площади 250 тыс.га, дали всходы неравномерно, и в среднем их количество составило от 300 до 2000 шт. на 1 га (*согласно правилам создания лесных насаждений в пустынной зоне, при количестве растений 300-500 шт. территория считается лесопокрытой*).

На площади 3 тыс. га (на территории «Ахантай») на гипсированных и сильно засоленных почвах посев семян проводился с помощью дельтаплана. В настоящее время всходов не выявлено, но на поверхности почвы семена имеются (по мнению ученых, семена саксаула могут сохранить свою всхожесть в течение 2 лет).

В сильно засоленных почвах (солончаках) были посажены сеянцы тамарикса и соляноколосника Беланже (карабарак). Приживаемость из 10-ти указанных растений составила 3-4 шт. (30-35%), у отдельных сеянцев верхняя часть была сухая, а нижняя часть – влажная, что позволяет ожидать их дальнейшего роста.

На территории 15,4 тыс. га в песчаных и средnezасоленных почвах были высажены сеянцы саксаула. При этом на отдельных участках из каждых 10 шт. сеянцев прижились в среднем 5-8 шт. (5-58%), на сильно засоленных кислотных почвах –

1-2 шт. (10-20%) растений.

На посевах, осуществленных с помощью сельхозтехники на площади 119.4 тыс. га, в 10 м² на песчаной почве всходы составили 55-

60 шт., на средне и слабозасоленных почвах – 15-25 шт. и на гипсированных почвах всходов не обнаружено.

По итогам предварительного мониторинга, учеными положительно оценено состояние посевов семян и саженцев растений.

В целях обеспечения зоны бедствия водой, пригодной для развития животноводства, а также привлечения и размножения флоры и фауны региона, проделана определенная работа.

В частности, на сегодняшний день получена вода из 41 скважины, в том числе на территории Арала – 16, в поселке Казакдарья Муйнакского района – 17, Тахтакупырском районе – 8, также завершается процесс бурения и восстановления 9 скважин.

Подготовленные скважины оборудованы крановым регулировочным устройством и приспособлениями для водопоя скота.

В целях предупреждения перемещения песков на протяжении 93,5 км построены защитные полосы из камыша общей площадью 1244 м³.

6.5.4 Общие рекомендации

Осушенная часть дна Аральского моря характеризуется типичными типами пустынной растительности. Преобладающими являются песчаные (псаммо-фильные) и солончаковые (галофильные) типы. Элементы тугайной растительности характерны для дельты Амударьи. Наблюдаются своеобразные ландшафтно-куртинные тростниковые заросли. Они формируются в большинстве случаев в период депрессии влаголюбивой однолетней солянковой растительности. Как правило, они недолговечны и деградируют по мере истощения в почвогрунтах запасов избыточной влаги.

СХЕМА Объёмы выполненных работ " Осень 2019 - весна 2020 гг."

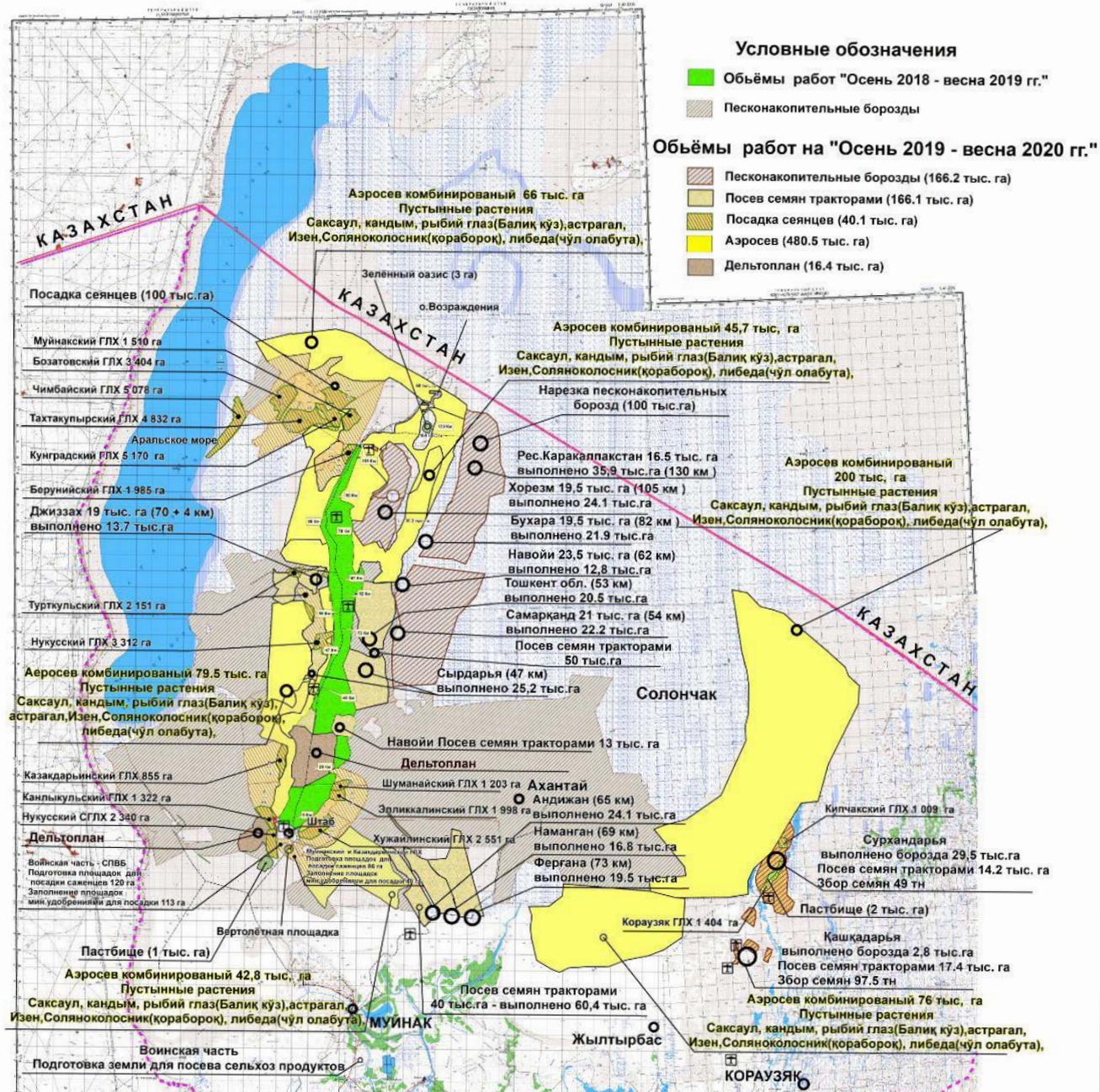


Рис. 113. Объёмы выполненных работ «Осень 2019 – весна 2020 гг.»

В пределах осушенных заливов и южной части дна Аральского моря нами зафиксировано 64 вида высших растений – представителей 47 родов и 17 семейств: из них деревьев – 1 вид; кустарников – 18; полукустарников – 4; многолетних трав – 18 видов, однолетних трав – 22 вида.

Все виды растений, произрастающие на осушенной части дна Аральского моря, по состоянию совокупности индивидуумов ценопопуляций – по жизненности, численности, возрастной структуре, интенсивности расселения, распадаются на три группы.

1. Прогрессивные ценопопуляции.
2. Регрессивные ценопопуляции.
3. Локальные ценопопуляции.

Последние характеризуются стенотопностью, узкой толерантностью и, как следствие, приспособленностью к узкому диапазону экологических факторов. Эугалофильное однолетнее растение – солерос европейский – приурочен к глинистым маршевым приморским солончакам. Он заселяет морское дно еще до полного его осушения. Его семена произрастают лучше в водной среде.

Солерос достигает наибольшего развития в 1-2-е годы осушения морского дна. В дальнейшем, в 4-5-е годы осушения дна моря, он отмирает в связи с интенсивным опустыниванием почвогрунтов. Продолжает возобновляться на вновь осушаемых территориях дна моря. С точки зрения фитомелиорации подобные виды не имеют особого значения.

Регрессивные ценопопуляции могут быть представлены многочисленными особями. Однако, они характеризуются слабым или полным отсутствием семенного возобновления, преобладанием старовозрастных и мертвых особей. Они могут нормально плодоносить, но не имеют экологических условий для семенного возобновления. Таковыми являются

ценопопуляции тамарикса, камыша и других гигро-мезофильных растений.

Прогрессивные ценопопуляции характеризуются всеми возрастными группами, интенсивным семенным возобновлением и расселением. Таковыми являются саксаул черный, эremosпартон безлистный, виды джужгуна, астрагал песочный и другие. Они являются перспективными для фитомелиорации осушенной части дна Аральского моря и опустыненных конусов выноса Амударьи.

Фитомелиоранты

Эremosпартон безлистный – *Eremosparton aphyllum* Fisch.et Mey из семейства бобовых. Высокий кустарник высотой 2-4 м, псаммофит, эуксерофит, характерный представитель подвижных, слабозакрепленных опресненных песков.

Эremosпартон на южной части дна Аральского моря впервые зафиксирован в 1989 году, на местности Кабанбай, на подвижных песках, засоленность которых не превышала 0,2-0,25%. В настоящее время здесь и на прилегающих территориях, например, на острове Возрождения, имеются довольно развитые плодоносящие его особи. Численность особей эremosпартона колеблется в пределах 5-8 экз/100м², плодоносит летом.

Саксаул черный – *Haloxylon aphyllum* / *Minkw / Ijijn* из семейства маревых – дерево или высокий кустарник высотой до 3-4 м, эуксерофит, эугалофит, фреатофит, характерный представитель песчаных, глинистых и солончаковых пустынь.

На осушенной части дна Аральского моря, черный саксаул довольно широко распространенное растение. Он представлен всеми возрастными группами. На западной части осушенного Аджибайского залива имеются довольно густые заросли высотой 3-4 м. Черносаксаульники имеют тенденцию расши-

рения территории: Численность саксаула колеблется в широких пределах 1-20 экз/100 м². Семена созревают осенью.

Виды каллигонума – *Calligonum* Sp.Sp., из семейства гречишных. Виды жузгуна являются кустарниками, характерными представителями главным образом слабозасоленных и опресненных песков. Для Приаралья характерны около 15 видов. Из них около 8-10 видов встречаются на осушенной части дна Аральского моря по слабозакрепленным песчаным барханам. Они, как правило, приурочены к слабозасоленным песчаным массивам и характеризуются близкими экологическими особенностями. Плодоносят летом.

Для фитомелиоративных целей чаще всего используется жузгун («Голова Медузы») – мощный кустарник высотой 2-3 м. Опыты по фитомелиорации осушенных Рыбацкого и Аджибайского заливов с применением этого вида, выполненные сотрудниками СредАзНИИЛХ (Кокшарова, Исаков, 1985) дали положительный результат. С таким же успехом можно использовать и другие виды жузгуна: безлистный, аральский, плоскощетиный, щетинистый, чешуйчатоплодный, древовидный и другие.

Астрагал песочный – *Astragalus ammodendron* Bunge, из семейства бобовых, кустарник высотой 50-120 см, псаммофит, эуксерофит. Широко распространен на осушенной части дна Аральского моря. Данный вид астрагала более многочислен на бывшей береговой зоне моря, где грунт сложен опресненными и слабозакрепленными, гипсированными песками. Численность растений 1-2 экз/100м². Плодоносит летом.

Солянка Рихтера, черкез – *Salsola richteri* / Моq / Kar.ex Litv., из семейства маревых, кустарник высотой 1-2 м, псаммофит, эуксерофит, характерный представитель растительности слабозакрепленных песчаных пустынь.

Черкез в составе естественной растительности отсутствует. Он внедрен на осушенной части Рыбацкого и Аджибайского заливов и опустыненных конусов выноса Амударьи сотрудниками СредАзНИИЛХ (Кокшарова, Исаков, 1985) в начале 1980 годов. Опыты получились удачными. Растения достигли 1,2-1,7 м высоты, ежегодно обильно плодоносят. Они начали расселяться самосевом. Черкез Рихтера – ценное кормовое растение, плодоносит осенью.

Солянка Палецкого, черкез – *Salsola paletzkiana* Litv, из семейства маревых, кустарник высотой 1-3 м, псаммофит, эуксерофит, одно из характерных растений опресненных, слабозакрепленных песков.

Данный вид черкеза по биологии и экологии очень сходен с предыдущим растением. Главное их отличие заключается в том, что у последнего – ассимиляционные побеги в два и более раз длиннее, чем у первого. Кроме этого, черкез Палецкого в естественных условиях распространен в южных районах Каракалпакстана, а в составе растительности осушенной части дна Аральского моря и граничащих с ней районов Приаралья отсутствует.

Черкез Палецкого был внедрен на осушенном Рыбацком и Аджибайском заливах и опустыненных конусах выноса Амударьи одновременно с черкезом Рихтера в начале 1980 годов, сотрудниками СредАзНИИЛХ. Здесь растения прижились, достигли высоты 1-2 м, ежегодно плодоносят, расселяются самосевом. Осенью ежегодно обильно плодоносят. Ценное кормовое растение.

Солянка восточная, кейреук – *Salsola orientalis* S.G Gmel, из семейства маревых, ценное кормовое растение. Кустарничек высотой 30-60 см, широко распространен на гипсовых и глинистых пустынях Приаралья. В составе естественной растительности осушенной части дна Аральского моря отсутствует.

Кейреук для фитомелиоративных целей внедрен на осушенном Рыбацком заливе, путем посева семян сотрудниками института Ботаники АН РУз и Института биоэкологии ККО АН РУз в конце 1980 годов (Кабулов, 1997). Пока удалось вырастить несколько кустов. Однако они ежегодно обильно плодоносят. Можно полагать, данный вид будет иметь перспективу на слабозасоленных и опресненных суглинистых и глинистых территориях осушенных заливов Аральского моря.

Солянка древовидная, аксар – *Salsola dendroides* Pall., из семейства маревых, полукустарник высотой 80-120 см, мезофильное, галофильное растение, широко распространено на слабо- и средnezасоленных территориях осушенных приморских разливов, озер. Ежегодно обильно плодоносит. Семена созревают осенью.

Терескен – *Geratodoides everesmaniana* / *Stchegl.ex Losinsk / Botsch.et Ikonn* – полукустарник из семейства маревых высотой 60-120 см. Ценное кормовое растение. В природе распространен на опресненных песках и слабо-средnezасоленных супесчаных и суглинистых территориях.

Терескен в составе естественной растительности осушенной части дна Аральского моря отсутствует. В целях фитомелиорации он был внедрен на осушенном Рыбацком заливе путем посева семян в конце 1980-х годов (Kamalov, 1995, Kamalov, Aschurmetov, 1998).

В настоящее время здесь имеются плодоносящие особи, которые хотя и медленно, но расселяются. Плодоносят осенью.

Полынь песчаная, Кум жуусан – *Artemisia tschernieviana* Bess, из семейства сложноцветных, характерный представитель песчаных пустынь, полукустарничек высотой 50-90 см.

На осушенной части дна Аральского моря она поселилась в начале 1990-х годов и зафик-

сирована, нами впервые на западной части по слабозакрепленным пескам на местности Кабанбай. Плодоносит осенью.

Аристида перистая, селин, ургашы селеу – *Stipagrostis pennata* / Trin / Winter / из семейства злаковых, многолетняя кустистая трава, высотой 30-60 см, характерный представитель слабозасоленных и опресненных слабозакрепленных барханных песков, кормовое растение.

На осушенной части дна моря селин поселился в начале 1980-х годов. Он распространен по песчаным барханам повсеместно. Численность взрослых особей (семей) селина в некоторых случаях достигает до 10-12 экз/100м². Плодоносит летом.

Верблюжья колючка, янтак, жантак – *Alhagi pseudalnagi* / Bieb / Fisch, из семейства бобовых, многолетнее растение, высотой 30-80 см, гемиксерофит, фреатофит. Она распространена на опресненных и слабозасоленных глинистых и суглинистых территориях, а также на маломощных песках, подстилаемых глинистыми грунтами со слабо минерализованными грунтовыми водами. Ценное кормовое, медоносное и лекарственное растение. Плодоносит летом.

В фитомелиоративных целях могут быть использованы также однолетние галофильные растения, как лебеда Фомина, бассия, свела серполистная и другие, широко распространенные на осушенной части дна Аральского моря.

Успешность фитомелиорации осушенной части дна Аральского моря и опустыненной дельты Амударьи во многом определяется правильным выбором технологии посева семян и посадки растений. На глинистых и суглинистых территориях посев семян и посадку растений можно проводить традиционными способами, как боронованием, по песконакопительным и влагонакопительным бороздам. В то время как в отношении песчаных почво-

грунтов необходимо предпринять максимум предосторожностей. Здесь даже небольшое механическое воздействие на грунт может стать причиной больших негативных явлений, таких как интенсивная дефляция, эоловый вынос засоленной пыли.

Многолетний опыт по фитомелиорации пустынь показывает, что осенние месяцы являются самыми благоприятными для посева семян вышеназванных фитомелиорантов. При весеннем посеве можно получить удовлетворительный результат лишь в условиях посева семян, подвергнутых специальной обработке, таких как стратификация и скарификация. Однако, посадку саженцев и черенков желательно проводить весной, ибо зимняя засуха в Приаралье способствует их массовой гибели вследствие иссушения.

Заготовку семян желательно проводить с растений, произрастающих на осушенном дне Аральского моря. Произрастающие на данной территории семена растений в период их формирования проходят необходимую адаптацию к суровым почвенно-климатическим условиям. На территории осушенного дна Аральского моря в местностях Рыбацкого и Аджибайского заливов, в массивах «Французская посадка», Акпеткей, Ахантай, вокруг озера Джылтырбас можно заготовить необходимое количество семян саксаула, черкеза, джужунов и других фитомелиорантов.

6.5.5 Перспективные меры по улучшению фито- и лесомелиоративных работ

Нарезка песконакопительных борозд. При обследовании территории обнаружено, что ранней осенью нарезались песконакопительные борозды на глубину 40 см орудием для нарезки борозд со щелевателем конструкции лаборатории защитного лесоразведения и лесомелиорации НИИЛХ. Одновременно с

нарезкой борозды с помощью щелевателя нарезалась и щель на глубину 40 см. На некоторых местах нарезались такие же песконакопительные борозды, но без щелевателя. Физический смысл первого варианта заключался в том, что влага за счет зимне-весенних осадков собиралась в борозде и проникала в щель, образуя резервуар влаги, которую растение могло употреблять в течение всего вегетационного периода. На втором варианте влага собиралась в борозде глубиной 40 см. На эту же глубину летом при 50-градусной жаре песок полностью пересыхал, и соответственно высыхала вся влага, в отличие от первого варианта, где основная влага была собрана в имеющейся щели. Так как саксаул имеет глубинную корневую систему, то он употребляет влагу, накопившуюся в щели, а во втором варианте саксаул испытывает серьезную нехватку влаги, что приводит к гибели растения. При этом надо отметить, что в период посадки сеянцев с помощью лесопосадочной машины, сошник раздвигает песок в песконакопительной борозде на глубину 30 см, образуя посадочную щель, куда высаживается сеянец. Исследования показали, что на второй год после посадки в борозде со щелевателем, сохранность саксаула составляет 85% (высота растения 95 см и диаметр кроны 110 см), а в борозде, где не была проделана щель сохранность составляет свыше 50% (высота растения 51 см и диаметр кроны 64 см). Таким образом, если в других случаях влага находится в верхних горизонтах и летом она испаряется, что приводит к частичной гибели растений, то в разработанной технологии со щелевателем влага будет доступной для растений на протяжении всего вегетационного периода. Через 5 лет, когда растения вступили в стадию плодоношения, семена под воздействием ветра распространились по всей территории, и защитили ее от возникновения дефляционных процессов.

Урожай лесных семян, их учёт и прогнозирование

Урожай лесных семян. Под урожаем лесных семян понимают их количество, образовавшееся в данном конкретном году на 1 га насаждения.

Органы лесного хозяйства систематично должны проводить простейшие фенологические наблюдения и учет урожая семян для определения ожидаемого урожая и организации заготовок плодов, шишек и семян деревьев и кустарников.

Фенологические наблюдения и учет плодоношения проводят на пробных площадях, которые закладывают в каждой категории лесосеменных насаждений, предназначенных для заготовки семян (постоянные лесосеменные участки – ПЛСУ, временные лесосеменные участки – ВЛСУ, лесосеменные плантации, лесосеки и др.) Для этого все вышеперечисленные категории лесосеменных насаждений делят на относительно однородные (по составу, структуре, возрасту, условиям местопроизрастания и состоянию) группы участков и в каждой из них закладывают по одной пробной площади. При этом, на ПЛСУ и на лесосеменных плантациях закладывают постоянные пробные площади размером 0,25 га, а в других категориях – временные площади размером 0,1- 0,5 га, с таким расчетом, чтобы на каждой площади было не менее 100 деревьев наблюдаемого вида.

Учет ожидаемого урожая семян проводят по видимым невооруженным глазом или в бинокль цветкам, завязям и созревающим плодам в период массового цветения (I фаза), массового образования завязей (II фаза) и перед началом созревания семян (III фаза).

Организация постоянной лесосеменной базы

Для обеспечения регулярного получения лесных семян с высокими наследственными и посевными качествами организуется лесосеменная база. В лесном хозяйстве семенной базой являются отобранные, высокопроизводительные для соответствующих условий среды и целей хозяйства естественные насаждения и лесные культуры, а также специально сформированные и искусственно созданные лесосеменные участки и плантации, предназначенные для заготовки семян. Семенная база в государственных лесных учреждениях организуется с расчетом полного обеспечения текущей потребности в лесных семенах и создания необходимого резерва семян.

Селекционную инвентаризацию проводят при лесоустройстве или при специальных обследованиях в спелых, приспевающих, их недостатке и в средневозрастных насаждениях. При этом деревья подразделяются на три категории: плюсовые, нормальные и минусовые.

Плюсовые — это самые высокопроизводительные, высококачественные и устойчивые в данных лесорастительных условиях насаждения. Их выделяют в качестве семенных заказников. В них проводят сплошную подеревную селекционную инвентаризацию и отбирают плюсовые деревья. Они не включаются в расчётную лесосеку и не подлежат рубке. В порядке ухода в них вырубается минусовые деревья. Плюсовые насаждения используются для заготовки семян улучшенных селекционных качеств.

Нормальные — это насаждения высокой и средней производительности, хорошего и среднего качества для данных условий произрастания. В них может производиться заготовка семян с плюсовых и нормаль-

ных деревьев нормальной селекционной ценности.

Минусовые — это низкопроизводительные для данных лесорастительных условий насаждения плохого качества, имеющие в своём составе большое количество минусовых деревьев. Сбор семян с них запрещён.

Согласно «Правилам аттестации и учёта объектов селекционно-генетического назначения на участках государственного лесного фонда», аттестация селекционно-генетических объектов, к которым относятся и плюсовые деревья, осуществляется специализированной организацией, приказом руководителя которой создаются аттестационные комиссии.

Аттестационные комиссии определяют соответствие выделенных объектов установленным требованиям. На аттестованные объекты составляются паспорта с прилагаемыми схематическими планами их размещения, а сведения о них отмечают в лесоустроительных материалах и заносят в государственный реестр плюсовых и элитных деревьев и в сводную ведомость плюсовых насаждений республики. Аттестованные плюсовые деревья в натуре отмечают на стволе на высоте 1,3 м кольцом, шириной 10 см, закрашенным белой масляной краской. Элитные деревья дополнительно ещё отмечают кольцом красного цвета. На белом кольце проставляется двойной номер: в числителе – по госреестру, в знаменателе – по хозяйству.

Лесосеменные плантации

Лесосеменные плантации (ЛСП) — это специально созданные насаждения, предназначенные для массовых заготовок в течение длительного срока ценных по наследственным свойствам семян местных и интродуцированных пород.

Различают ЛСП первого и второго порядка. На первых – выращивают потомства плюсовых деревьев, отобранных по фенотипу и не проверенных по семенному потомству. Они создаются для оценки генетических качеств, представленных на них клонов и для массовых заготовок улучшенных в селекционном отношении семян.

Плантации второго порядка создают из семян с элитных деревьев, подтвердивших свою генетическую ценность в испытательных культурах.

Постоянные и временные лесосеменные участки

Постоянные лесосеменные участки (ПЛСУ) — это высокопродуктивные и высококачественные для соответствующих типов леса естественные насаждения или культуры известного происхождения (из местных семян), специально сформированные, и предназначенные для получения селекционно-ценных семян в течение длительного времени. Для их создания подбирают участки леса в нормальных или в более ценных насаждениях I, II, не ниже III бонитета, а в крайне жестких условиях (сухие и каменистые типы леса) – не ниже IV бонитета.

6.6. Оценка ландшафтов с помощью дистанционного зондирования

В данном разделе книги описывается оценка спектральной разделимости некоторых классов с целью распознавания ландшафта на территории исследования (т. е., вода, гидроморфные, засоленные, песчаные почвы, растительность). Основным принципом дистанционного метода измерения является отражательная или поглощающая способность объектов в разных спектральных диапазонах. Отраженное излучение как функция длины волны называется спектральной характеристикой поверхности. Основное назначение оценки спектральной разделимости – визуальное или автоматическое сравнение кривых спектральной яркости, определяющих отражательную способность различных объектов наземного покрова. Тестовые участки были выбраны в наиболее характерных территориях для исследуемого ландшафта.

Водная поверхность, мелководья, иногда с покрытием тростника (классы 1 и 2)

На рис. 114. (а, б) отображены осредненные значения коэффициента отражения воды в разных спектральных диапазонах Landsat-8 OLI для разных месяцев 2019-2020 гг. Как правило, вода отражается только в диапазоне видимого света (Blue, Green, Red). Поскольку вода почти не имеет отражения в инфракрасном диапазоне (NIR, SWIR; рис. 114а), водные поверхности без каких-либо растений будут четко обозначены как темные области (низкие значения пикселей) на изображениях (рис. 114 в, д). Следовательно, на всех космических снимках вода очень сильно отличается от других поверхностей. Однако, с появлением водных растений (Тростник обыкновенный – *Phragmites australis*, хара – *Chara*

fragilis, ряска – *Lemna*, рдест – *Potamogeton* и др.) на поверхности воды (рис. 114 г, е), коэффициент отражения увеличивается в ближнем инфракрасном диапазоне (NIR; рис. 114 б).

Солончаки (классы 4 и 5)

Спектральные характеристики отражения мокрых-приморских и корково-пухлых солончаков представлены на рис. 115 (а и б, соответственно). Значение коэффициента спектрального отражения для обоих типов солончаков меняется во время года в зависимости от влажности, и во всех случаях было максимальным в ближней инфракрасной области (NIR). Однако коэффициент отражения резко снижается в двух коротких инфракрасных волнах (SWIR1, SWIR2) в классе морских солончаков из-за поглощения солнечной радиации мокрой песками/земли (рис. 115а). Для корково-пухлых солончаков, из-за белого оттенка солей на поверхности земли, коэффициенты в каналах SWIR1 и SWIR2 изменяются в пределах коэффициента видимого спектра (рис. 115б). Поэтому, засоленные земли, имеющие поверхностную солевую корку, имеют сравнительно большие значения коэффициента отражения, чем мокрые солончаки.

Пески равнинные (с ракушей) и дюнные без растительности или с разреженными кустарниками (классы 8 и 9)

Спектральные характеристики отражения равнинных (с ракушкой) и дюнных песков без растительности или с разреженными кустарниками представлены на рис. 116 (а и б, соответственно). Значение коэффициентов отражения значительно выше во всех спектрах

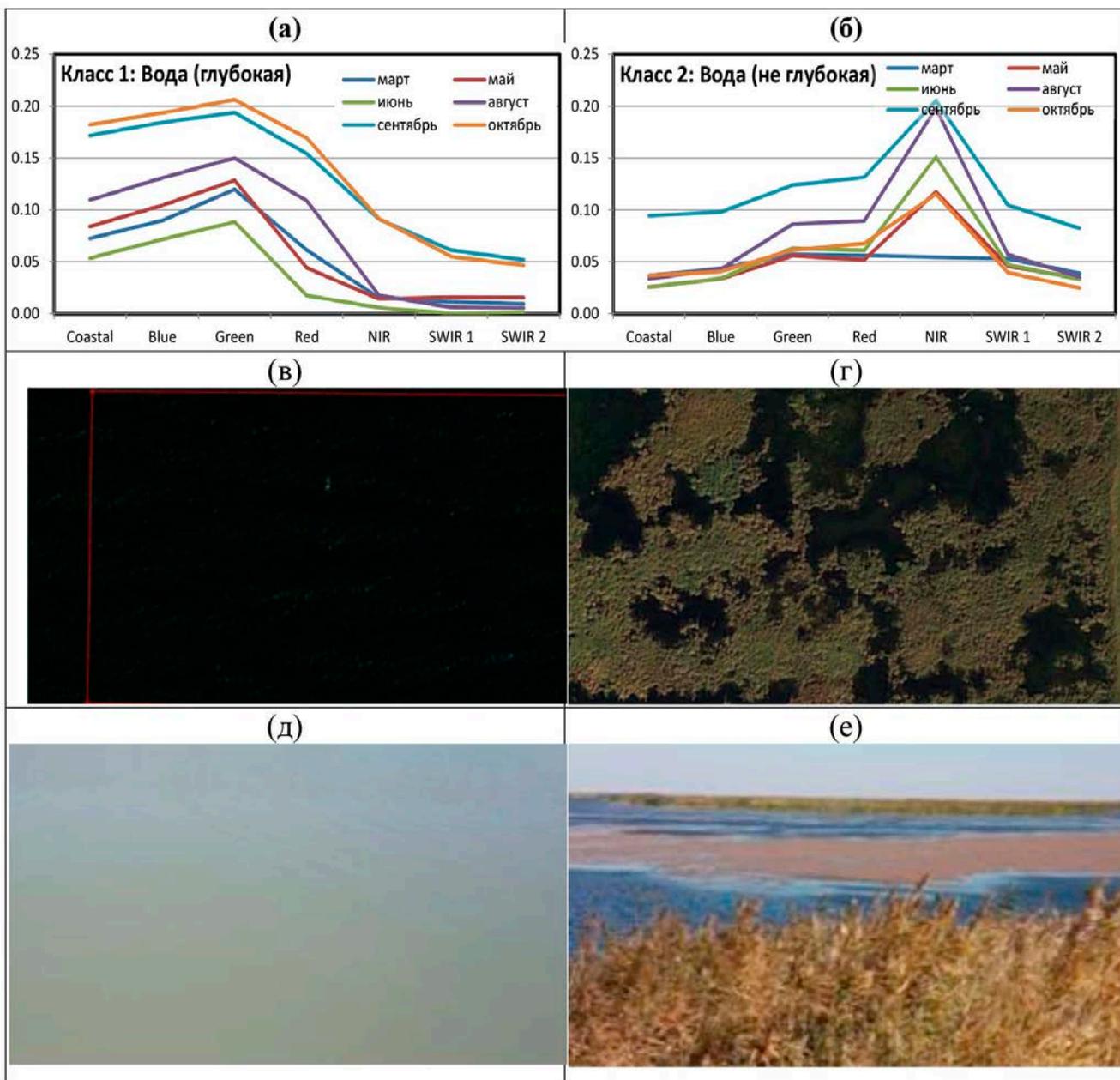


Рис. 114. Коэффициент отражения воды в разных спектральных каналах Landsat 8 OLI за март-октябрь 2019-2020 гг. без покрытия растениями (а, в, д; класс 1) и с растениями (б, г, е; класс 2)

Примечание: Снимки (в, г) из Google Планета Земля; фото (д, е) из полевых исследований экспедиций 2019-2020 гг.

волны в классе равнинных песков (рис. 116а) из-за белого оттенка ракушек на поверхности земли, по сравнению с дюнными песками (рис. 116б). Однако, эти коэффициенты почти не меняются в течение года, особенно в случае дюнных песков.

Мелкобугристые пески (слабо закрепленные) с разреженными сообществами полыни, кустарников и посевами (класс 10)

Кривые коэффициента отражения мелкобугристых песков (слабо закрепленных) с посевами саксаула и кустарниками представлены на рис. 117 (а и б, соответственно). Значение коэффициента спектрального отражения для песков с посевами саксаула одинаково с равнинными песками (рис. 117а и см. рис. 116а). Это связано с тем, что старая французская посадка черного саксаула (*Haloxylon aphyllum* Iljin.) на тестовом полигоне №33 (Точки экспедиции в 2019 г. – Т. 619-620), рассеянная (Sp) с проектным покрытием 25-35%, повреждена белой расой и саранчой (рис. 118), местами солончаки с белыми кристаллами солей кальция (известняк) на поверхности пески и мелкие ракушки (4-20 мм). Коэффициенты мелкобугристых песков с покрытием тамарикса отличаются, и имеют форму полиномиальной кривой (рис. 117б), что характерно для зеленого растения.

Луга на аллювиальных равнинах (тростниковые, разнотравно-злаковые) и опустынивающиеся гидроморфные злаково-галофитно разнотравные с кустарниками (классы 13 и 14)

Кривые коэффициента отражения луга на аллювиальных равнинах (тростниковые, разнотравно-злаковые) и опустыниваю-

щиеся гидроморфные злаково-галофитно разнотравные с кустарниками представлены на рис. 119 (а и б, соответственно). Коэффициенты спектрального отражения для луга на аллювиальных равнинах имеют два различных значения: (1) постепенно увеличиваются от Band1 (coastal) до Band6 (SWIR1) и незначительно уменьшаются в канале 7 (SWIR2). Кривые имеют полиномиальную функцию в марте-августе (рис. 119а), связанную с покрытием растительностью невысокого роста (15-40 см), временами поврежденные животными – *Phragmites australis* (Тростник обыкновенный), *Alhagi pseudalhagi* (Верблюжья колючка), *Tamarix hispida* Willd. (Гребенщик опушенный); (2) Значения коэффициента незначительно изменяются во всех каналах, особенно в сентябре-октябре – кривые показывают наличие влаги, т.к. участок временами затопливается (во время визита первой экспедиции был покрыт водой – 25-30%, влажной почвой – 30-35% и растениями – 30-40%) (довольно обильная – Cop1) (рис. 119д). Коэффициенты опустынивания гидроморфные злаково-галофитно разнотравные с покрытием тростника отличаются, и имеют форму полиномиальной кривой (рис. 119б). Это объясняется тем, что участок находится в южной части Муйнакского водоема и временами подтапливается, покрыт новым, после пожара *Phragmites australis* (Тростник обыкновенный) с проектным покрытием 80-90% (Cop3 рис. 119е).

Опустынивающиеся кустарниковые и кустарниково-саксауловые (пустынные леса/искусственные насаждения) (классы 16 и 17)

Кривые коэффициента спектрального отражения опустынивающих кустарниковых и кустарниково-саксауловых (пустынные леса/искусственные насаждения) участков представлены на рис. 120.(а и б, соответственно). Коэффициенты для опустынивающих кустарниковых растений в ближней инфракрасной области (NIR) значительно меньше

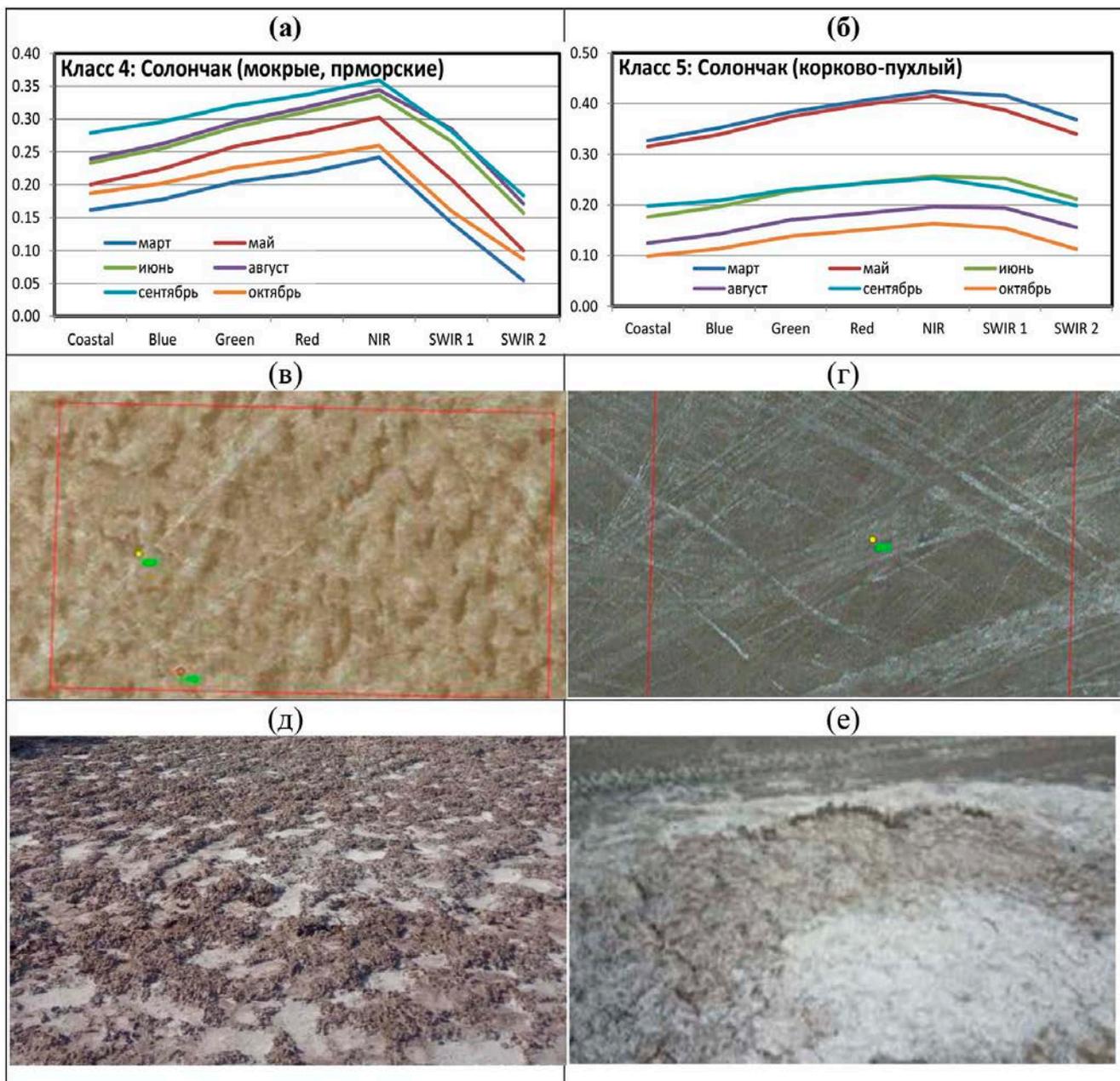


Рис. 115. Коэффициент отражения солончаков в разных спектральных каналах Landsat 8 OLI за март-октябрь 2019-2020 гг.: мокрые-прморские солончаки (а, в, д; класс 4) и корково-пухлые без покрытия растениями (б, г, е; класс 5)
 Примечание: Снимки (в, г) из Google Планета Земля; фото (д, е) из полевых исследований экспедиций 2019-2020 гг.

по сравнению с хорошо развитым кустарниково-саксауловым покровом растений (рис. 120а и б, соответственно). Это объясняется с тем, что участок с опустынивающимися кустарниками находится в такыр образной местности вдоль реки Амударьи, почва песчано-иловатая и предельно сухая, идет сильная засуха из-за высыхания р. Амударьи, высыхает (90%) растительность – *Tamarix hispida* Willd. (Гребенщик опушенный) и *Haloxylon aphyllum* Iljin. (Саксаул чёрный), оставшиеся зеленые

8-10% (Sol) (рис. 120д). В то же время, участок с кустарниково-саксауловыми растениями имеет обильное покрытие тугайных лесов – *Tamarix hispida* Willd. (Гребенщик опушенный) и *Halostachys belangeriana* Botsch. (Соляноколосник Беланже), 90-100% (Soc) (рис. 120е).

Исходя из этой оценки, немецкие партнеры из консалтинговой компании «Map Tailor Geospatial Consulting» смогли определить,

какие ландшафты будут хорошо классифицироваться на снимках, имея разные спектральные характеристики (вода, пески, солончаки и лес), а какие объекты схожи по параметрам и могут ввести в заблуждение (поврежденные саксаулы, опустынивающие кустарники и др.) и, следовательно, более тщательно подбирали эталонные участки и проводили экспертный контроль автоматического дешифрирования (т.е., контролируемая классификация, Раздел 6.7).

Иногда объекты, имеющие хорошие эталоны, в автоматическом режиме зачастую могут классифицироваться ложно, поэтому необходимо визуальное дешифрирование специалистов. Вследствие этого полевые данные, точки GPS, анализ спектральных данных Landsat с различием коэффициентов отражения разных объектов, а также спектральные индексы были использованы для моделирования земельного покрытия исследуемой территории.

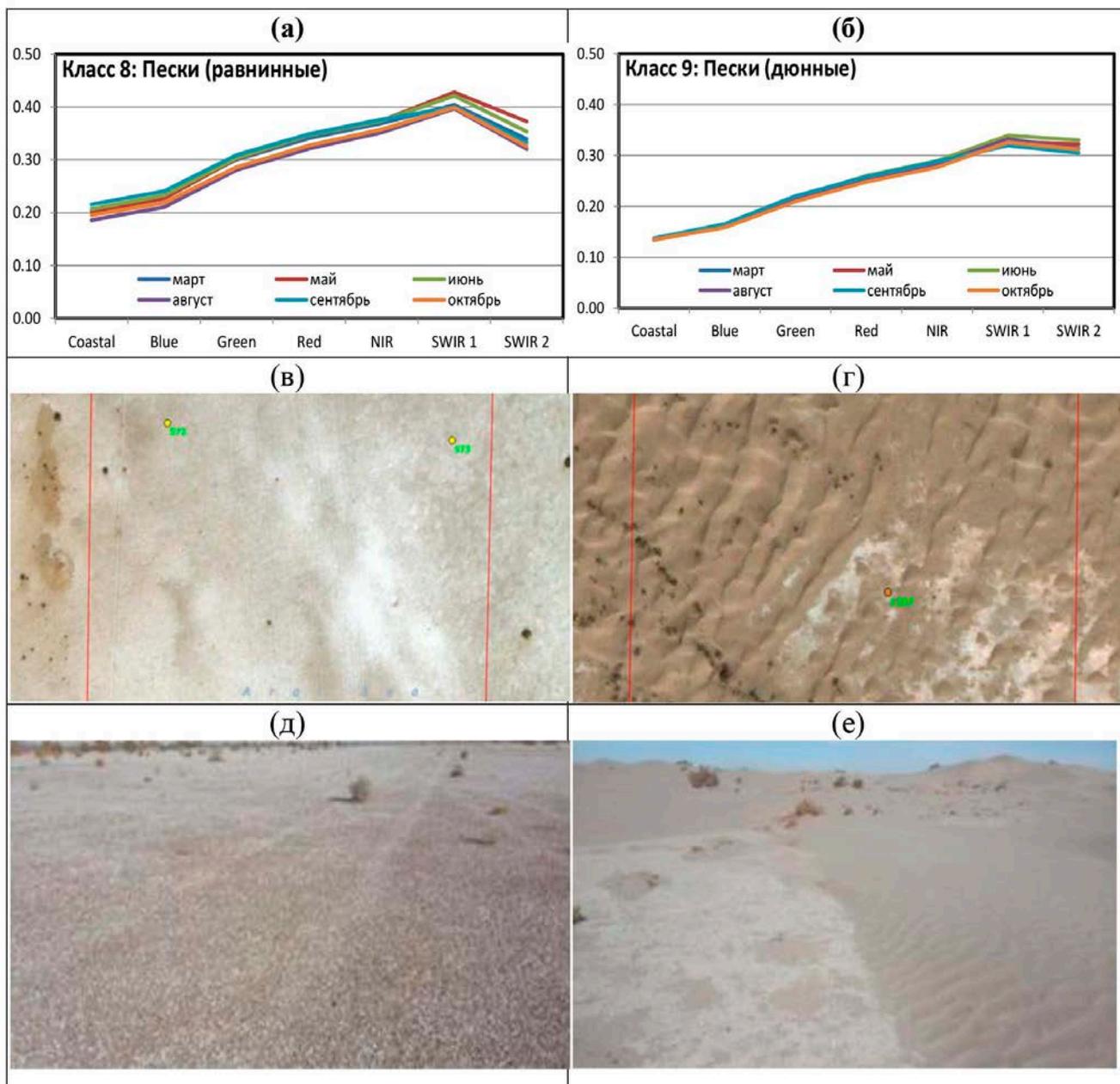


Рис. 116. Коэффициент отражения песков в разных спектральных каналах Landsat 8 OLI за март-октябрь 2019-2020 гг.: равнинные пески (с ракушкой) (а, в, д; класс 4) и дюнных песков без растительности или с разреженными кустарниками (б, г, е; класс 5)

Примечание: Снимки (в, г) из Google Планета Земля; фото (д, е) из полевых исследований экспедиций 2019-2020 гг.

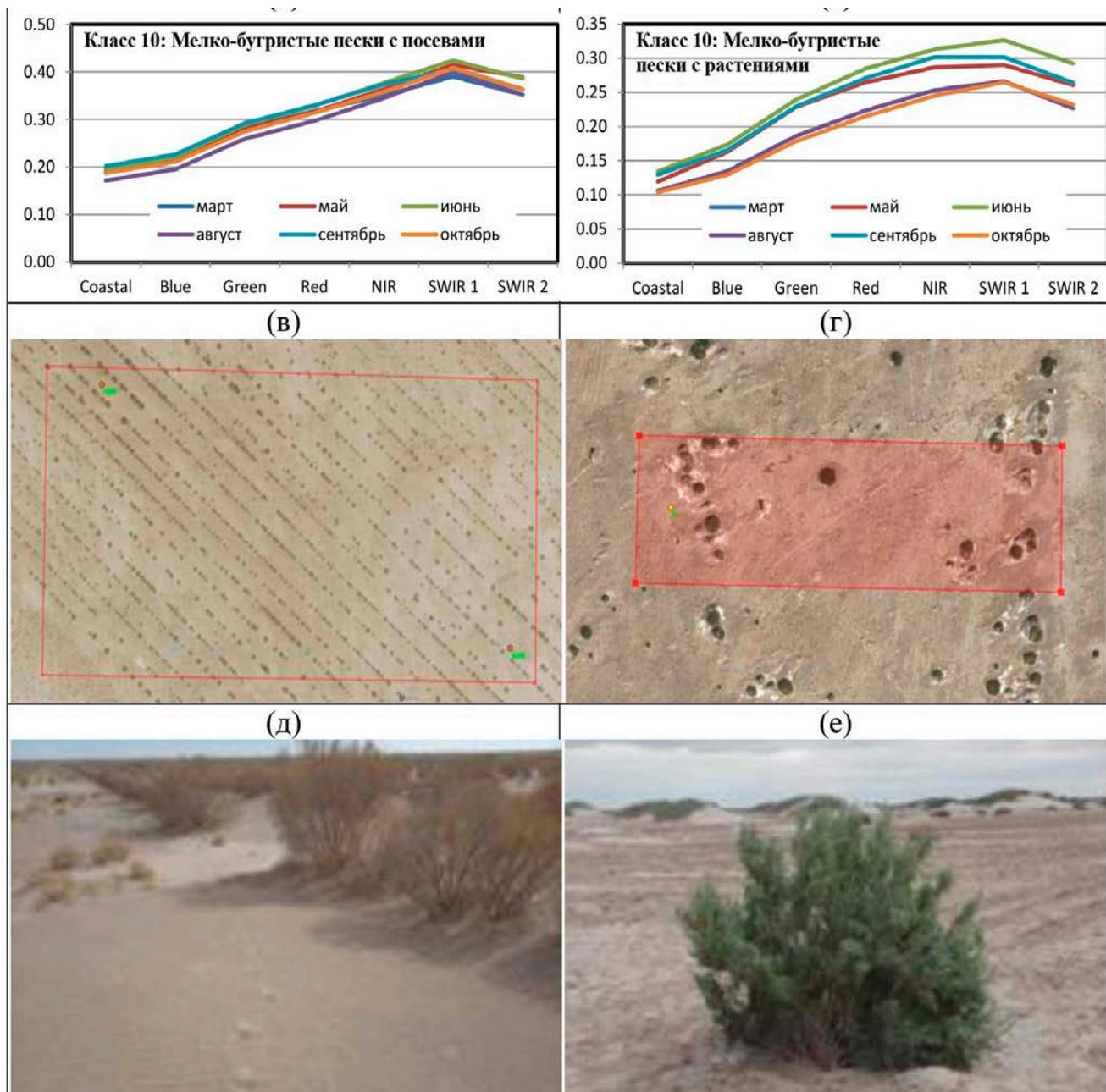


Рис. 117. Коэффициент отражения мелко-бугристых песков в разных спектральных каналах Landsat 8 OLI за март-октябрь 2019-2020 гг.: с посевами саксаула (а, в, д) и с разреженными кустарниками – тамарикс (б, г, е)



*Рис. 118. Поврежденные саксаулы мучнистой росой и саранчой на тестовом полигоне №33.
Точки экспедиции в 2019 г. – Т. 619-620
(фото по состоянию на 2 октября 2019 г., где видны 8-10 мертвых саранчей
под кустами саксаула)*

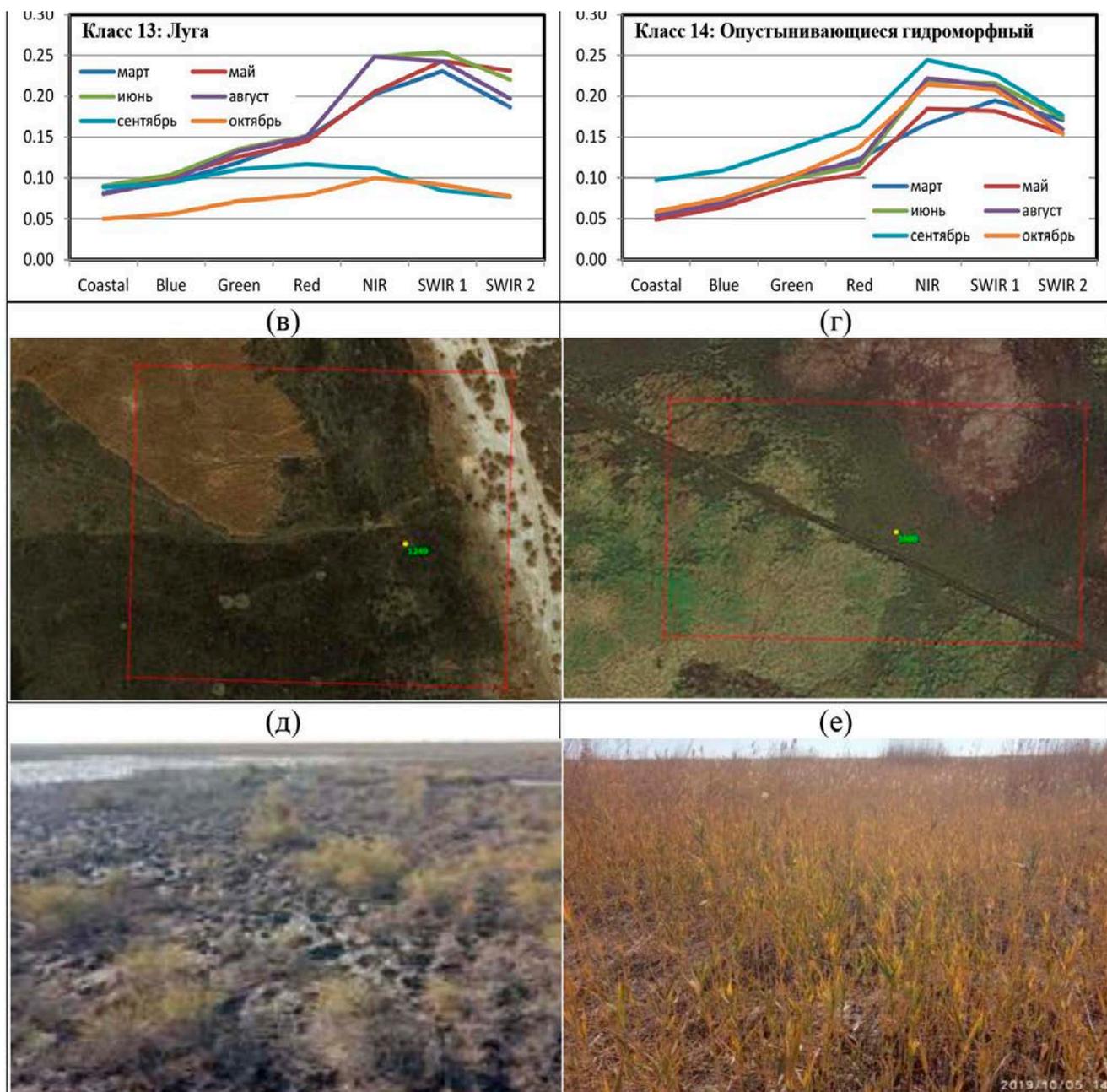


Рис. 119. Коэффициент отражения луга на аллювиальных равнинах и опустынивающиеся гидроморфные в разных спектральных каналах Landsat 8 OLI за март-октябрь 2019-2020 гг.: с кустарниками (а, в, д) и с тростником (б, г, е)

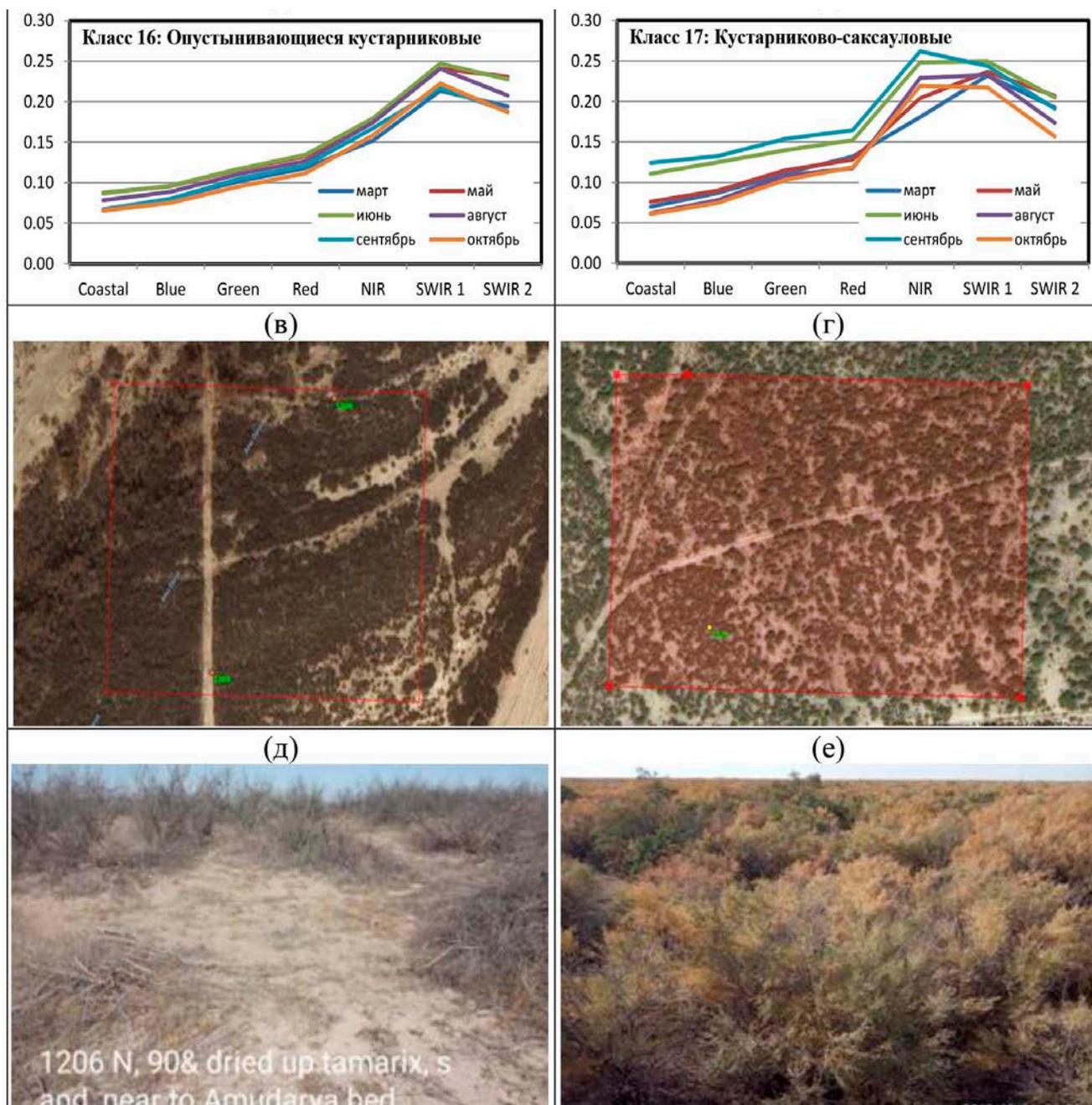


Рис. 120. Коэффициент отражения опустынивающегося кустарниковых и кустарниково-саксауловых зарослей в разных спектральных каналах Landsat 8 OLI за март-октябрь 2019-2020 гг.: с высыхающими (а, в, д) и с обильным покрытием кустарниками (б, г, е)

6.7. Оценка почвенно-растительного покрова и рисков эрозии почвы в Аралкуме, основанная на данных наблюдения Земли

6.7.1. Предпосылки и цель настоящего документа

Общая цель этого исследования – проанализировать изменение ландшафта пустыни Аралкум в период с 2006 по 2019-2020 гг. Эта оценка основана на анализе данных спутникового наблюдения Земли. Она сопровождается оценкой изменения экологической опасности с точки зрения эоловой/ветровой эрозии – одного из основных источников пыльных бурь в регионе. Карты почвенно-растительного покрова и экологической опасности помогают лицам, принимающим решения, планировать лесопосадки, путем предоставления информации о риске эрозии. В этом документе представлены использованные данные и методы, а также даны рекомендации по их использованию. Кроме того, в нем содержатся рекомендации и практические выводы в отношении использования разработанных инструментов не только для определения объектов лесопосадок, но и для их мониторинга. Следует отметить, что в настоящем документе основное внимание уделяется представлению данных и методологии, используемых для анализа карт почвенно-растительного покрова на основе спутниковых изображений.

6.7.2. Зона исследования

В литературных источниках площадь поверхности Аральского моря в 1960 г. обычно указывалась между 67 и 68 тыс. км², в зависимости от источника данных и методологии, использованной при оценке площади (Létolle et al., 2007; Micklin, 2010). Оценки на основе спутниковых данных (Löw et al., 2013) показыва-

ли, что примерно за десятилетие (2000-2008 гг.) ландшафт резко изменился: если в 2000 г. Аральское море и более мелкие водные объекты покрывали огромную часть исследуемой территории, то к 2008 г. они значительно сократились, оставив после себя лишь небольшие водоемы, такие как озера Рыбачье, Джылтырбас и Судочье, которые удалось сохранить от высыхания благодаря искусственным насыпям. Растительный покров характеризуется текущей первичной сукцессией на высохшем дне.

Бассейн Аральского моря характеризуется высоко континентальным климатом с холодной зимой и жарким летом. Среднегодовая температура в южной части (метеостанция «Муйнак» в Узбекистане, 59,02° в.д., 43,47° с.ш.) составляет 11,7 °С, годовое количество осадков – от 60 до 140 мм, но с высокой изменчивостью. В северной части (метеостанция «Аральское море» в Казахстане, 61,67° в.д., 46,78° с.ш.) среднегодовая температура составляет 7,8°С, среднегодовое количество осадков – 141 мм. Характерными являются потенциальные годовые темпы испарения 800-1100 мм в северной части и 1000-1300 мм в южной части (Breckle и др., 2012).

Технически, исследуемая зона включает два отдельных полигона в узбекской части Аралкума, т.е. береговую линию Аральского моря примерно с 1960 г. (рис. 121). Эти два выбранных полигона примерно соответствуют той территории, на которой проводились два полевых исследования в 2019-2020 гг. соответственно (глава 6.7.4.1). Площадь этих двух полигонов:

- Зона исследования “Полигон #1” (посещалась в 2019 г.): около 0,65 млн. га.
- Зона исследования “Полигон #2” (посещалась в 2020 г.): около 0,60 млн. га.

Показаны два полигона исследуемой территории. На заднем фоне показано изображение со спутника Landsat-8, сделанное в октябре 2019 г.

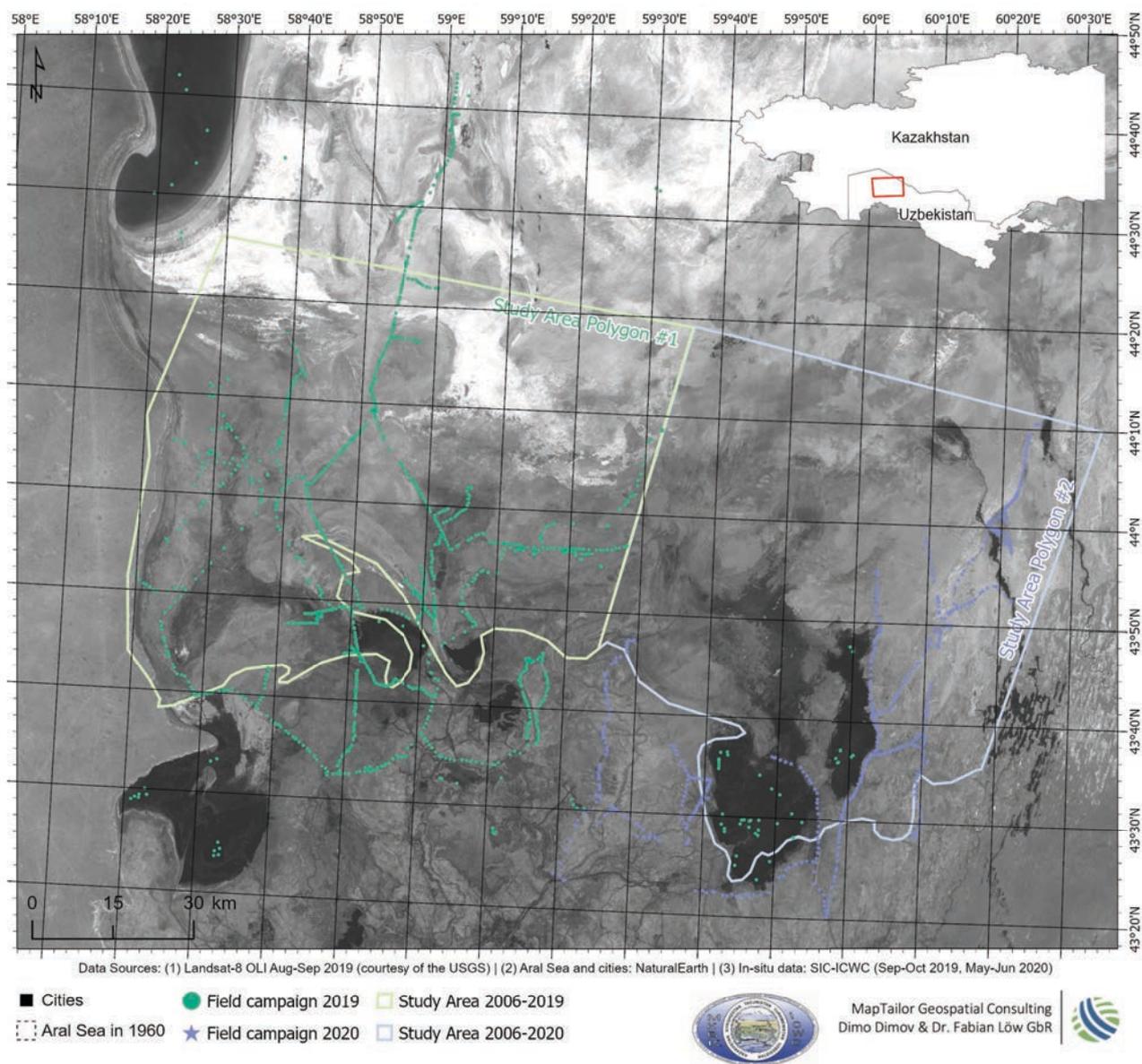


Рис. 121. Узбекская часть Аралкума, т.е. территория в пределах береговой линии Аральского моря примерно в 1960 г.

6.7.3. Цели

Основные цели данного исследования заключаются в следующем:

- Создание двух карт почвенно-растительного покрова соответственно за 2006 и 2019-2020 гг.;
- Создание двух карт экологических рисков с точки зрения риска эрозии почв на основе двух карт почвенно-растительного покрова;
- На основе этих карт количественная оценка изменения площади земельного покрова и площади, подверженной риску эрозии.

6.7.4. Используемые множества данных

6.7.4.1. Данные наземного контроля

Ключевым набором данных для данного исследования был исчерпывающий набор наземных контрольных данных, полученных в ходе полевых визитов в Аралкум. Целью этих данных является калибровка и проверка

достоверности алгоритмов, которые создают карты почвенно-растительного покрова на основе спутниковых снимков (см. раздел 6.7.5.3). Команда специалистов НИЦ МКВК, а также Международного инновационного центра Приаралья при Президенте Республики Узбекистан (МИЦП), Каракалпакской гидрогеологической экспедиции, Института биоорганической химии АН Республики Узбекистан посетила узбекскую часть Аралкума впервые в октябре 2019 г. и второй раз – в июне 2020 г. Команда собрала информацию о почвенно-растительном покрове в различных точках отбора проб (рис. 122).

На каждом участке были сделаны фотографии и сняты GPS-точки. Кроме того, в каждой точке отбора проб был зафиксирован полный набор характеристик земельного покрова, таких как растительный покров и состав или свойства почвы (табл. 31, 32).

Точки отбора проб содержат информацию о 17 различных классах земельного покрова (табл.31, 32). Более подробная информация о полевых работах и стратегии отбора проб представлена в главе 5.2.

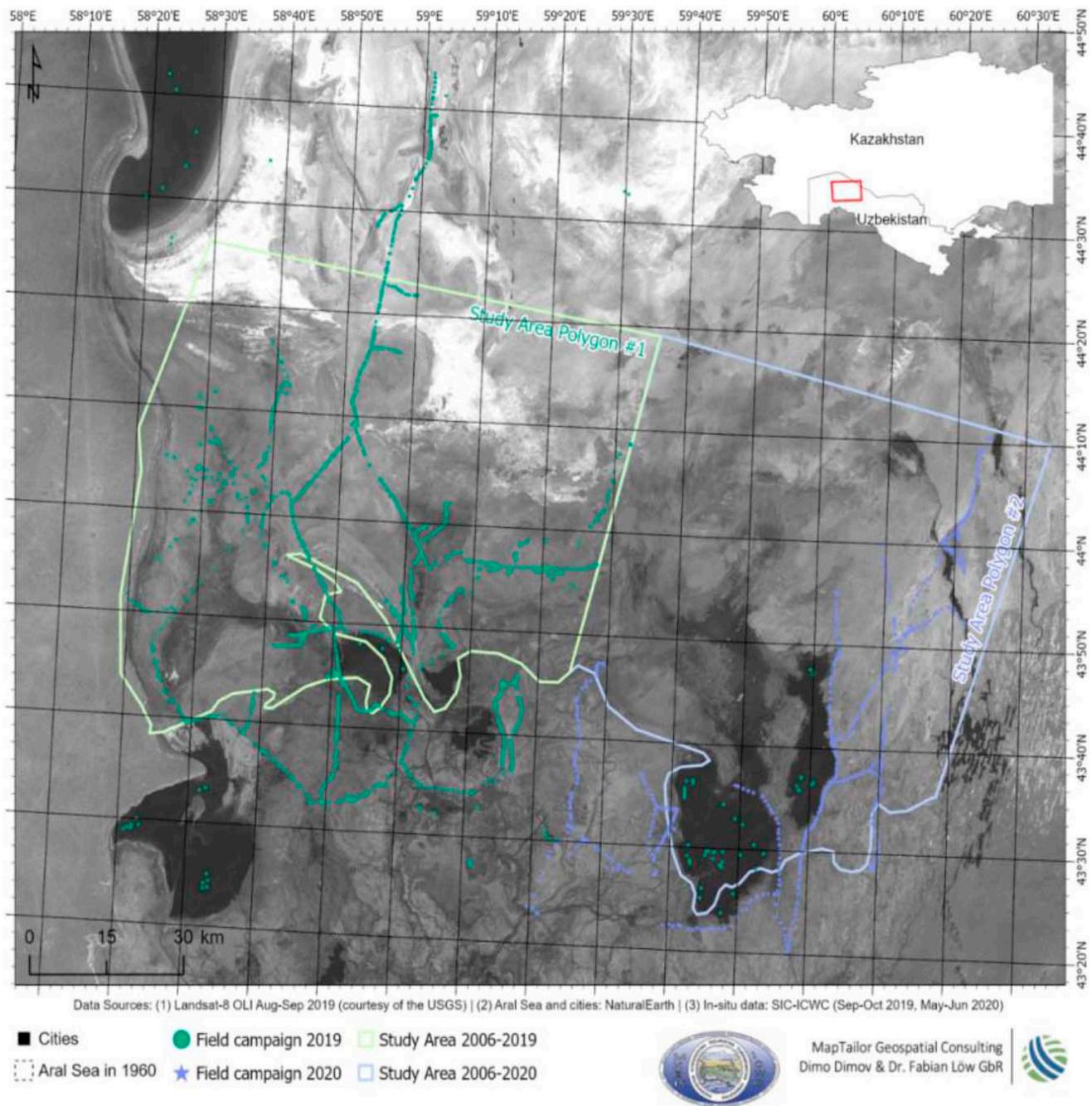


Рис. 122. Точки отбора проб в южной части Аралкума во время двух полевых визитов в 2019 и 2020 гг.

Сводная таблица, описание точек 2019 г.

28	27	id
29	28	Site ID:
22.09.2019	22.09.2019	Date:
Zaitov	Zaitov	Time:
10	8	Prepared by:
1	1	unsupervised_17class
S	S	Облачность
		местность
		Почва/Литология
N	N	Статус растительности посадка реч.-Р., азросев-S, механич. посеv-M, самозарост.-N
N	N	Растение открытое палем (да -Y/ нет-N)
N	N	Растение после поджога (да -Y/ нет-N)
		Доминант растительность или массив (ENG/RUS)
S	S	Форма (деревя-Т/ кустарник -S/ травяной -H)
1.corp2_2.sp2	1.corp32.sp2	Общие данные ботаника
Fr	Fr	Высота доминирующего растения, см
NL	NL	Пространственное распределение (непрерывная – C/ кусок -Fr)
		Форма листьев (широколист -B/ игольчатый -NL / безлиственный -A)
		Тип ассоциации от ботаника
		Название ассоциации по ярусам от ботаника
		Общие ассоциации по ярусам от ботаника
		Общая покрывка, %
D	D	Влажность почвы (визуально сухая -D, мокрая -W, влажная -M)
P	P	Вода (P/DV/WL; устойчивая во время вегет. периода/суточная вариация во время вегет./заболоченная)
N	N	Травянистый (да-Y/ нет-N)
F	F	Пухлая / подвижные пески: (барханы -D/ плоский -F)
Si	Si	Структура (S/Si/C: песок/ил/глина)
N	N	Соли: (C/A/N: корка/накопленный/нет)
N	N	Тип корки: (Sa/Si, No-N) (Sa/Si: соль / ил)
		Редкая вегетация: (древесный -W / травяной -H)
		Искусственно без растительности (постройки -B/ нет-NB)
		Саранча (да -Y/ нет -N)
		После скотобоя (да -Y/ нет-N)
		Другие
29	T.028	Кол-во фотоки в папке
29	28	Внутри или наружи авто (да/нет)
		1.Haloxylon arhyllum Pjin. (Саксаул чёрный)
		2.Tamarix hispida Willd. (Гребенщик опушенный)
		3.одно лет трава
		Джингилово- черносаксауловая
		1.Haloxylon arhyllum Pjin. (Саксаул чёрный)
		2.Tamarix hispida Willd. (Гребенщик опушенный)
		3.одно лет трава
		Джингилово- черносаксауловая
		1.Haloxylon arhyllum Pjin. (Саксаул чёрный)
		2.Tamarix hispida Willd. (Гребенщик опушенный)
		3.одно лет трава

Таблица 32

Сводная таблица, описание точек 2020 г.

Point_id	date	time	gps_id	alt	class	coverage	description
1	31.5	6:20	1596	57.5497	15	30	высохший карабарак (1 фото), джингыл
2	31.5	6:25	1597	57.90842	16	10	высохший карабарак . такыры(1 фото), джингыл
3	31.5	6:28	1598	59.15299	16	7	высохший карабарак (1 фото), джингыл
4	31.5	6:30	1599	57.42653	16	5	высохший карабарак,саксаул, появляется джингыл
4a	31.5	6:34	1600	54.83256	16	10	тамарикс высыхание, растоптан скотиной
5	31.5	6:45	1601	56.22124	14	70	янтак, джингыл, зеленая
6	31.5	6:47	1602	55.1508	16	10	высохший тамарикс, засолен
7	31.5	6:49	1603	57.39928	16	7	высохший тамарикс, засолен
8	31.5	6:50	1604	53.75542	16	10	высохший тамарикс, засолен
9	31.5	6:52	1605	56.4446	16	15	высохший тамарикс, засолен. саксаул редкий
10	31.5	6:54	1606	57.02411	16	15	высохший тамарикс, засолен
11	31.5	6:57	1607	50.52042	15	25	карабарак, сведа высыхает,тамарикс 60-70см, такырная почва
12	31.5	7:04	1608	51.46349	15	18	карабарак, сведа высыхает,тамарикс 60-70см, такырная почва
13	31.5	7:16	1609	56.68664	5	5	засоленная почва
14	31.5	7:20	1610	55.36214	17	40	джингыл, турангул (дерево),такыры, пески
14a	31.5	7:25	1611	53.29633	17	40	джингыл, турангул (дерево),такыры, пески
15	31.5	7:35	1612	55.53936	16	7	засоленная, тамарикс, исирик
16	31.5	7:37	1613	50.78876	16	15	тамарикс высокий
17	31.5	7:40	1614	50.4669	15	48	янтак, тамарикс зеленый
18	31.5	7:43	1615	51.37117	13	80	янтак, камыш, влажная почва, покрыта травами
19	31.5	7:45	1616	51.70303	14	60	янтак, камыш, джингыл, климакоптера травы
20	31.5	7:53	1617	49.47135	15	30	тамарикс после пожара, камыш
21	31.5	7:55	1618	50.68083	15	30	тамарикс, камыш, янтак
22	31.5	7:57	1619	48.82779	15	40	тамарикс, камыш, янтак
23	31.5	7:58	1620	51.75824	15	45	тамарикс, камыш, янтак

Таблица 33

Условные обозначения классов по полевым данным и степень экологической опасности, присваиваемая каждому классу земельного покрова. Распределение классов земельного покрова по степени экологической опасности, а именно степени эрозионного риска (Духовный и соавторы, 2008).

ID класса	Описание	Степень экологич. опасности	К-во точек отбора (первая экспедиция, октябрь 2019 г.)	К-во точек отбора (вторая экспедиция, июнь 2020 г.)
Вода				
1.1 (1)	Водная поверхность	II	25	2
1.2 (2)	Мелководья, иногда с тростником	II	10	10
Солончаки				
2.1 (3)	Маршевые без растительности или с сообществами солероса	I	1	0
2.2 (4)	Мокрые-приморские с ракушкой, иногда с единичными экземплярами солероса и сарсазана	I	0	0
2.3 (5)	Корково-пухлые и корковые без растительности, иногда с единичными экземплярами кустарников (карабарак, гребенщик)	III	40	15
2.4 (6)	Солончаки с навейным песчаным чехлом с разреженными сообществами лебеды и селена	IV	162	34
2.5 (7)	Соровые солончаки замкнутых понижений без растительности, иногда в обрамлении сарсазанников	I	3	7
Пески				
3.1 (8)	Равнинные (с ракушей) без растительности или с разреженными кустарниками (саксаул, гребенщик)	IV	89	51
3.2 (9)	Дюнные без растительности	IV	2	8
3.3 (10)	Мелко-бугристые (слабо закрепленные) с разреженными сообществами полыни, кустарников и посевами селена	IV	20	47
3.4 (11)	Бугристые и бугристо-грядовые без растительности и слабо закрепленные.	III	33	4

ID класса	Описание	Степень экологич. опасности	К-во точек отбора (первая экспедиция, октябрь 2019 г.)	К-во точек отбора (вторая экспедиция, июнь 2020 г.)
3.5 (12)	Бугристые, бугристо-грядовые закрепленные с эфемерово-пыльно-кустарниковыми сообществами	II	303	66
Равнины дельтовые и аккумулятивные				
4.1 (13)	Луга на аллювиальных равнинах (тростниковые, разнотравно-злаковые) на аллювиально-луговых, болотно-луговых и лугово-болотных почвах	I	2	30
4.2 (14)	Опустынивающиеся гидроморфные злаково-галофитноразнотравные с кустарниками	II	118	34
4.3 (15)	Кустарниковые заросли (галофитные: тамарикс, карабарак)	I	280	126
4.4 (16)	Опустынивающиеся кустарниковые	III	274	80
4.5 (17)	Кустарниково-саксауловые (пустынные леса/искусственные насаждения).	I	54	18

6.7.4.2. Спутниковые данные

Спутниковые данные являются основой для анализа для создания тематических карт, содержащих информацию о земельном покрове Аралкума в разные годы. Для создания карт были взяты снимки с миссий Landsat 5 и 8, соответственно, за 2006 и 2019-2020 годы.

Для 2019 года (и, соответственно, 2006 года) мы использовали 47 (26) снимков для 4 фрагментов Landsat (дорожки 161–162, строки 29–30) с августа по октябрь каждого года. Для 2020 года мы использовали 33 снимка с 4 фрагментов Landsat (дорожки 161–162, строки 29–30). Некоторые фрагменты покрывали две зоны исследования лишь частично, но были использованы для заполнения пробелов и для достижения полного покрытия в пределах каждого полигона зоны исследования.

Они были обработаны для получения отражательной способности поверхности и по-

лучены из Глобального архива Геологической службы США (USGS), полученного через Систему обработки научных данных Центра наблюдения за ресурсами Земли (EROS).

Набор данных за 2019 год включал данные Landsat 8 Operational Imager (OLI). Этот готовый к анализу набор данных (USGS Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1) представляет собой скорректированный с учетом атмосферы поверхностный коэффициент отражения от сенсоров Landsat 8 OLI / TIRS. Эти снимки содержат 5 видимых и ближних инфракрасных (VNIR) полос и 2 коротковолновых инфракрасных (SWIR) диапазона, обработанных для получения ортотрансформированного изображения коэффициента отражения поверхности, и два тепловых инфракрасных (TIR) диапазона, обработанных для получения ортотрансформированного изображения яркостной температуры (табл. 12, глава 5.4).

Данные были скорректированы службой USGS с учетом атмосферы с использованием LaSRC¹ и включают в себя маску облака, тени, воды и снега, созданную с помощью CFMASK, а также маску насыщенности каждого пикселя. Полоски собранных данных упакованы в накладываемые «кадры», охватывающие примерно 170 км x 183 км стандартизированной координатной сетки (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/the-worldwide-reference-system/>).

Набор данных за 2006 г. включал данные тематического картографа Landsat 5 – Thematic Mapper (TM). Этот готовый к анализу набор данных (USGS Landsat 5 Surface Reflectance Tier 1) представляет собой скорректированный с учетом атмосферы коэффициент отражения поверхности от сенсоров Landsat 5 TM. Эти снимки содержат 4 диапазона видимого и ближнего инфракрасного излучения (VNIR) и 2 коротковолнового инфракрасного (SWIR) диапазона, обработанные для получения ортотрансформированного отражения поверхности, и один диапазон теплового инфракрасного излучения (TIR), обработанный для получения ортотрансформированного изображения яркостной температуры.

Полосы VNIR и SWIR имеют разрешение 30 м/пиксель. Эти данные были скорректированы с учетом атмосферы с помощью LEDAPS² и включают в себя маску облаков, тени, воды и снега, созданные с помощью CFMASK, а также маску насыщенности пикселей. Полоски собранных данных упакованы в накладываемые «кадры», охватывающие примерно 170 км x 183 км стандартизированной координатной сетки.

6.7.5. Методы

Методика состоит из нескольких последовательных шагов. Сначала были подготовлены наземные контрольные данные (глава

6.7.5.1), и к спутниковым снимкам пришлось применить некоторую предварительную обработку (см. главу 6.7.5.2). Затем был откалиброван алгоритм-классификатор на основе подготовленных наземных контрольных данных и предварительно обработанных снимков, и были созданы карты почвенно-растительного покрова соответственно на 2006 и 2019/2020 годы (глава 6.7.5.3). Две карты почвенно-растительного покрова были переведены в выделенные зоны экологического риска (глава 6.7.5.4). Наконец, была проведена оценка точности для оценки качества карт, а также количественная оценка площади земельного покрова и зон экологического риска за оба года наблюдений на основе карт (главы 6.7.5.5 и 6.7.5.6).

6.7.5.1. Предварительная обработка данных наземного контроля

Окончательные условные обозначения классов, использованные при составлении карт, состояли из 10 вместо 17 классов (табл.34). Некоторые классы, такие, как равнинные, дюнные и мелко-бугристые (3.1, 3.2 и 3.3), содержат характеристики земельного покрова, которые невозможно однозначно различить на спутниковых снимках. Как следствие, их спектральные сигнатуры выглядели очень схоже и первоначальные тесты показали, что алгоритмы-классификаторы не могут хорошо выделить некоторые классы. Поэтому мы объединили несколько этих классов (рис. 123). Кроме контрольных данных наземных обследований, для некоторых классов на экране были взяты дополнительные точки отбора, поскольку было сложно ввести эти ландшафты во время экспедиций 2019-2020 гг.: Вода/1.1., Мелководье/1.2. и Маршевые почвы/2.1. Это было выполнено путем визуальной интерпретации снимков Landsat. Некоторые выпадающие точки или выборки, которые были

1 <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-collection-1-land-surface-reflectance-code-product-guide>

2 <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-4-7-collection-1-surface-reflectance-code-ledaps-product-guide>

представлены смешанными пикселями, были удалены. Кроме того, локации класса мокрое-приморские почвы/2.2 были недоступны и не могли быть выделены на экране. Таким образом, этот класс был пропущен.

При этом, несмотря на большой набор выборок наземных и на экране, общее множество данных было частично несбалансировано, т.е. количество контрольных локаций по классам земельного покрова было распределено неравномерно. Это объясняется тем фактом, что территория частично не была хорошо доступна.

В контексте контролируемой классификации несбалансированные калибровочные выборки часто компенсируются добавлением большего количества элементов (оверсэмплинг) или удалением элементов (андерсэм-

плинг) из выборки для получения более сбалансированного набора калибровочных данных. В этом исследовании в программном обеспечении R (в пакете DMwR, версия 0.4.1) был применен способ передискретизации синтезированных меньшинств (SMOTE) (Chawla et al., 2002) для создания синтетических калибровочных выборок для меньшего класса так, чтобы в доле обучающего класса учитывалось их родное местонахождение. Основная идея SMOTE состоит в том, чтобы искусственно сгенерировать новые выборки меньшего класса с помощью бутстрэппинга и k-ближайших соседей. В качестве гибридного метода SMOTE предлагает как оверсэмплинг меньшего класса, так и андерсэмплинг большего класса.

Окончательное число выборок приведено в таблице 34.

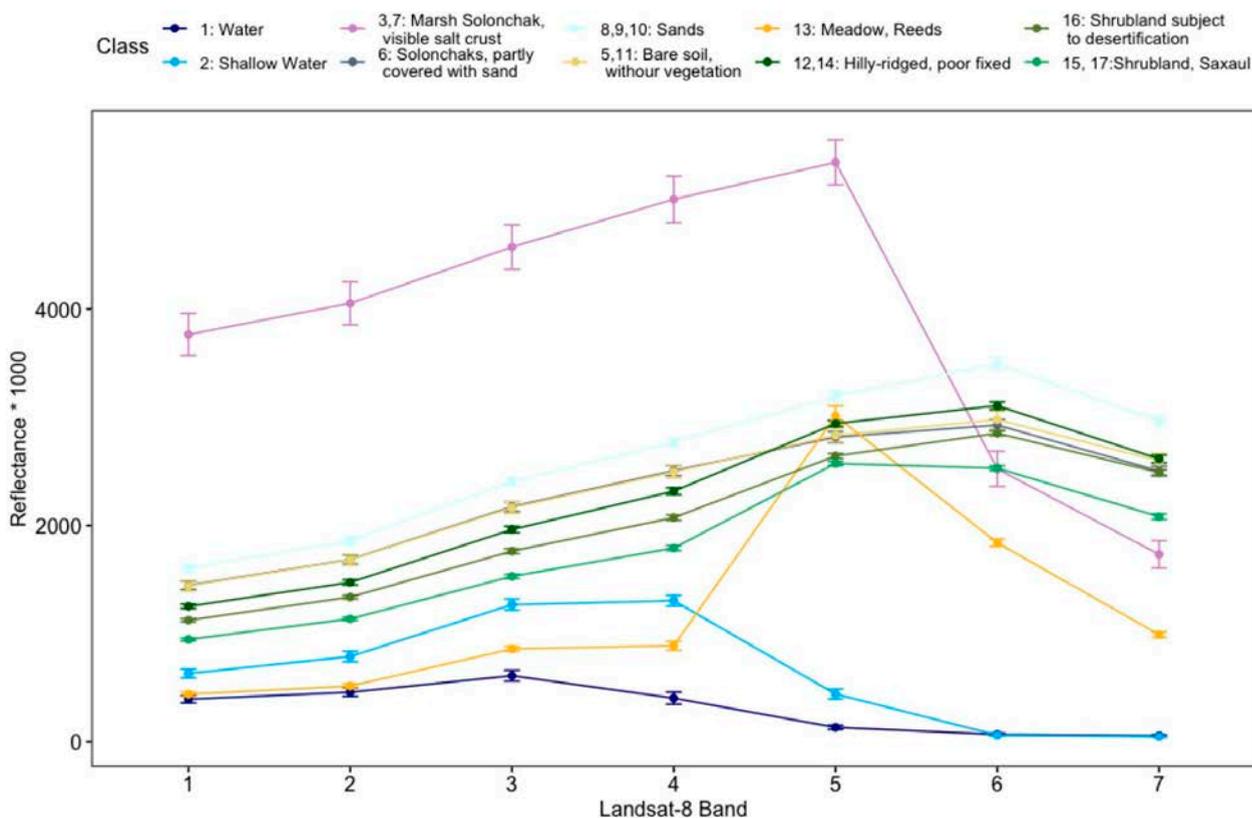


Рис. 123. Мультиспектральные сигнатуры классов земельного покрова на данных наземного контроля 2019 г. и снимках Landsat 8 OLI от октября 2019 г.

Таблица 34

Окончательные условные обозначения карт почвенно-растительного покрова. Карты почвенно-растительного покрова содержат 10 классов. Количество выборок представляют окончательную выборку после проведения различных перекрестных проверок

Исходный ID класса	Новый ID	Описание	К-во наземных точек и локаций на экране в 2019 и 2020 гг. вместе	К-во точек выборки SMOTE в 2019 и 2020 гг. вместе
1.1 (1)	1	Водная поверхность	48	112
1.2 (2)	2	Мелководья, иногда с тростником	22	132
2.1 (3), 2.5 (7)	3	Маршевые и соровые почвы без растительности или с сообществами солероса, частично видимые солевые корки	44	127
2.4 (6)	6	Солончаки с навейным песчаным чехлом с разреженными сообществами лебеды и селена	196	566
3.1 (8), 3.2 (9), 3.3 (10)	10	Равнинные (с ракушей) без растительности или с разреженными кустарниками (саксаул, гребенщик) Дюнные без растительности, Мелко-бугристые (слабо закрепленные) с разреженными сообществами полыни, кустарников и посевами селена	180	600
2.3 (5), 3.4 (11)	11	Корково-пухлые и корковые без растительности, иногда с единичными экземплярами кустарников (карабарак, гребенщик), Бугристые и бугристо-грядовые без растительности и слабо закрепленные	92	247
4.1 (13)	13	Луга на аллювиальных равнинах (тростниковые, разнотравно-злаковые) на аллювиально-луговых, болотно-луговых и лугово-болотных почвах	58	139
3.5 (12), 4.2 (14)	14	Бугристые, бугристо-грядовые закрепленные с эфемерово-полынно-кустарниковыми сообществами, опустынивающиеся гидроморфные злаково-галофитноразнотравные с кустарниками	521	1,416
4.4 (16)	16	Опустынивающиеся кустарниковые	354	1,001
4.3 (15), 4.5 (17)	17	Кустарниковые заросли (галофитные: тамарикс, карабарак), Кустарниково-саксауловые (пустынные леса/искусственные насаждения)	478	1,292

6.7.5.2. Предварительная обработка спутниковых снимков

Процент областей для каждого снимка, на которые повлияла облачность или тень облака (пиксели без данных), был рассчитан на основе алгоритма функции маски (Fmask) (Zhu and Woodcock, 2012), объединяющего области облачности и теней облаков в отдельный класс. Снимки с процентом пикселей без данных более 90% и снимки без ортотрансформирования, исходя из их метаданных, пропускались, т.е. не загружались.

Облака и дымка впоследствии были удалены путем оценки слоев оценки качества данных (которые содержат атрибуты качества пикселей, сгенерированные с помощью алгоритма CFMASK) в продуктах Landsat уровня 1. Пиксели, помеченные как (i) тень облака, (ii) облако и (iii) облако с высокой степенью достоверности и перистые облака, были удалены.

Затем по каждому году наблюдений (2006 и 2019/2020 гг.) была рассчитана медианная величина значений полос отражательной способности за два периода: (i) Период-1 с мая по июль и (ii) Период-2 с августа по октябрь. Таким образом пробелы, возникшие из-за предыдущей маскировки облаков, были временно заполнены (Griffiths et al., 2019).

Данные Landsat имеют мультиспектральные диапазоны, которые позволяют различать разные классы земельного покрова. Для повышения степени разделения классов был рассчитан полный набор следующих производных из спутниковых снимков (переменных-предикаторов для алгоритма-классификатора):

Мультиспектральные полосы Landsat

Чтобы иметь сопоставимые входные данные для контролируемой классификации снимков, были сохранены только те многоспектральные полосы, которые существуют в обоих сенсорах TM и OLI: синяя, зеленая, красная, ближняя часть инфракрасного диапазона и два

коротковолновых инфракрасных диапазона (6 диапазонов).

Tasseled cap («шапка с кисточкой»)

Преобразование Tasseled Cap Transformation (ТСТ) – это метод, обычно используемый при картографировании земельного покрова или в других проектах классификации (Kauth and Thomas, 1976). В нем используется линейная комбинация полос спутниковых снимков и специализированная матрица коэффициентов для создания n-полосного изображения с первыми тремя полосами, содержащими большую часть полезной информации, аналогично Методу главных компонент. Первые три созданные полосы обычно представляют яркость, уровень зеленого и влажность. Матрица коэффициентов (Baig et al., 2014; Crist and Cicone, 1984), которая является уникальной для каждого сенсора, основана на статистике изображений и эмпирических наблюдениях.

Нормализованный относительный индекс растительности

Нормализованный относительный индекс растительности (NDVI) – это индекс зеленой массы растений или фотосинтетической активности и один из наиболее часто используемых вегетационных индексов (Rouse et al., 1974). Вегетационные индексы основаны на наблюдении, что разные поверхности по-разному отражают разные типы света. В частности, фотосинтетически активная растительность поглощает большую часть попадающего на нее красного света, отражая при этом большую часть ближнего инфракрасного света. Растительность мертвая или в состоянии стресса отражает больше красного света и меньше инфракрасного. Точно так же поверхности без растительности имеют гораздо более равномерный коэффициент отражения во всем световом спектре. Взяв соотношение красного и ближнего инфракрасного диапазонов из снимка, полученного с помощью дистанционного зондирования, можно

определить индекс «зелености» растительности. Нормализованный относительный индекс растительности (NDVI), вероятно, является наиболее распространенным из этих коэффициентов соотношений для растительности.

NDVI рассчитывается на попиксельной основе как нормализованная разница между красной и ближней инфракрасной полосами изображения:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

где

NIR – значение ближнего инфракрасного диапазона для ячейки,

RED – значение красного диапазона для ячейки раstra.

Спектральные конечные элементы

Анализ пространственной смеси с несколькими конечными элементами (Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis, MESMA) – это метод оценки доли каждого пикселя, покрытой серией известных типов покрова – другими словами, определяется вероятный состав каждого пикселя снимка (Dennison and Roberts, 2003). Пиксели, содержащие несколько типов покрова называются смешанными пикселями. «Чистые» пиксели содержат только один признак или класс. Например, смешанный пиксель может содержать растительность, голую почву и почвенную корку. Методы субпиксельного анализа определяют составные части смешанных пикселей, предсказывая долю пикселя, которая принадлежит определенному классу или признаку на осно-

Таблица 35

Полосы и производные Landsat, используемые для создания карт почвенно-растительного покрова. Каждый набор производных рассчитывался дважды, один для Периода-1 с мая по июль, и другой (ii) для периода-2 с августа по октябрь

Название	Описание	К-во производных (2 периода)	Ссылки
Мультиспектральные полосы Landsat B1-B7	• Срединные значения отражательной способности за два периода	6 * 2	
Индексы Tasseled cap	• Срединные значения яркости за два периода • Срединные значения уровня зеленого за два периода • Срединные значения влажности за два периода	3 * 2	(Kauth and Thomas, 1976)
Нормализованный относительный индекс растительности (NDVI)	• Срединные значения NDVI за два периода • Минимальные значения NDVI за два периода • Максимальные значения NDVI за два периода • Стандартное отклонение значений NDVI по двум периодам	4 * 2	(Rouse et al., 1974)
Спектральные конечные элементы	• Срединные значения голой почвы по двум периодам • Срединные значения растительности по двум периодам • Срединные значения воды по двум периодам	3 * 2	(Bullock et al., 2020)

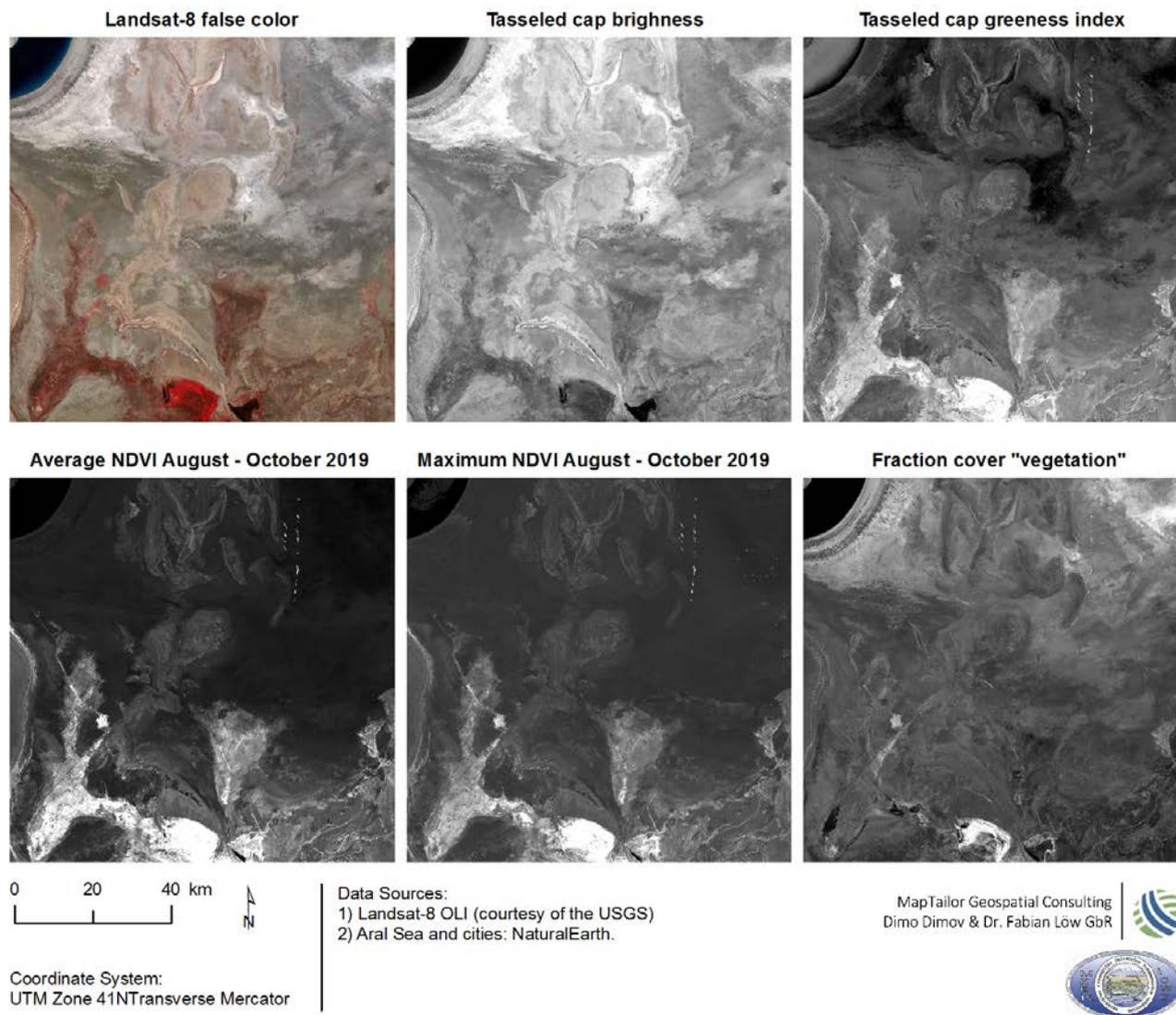


Рис. 124. Примеры расчета некоторых входных признаков для карт почвенно-растительного покрова

ве спектральных характеристик его конечных элементов. Яркость преобразуется в доли спектральных конечных членов, которые соответствуют признакам на местности.

Спектральные конечные элементы являются «чистыми» спектрами, соответствующими каждому из классов земельного покрова. В идеале, спектральные конечные элементы составляют большую часть спектральной из-

менчивости снимка и служат в качестве основы для определения спектрального состава смешанных пикселей. Таким образом, определение классов земельного покрова и выбор подходящих конечных элементов для каждого из этих классов играют большую роль в MESMA. Конечные элементы, полученные из реального снимка, обычно предпочтительнее, поскольку в данном случае не нужна кали-

бровка между выбранными конечными элементами и измеренными спектрами.

В данном исследовании следующие три общих класса земельного покрова были определены как конечные элементы:

- Растительность
- Голая почва
- Вода

Мультиспектральные сигнатуры, которые определяют конечные элементы, выводятся путем выбора пикселей из снимков Landsat 2019 года и использования наземных контрольных данных GPS (глава 6.7.4.1).

6.7.5.3. Создание карт почвенно-растительного покрова

Мы использовали классификатор Random Forest (RF) (случайный лес) (Breiman, 2001) на языке программирования «R» (реализован в пакете 'randomForest', версия 4.6-14) для классификации входных данных (см. предыдущую главу) и составления карты классов земельного покрова. RF генерирует множество деревьев принятия решений путем построения случайных выборок с заменой из обучающих данных и определения наилучшего разбиения в каждом узле дерева принятия решений, рассматривая максимальное количество случайно выбранных признаков (максимальные

признаки). Мы протестировали различные диапазоны параметров для ряда деревьев и максимального количества признаков и, наконец, использовали 200 деревьев и 10% входных признаков, учитываемых при каждом разбиении, для параметризации моделей классификации RF. Мы обучили модель RF для объединенных входных данных за 2019 и 2020 гг., чтобы повысить точность карт. Затем мы применили откалиброванную модель для классификации входных данных в 2006, 2019 (только полигон №1) и 2020 гг. (только полигон №2) и для создания карт почвенно-растительного покрова за эти два года.

6.7.5.4. Создание карт экологических рисков

Экологический риск был определен как риск почвенной эрозии, согласно прежнему исследованию (Духовный и соавторы, 2008). Для составления карты рисков, классы земельного покрова были распределены по четырем разным классам риска (табл.33).

6.7.5.5. Оценка точности

Качество, то есть точность карт почвенно-растительного покрова, оценивалась с использованием стандартных матриц неточностей (Congalton, 1991). Контрольные данные (глава 6.7.5.1) использовались для оценки об-

Таблица 36

Элементы матрицы неточностей

		Предсказание (н-р, классификация карты)				
Класс		1	j	i	m	Сум.
Валидация (н-р, наземный контроль)	1	n_{11}				$n_{(i+)}$
	i		n_{ij}			
				n_{ii}		
	m				n_{mm}	
	Суммарн.	n_{+j}				

щей точности классификации и классификации по классам. Основные цели валидации – дать краткую оценку точности каждого картографического продукта. Следуя стандартному подходу, основанному на расчете, карты классификации проверяются данными валидации путем вычисления матриц неточностей («матрица ошибок», табл.36) (Congalton, 1991; Foode, 2002). Это матрица сопряженности признаков (где m – количество классов) между случайной выборкой показателей поля (которая должна быть более надежной, чем классификация и, таким образом, считается истинными значениями) и соответствующими классифицированными пикселями.

Общий элемент матрицы n_{ij} – это количество пикселей с верным классом i и классом на карте j , а частота наземных наблюдений и наблюдений на карте задается соответственно крайними значениями строк и столбцов. По матрице ошибок можно рассчитать различные величины для оценки точности классификации:

- **Общая точность (OA)** (доля правильно классифицированных пикселей) вычисляется делением суммы значений по главной диагонали на общее число пикселей:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ii}}{n}$$

- **Точность строителя (PA, ошибки пропуска)** по каждому классу рассчитывается путем деления диагонального элемента на суммарное количество в ряду и дает по каждому классу вероятность правильной классификации, а его дополнение, вес вне-диагональных элементов, является ошибкой пропуска (доля этого класса, которая не нанесена на карту):

$$PA = \frac{n_{ii}}{n_{i+}}$$

- **Точность пользователя (UA, ошибки достоверности)** по каждому классу рассчитывается путем деления диагонального элемента на суммарное количество в столбце и дает по каждому классу вероятность того, что пиксель на карте реально представляет эту категорию на земле. Его дополнение является ошибкой достоверности (точки, неправильно классифицированные в этом классе):

$$UA = \frac{n_{ii}}{n_{+j}}$$

- **F1-мера** также рассчитывается для каждого класса. Это средневзвешенное между Точностью и Полнотой. Точность – это отношение правильно предсказанных положительных наблюдений к общему количеству положительно предсказанных наблюдений. Высокая точность относится к низкой доле неверно предсказанных положительных наблюдений (т.е. ложно положительных). В свою очередь, Полнота (чувствительность) – это отношение правильно предсказанных положительных наблюдений к общим наблюдениям в фактическом классе.

6.7.5.6. Оценка площади земельного покрова

Самый непосредственный метод оценки площади земельного покрова из классифицированного снимка основывается на перемножении количества пикселей на картах, классифицированных как один класс, на размер пикселя. Его можно рекомендовать в качестве стандартной методики оценки площади в инструменте мониторинга, и он практически единственный, практикуемый в ДЗ (ФАО, 2015). Однако при оценке площади могут возникать расхождения, вызванные ошибками пропуска или пропуском на картах (Gallego et al., 2008). Для оценки доли классов земельного покрова, карта была перепроецирована на UTM 40N.

6.7.6. Результаты

Описание результатов разбито по трем направлениям: (i) качество (точность) карты почвенно-растительного покрова в 2019 г., (ii) состояние и изменение земельного покрова в период между 2006 и 2019 гг., (iii) сопутствующие изменения в зонах экологического риска (в плане эрозионного риска). Следует помнить, что результаты ориентируются на узбекскую часть Аральского моря с учетом его первоначальных размеров в 1960 г.

6.7.6.1. Оценка точности классификатора случайный лес

Оценка точности карты почвенно-растительного покрова за 2019 год показала, что общая точность классификации составила 0,88 (нижняя доверительная граница 0,87, верхняя доверительная граница 0,89).

Согласно F1-мере, наиболее точно обозначенными на карте категориями земель-

ного покрова были «Класс-1: вода» (0,98), «Класс-13: луга/тростники» (0,91), «Класс-3: маршевые и соровые почвы» (0,98) и «Класс-2: Мелководья». Наименее точно идентифицированными классами были «Класс-10: Равнины» (0,84) и «Класс-11: Пустынные корков-пухлые и корковые почвы».

Согласно матрице неточностей (табл. 38) классы 14 (бугристые, бугристо-грядовые слабо закрепленные), 16 (опустынивающиеся кустарниковые) и 17 (кустарниковые заросли) часто неверно обозначаются классификатором RF. Согласно полевым выборкам, все эти классы в той или иной степени характеризуются наличием кустарников. Что касается состава этих классов (растительность, почвы), то между классами есть плавные переходы, что, вероятно, усложняет их различение для модели классификатора.

В целом оценка точности показывает, что качество карт высокое.

Таблица 37

Оценка точности модели классификатора случайный лес на основе совмещенных контрольных данных 2019/2020 гг.

Мера точности	1: Вода	10: Равнины	11: Корково-пухлые и корковые без растит.	13: Луга/Тростники	14: Бугристые, бугристо-грядовые, слабо закреплен	16: Опустынивающиеся кустарниковые	17: кустарник. заросли	2: мелко-водья	6: солончак	3: маршевые и соровые почвы
Точность пользователя	1.00	0.85	0.89	0.94	0.87	0.86	0.85	1.00	0.90	0.98
Точность построителя	0.97	0.84	0.76	0.89	0.88	0.86	0.87	0.86	0.91	0.97
F1	0.98	0.84	0.82	0.91	0.87	0.86	0.86	0.93	0.91	0.98

**Матрица неточностей для оценки точности классификатора случайный лес
на базе совмещенных контрольных данных за 2019/2020 гг.**

Предсказание	Контроль										
	Классы	1	10	11	13	14	16	17	2	6	3
1	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	233	9	1	12	5	7	0	7	0	
11	0	0	90	0	1	0	5	1	4	0	
13	0	0	0	63	4	0	0	0	0	0	
14	2	20	10	0	650	21	42	0	6	0	
16	0	13	2	1	23	423	25	2	3	2	
17	0	8	1	6	40	43	572	3	3	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	57	0	0	
6	0	5	6	0	7	0	5	3	243	0	
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	65	

6.7.6.2. Классификация земельного покрова

Были созданы две годовые карты почвенно-растительного покрова с 10 классами земельного покрова в каждой, одна на 2006 год (рис. 125) и одна на 2019 год (рис. 126). При сравнении этих двух карт становится очевидным усыхание восточной части Аральского моря. Если в 2006 г. мелкая вода покрывала восточную часть, то в 2019 г. вода почти полностью отступила, оставив после себя соляную пустыню, состоящую в основном из маршевых и сорowych солончаков и других солончаковых почв. Западный водоем был затронут в меньшей степени, и узкая полоса маршевых и сорowych солончаков возникла в непосредствен-

ной близости от восточного берега западного Аральского моря.

6.7.6.3. Карты экологических рисков

Каждая категория на картах почвенно-растительного покрова может быть переведена в классы экологической опасности в плане риска ветровой эрозии. Эта информация крайне важна для понимания пространственно-временной динамики районов, подверженных риску эрозии. Наконец, эта информация полезна для определения новых мест для лесопосадок, т.е. мест с наибольшим риском эрозии. На рис. 127. и 128 показаны карты экологических рисков соответственно за 2006 и 2019 гг.

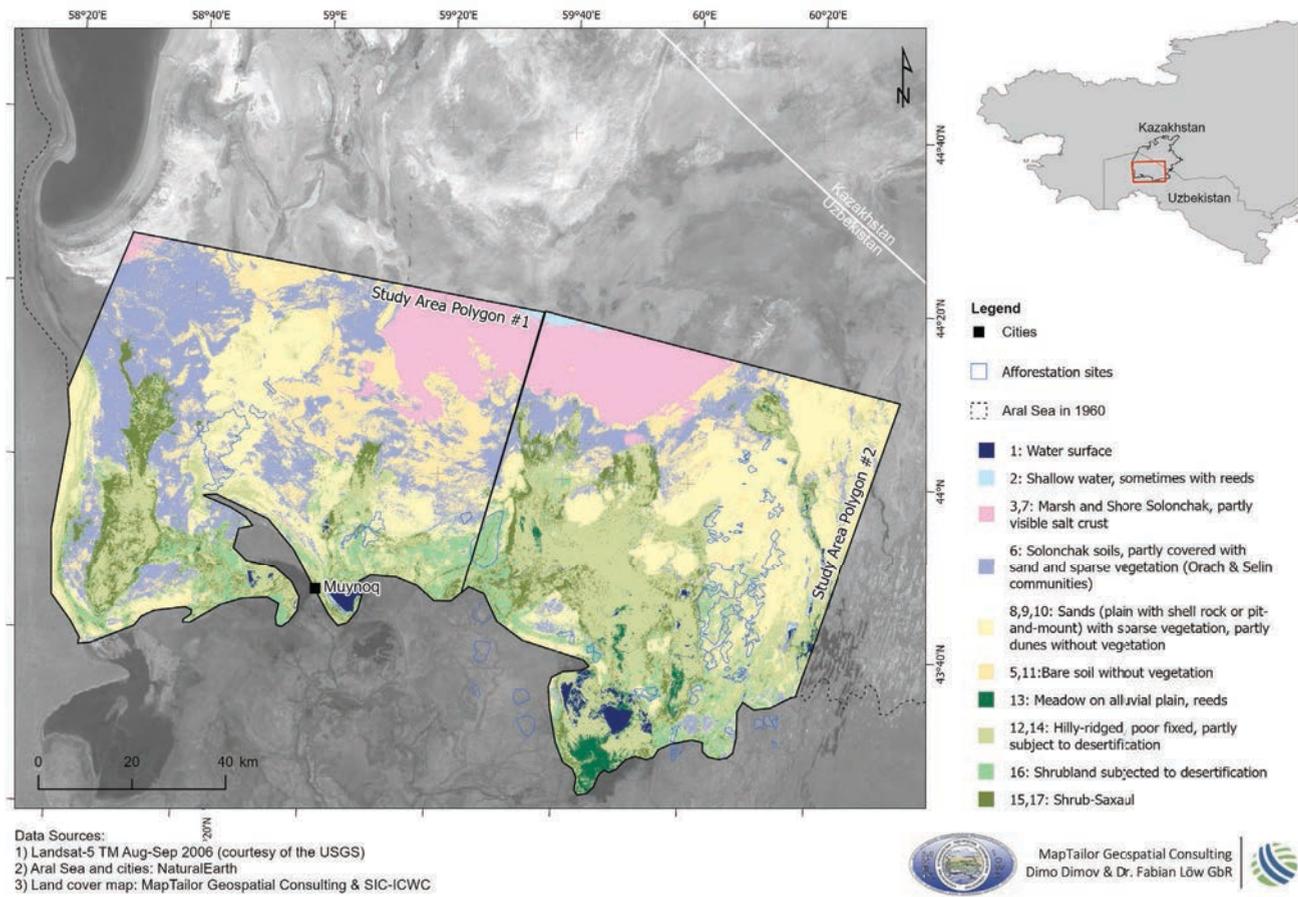


Рис. 125. Земельный покров в Аралкуме в 2006 г.

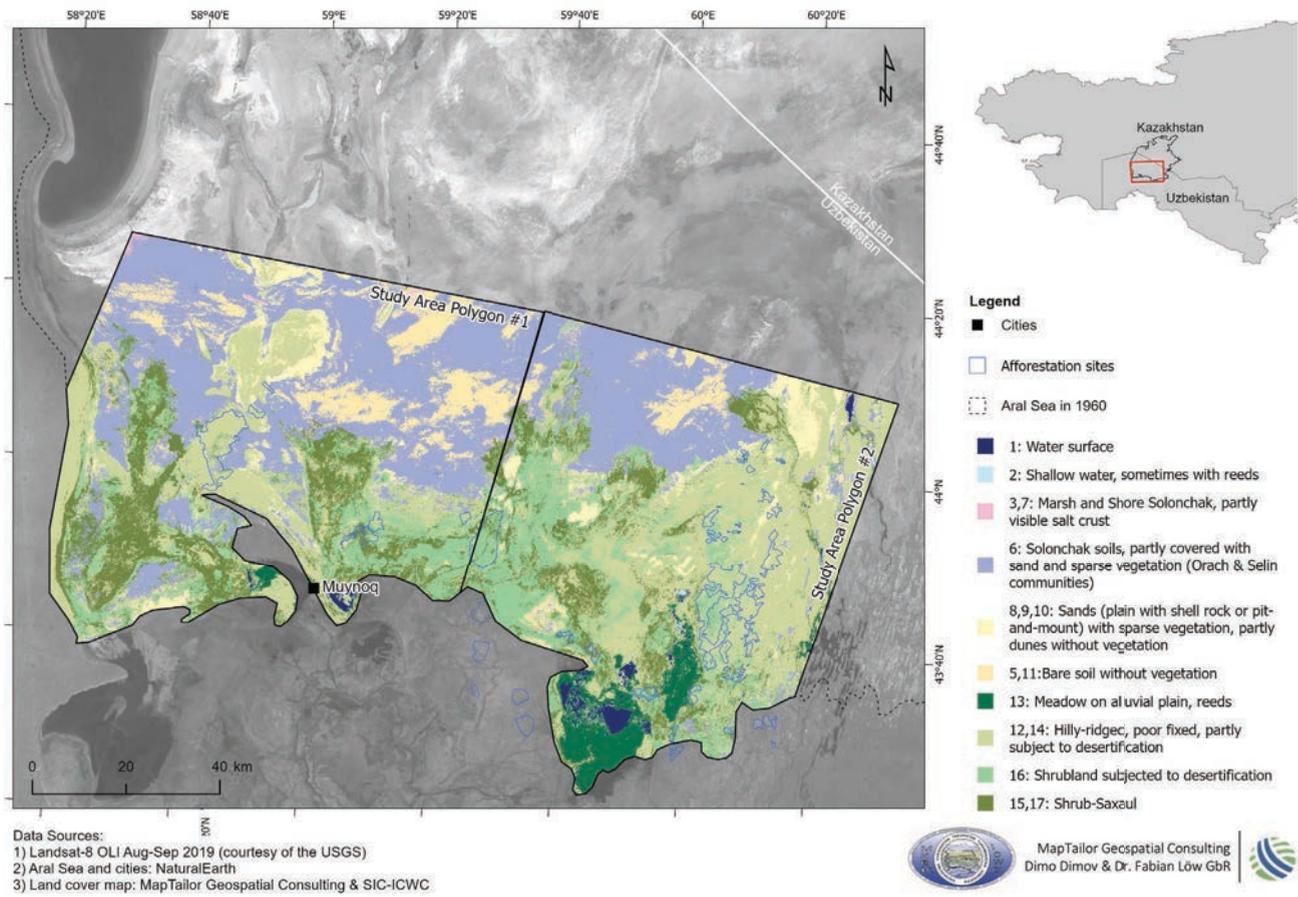


Рис. 126. Земельный покров в Аралкуме в 2019 г.

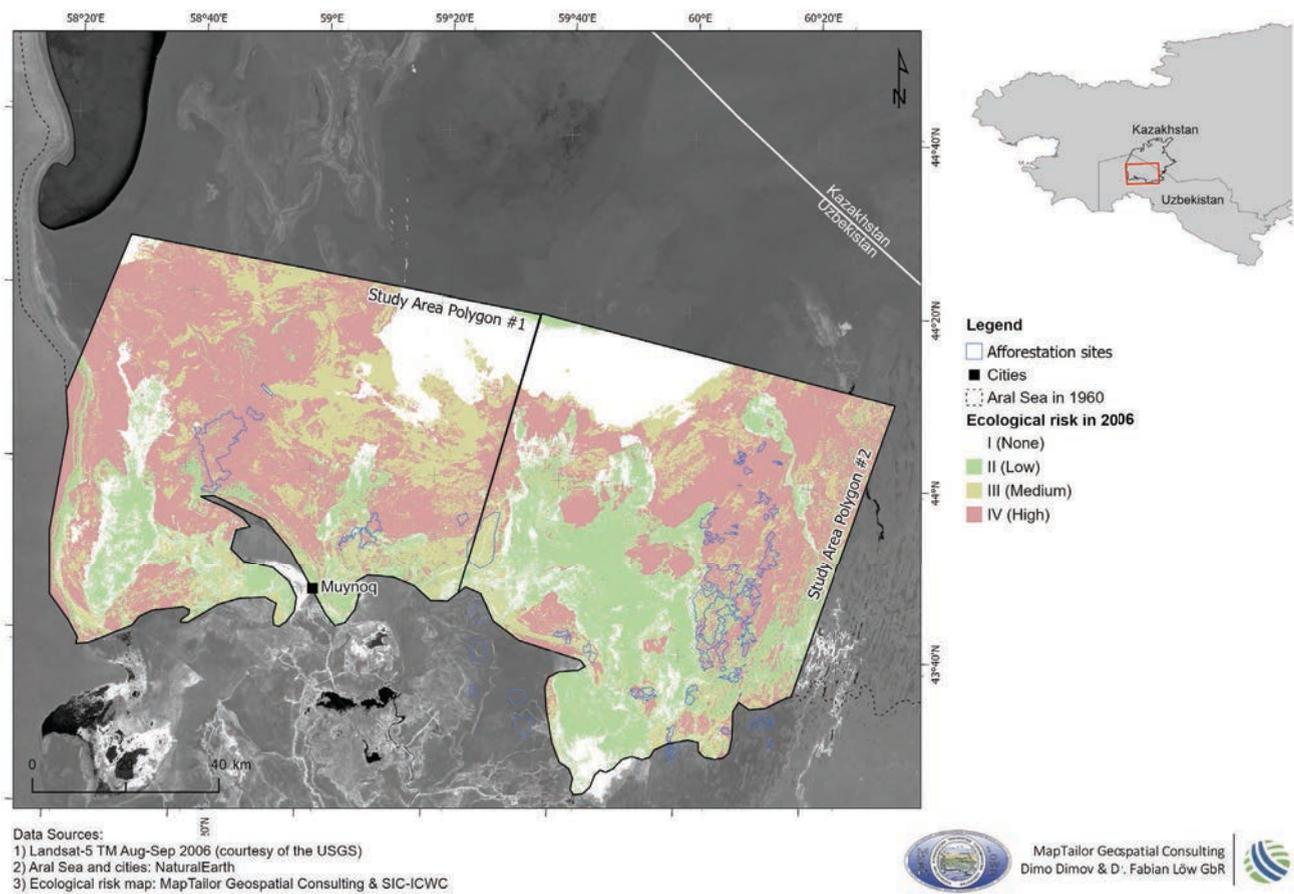


Рис. 127. Экологические риски в Аралкуме в 2006 г.

6.7.6.4. Краткая информация об изменении почвенно-растительного покрова и экологической опасности

С отступлением Аральского моря в период с 2006 по 2019 гг. на внешней границе новой береговой линии в 2019 г. появилась широкая полоса суши (рис. 125 и 126). В частности, появились засоленные почвы, которые в значительной степени увеличивают экологическую опасность в этих местах, частично по трем категориям (рис. 129). В отличие от этого, в местах, расположенных южнее осушенного дна моря, которые уже в 2006 г. не были покрыты водой, произошло частичное улучшение экологической ситуации (с точки зрения риска эрозии). Частично это можно объяснить продолжением

сукцессии роста растений и появлением кустарниковых растительных сообществ.

Как видно из карт, в 2006 г. имеющиеся лесопосадки были проведены в местах, главным образом, характеризующихся высокой экологической опасностью, т.е. «IV (сильная)» (рис. 127). В 2019 г. статус их опасности значительно снизился, в основном до категории «II (слабая)» (рис. 128).

Оценка карт за два разных года позволила провести количественную оценку изменения площади почвенно-растительного покрова и экологической опасности. В таблицах 39 и 40 приведены сводные данные об изменении площади почвенно-растительного покрова, а в таблицах 41 и 42 – сводные данные об изменении зон экологической опасности.

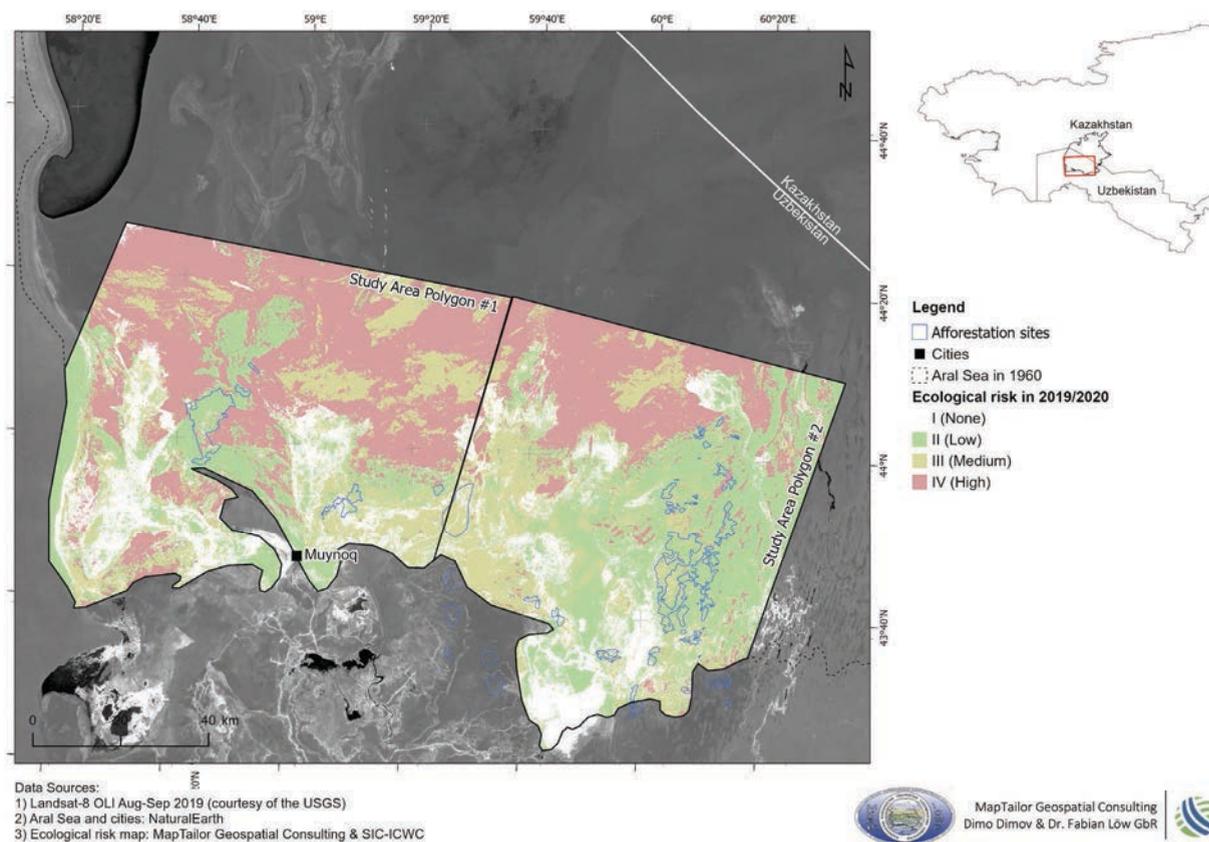


Рис. 128. Экологические риски в Аралкуме в 2019 г.

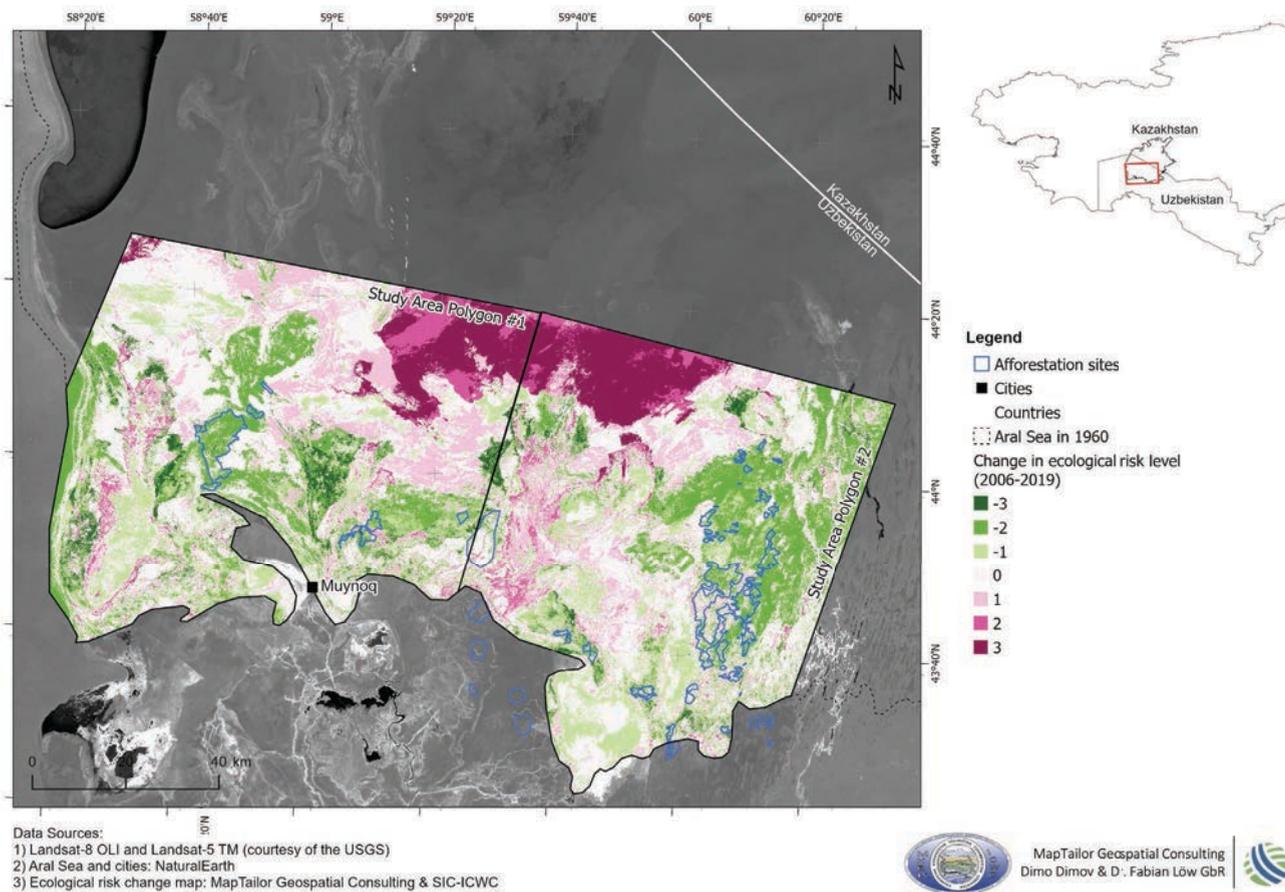


Рис. 129. Изменение классов экологической опасности, произошедшее в период с 2006 по 2019 гг. Положительные значения указывают на повышение уровня экологической опасности, отрицательные – на снижение

Таблица 39

Площадь категорий земельного покрова в пределах территории технического исследования в 2006 и 2019 гг. в районе исследования «Полигон 1»

ID исходного класса (новый ID)	Описание	Площадь (га) в 2019 г.	% площади технического исследования в 2019 г.	Площадь (га) в 2006 г.	% площади технического исследования в 2006 г.	Разница 2019-2006 гг.
1.1 (1)	Водная поверхность	1 614.33	0.25	2 747.61	0.42	-1 133.28
1.2 (2)	Мелководье, иногда с тростником	11.25	0.00	1 202.58	0.18	-1 191.33

ID исходного класса (новый ID)	Описание	Площадь (га) в 2019 г.	% площади технического исследования в 2019 г.	Площадь (га) в 2006 г.	% площади технического исследования в 2006 г.	Разница 2019-2006 гг.
2.1 (3)	Маршевые без растительности или с сообществами солероса	1 456.83	0.22	62 746.20	9.60	-61 289.37
2.3 (5), 3.4 (11)	Корково-пухлые и корковые, без растительности, иногда с единичными экземплярами кустарников (карабарак, гребенщик), бугристые и бугристо-рядовые без растительности и слабо закрепленные	246 080.97	37.67	186 826.41	28.60	59 254.56
2.4 (6)	Солончаки с навейным песчаным чехлом с разреженными сообществами лебеды и селина	33 210.27	5.08	116 324.37	17.81	-83 114.10
3.1 (8), 3.2 (9), 3.3 (10)	Равнинные (с ракушей) без растительности или с разреженными кустарниками (саксаул, гребенщик), дюнные без растительности, мелко-бугристые (слабо закрепленные) с разреженными сообществами полыни, кустарников и посевами селена	68 454.27	10.48	120 684.42	18.47	-52 230.15
3.5 (12), 4.2 (14)	Бугристые, бугристо-рядовые слабо закрепленные с эфемерово-попынно-кустарниковыми сообществами, опустынивающиеся, гидроморфные злаково-галофитно-разнотравные с кустарниками	2 369.25	0.36	680.31	0.10	1 688.94
4.1 (13)	Луга на аллювиальных равнинах (тростниковые, разнотравно-злаковые) на аллювиально-луговых, болотно-луговых и лугово-болотных почвах	136 871.55	20.95	89 370.81	13.68	47 500.74
4.3 (15), 4.5 (17)	Кустарниковые заросли (галофитные: тамарикс, карабарак), кустарниково-саксауловые (пустынные леса/искусственные насаждения)	67 908.33	10.39	35 004.69	5.36	32 903.64
4.4 (16)	Опустынивающиеся кустарниковые	95 308.92	14.59	37 699.56	5.77	57 609.36
Общая площадь		653 285.97	100.00	653 285.97	100.00	

Таблица 40

Площадь категорий земельного покрова в пределах территории технического исследования в 2006 и 2020 гг. в районе исследования «Полигон 2»

ID исходного класса новый ID	Описание	Площадь (га) в 2020 г.	% площади технического исследования в 2020 г.	Площадь (га) в 2006 г.	% площади технического исследования в 2006 г.	Разница 2020-2006 гг.
1.1 (1)	Водная поверхность	8 254.17	1.38	7 717.59	1.29	536.58
1.2 (2)	Мелководье, иногда с тростником	1 020.06	0.17	3 238.20	0.54	-2 218.14
2.1 (3)	Маршевые без растительности или с сообществами солероса	417.87	0.07	61 529.49	10.31	-61 111.62
2.3 (5), 3.4 (11)	Корково-пухлые и корковые, без растительности, иногда с единичными экземплярами кустарников (карабарак, гребенщик), бугристые и бугристо-рядовые без растительности и слабо закрепленные	103 379.67	17.33	49 574.34	8.31	53 805.33
2.4 (6)	Солончаки с навейным песчаным чехлом с разреженными сообществами лебеды и селина	31 469.67	5.28	151 947.54	25.47	-120 477.87
3.1 (8), 3.2 (9), 3.3 (10)	Равнинные (с ракушей) без растительности или с разреженными кустарниками (саксаул, гребенщик), дюнные без растительности, мелко-бугристые (слабо закрепленные) с разреженными сообществами полыни, кустарников и посевами селена	22 970.79	3.85	47 771.91	8.01	-24 801.12
3.5 (12), 4.2 (14)	Бугристые, бугристо-рядовые слабо закрепленные с эфемерово-попынно-кустарниковыми сообществами, опустынивающиеся, гидроморфные злаково-галофитно-разнотравные с кустарниками	34 538.13	5.79	13 507.02	2.26	21 031.11
4.1 (13)	Луга на аллювиальных равнинах (тростниковые, разнотравно-злаковые) на аллювиально-луговых, болотно-луговых и лугово-болотных почвах	225 349.38	37.78	189 518.94	31.77	35 830.44

ID исходного класса новый ID	Описание	Площадь (га) в 2020 г.	% площади технического исследования в 2020 г.	Площадь (га) в 2006 г.	% площади технического исследования в 2006 г.	Разница 2020-2006 гг.
4.3 (15), 4.5 (17)	Кустарниковые заросли (галофитные: тамарикс, карабарак), кустарниково-саксауловые (пустынные леса/искусственные насаждения)	105 190.29	17.63	34 873.56	5.85	70 316.73
4.4 (16)	Опустынивающиеся кустарниковые	63 961.20	10.72	36 864.63	6.18	27 096.57
Общая площадь		596 551.23	100.00	596 551.23	100.00	

Таблица 41

Площадь категорий экологической опасности в 2006 и 2019 гг. в районе исследования «Полигон 1»

Класс экологической опасности	Описание	Площадь (га) в 2019 г.	% площади технического исследования в 2019 г.	Площадь (га) в 2006 г.	% площади технического исследования в 2006 г.	Разница 2019-2006 гг.
I	Отсутствует	99 135.99	15.17	101 126.10	15.48	-1 990.11
II	Низкая	138 497.13	21.20	93 321.00	14.28	45 176.13
III	Средняя	136 362.60	20.87	155 689.10	23.83	-19 326.50
IV	Высокая	279 291.24	42.75	303 150.80	46.40	-23 859.56
Общая площадь		653 285.97	100.00	653 285.97	100.00	

Площадь категорий экологической опасности в 2006 и 2020 гг. в районе исследования «Полигон 2»

Класс экологической опасности	Описание	Площадь (га) в 2019 г.	% площади технического исследования в 2019 г.	Площадь (га) в 2006 г.	% площади технического исследования в 2006 г.	Разница 2019-2006 гг.
I	Отсутствует	98 917.20	16.58	111 901.14	18.76	-12 983.94
II	Низкая	234 623.60	39.33	200 474.73	33.61	34 148.87
III	Средняя	128 161.10	21.48	82 645.47	13.85	45 515.63
IV	Высокая	134 849.30	22.60	201 521.88	33.78	-66 672.58
Общая площадь		596 551.23	100.00	596 551.23	100.00	596 551.23

6.7.7. Обсуждение

В рамках этого исследования была разработана методология, основанная на наблюдениях Земли, для картирования и количественной оценки состояния земельного покрова в разные годы. Она основана на открытых спутниковых данных, причем методология была откалибрована и подтверждена на основе собранных полевых контрольных данных.

Предлагаемый метод является новаторским в том плане, что он позволяет улучшить существующие стратегии картирования в Аралкуме за счет использования алгоритмов машинного обучения и разновременных спутниковых данных в качестве входных данных. Что касается входных данных, выбор различных индексов растительности и спектрального разложения добавляет ценности, поскольку повышает точность классификации по сравнению с использованием только многоспектральных диапазонов Landsat.

К сожалению, предыдущая карта землепользования и земельного покрова с 2006 года, созданная в прошлом проекте (Духовный

и соавторы, 2008), не могла быть использована в данной оценке, так как метод не мог быть воспроизведен, а контрольные данные за 2006 год отсутствовали. Однако, основываясь на методе, использованном в данном исследовании, этот пробел мог быть восполнен, и метод обеспечивает основу для его масштабирования соответственно на более крупные регионы и различные годы.

Создание временных составных способствует этой пространственной и временной «переносимости» технологического процесса, поскольку убирает нагрузку поиска безоблачных снимков и создает сопоставимые исходные данные за разные годы. Например, использование предложенной стратегии позволило создать два набора входных данных за разные годы, 2006, 2019 и 2020 гг., которые имеют схожие разновременные признаки. Это – предварительное условие для применения алгоритма классификатора, который был откалиброван для одного года (здесь: 2019-2020 гг.), для классификации составных за другой год (здесь: 2006 г.). Следует отметить, что в связи с отсутствием контрольных данных за 2006 год карта землепользования и земного

покрова, созданная в рамках настоящего исследования, не могла быть подтверждена посредством оценки точности.

6.7.8. Рекомендации и практические выводы

- Этот метод можно расширить, чтобы его можно было в полной мере использовать для картирования 17 классов земельного покрова и связанной экологической опасности, как за другие годы, так и в целом по Аралкуму (узбекская часть). С этой целью мы рекомендуем *продолжать наземные экспедиции* для сбора соответствующей информации на местах и с использованием спутниковых наблюдений Земли для определения возможных мест лесопосадок. В частности, мы предлагаем дополнить существующие контрольные данные дополнительными экспедициями, чтобы охватить места, где отбиралось меньше проб, а также чтобы иметь возможность классифицировать все 17 исходных классов земельного покрова (в этом исследовании мы классифицировали 10 классов): следует нацелиться на северо-восточную, северную и северо-западную части исследуемой территории для достижения пространственно сбалансированных выборок.
- В соответствии с этой методологией были составлены карты почвенно-растительного покрова и связанной с ним экологической опасности (с точки зрения риска ветровой эрозии). Эта информация может быть использована для *пространственного определения регионов*, в которых должны быть реализованы меры по снижению ветровой эрозии, например через посадку кустарниковых насаждений (лесопосадки).
- Мы предлагаем использовать и далее *расширять уже разработанную методологию* для решения других соответствующих этапов цикла управления проектами в контексте облесения осушенного дна Аральского моря (рис. 130):
- Использование спутникового наблюдения Земли в сочетании с другими соответствующими геоданными для картирования экологических и метеорологических условий, которые определяют *пригодность земли для облесения* (пригодность земли) – этот шаг определяет, где условия окружающей среды благоприятствуют облесению.
- Использование спутникового наблюдения Земли, чтобы *вести мониторинг развития* имеющихся или новых участков облесения. Помимо Landsat, следует сочетать другие открытые спутниковые данные, такие как Sentinel из программы наблюдения Земли Copernicus и спутниковые данные очень высокого разрешения – этот шаг даст информацию об успехе уже проведенных лесопосадок.

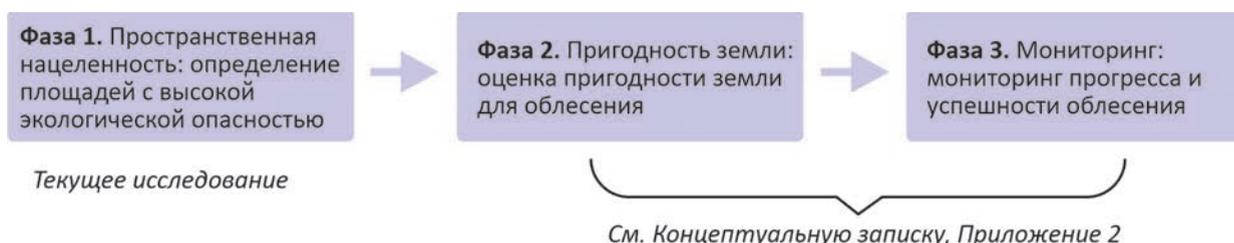


Рис. 130. Концептуальная схема комплексного планирования и мониторинга лесопосадок на основе данных наблюдения Земли и других геоданных



7 Дискуссия

7.1. Изменение почвенного покрова и его экологическая опасность

Почвенный покров осушенного дна моря является индикатором экологической стабильности.

В классификации почв, название и свойства той или иной почвенной разности, включают в себя оценку экологической стабильности. На карте 2020 года выделены 50 почвенных разностей. Все почвенные разности укладываются в характеристику классов риска, разработанной и принятой в 2005 году и включенной в книгу 2008 г. (Духовный и соавторы, 2008).

Кратко о принципах выделения 17 классов и объединение их в группы риска. С точки зрения почвенного покрытия в группу экологического риска в первую очередь входят песчаные массивы: барханы, дюны, песчаные холмы, если они незакрепленные или слабозакрепленные и почвы, покрытые песчаным шлейфом.

Солончаки в рядах экологического риска расставлены в порядке: солончаки гидроморфные (избыточно-гидроморфные, полу-гидроморфные, умеренно гидроморфные), полу-автоморфные автоморфные почвы.

Солончаки гидроморфного ряда становятся опасными при высыхании, когда при смене промывного режима маршевых солончаков

на привыпотный водно-солевой режим, накапливается соль в поверхностных горизонтах, образуется солевая корка, и под действием ветра соль разносится на большие расстояния.

Наиболее податливыми к эрозии среди полугидроморфных и полуавтоморфных солончаков являются пухлые, корково-пухлые солончаки, поверхность которых представлена порошистым землисто-солевым слоем и которые при разрушении корки становятся очагом соле-пылепереноса порошистого пухлого подкоркового слоя. Такие солончаки являются активными продуцентами солей, выносимых ветром за пределы Аральской котловины.

Заращение солончаков искусственными посадками или самозаращением, понижает экологическую опасность и значительно снижает ее при переходе солончаков в пустынно-песчаные почвы.

Пустынно-песчаные почвы в большинстве своем образованы на слоистых грунтах аллювиально-морских отложений авандельты Амударьи и озерно-морских отложениях з.Аджибай и з.Джылтырбас, часто имеют отсортированные тонко-фракционные частицы. Подвергаясь механическому разрушению, они становятся эрозионно-опасными.

Исследования почвенного покрова определили направленность почвообразования и время необходимое для перехода из одной почвенной разности в другую (Сектименко, 1991; Духовный и соавторы, 2008).

Как известно, маршевые и мокрые солончаки в первое время осушки имеют равномерное распространение солей по профилю и хлоридное засоление. При высыхании соли накапливаются (рис. 131) в верхних горизонтах, почвы от хлоридных переходят в хлоридно-сульфатные, далее в сульфатные (табл. 16

и 17). Со временем, понижения уровня грунтовых вод, маршевые солончаки преобразуются в гидроморфные, затем в автоморфные и пустынно-песчаные почвы (рис. 132, 133).

Приведенный пример – это классическая схема преобразования почв на Арале и их классификация, от гидроморфных до автоморфных.

На общий процесс смены почв оказывают влияние локальные воздействия. Основное – это периодическое увлажнение из водных источников заливов, рек, коллекторов. Другое

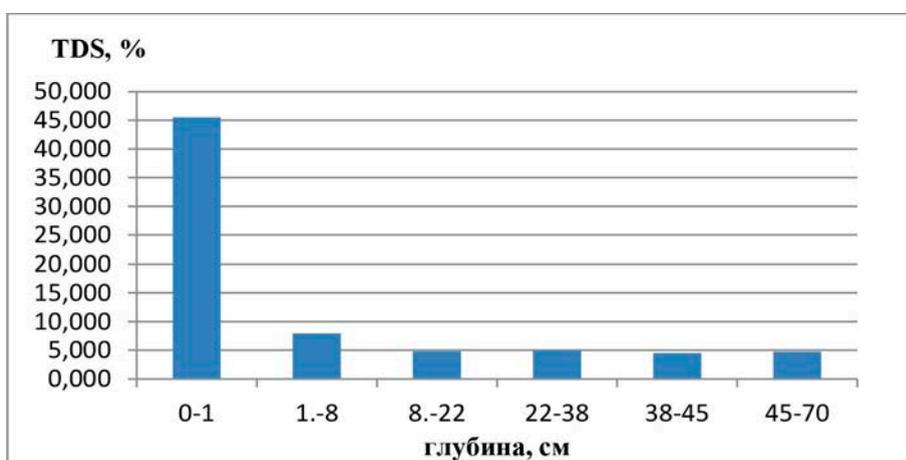


Рис. 131. Распределение солей (TDS, %) в профиле умеренного гидроморфного солончака, разрез 18

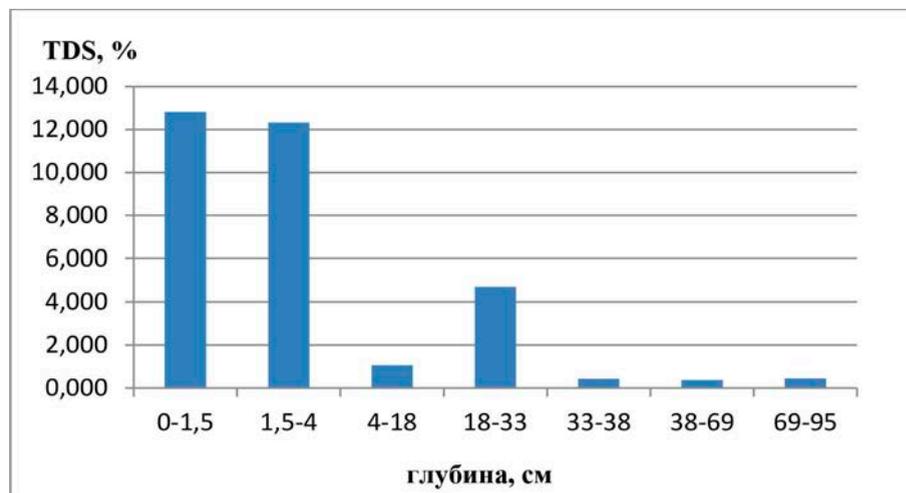


Рис. 132. Распределение солей (TDS, %) в профиле прочно-коркового, автоморфного солончака, разрез 29

воздействие – это запесчаненность, что вносит коррективы в оценку экологического риска почвенного покрытия.

На рисунке 134 представлено распределение солей по профилю полугидроморфного солончака разрез 5(2), у которого почвенный профиль незасоленный за счет запесочивания, почва становится более опасной в оценке экологического риска за счет переноса песка.

Влияние оказывает затопление почвы из заливов. В этом случае опустынивающиеся кустарниково-саксаульные леса могут оказаться в группе экологического риска.

Результатами исследований показано, что затопление территории может иметь как положительный, так и отрицательный эффект. Показано, что затопление саксаула, постоянное нахождение в перенасыщенной водой почве

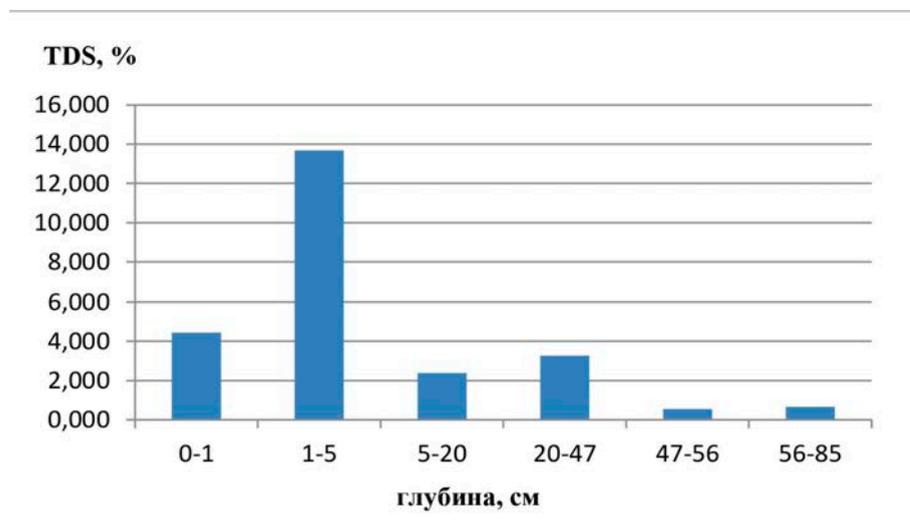


Рис. 133. Распределение солей (TDS, %) в профиле пустынно-песчаной почвы, разрез 30

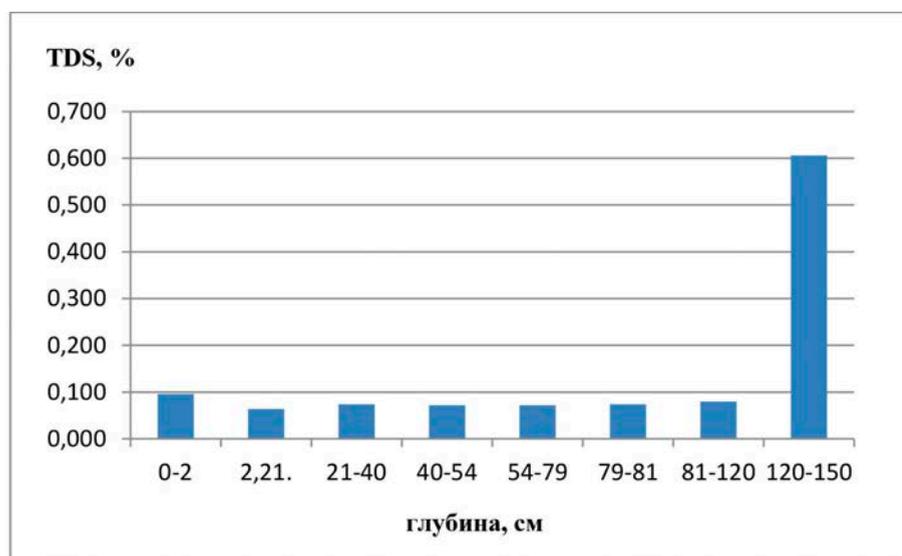


Рис. 134. Распределение солей (TDS, %) в профиле полугидроморфного запесчаненного солончака, разрез 5(2)

приводит к болезни саксаула и его гибели. Такая картина наблюдается около з. Джылтырбас.

Смена растительности карабарака на саксаул при высыхании почвы нельзя расценивать, как опустынивание.

Изучение почвенного покрова, сопоставление почвенных условий в течение ряда лет позволяет сказать, что почвенные условия, несмотря на, казалось бы «дикую» часть суши – осушенное дно моря во многом подвержены антропогенному воздействию, как положительному, так и отрицательному.

В Муйнакской части осталось мало заповедного естественного почвенного покрова. Наличие на море более 45 буровых агрегатов и подъездных дорог к ним приводит к разрушению почвы. Примером такого негативного воздействия является зона старых посадок саксаула северней Рыбачьего залива. Хотя созданы благоприятные условия для сохранения почвы – посадки леса, уже укрепленные грунты под посадками разрушены машинами, непрерывно курсирующими от скважины к скважине.

В районе Казахдарьи лугово-аллювиальные почвы переходят в солончаки, под влиянием изменения русла Амударьи, связанной с функционированием Междуреченской плотины.

В Джылтырбасской зоне – зоне посадок 4х лесхозов, антропогенное влияние имеет позитивный характер. Но и здесь опустынивание проявляется, что связано с катастрофической осушкой Восточного моря, активным передвижением песка, перекрытием почв песчаными чехлами.

Для того, чтобы выявить общую направленность процессов, мы использовали (табл. 43, 44) результаты почвенных исследований 1990 года, 2005-2006 года и полученные в процессе наших экспедиций 2019-2020 года. Сравнение проводилось в контурах изучаемых площадей. За период с 1990 года по 2020 год произошло значительное снижение гидроморфности солончаков на 15,1% за счет развития процесса аридизации и соответственно увеличение автоморфности солончаков на 14, 6%, снижения уровня грунтовых вод и перехода гидроморфных почв в их автоморфные аналоги, запесочивания и образования зональной почвы. Начиная с 2006 года гидроморфный характер поддерживается более менее стабильно за счет периодически в 5-7 паводковых лет. Происходит формирование пустынно-песчаных почв, что является позитивным признаком. Увеличение песчаного покрытия (табл. 43, 44) указывает на интенсификацию эрозивных процессов на обсохшем дне.

Таблица 43

Изменение почвенного покрытия в 1990 и 2020 гг.

Почвы	% от общей изучаемой площади		
	1990	2020	Изменения, %
Гидроморфные и полугидроморфные	72,7	57,5	-15,1
Автоморфные и полуавтоморфные	10,90	16,3	5,4
Пустынно-песчаные		5,7	5,7
Песок	16,4	19,9	3,5
Опустынивающиеся луговые		0,6	0,6

Изменение почвенного покрытия в 2006 и 2020 гг.

Почвы	% от общей изучаемой площади		
	2006	2020	Изменения, %
Гидроморфные и полугидроморфные	56,3	57,5	1,2
Автоморфные и полуавтоморфные	18,4	16,3	-2,2
Пустынно-песчаные	2,6	5,7	3,1
Песок	9,3	19,9	10,6
Опустынивающиеся луговые	13,4	0,6	-12,7

Все приведенные примеры говорят о том, что осушенное дно моря является неустойчивой экологической системой, которую надо изучать. Учитывая динамичность процессов, происходящих на осушенном дне моря, необ-

ходимо проводить постоянный мониторинг, чтобы не только знать текущую ситуацию, но и научиться управлять процессами и разработать стратегию сохранения уникальной лаборатории почвообразования.

7.2. Мероприятия по снижению отрицательных последствий высыхания Аральского моря

Как уже указывалось ранее, высыхание Аральского моря привело не только к однообразному развитию опустынивания на лишённом связи с водными источниками пространстве. Усыхание моря также увеличило солёность, что повлияло на экосистему озёрных систем, кроме того, это повлияло на развитие сельского хозяйства (животноводство, рыбоводство), здоровье местного населения и эко-туризм.

Практически здесь наблюдаются три процесса: осушение дна моря, опустынивание на бывшем дне моря и антропогенное влияние, которое, с одной стороны, пытается помочь природе сохранить дельту, преодолеть опустынивание путём облесения, а с другой стороны, допускает нанесение вреда защищаемой природе неконтролируемыми или слабо контролируруемыми техногенными процессами.

Первый феномен – вышедшая из-под водного покрова территория теряет свои ги-

дроморфные признаки по мере удаления кромки берега и снижения уровня грунтовых вод, постепенно всё более приобретая признаки аридизации и опустынивания. Однако, именно в этот период, как показали исследования прошлых экспедиций, на этой бывшей бесплодной материнской основе начинают развиваться биологические и микробиологические процессы (Stulina G., Verkhovtseva N., & Gorbacheva M., 2019), в результате чего идёт процесс почвообразования и создания возможной продуктивности. Практически в этой части территории имеет место конкуренция между нарастающими самозащитными силами природы, нацеленными на продуктивность и создание плодородия, и разрушительными силами опустынивания, усиливаемыми аридными условиями климата. При этом эоловая дефляция, формирующая барханы и дюны, и как бы сама являющаяся разрушительным фактором, здесь может играть на начальном этапе выхода из-под уровня

моря и осушки прибрежных солончаков положительную роль. Она, формируя небольшой слой припесчаненного покрова, будет положительно влиять на закрепление появляющейся здесь растительности и особенно – на развитие самозарастания. Вот уже с этого момента возникает возможность положительного влияния человека в помощь природе: своевременно начав обработку приморских солончаков устройством песконаполненных борозд, но в тоже время, не допуская начала формирования барханов, путём устройства камышовых клеток.

Но самая главная роль человека – организовать строгое регулирование системы использования этой новой пустыни, не допуская разрушения природного равновесия, а помогая в развитии двух основных направлений стабилизации ландшафтов: облесения опустынивающейся территории и, параллельно, придание устойчивости частично нестабильной площади бывшей дельты, находящейся под влиянием притока речных вод и частично сбросов из коллекторов.

Здесь очень важно соблюдение постоянства условий произрастания. В процессе экспедиций наблюдались многочисленные факты гибели саксаула вследствие появления гидроморфных условий и, наоборот, высыхания влаголюбивой растительности при длительном отсутствии обводнения. Здесь дендрологические меры мало что могут дать. Но внимание эксплуатационных органов – как водохозяйственных, так и землеустроительных, к созданию и поддержанию определённых условий, очень важно. Это в равной степени относится к предупреждению разрушения рельефа и лесопосадок транспортными средствами и строительством дорог, которые уничтожают уже прижившиеся растения и нарушают стабилизировавшийся рельеф местности. Особенно требуют внимания изыскательские и эксплуатационные работы по скважинам нефте- и газовой разведки, коли-

чество которых превышает 50. Каждая скважина сопровождается разрушением рельефа минимум на 2-3 га. Хотя во всех договорах с нефте-газо добычей и разведкой оговариваются обязательные условия восстановления рельефа и компенсации затрат на природоохранные мероприятия, тем не менее, результативности этих действий, как со стороны исполнительных организаций, так и со стороны местных и природоохранных организаций не видно.

Исходя из вышеуказанных принципиальных положений и обобщая результаты проведенных двух экспедиций, представляется целесообразным сконцентрировать внимание правительственных, специализированных и местных органов на осуществление следующих действий и мероприятий:

1. Первоочередной задачей, исходя из задач, поставленных Правительством на основе инициатив Президента Ш.М. Мирзиёева, является **управление территорией осушенного и осушаемого дна моря и Приаралья.**

С этой целью:

1.1 Поручить общее управление обозначенной территорией Правительству Каракалпакстана, возложив на него контроль за разрешительной и мониторинговой деятельностью на этой территории.

1.2 Распределить зоны ответственности на этой территории:

а) **за устойчивую водообеспеченность** – на Минводхозы Узбекистана и Каракалпакстана, включая дельту Амударьи, заканчиваемый строительством комплекс водоёмов, питаемых из Междуреченского водохранилища, зону ГЛК и озера Судочьего, а также Правобережного коллектора, Джылтырбаса, Кокдарьи и Казахдарьи, а также всех коллекторов, сбрасывающих воду в Приаралье на основе договора с БВО Амударья.

б) **за выработку и соблюдение определённых жёстких правил охраны природного комплекса Аралкума** – на Госкомэкологии Узбекистана и Каракалпакистана, объявив его охраняемой территорией, обратив особое внимание на сохранность ландшафта и насаждений, работу всех зарубежных компаний, которые могут нанести вред охране природы.

в) **за планирование и осуществление лесопосадок в строгом соответствии с районированием территории по устойчивости зональных лесопосадок**, уход за ними и фито контроль – на Госкомлесом Республики Узбекистан.

г) **за развитие, использование и поддержание пастбищ** – на Министерство сельского хозяйства республики совместно с Госкомгеологии, на которое возложить поддержание работоспособности скважин на пастбищных стоянках.

1.3 Благодаря финансированию ПРООН **мониторинг спустя 10 лет возобновился на осушенном дне моря**, что позволило в комплексе с дистанционными измерениями охватить 1249 тысяч га осушенного дна моря из 2,7 миллиона га на территории Узбекистана. Данные экспедиции оказались на много более продуктивными, чем прежние в части собранной информации о происходящих изменениях на территории обследования. Они выявили определённое снижение в процентном отношении зоны экологического риска, хотя обнаружили необходимость увеличения объёма исследований, чтобы уточнить признаки по 6 из имеющихся 17 классов. Этого требуют и специалисты по ГИС-ДЗЗ, которые предлагают **«дополнить существующие контрольные данные дополнительными экспедициями**, чтобы охватить места, где отбиралось меньше проб, а также, чтобы иметь возможность классифицировать все 17 исходных классов земельного покрова, **нацелившись на северо-восточную, северную и северо-западную части исследуемой тер-**

ритории для достижения пространственно сбалансированных выборок».

Это позволит получить полную картину осушенного дна моря на территории Узбекистана и дать **рабочий инструмент всем организациям, ответственным за управление территорией** и иметь единую картографическую основу своих работ в сопоставлении с динамикой десятилетней давности. В дальнейшем рекомендуется проводить по одной наземной экспедиции в год, выбирая для её проведения местность, на которой дистанционные измерения обнаружат максимальные изменения.

2. Предлагается разработанную методологию комбинированных дистанционно-наземных наблюдений использовать для решения других соответствующих этапов цикла управления территорией в контексте облесения осушенного дна Аральского моря:

- для картирования экологических и метеорологических условий, которые определяют пригодность земли для облесения (пригодность земли) – этот шаг определяет, где условия окружающей среды благоприятствуют облесению.
- мониторинг развития имеющихся или новых участков облесения. Разработанная методика помимо Landsat использует сочетания других открытых спутниковых данных, такие как Sentinel и спутниковые данные очень высокого разрешения – этот шаг даст информацию о состоянии уже проведенных лесопосадок.

3. Предлагается провести инвентаризацию всех имеющихся скважин на воду с разделением их на пригодные для пастбищного водоснабжения и отдельно – с горячей водой – на бальнеологические цели. На основе этого организовать обустройство скважин и целевое их использование на определенные нужды.

4. В целях создания гарантированной водоподдачи в дельту и поддержания гидромор-

фной составляющей устойчивого развития осушенного дна моря, осуществить переключение сброса коллекторно-дренажных вод Хорезмского оазиса с Дарьялыкского коллектора на дельту Амударьи.

5. В целях предотвращения самовольной прокладки местных дорог необходимо разработать и утвердить план строительства дорог с чёрным покрытием в Приаралье и на осушенном дне моря с тем, чтобы стабилизировать маршруты движения по территории, исходя из определения наиболее посещаемых мест.

6. По рассматриваемой территории разбросано большое количество полуразрушенных и заброшенных зданий и помещений, ранее эксплуатируемых лесхозами, рыбками, пастбищными хозяйствами, научными станциями. Поручить местным властям Муйнакского, Караузякского, Кунградского и Тахтакупырского районов совместно с Правительством Каракалпакстана провести инвентаризацию этих построек и определить их целевое использование, возможно для организации туристических маршрутов, а там, где поблизости имеются работающие

скважины – для пастухов или для развития лечебниц.

7. По рекомендациям ботаника экспедиции целесообразно организовать сбор и переработку лекарственных растений, которыми богата флора Аралкума. Необходимо поручить Минздраву Узбекистана и Узфармпрому организовать в городе Муйнаке фабрику лекарственных растений.

8. Особое внимание в вопросах исследований необходимо уделить изучению процессов самозарастания. В ходе прошлых экспедиций было обнаружено, что площадь самозарастания охватила 200 тысяч га – немногим менее, чем было зарегистрировано сохранившихся искусственных посадок. Ныне площадь новых самозаросших плантаций опять составила 160 тысяч га (со времени после прошлых экспедиций – меньше, чем за 10 лет). Результаты определения классов риска экологической оценки, приведенные ниже, одновременно уловили указанную выше величину самозарастания и дали возможность сопоставить её с показателями дистанционных измерений.

Таблица 45

Оценка осушенного дна моря на 2019-2020 гг.

№№ экспедиции	Класс риска	Степень экологического риска	Площади, %	Тыс. га
I	I	нет	16,9	110,36
	II	низкий	30,2	192,29
	III	средний	30,3	197,95
	IV	высокий	22,4	146,33
<i>Итого</i>				653,285
<i>самозарастание</i>			16,6	96,6
II	I	нет	25,2	150,33
	II	низкий	30,7	183,14
	III	средний	34,0	202,83
	IV	высокий	9,42	56,20
<i>Итого</i>				596,55
<i>самозарастание</i>			10,7	64,3

9. Необходимо усилить работы по защите растений (применение пестицидов / биопестицидов) против вредителей, насекомых и болезней (саранчи, мучнистой росы). В настоящее время Правительство Узбекистана уделяет особое значение облесению осушенного дна Аральского моря с доведением площади лесов до 1,2 млн. гектаров. Однако, проведенные нами в 2019-2020 гг. экспедиции показывают, что старые и самозарастающие саксаулы повреждены саранчой и мучнистой росой:

10. Одной из мер по смягчению негативного воздействия экологического кризиса в Приаралье является поддержание системы естественных водоемов в акватории Аральского моря, что указано в Стратегии по переходу Республики Узбекистан на «зеленую» экономику на период 2019-2030 годов. В настоящее время реализуется фаза II проекта «Создание малых локальных водоемов в дельте реки Амударьи». Для этого

нужен постоянный систематический мониторинг за явлениями и процессами, проходящими на территории локальных водоемов Аральского моря, результаты которого служат для обоснования управленческих решений по обеспечению экологической безопасности и социально-экономической стабильности региона.

11. Проводимая нами в 2005-2011, 2019-2020 годах с участием Международного инновационного центра Приаралья при Президенте Республики Узбекистан (МИЦП) работа по мониторингу осушенного дна моря позволяет уже сейчас начать построение геоинформационной системы (ГИС) осушенного дна моря и Приаралья, пока на основе имеющихся материалов на площади 1,2 миллиона гектаров, которая будет завершена после проведения ещё 3-х экспедиций на оставшихся 1,5 млн га. Предлагаемая система могла бы стать надёжным инструментом МИЦП в качестве основы и «поводыря» любых мероприятий и иннова-



Рис. 135. Точки экспедиции 2019 г.:
Т. 619-620

Описание местности: *Haloxylon aphyllum* Iljin. (Саксаул чёрный, старая французская посадка), характеристика обильности – рассеянная (Sp) с покрытием 25-35%, поврежден саранчой (фото нас состояние 2 октября 2019 г. где видны погибшие саранчи под саксаулом)



Рис. 136. Точки экспедиции 2020 г.:
Т. 207-211

Описание местности: *Haloxylon aphyllum* Iljin. (Саксаул чёрный, само зарастание), характеристика обильности – рассеянная (Sp) с покрытием 15-25%, поврежденные мучнистой росой (фото нас состояние 4 июня 2020 г. где видны высохшие ветки 4-5 летнего саксаула)

ций, которые будут проводиться в этом регионе при «дирижировании» со стороны МИЦП.

Эта система должна включить в себя ГИС-слои:

- населения, селитебных участков и посёлков с показателями демографии, динамикой благосостояния и экономики;
- дороги, ЛЭП и коммуникации;
- прошлой и нынешней отраслевой деятельности с отражением зон распространения (рыбоводство, орошение, ондатроводство, пастбищное животноводство, выращивание лекарственных растений и добыча лекарственных рачков, добыча полезных ископаемых);
- геоморфологии;
- почвенные слои и формирование почвообразовательного процесса;
- ландшафтов в их динамике в увязке с отступлением и колебанием моря; результаты постоянно проводимого НИЦ МКВК дистанционного контроля водных угодий и ветландов; карты рисков и эоловой/или солевой деградации;
- ботаники и облесения;

- гидрогеологические с показателями кустов и рядов скважин, их эксплуатационными показателями и уровнями грунтовых и подземных вод.

Используя эту систему, МИЦП сможет стать рекомендательной, плановой основой и координатором для всех инноваций, которые будут развиваться в Приаралье и осушенном дне моря, как в части развития ранее существовавших промыслов, таких как рыбоводство, ондатроводство, животноводство, добыча полезных ископаемых, производство местных строительных материалов, так и новых – тепличные хозяйства, лекарственные растения, бальнеологическое лечение и др. На этой базе организовать тренинг местных жителей и всех энтузиастов, которые будут заинтересованы принять участие в этом инновационном процессе. Всё это развитие должно идти не на базе мелких стартап-проектов (хотя их вклад не исключается), а крупных инвестиционных привлечений, в том числе организаций, «делающих деньги» на Аральском дне и Приаралье.

8 Выводы

1. Благодаря финансированию двух экспедиций мониторинга осушенного дна моря 2019-2020 годов стало возможным возобновление после почти десятилетнего перерыва проведения оценочных работ по наблюдению и сбору данных по состоянию ландшафта, почв, растительности, грунтовых и поверхностных вод на площади, охватывающей 40% осушенного дна на узбекской территории бывшего дна моря – 1200 тысяч га юго-западной и юго-восточной его частей.

2. Организация двух комплексных экспедиций силами НИЦ МКВК с привлечением специалистов Международного инновационного центра Приаралья при Президенте Республики Узбекистан, а также в качестве партнёров учёных Института органической химии и Каракалпакской постоянной экспедиции Узгидроингео, при участии дистанционных измерений немецкой компании Mar Taylor, позволили получить всестороннюю оценку этой территории с геоморфологической, гидрогеологической, ландшафтной, почвенной, экологической, дендрологической и ботанической точек зрения, а также провести сравнение с результатами предыдущего цикла экспедиций 2006–2010 годов.

3. Системный подход к оценке наблюдаемых явлений и изменений позволил дать характеристику двойственному процессу трансформации осушенного дна моря и возникающей экологической обстановки,

охарактеризованной в разделе 7.2. и установить необходимость организовать строгое регулирование системы использования этой новой пустыни. При этом сформулированы требования этого регулирования – не допускать разрушения природного равновесия, а помогать в развитии двух основных направлений стабилизации ландшафтов: облесения опустынивающейся территории и параллельно придание устойчивости частично нестабильной площади бывшей дельты, находящейся под влиянием притока речных вод и в некоторой степени коллекторных сбросов. С этой целью предложено создать **управление территорией осушенного и осушаемого дна моря и Приаралья, возложив ответственность за отдельные элементы управления на соответствующие организации Узбекистана и Каракалпакстана.**

4. Учитывая, что общая площадь осушки дна моря на территории республики, составляет почти 3 миллиона га, рекомендуется, начиная с весны 2021 года, организовать аналогичное комплексное наземно-дистанционное изучение площади осушки на оставшейся площади с уточнением показателей наземных индикаторов некоторых (шести) трудно определяемых из космоса классов, с тем, чтобы в 2022 году завершить картирование всей территории в целях освоения и управления осушенного дна моря. Первоочередной задачей является определение зон риска и програм-

мы защитных лесопосадок для предотвращения их расширения. В процессе будущих работ обратить внимание на подготовку рекомендаций по использованию всех имеющихся скважин для нужд водоснабжения, бальнеологии и пастбищного животноводства, развития пустынного туризма на основе реконструкции и ремонта имеющихся полуразрушенных зданий.

5. Организация постоянного мониторинга показателей устойчивости функционирования природного комплекса Аралкума и Приаралья с помощью круглогодичных космических наблюдений (включая применение дронов для обследования труднодоступных мест Аралкума) и как минимум раз в год – об-

следования экологически нестабильных зон. Ввести эту практику в обязательную деятельность Международного инновационного центра Приаралья при Президенте Республики Узбекистан.

6. В рамках данного исследования была разработана методология, основанная на наблюдениях Земли из космоса, для картирования и количественной оценки состояния земельного покрова в разные годы. Предлагаемый метод является новаторским в том плане, что он позволяет улучшить существующие стратегии картирования в Аралкуме за счет использования алгоритмов машинного обучения и одновременных спутниковых данных в качестве входных данных.

Список использованной литературы

1 гл.

- 1 Кузнецов Н.Т., Городецкая М.Е., Герасимов И.П.(1980). Текущие задачи исследований по проблемам Аральского моря, Известия АН СССР, Географическая серия, 5
- 2 Городецкая М.Е., Кесь А.И. (1986). Топография пограничных территорий Аральского моря в свете перспективы экономического развития. Проблемы освоения пустынь, АН Туркмении, №3.
- 3 Курочкина Л.Я., Кузнецов Н.Т. (1986). Экологические аспекты антропогенного опустынивания Аральского региона. Проблемы освоения пустынь, №5.
- 4 Залетаев В.С., Новикова Н.М., Кукса В.И. (1992). Некоторые экологические аспекты Аральской проблемы. Водные ресурсы, 18.5.
- 5 Бортник В.Н. Кукса В.И., Цицярин А.Г.(1992). Нынешний статус, возможное будущее Аральского моря. Постсоветская география, 33.5
- 6 Рафигов А.А., Тетюхин Г.Ф. «Снижения уровня Аральского моря и изменения природных условий низовьев Амударьи», 1981.
- 7 Состояние почвенного покрова Аральского региона в связи с осушением Аральского моря. Проф. Саттаров Д.С., Сектименко В.Е., Попов В.Г.,1993.
- 8 Кабулов С.К. Изменение фитоценоза пустынь при аридизации (на примере Приаралья). «ФАН», Ташкент. 1990.
- 9 Оценка социально-экономических последствий экологического бедствия — усыхания Аральского моря. (2001), (2004), брошюра НИЦ МКВК.
- 10 V.A. Dukhovny, P. Navratil, I. Ruziev, G. Stulina, Ye. Roschenko «Comprehensive remote sensing and ground-based studies of the dried Aral Sea bed» Tashkent, 2008.

2.3

- 11 Изменчивость климата Средней Азии / Под ред. Муминова Ф.А., нагамовой С.И. -Ташкент: Главгидромет РУз, 1995. - 216 с.
- 12 Спекторман Т.Ю. Динамика показателей засушливости территории Узбекистана в связи с изменением климата. / Информация об исполнении Узбекистаном своих обязательств по РКИК/ООН. Бюллетень N 5. – Ташкент: САНИГМИ, 2002.- с. 57-64.
- 13 Спекторман Т.Ю, Никулина С.П. Мониторинг климата, оценка климатических изменений по территории Республики Узбекистан. / Информация об исполнении Узбекистаном своих обязательств по РКИК/ООН. Бюллетень N 5. – Ташкент: САНИГМИ, 2002.- с. 17-25.
- 14 Sensitivity studies with the regional climate model REMO, D. Jacob & .R. Podzun Meteorology and Atmospheric Physics volume 63, pages119–129(1997)

2.6.

- 15 Рубанов И.В. Озерно-почвенное соленакопление в Узбекистане (континентальный галогенез). Ташкент, Изд-во «ФАН», УзССР, 1977.
- 16 Чалов П.И. Датирование по неравновесному урану. Фрунзе, Изд-во “Илим”, 1968.
- 17 Вейнсберг И.Г., Ульст В.Г., Розе В.К. О древних береговых линиях и колебаниях Аральского моря. Вопр. Четв. Геол.VI, Рига, Изд-во “Зинате”, 1972
- 18 Бродская Н.Г. Донные отложения и процессы осадконакопления в Аральском море. Труды Института геол.наук АН СССР, вып. 115, серия геол., 1952
- 19 Сектеменко В.Е., Таиров Т.М., Наумов А.Н. Почвенный покров и почвоохранные мероприятия в зоне обсохшего дна Аральского моря. Ташкент: Фан. - 1991. 15с.
- 20 G. Stulina, V. Sektimenko “The Chance in soil cover on the exposed bed of Aral Sea”, ELSEVIER, 47, 2004, 121-125.

4.2

- 21 Климентов П.П. и др. «Методика гидрогеологических исследований», Высшая школа, Москва 1978, 408 с.

5.1

- 22 Lo C.P., Yeung A.K., 2004. Concepts and Techniques of Geographic Information Systems. Published by Prentice Hall of India, P. Limit., 110001 New Delhi, ISBN: 81-203-2230-4, 492 pages.
- 23 Campbell J.B., 1996. Introduction to Remote Sensing. 2nd Edition, The Guilford Press, New York, ISBN-13: 978-1572300415, 622 p.
- 24 Козодеров В.В., Кондранин Т.В., 2008. Методы оценки состояния почвенно-растительного покрова по данным оптических систем дистанционного аэрокосмического зондирования. Издательство МФТИ, Москва, 222 с.
- 25 Lopez R.D., Frohn R.C., 2017. Remote Sensing for Landscape Ecology: New Metric Indicators. 2nd Edition, CRS Press, ISBN: 9781351648752, 269 p.

5.2

- 26 Congalton, R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sens. Environ. 37, 35-46.
- 27 Ступин В.П., 2011. Анализ возможностей использования данных Google Earth в интересах мониторинга динамики морфосистем зоны влияния каскада ангарских водохранилищ. Вестник ИрГТУ №8 (55), стр. 46-54.
- 28 EROS, 2015. Landsat 8 (L8) data user’s handbook. LSDS-1574, Version 1.0. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center in Sioux Falls, Greenbelt, Maryland, 98 pages.

5.5

- 29 Theiler J., Gisler G., 1997. A contiguity-enhanced k-means clustering algorithm for unsupervised multispectral image segmentation. Proc SPIE 3159, pp. 108-118.

- 30 Forgy E., 1965. Cluster analysis of multivariate data: efficiency vs. interpretability of classifications. *Biometrics* 21: 768.
- 31 Rubin J., 1967. Optimal classification into groups: An approach for solving the taxonomy problem. *J. Theoretical Biology* 15, pp. 103-144.
- 32 Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: *Third ERTS Symposium, NASA SP-351, vol. 1, NASA, Washington, DC, pp. 309-317.*
- 33 Immitzer et al., 2016. First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe. *Remote Sens.* 2016, 8, 166.
- 34 Jensen J.R., 2004. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. 2nd Edition, Published by Pearson Education, Indian Reprint, 110092 Delhi, ISBN: 81-7808-823-1, 544 p.*
- 35 НИЦ МКБК, 2008. Комплексные дистанционные и наземные исследования осушенного дна Аральского моря, под ред. проф В.А. Духовного. Ташкент, ISBN: 9965-32-616-9, 190 с.

6.3

- 36 Акжигитова Н.И. Галофильная растительность Средней Азии и её индикационные свойства. Ташкент: Фан, 1982. 192 с.
- 37 Быков Б.А. Геоботаника. – Алма-Ата: Наука, 1953. – С. 5-29.
- 38 Быков Б.А. Геоботаника. Издание третье. – Алма-Ата: Наука, 1978. – С. 3-21.
- 39 Лавренко Е.М. Основные закономерности растительных сообществ и пути их изучения / Полевая геоботаника. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1959. – Т. I. – С. 13-70.
- 40 Ярошенко П.Д. Геоботаника. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1961. – 476 с.
- 41 Ниценко А.А. Растительная ассоциация и растительное сообщество как первичные объекты геоботанического исследования. – Ленинград: Наука, 1971. – 184 с.
- 42 Шеляг-Сосонко Ю.Р., Крисаченко В.С., Мовчан Я.И. Методология геоботаники. – Киев: Наукова думка, 1991. – 272 с.
- 43 Растительный покров Узбекистана и пути его рационального использования. – Ташкент: Фан, 1972. – Т. II. – 404 с.
- 44 Закиров К.З., Закиров П.К. Опыт типологии растительности Земного шара на примере Средней Азии. – Тошкент: Фан, 1978. – 56 с
- 45 Drude P. *Handbuch der Pflanzengeographie.* – Stuttgart. 1907. – P.10

6.5

- 46 Кокшарова Н.Е. и др. О лесомелиорации осушаемого дна Аральского моря. Проблемы освоения пустынь, №5, 1985.
- 47 Кабулов С.К. Изменение фитоценоза пустынь в условиях аридизации (на примере Приаралья) // Ташкент, 1990

6.7

- 48 Baig, M.H.A., Zhang, L., Shuai, T., Tong, Q., 2014. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sens. Lett.* 5, 423–431. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.915434>
- 49 Breckle, S.W., Wucherer, W., Dimeyeva, L.A., Ogar, N.P., 2012. Aralkum - A Man-Made Desert: The Desiccated Floor of the Aral Sea (Central Asia), *Ecological Studies* 218. Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/DOI 10.1007/978-3-642-21117-1_6](https://doi.org/DOI%2010.1007/978-3-642-21117-1_6)
- 50 Breiman, L., 2001. Random forests. *Mach. Learn.* 45, 5–32.
- 51 Bullock, E.L., Woodcock, C.E., Olofsson, P., 2020. Monitoring tropical forest degradation using spectral unmixing and Landsat time series analysis. *Remote Sens. Environ.* 238, 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.011>
- 52 Chawla, N. V., Bowyer, K.W., Hall, L.O., Kegelmeyer, W.P., 2002. SMOTE: Synthetic minority over-sampling technique. *J. Artif. Intell. Res.* 16, 321–357. <https://doi.org/10.1613/jair.953>
- 53 Congalton, R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sens. Environ.* 37, 35–46.
- 54 Crist, E.P., Cicone, R.C., 1984. A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data—The TM Tasseled Cap. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 22, 256–263. <https://doi.org/10.1109/TGRS.1984.350619>
- 55 Dennison, P.E., Roberts, D.A., 2003. Endmember selection for multiple endmember spectral mixture analysis using endmember average RMSE. *Remote Sens. Environ.* [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00135-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00135-4)
- Dukhovny, V.A., Navratil, P., Ruziev, I., Stulina, G., Roschenko, Y., 2008. Comprehensive remote sensing and ground-based studies of the dried Aral sea bed. Scientific-Information Center ICWC, Tashkent.
- 56 FAO, 2015. Cost-Effectiveness of Remote Sensing for Agricultural Statistics in Developing and Emerging Economies - Technical Report Series GO-09-2015.
- 57 Foody, G.M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sens. Environ.* 80, 185–201. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4)
- 58 Gallego, J.F., Craig, M., Michaelsen, J., Bossyns, B., Fritz, S., 2008. Best practices for crop area estimation with remote sensing, Ispra: Joint Research Center. Ispra. <https://doi.org/10.2788/31835>
- 59 Griffiths, P., Nendel, C., Hostert, P., 2019. Intra-annual reflectance composites from Sentinel-2 and Landsat for national-scale crop and land cover mapping. *Remote Sens. Environ.* 220, 135–151. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.031>
- 60 Kauth, R.J., Thomas, G.S., 1976. The Tasseled Cap -- A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT, in: *Proceedings of Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*. Purdue University, West Lafayette, pp. 4B41–4B51.
- 61 Létolle, R., Micklin, P., Aladin, N., Plotnikov, I., 2007. Uzboy and the Aral regressions: A hydrological approach. *Quat. Int.* 173, 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.03.003>

- 62 Löw, F., Navratil, P., Kotte, K., Schöler, H.F., Bubenzer, O., 2013. Remote-sensing-based analysis of landscape change in the desiccated seabed of the Aral Sea - A potential tool for assessing the hazard degree of dust and salt storms. *Environ. Monit. Assess.* 185. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3174-7>
- 63 Micklin, P., 2010. The past, present, and future Aral Sea. *Lakes Reserv. Res. Manag.* 15, 193–213. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1770.2010.00437.x>
- 64 Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, in: Freden, S.C., Mercanti, E.P., Becker, M.A. (Eds.), *Proceedings of the Earth Resources Technology Satellite Symposium NASA SP-351*. NASA, Washington, DC, p. 309–317.
- 65 Zhu, Z., Woodcock, C.E., 2012. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* 118, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.028>
- 66 Stulina G., Verkhovtseva N., Gorbacheva M. (2019). Composition of the Microorganism Community Found in the Soil Cover on the Dried Seabed of the Aral Sea. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 7, 1-23.

Совместный проект ПРООН и ЮНЕСКО
**«Решение насущных проблем человеческой безопасности в регионе Приаралья
путем содействия устойчивому сельскому развитию»,**
финансируемый в рамках Многопартнерского трастового фонда ООН
по человеческой безопасности для региона Приаралья в Узбекистане

Содействие Программы развития ООН Узбекистану направлено на достижение общих взаимосвязанных целей: оказание поддержки Правительству в ускорении реформ в области устойчивого экономического развития, эффективного государственного управления, адаптации к изменению климата и охраны окружающей среды.

Данная публикация подготовлена в рамках проекта ПРООН и ЮНЕСКО «Решение насущных проблем человеческой безопасности в регионе Приаралья путем содействия устойчивому сельскому развитию».

Изложенные в настоящей публикации взгляды и выводы выражают только точку зрения авторов и не являются официальной точкой зрения ООН, включая ПРООН или стран членов ООН.

© Программа развития Организации Объединенных Наций, 2020.

Узбекистан, 100029, г. Ташкент ул. Т. Шевченко, 4.
Тел: (99878) 1203450
Факс: (99878) 1203485
Сайт: www.uz.undp.org

5185-5660-2a5d-8733-d835-3458-3364 – Подтверждение об издательской деятельности от 15.02.2021 г.

Сдано в набор: 17.02.2021 г.
Подписано в печать: 2.03.2021 г.
Формат 70x100 1/8. Печать офсетная. Усл. печ.л. 31,5
Гарнитура Calibri. Тираж 100 экз.
Заказ № РРО/0043/21

Издательство ООО Редакция журнала «Avto-olam»
г. Ташкент, ул. Уста Ширин, 121 Б

Отпечатано в типографии ООО Редакции журнала «Avto-olam»
г. Ташкент, ул. Уста Ширин, 121 Б

ISBN 978-9943-7030-0-1



Совместный проект ПРООН и ЮНЕСКО
*«Решение насущных проблем человеческой безопасности в регионе Приаралья
путем содействия устойчивому сельскому развитию»*