



Исполнитель:



Комплексная оценка природного и экологического состояния казахстанской части осушенного дна Аральского моря

Астана, Казахстан, 2022 г.

Являясь предприятием, находящимся в федеральной собственности, GIZ поддерживает правительство Германии в достижении его целей в области международного сотрудничества в целях устойчивого развития

Опубликовано:
Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Зарегистрированные офисы:
Бонн и Эшборн, Германия

Адрес:
Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
ул. Кётенер 2
10963, Берлин, Германия
Т +49 61 96 79-0
Ф +49 61 96 79-11 15
E info@giz.de
I www.giz.de/en

Название проекта: Региональный проект «Экологически ориентированное региональное развитие Приаралья»

Руководитель проекта: Паул Шумахер, paul.schumacher@giz.de

Автор: Частное учреждение «Международный научный комплекс «Астана» (isca.kz), г. Астана

Редактор: Кайрат Егезанов, г. Астана

Дизайн: ТОО «Центр Элит НС»

Фото: © ЧУ «Международный научный комплекс «Астана»

Исследование на тему "Комплексная оценка природного и экологического состояния казахстанской части осушенного дна Аральского моря было проведено ЧУ «Международный научный комплекс «Астана» в рамках регионального проекта "Экологически ориентированное региональное развитие Приаралья", реализуемого Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH по поручению Федерального министерства экономического сотрудничества и развития Германии (BMZ).

Содержание данного отчета является предметом исключительной ответственности автора и никоим образом не может отражать официальное мнение регионального проекта GIZ.

По поручению
Федерального министерства экономического сотрудничества и развития
Германии (BMZ)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. МЕТОДЫ КАМЕРАЛЬНЫХ И ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ КАРТ	12
1.1. Подготовка векторной основы для тематических карт казахстанской части осушенного дна Аральского моря	12
1.2. Методы изучения и картографирования климатических условий.....	14
1.3. Методы гидрогеологических исследований	15
1.4. Методы почвенных исследований	16
1.5. Методы изучения растительного покрова.....	16
1.6. Методы экологических исследований	17
1.7. Проведение полевых исследований для сбора достоверных данных о климатических, почвенных и гидрогеологических условиях.....	18
2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	26
2.1. Режим температуры воздуха.....	26
2.2. Режим осадков.....	40
2.3. Режим влажности воздуха.....	43
2.4. Режим ветра.....	46
2.5. Теплообеспеченность вегетационного периода.....	52
2.6. Влагообеспеченность вегетационного периода.....	55
2.7. Засушливость вегетационного периода	58
2.8. Эвапотранспирация за вегетационный период	61
2.9. Суховей	63
2.10. Анализ пыльных бурь.....	65
2.11. Ожидаемое изменение климата в казахстанской части осушенного дна Аральского моря	72
3. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ И ДИНАМИКА ИХ ИЗМЕНЕНИЙ	93
3.1. Влияние ресурсов и режима реки Сырдарьи на Малое Аральское море	96
3.2. Динамика изменений основных показателей Аральского моря	100
4. ОПИСАНИЕ ГЛУБИН ЗАЛЕГАНИЯ И МИНЕРАЛИЗАЦИИ ГРУНТОВЫХ ВОД	110
4.1. Геолого-гидрогеологическая характеристика территории исследований	111
4.2. Характеристика гидрогеологического разрезов и комплексов	113
4.3. Результаты гидрогеологических исследований.....	117

4.4. Анализ и оценка результатов исследований	117
4.5. Особенности гидрогеологических условий осушенного дна Аральского моря.....	131
5. ПОЧВЕННЫЕ ДАННЫЕ	137
5.1. Типы почв. Составление почвенной карты	137
5.2. Состав водорастворимых солей	157
6. ОПИСАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ	159
6.1. Условия формирования растительного покрова.....	159
6.2. Проведение фитомелиоративных мероприятий	164
6.3. Полевые исследования растительности.....	169
7. ЗОНЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА.....	173
8. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДАЛЬНЕЙШЕМУ МОНИТОРИНГУ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ И УСТОЙЧИВОГО ОБЛЕСЕНИЯ ОСУШЕННОГО ДНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ	179
8.1. Рекомендации по облесению территорий осушенного дна Аральского моря по четырем зонам экологического риска.....	179
8.2. Рекомендации по мониторингу климата	182
8.3. Рекомендации по мониторингу почвенного покрова.....	182
8.4. Рекомендации по мониторингу подземных вод	183
9. ВЫВОДЫ.....	185
10. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	188
11. ПРИЛОЖЕНИЯ	193

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

BADI – Temperature Adjusted Dust Index (индекс пыли с поправкой на яркостную температуру).

BTD – Brightness Temperature Difference (индекс разницы яркостной температуры).

EDI – Enhanced Dust Index (расширенный индекс пыли).

GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Германское общество по международному сотрудничеству).

GNSS – Global Navigation Satellite System – система определения местоположения наземных, водных и воздушных объектов, а также низкоорбитальных космических аппаратов.

GPS – Global Positioning System (система глобального позиционирования).

MEDI – Middle East Dust Index (индекс пыли Ближнего Востока).

NDDI – Normalized Difference Dust Index (нормализованный разностный индекс пыли).

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (нормализованный относительный индекс растительности).

БПЛА – Беспилотный летательный аппарат.

Вегетационный период – период года, в который возможны рост и развитие растений.

ВМО – Всемирная метеорологическая организация.

ГИС – Географическая информационная система.

ГТК – Гидротермический коэффициент.

ДЗЗ – Дистанционное зондирование Земли.

Загрязнение окружающей среды – присутствие в атмосферном воздухе, поверхностных и подземных водах, почве или на земной поверхности загрязняющих веществ, тепла, шума, вибраций, электромагнитных полей, радиации в количествах, превышающих установленные государством экологические нормативы качества; окружающей среды.

КазНИИ – Казахский научно-исследовательский институт.

Качество окружающей среды – совокупность свойств и характеристик окружающей среды, которые определяются на основе физических, химических, биологических и иных показателей, отражающих состояние ее компонентов в их взаимодействии;

МФСА – Международный фонд спасения Арала.

ОДАМ – Осушенное дно Аральского моря.

ППБ – песчано-пылевые бури.

РГП – Республиканское Государственное Предприятие.

РТК – Репрезентативные траектории концентраций. Сценарии, которые включают временные ряды выбросов и концентраций всего набора парниковых газов, аэрозолей и химически активных газов.

Суховей – тип погоды, характеризуемый высокой температурой воздуха и низкой относительной влажностью воздуха, часто в сочетании с умеренным (6–9 м/с) или сильным (10 м/с и более) ветром. В дневные часы относительная влажность воздуха при суховеях составляет менее 30% (порой снижаясь до 10–15% и даже менее), а температура воздуха составляет выше 25–30⁰С (иногда 40⁰С и выше).

Фитомелиорация – комплекс мероприятий по улучшению условий природной среды путем культивирования или поддержания естественных растительных сообществ.

Эвапотранспирация – количество влаги, переходящее в атмосферу в виде пара в результате десукции и последующей транспирации (физиологическое испарение) и физического испарения из почвы и с поверхности растительности.

Экологический риск – количественная или качественная оценка экологической опасности неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

ВВЕДЕНИЕ

Проведение комплексной исследовательской оценки природного и экологического состояния казахстанской части ОДАМ – обоснование и задачи исследования

Регулирование и широкое использование водных ресурсов в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи для развития орошаемого земледелия привели к резкому сокращению притока воды в дельты рек и практически к полному прекращению попусков воды в Аральское море. С исчезновением большей части Аральского моря на бывшем морском дне формируются наземные комплексы первичных морских равнин [1]. Они характеризуются исключительной динамичностью, мобильностью и неустойчивым механизмом межкомпонентных связей [2]. Процессы высыхания Аральского моря привели к образованию новой формации почвенного покрова обсохшего дна. Изучение вновь образовавшейся суши очень важно, так как она является источником пыльных бурь и солей, переносимых на значительные расстояния [3]. В настоящее время полоса осушки Большого Аральского моря достигает от 1–2 км вдоль чинка и западного берега Западного водоёма до более 150–200 от восточного побережья. Значительная площадь морского дна обнажилась и подверглась опустыниванию.

К настоящему времени площади обсохшего дна в пределах Казахстана достигла 3 млн га. Его поверхность выглядит как песчано-солончаковая пустыня, но занята довольно разнообразным почвенным покровом. Прежде всего это обусловлено различной глубиной залегания и минерализацией грунтовых вод, а также очень пестрым литологическим составом отложений морского дна. Глубина залегания грунтовых вод изменяется в широких пределах – от 0,5 до 5, а на песках – до 10 м и более. С удалением от реликтового берега моря в сторону современного и к внутренним водоемам уровень грунтовых вод постепенно приближается к дневной поверхности. Минерализация их варьирует в больших пределах – от 15–17 до 100–200 г/л. В составе солей много сульфатов и хлоридов.

На фоне тяжелосуглинистых и глинистых грунтов и сильно минерализованных грунтовых вод формируются различные подтипы приморских солончаков – от автоморфных остаточных до гидроморфных [4]. Содержание солей в верхних горизонтах достигает 20–27%.

В полугидроморфных и умеренно гидроморфных условиях образуются сочетания корково-пухлых и пухлых солончаков, поверхность которых часто представлена порошистым слоем, легко поддающимся дефляции. Такие солончаки являются активными продуцентами солей, выносимых ветром с территории, ранее занятой морем, на прилегающие поверхности суши [4].

Значительная часть морского дна сложена песчаными или иловато-песчаными отложениями. В свое время, при близком залегании грунтовых вод, почвообразовательные процессы здесь также протекали по солончаковому типу, в результате чего в почвах накопилось до 10–12% солей. Наступившее затем обсыхание почвогрунтов сопровождалось активизацией эолово-дефляционных процессов. И хотя в песчаных солончаках солей содержится меньше, чем в суглинисто-глинистых, они тем не менее становятся мощным фактором соле- и пылепереноса, поскольку легче и глубже перерабатываются ветром. Результатом такой обработки и переноса первоначально явилось формирование эолового рельефа по периметру реликтового взморья. А со временем, вслед за обсыханием дна, такое явление распространилось и в глубь территории, ранее занятой морем. [4]

Поиск решения проблем сформированной огромной первичной суши на месте бывшего Аральского моря и его негативного влияния на благосостояние и здоровье населения, водные и лесные ресурсы, биоразнообразие являются, бесспорно, актуальной. В этих условиях необходимо проведение комплексных научно-прикладных исследований по оценке состояния природных комплексов ОДАМ, оценке их устойчивости и условиям адаптации к изменениям климата.

Изучению состояния природной среды Приаралья посвящено множество работ отечественных и зарубежных ученых и практиков. Однако исследования касались,

как правило, вдольбереговой зоны Аральского моря, низовий долины Сырдарьи и ее разновозрастных дельт. Детальные гидрогеологические и почвенные исследования песков и солончаков, образовавшихся на ОДАМ, с отбором проб для качественного анализа, не проводилось.

Проблема выращивания лесных насаждений на ОДАМ напрямую связана с современными климатическими условиями – с количественными параметрами и режимом атмосферных осадков, температуры воздуха, ветра, а также наличием водных ресурсов. Эти компоненты, в свете поставленной цели, подлежат первоочередному рассмотрению, поскольку определяют наличие грунтовых вод как источника влаги для растительности и почвенного слоя, способного обеспечить растения необходимыми питательными веществами.

Неблагоприятные климатические и водоресурсные возможности региона вносят существенные препятствия даже для произрастания местных пустынных видов растительности. Аридные условия региона характеризуются низким количеством атмосферных осадков (менее 120 мм в год), высокой температурой воздуха (в январе -10°C , в июле $+26^{\circ}\text{C}$), сильными постоянными ветрами, суховеями, пыльными бурями (40 и более дней в год).

Составление обзорной гидрогеологической карты распространения грунтовых вод на ОДАМ диктуется следующими предпосылками. Постоянное снижение объема стока реки Сырдарьи, прогрессирующее сокращение площади ее авандельты, деградация системы дельтовых озер привели к осушению больших пространств, образованию безжизненной пустыни Аралкум, сокращению орошаемых земель. Использование стока реки Сырдарьи для орошения плантаций саксаула, ввиду их ограниченности и удаленности, не представляется возможным. В связи с изложенным назревает необходимость в изучении объема и качества первого от поверхности водоносного горизонта (в основном грунтовых вод), доступных для корневой системы пустынной растительности. При этом наиболее изученные напорные подземные воды верхнемеловых водоносных горизонтов залегают на глубинах более 400 м от поверхности земли. Их извлечение и использование сопряжено со значительными финансовыми затратами. В то же время остается не изученным в достаточной мере потенциал неглубоко залегающих грунтовых вод. На отдельных участках ОДАМ, при исследовании космических снимков, наблюдается прослеживание более обводненных подрусловых дельтовых потоков грунтовых вод реки Сырдарьи, которые могут быть использованы для лесомелиорации. Кроме того, имеются значительные объемы сбросных дренажных вод (Казалинский массив орошения), которые фильтруются в грунты. Изучение состава и минерализации этих вод позволит выяснить возможность их использования для полива лесонасаждений на ОДАМ.

Малоизученными остаются грунты и формирующиеся на них почвы ОДАМ. Бурые пустынные солонцеватые, такыры и приморские почвы, получившие распространение на ОДАМ, требуют скрупулезного изучения с точки зрения возможности произрастания на них галофитовой травянистой, а также древесно-кустарниковой растительности. Выбор этих традиционные видов продиктован их способностью выживать при практически полном отсутствии гумуса на преимущественно песчаных почвах, питаемых неглубоко залегающей слабоминерализованной водой.

Для оперативной оценки изменений пространственной информации указанной территории необходимо проведение исследований, мониторинговых наблюдений с применением новейших геоинформационных технологий и возможностей ДЗЗ, создание комплекса инвентаризационных, оценочных и рекомендательных карт. Карты могут содержать различную информацию в зависимости от сферы применения для принятия решений или оценки текущей ситуации.

Необходимость обеспечения всех заинтересованных лиц актуальными геоданными для принятия эффективных решений по управлению природными ресурсами и мер по облесению

в долгосрочной перспективе делает актуальной задачу подготовки карт по климату, гидрогеологических условий и почвенного покрытия в виде геоинформационной базы данных.

В связи с вышеизложенным была поставлена следующая цель исследования – проведение комплексной исследовательской оценки природного и экологического состояния казахстанской части ОДАМ с использованием современных технологий дистанционного зондирования и ГИС в сочетании с наземными работами.

Для достижения цели разработан следующий комплекс задач:

1. Проведение полевых исследований казахстанской части ОДАМ для сбора достоверных данных о климатических, почвенных, гидрогеологических условиях, необходимых для подготовки/подтверждения результатов дистанционного зондирования в рамках консорциумов проектов;
2. Составление цифровых карт климатических характеристик казахстанской части ОДАМ (температура воздуха, осадки, ветер, суховеи, влажность воздуха, засуха, пыльные бури, тепло и влагообеспеченность вегетационного периода) и предоставление долгосрочного прогноза изменения климата исследуемой территории (в цифровом виде);
3. Создание цифровой карты почв и наиболее распространенных грунтообразующих почв на казахстанской части ОДАМ с проведением полевых исследований и отбором проб для качественного анализа;
4. Создание цифровой гидрогеологической карты с определением близлежащих участков грунтовых вод и с полевыми исследованиями глубины и качества грунтовых вод (с преобразованием в цифровые данные);
5. Интегрирование полевых данных о площадях, глубине и качестве подземных вод в гидрогеологическую карту в цифровом формате;
6. Создание карт зон экологического риска казахстанской части ОДАМ на основе прошлых и прогнозируемых данных зоны наводнения, развития песчаных бурь);
7. На основе проведенных исследований разработка рекомендации по дальнейшему мониторингу природных систем, по будущим мероприятиям по облесению ОДАМ;

Работа выполнялась сотрудниками Международного научного комплекса «Астана» в сотрудничестве со специалистами Исполнительной Дирекции МФСА в Республике Казахстан и Барсакельмесского заповедника по совместно согласованной методике.

Исследование включало камеральные и полевые работы по изучению и картографированию климатических, почвенных и гидрогеологических условий с определением глубины залегания и качества грунтовых вод, составлению карты зон экологического риска с целью выявления наиболее благоприятных участков для лесомелиорации.

В качестве района исследования выбрана восточная половина казахстанской части ОДАМ с природными и водохозяйственными объектами (рисунок 1). Исследованию подверглась территория осушенного дна моря от отметки 53 м (уровень моря 1960 года) до нынешнего уреза воды восточной части Большого (Южного) Аральского моря (фактически возможного к нему приближения).

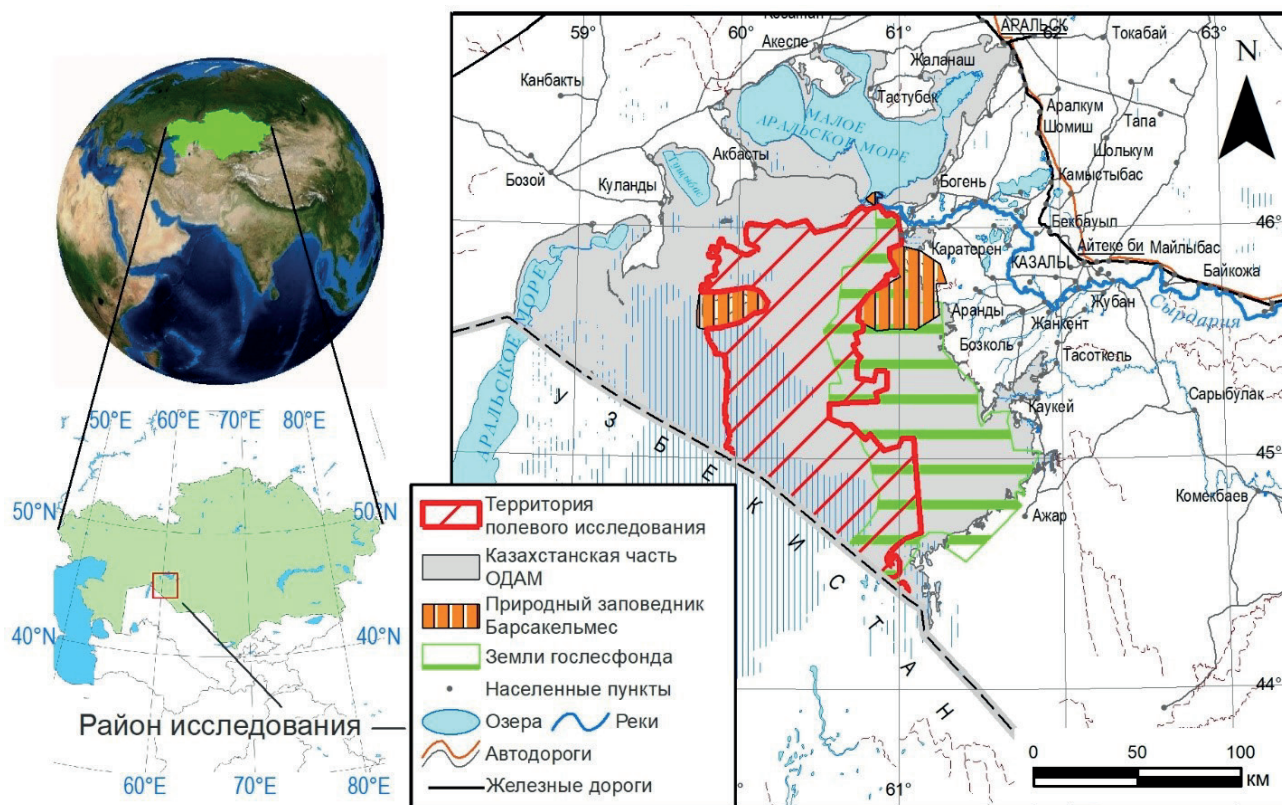


Рисунок 1. Территория исследований

Территория исследования относится к зоне экологического бедствия, которое было одной из крупнейших экологических катастроф на планете, в результате разрушения природных экосистем, деградации флоры и фауны и причинения значительного ущерба здоровью населения в результате неблагоприятной экологической обстановки. Площадь казахстанской части ОДАМ составляет 3 029 285 га. Восточная часть казахстанской части ОДАМ, выбранной в качестве территории исследования расположена между $44^{\circ}30'$ и $46^{\circ}05'$ северной широты и $59^{\circ}45'$ и $61^{\circ}07'$ восточной долготы и имеет площадь 1 071 967 га.

Казахстанская часть ОДАМ в настоящее время представляет собой первично-морскую равнину с солончаками маршевыми, приморскими и соровыми, местами с навейным песчаным чехлом и системой береговых валов различной сохранности. В административном плане она входит в пределы Аральского района Кызылординской области. Территория ОДАМ, как следствие одной из крупнейших экологических катастроф планеты, включена в зону экологического бедствия [5].

Район работ представляет собой плоскую или слабоволнистую равнину с общим уклоном на север к акватории Арала. Поверхность равнины весьма полого опускается к Аральскому морю. Абсолютные высоты территории исследования изменяются от 53 м на восточном бывшем берегу моря, до 25–30 м на западе.

Формирование ОДАМ произошло в течение последних 60 лет и характеризуется динамичностью изменений природных комплексов, связанных с глобальными и локальными изменениями климата. Уровень моря упал на 28 м, площадь сократилась на 74%, объем уменьшился на 90%, акватория моря распалась на ряд изолированных частей, соленость выросла с 10 до более чем 100 г/л. Эти изменения привели к необратимым экологическим последствиям, к деградации прибрежных и дельтовых экосистем, возникновению пыле-солевых бурь [6].

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 [7].

Экологическая катастрофа Аральского моря стала результатом решения правительства СССР в 1960-х годах осуществить сельскохозяйственный проект по увеличению производства хлопка в советской Средней Азии [8]. Расширение орошаемых полей привело к резкому сокращению объема воды, сбрасываемого в море. Озеро постепенно сокращалось из-за отсутствия подпитки реками и высокого испарения в летнее время. Пыльные и песчаные бури происходили в районе Аральского моря на протяжении тысячелетий, но ускоренное усыхание моря в 1970-х годах привело к важным изменениям в частоте, составе и структуре пыльных бурь [8].

1. МЕТОДЫ КАМЕРАЛЬНЫХ И ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ КАРТ

Комплексная исследовательская оценка природного и экологического состояния казахстанской части ОДАМ опиралась на ряд традиционных полевых, лабораторных и камеральных методов, с дополнением методами геоинформационного картографирования и привлечения методов обработки данных дистанционного зондирования. Исследование включало в себя три этапа работ: подготовительный, полевой и камеральный.

Методы подготовительного этапа включали методы систематизация имеющихся картографических и аналитических данных, методы сравнительного анализа, методы пространственно-временной оценки изменений природных комплексов, методы создания предполевых тематических карт и схем с применением данных ДЗЗ;

Методы полевых исследований включали геодезические методы создания сети опорных точек на основе применения высокоточного оборудования; методы картирования ключевых участков; методы полевого описания почво-грунтов с отбором проб на механический состав и качество; методы изучения глубин залегания грунтовых вод с отбором проб на анализ их качества; методы геоботанического анализа; корректировка предполевых карт и схем.

1.1. Подготовка векторной основы для тематических карт казахстанской части осушенного дна Аральского моря

Подготовка векторной основы для тематических карт проекта проводилась с использованием ГИС-технологий и осуществлялась в камеральный подготовительный период. Первоначальным этапом создания цифровых карт явилась обработка спутниковых данных высокого разрешения по территории казахстанской части ОДАМ. Актуальные снимки позволили произвести ряд необходимых коррекций и последующих классификаций с выделением различных классов для экспорта в ГИС. Картографические материалы (цифровые слои картографической основы, космические снимки) организуются в ГИС с сопряженной базой данных в программе ArcGIS 10.8.

Были созданы следующие актуальные слои по природным и антропогенным комплексам:

Природные: водные объекты (полигональные: море, озера: линейные: реки, временные водотоки); контур береговой линии Аральского моря 1972 г. (53 м) (линейный слой); песчаные массивы (полигональный слой); осушенное дно Аральского моря.

Антропогенные: Населённые пункты (полигональный слой); Железные и автомобильные дороги (линейный слой); Государственные, областные и районные границы (линейный слой); Земли гослесфонда (полигональный слой); Лесопосадки (полигональный слой). Указанные слои представлены на рисунке 1.1.

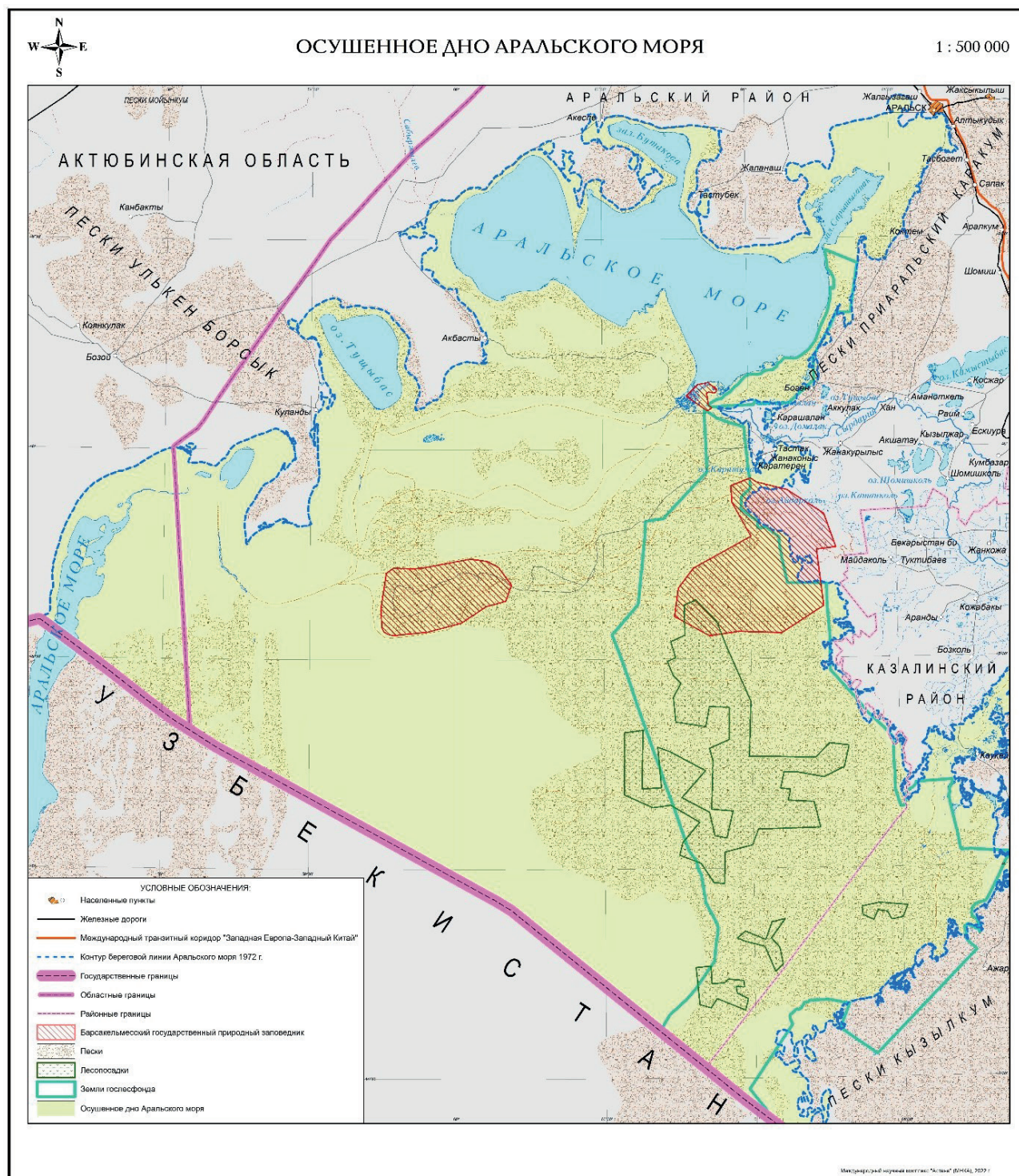


Рисунок 1.1. Картографическая основа казахстанской части ОДАМ

1.2. Методы изучения и картографирования климатических условий

Климатические условия проанализированы согласно рекомендациям ВМО. Используются данные метеорологических станции РГП «Казгидромет» за период с 1991 по 2021 год, в том числе взятые из различных интернет-ресурсов за последний тридцатилетний период. Для создания климатических карт применяли инструмент пространственного анализа ГИС ArcGIS Desktop 10.8. Значения метеорологических показателей наносились на точку расположения метеорологических станций, с учетом рельефа местности и построены изолиний с определенной градацией. Количественные значения в точках, где отсутствуют данные, определены методом интерполяции.

Оценка климатических условий и их изменений на перспективу необходимы для определения потенциальных последствий и принятия своевременных и адекватных мер адаптации к изменениям климата, в конечном итоге, для обеспечения устойчивого развития региона.

Оценка вероятного изменения температуры приземного воздуха и количества осадков на территории казахстанской части ОДАМ получены на основе ансамбля из 21-ой сопряженной модели общей циркуляции атмосферы и океана для двух характеристик внешнего фактора – репрезентативных траекторий концентрации парниковых газов и аэрозолей в атмосфере РТК4.5 (средний сценарий) и РТК8.5 (жесткий сценарий) для периодов 1980–1999 гг. и 2020–2060 гг.

Период 2020–2060 гг. был разбит на два двадцатилетних периода (2020–2039 гг. и 2040–2059 гг.), которые характеризуют возможное изменение климата к 2030 г. и 2050 г. (середины периодов 2020–2039 гг. и 2040–2059 гг.).

Изменения климата оценивались относительно базового (исторического) периода 1980–1999 гг. Изменения температуры рассчитаны как разность между средними многолетними ожидаемыми значениями и средними многолетними значениями за базовый (исторический) период. Изменение в количестве осадков рассчитаны как отношение (в процентах) средних многолетних сумм осадков, смоделированных на будущее, к уровню количества осадков в базовый период.

РТК определяются суммарной величиной радиационного воздействия в 2100 г. по сравнению с 1750 г.: 2,6 Вт/м² для РТК2.6; 4,5 Вт/м² для РТК4.5; 6,0 Вт/м² для РТК6.0 и 8,5 Вт/м² для РТК8.5. Эти четыре РТК включают один сценарий сокращения выбросов, который предполагает весьма низкий уровень воздействия (РТК2.6); два сценария стабилизации (РТК4.5 и РТК6.0) и один сценарий с весьма высокими уровнями выбросов парниковых газов (РТК8.5) [12].

Для увеличения масштаба (регионализации) выходных данных модели общей циркуляции атмосферы и океана и приведения к единой широтно-долготной сетке был использован статистический метод [34], результаты которого представлены на платформе NASA NEX (National Aeronautics and Space Administration, NASA Earth Exchange, <https://cds.nccs.nasa.gov>), предназначенной для научного сотрудничества мирового научного сообщества, обмена знаниями и исследованиями. Была выполнена регионализация расчетных данных каждой из моделей глобального климата по температуре воздуха и количеству осадков в узлы координатной сетки 25 x 25 км. Для территории ОДАМ количество узлов сетки составляет около 1100, что значительно улучшает пространственную детализацию климатических данных и их использование в задачах оценки воздействия изменений климата.

1.3. Методы гидрогеологических исследований

Виды, объемы, последовательность и методика проведения исследований, входящих в состав гидрогеологической съемки, должны обосновываться и выполняться с учетом геолого-гидрогеологических условий изучаемого района и успешного решения основных и дополнительно поставленных перед съемкой задач [13]. Они включают сбор ранее приводимых геологических, геоморфологических, гидрологических и гидрогеологических наблюдений. Различного рода наземные визуальные наблюдения проведены в процессе маршрутных исследований картографируемой территории, являющихся одним из основных неотъемлемых видов работ при гидрогеологической съемке. Полученный в результате маршрутных исследований материал является важным для изучения и оценки верхних водоносных горизонтов (вскрываемых эрозией 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 [7].

Методы исследований гидрогеологических условий ОДАМ сформированы исходя из следующих объективных предпосылок:

- практически для всей территории Казахстана в основном в советский период составлены гидрогеологические карты масштаба 1:200 000. Для территории ОДАМ гидрогеологические исследования не проводились, гидрогеологических карт нет;
- в соответствии с целью проекта исследованию подлежат только подземные воды первого от поверхности водоносного горизонта;

Методика полевых и камеральных исследований по созданию для территории ОДАМ обзорной карты распространения и условий залегания грунтовых вод состояла из следующих шагов:

- провести сбор, картографическую привязку и анализ имеющихся гидрогеологических карт прибрежной зоны бывшего Аральского моря, с акцентированием внимания на общих условиях залегания, закономерностях распределения и формирования грунтовых вод.
- провести предполевое дешифрирование космических снимков с выделением наиболее увлажненных участков ОДАМ, уделить внимание району авандельты реки Сырдарьи и участкам развития песчаных отложений с возможным залеганием линз и выдержанных по площади горизонтов грунтовых вод;
- определить точки отбора проб грунта на засоленность и состав, поверхностной и грунтовой воды на качественный и количественный состав.

Пробы грунтовых вод отбирать в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа». Образцы передать в аттестованную лабораторию химико-аналитических методов исследования Института гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина для проведения сокращенного химического анализа проб воды, то есть для определения плотного остатка, pH, Cl, SO₄, HCO₃, NO₃, CO₃, Ca, Mg, Na, K, CO₃, H₂CO₃.

Объем проб воды, отбираемых на лабораторные исследования из подземных источников на сокращенный химический анализ, должен составлять не менее 0,5 литра.

Для получения достоверных характеристик химического состава и свойств грунтовых вод необходимо соблюдать установленные правила и требования. Полевое опробование включает выбор и подготовку водопунктов для опробования, отбор и консервацию проб, а также определение отдельных компонентов непосредственно у водного источника.

Для отбора проб необходимо использовать специальные емкости из гладкостенного полиэтилена. Перед отбором проб емкости тщательно очищать от механических и химических примесей. Емкости с пробами закрывать чистыми пробками. Перед заливкой пробы емкость и пробку ополаскивались исследуемой водой 2–3 раза.

Емкости с пробами воды должны быть четко маркированы, приложены паспорта (этикетка) установленной формы, на котором отражаются основные сведения о виде лабораторного анализа, местоположении водопункта, дате и глубине отбора, объеме пробы, способе консервирования, наличии осадка.

1.4. Методы почвенных исследований

Почвенные исследования состояли из:

1. Полевого изучения почвенного покрова по маршрутам экспедиции;
2. Лабораторных анализов отобранных образцов;
3. Анализа полученных данных и составления почвенной карты.

Полевое исследование включало 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. Пробы отобраны в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа». Для проведения крупномасштабных почвенных изысканий придерживались соответствующих методических рекомендаций [4, 5]. Физико-химические параметры почв изучались общепринятыми методами [6–8].

Для бурения и отбора почвенных образцов применялись мотобур и ручной почвенный бур. Основные характеристики бура – диаметр пробоотборника до 70 миллиметров, глубина отбора пробы от 0,2 до 3,0 метров, масса отбираемой единичной пробы не менее 200 граммов. Отобранные на лабораторные исследования пробы почв снабжались этикеткой, в которой указаны: объект, номер разреза, глубина, дата отбора и фамилия исполнителя. На отобранные образцы составлялась ведомость, в которой указаны номера выработок, глубины отбора образцов и виды химических анализов.

Лабораторные исследования позволяют получать количественную информацию о химических и физических свойствах почв. Результаты лабораторных исследований являются основой для составления почвенных карт. Почвенные образцы передавались в аттестованную лабораторию химических анализов КазНИИ почвоведения и агрохимии имени У.У. Успанова для определения химического и физического состояния почв, содержания солей по полному составу водной вытяжки, ее анионному и катионному составу, содержания органического вещества (гумуса), запасов валового азота, фосфора, карбонатов, поглощенных оснований, определения pH почвы и механического (гранулометрического) состава почв.

Почвенное исследование преследовало цели изучить почвенный покров обсохшего дна моря, построить почвенную карту по состоянию на май 2022 года, проанализировать почвенный покров в связи с анализом вегетативного покрытия, выделить зоны возможных посадок растительности.

Разработка крупномасштабной почвенной карты с применением ГИС-технологий осуществлена на основе программного продукта ArcGIS с использованием отсканированных бумажных карт и аэрофотопланов.

1.5. Методы 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, прогнозирование их очагов [7].

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 [7].

В задачи ботанических исследований по определению состояния растительного покрова в весенний период входило определение видового состава и структуры растительных сообществ, оценка их современного состояния и выявление факторов, определяющих их трансформацию.

Описание растительных сообществ проводилось параллельно с почвенными исследованиями на каждой точке. На точках производилось геоботаническое описание растительных сообществ, результаты которых заносились в специальные бланки. В названиях растительных сообществ доминанты были указаны на первом месте, а субдоминанты и сопутствующие виды в соответствующем порядке.

Полевое изучение растительности проводилось методом детально-маршрутного обследования с фиксированием координат точек описания прибором GPS. Некоторые точки не были посещены или перенесены ввиду их недоступности.

При изучении растительного покрова территории обследования использовались традиционные методы геоботанических исследований [14].

Геоботаническое описание растительных сообществ проводится на предварительно установленных точках проектной территории в пределах 100 м², результаты которых вносятся в специально разработанные бланки описания. В бланках кроме стандартных показателей, характеризующих условия формирования растительности, отмечаются нарушения, признаки аномального развития, типы антропогенной нарушенности и примечания.

Для определения видов растений используются книги «Флора Казахстана», «Иллюстрированный определитель растений» и Плантариум [15, 16, 17].

1.6. Методы экологических исследований

Основным методом является изучение природных комплексов осушенного дна, прямое наблюдение, оценка состояния, описание выбранных полевых маршрутов, а также описание рельефа местности в точках, почвенного покрытия. 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 [7].

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 [7].

Следующий шаг экологического мониторинга – экологическое районирование территории [7]. 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 [7].

Постоянный мониторинг позволяет изучить изменения, происходящие в экосистеме. Важное значение для проведения мониторинга имеют автоматические и дистанционные устройства [7].

Прочими методами являются – методы лабораторных определений и анализа почво-грунтов и воды; методы камеральных исследований: методы дешифрирования КС и съемок с БПЛА (водные и вегетационные индексы); метод эталонных площадок; метод площадного сравнительного анализа сезонных и многолетних изменений природных комплексов; сравнительный анализ спектральных характеристик наземных и дистанционных данных; методы создания и редактирования геоинформационных слоев, геоинформационного картографирования, в т.ч. метод наложения векторных слоев и оценки изменений; сравнительный анализ, методы мелиорации песчаных и глинистых грунтов: экосистемный метод оценки лесорастительных условий; методы лесомелиоративных мероприятий.

В сфере экологических исследований интеграция дистанционных измерений с наземными замерами вызывает все больший интерес. В этом плане, ГИС и ДЗЗ относятся к наиболее успешно и динамично развивающимся инновационным направлениям [7].

ГИС представляет собой пакет программного обеспечения, предназначенный для создания, визуализации, поиска и анализа пространственных данных [18]. Пространственные данные относятся к информации о географическом положении объекта. Зачастую это предполагает использование географических координат, таких как широта и долгота, определяемое навигатором GPS. Под ДЗЗ обычно понимают измерение и наблюдение энергетических и поляризационных характеристик электромагнитного излучения различных объектов без непосредственного контакта с ними [18]. В современных терминах ДЗЗ – это использование технологий воздушных датчиков для обнаружения и классификации объектов на расстоянии на Земле, ее поверхности, атмосфере и океанах с помощью распространяемых сигналов [20]. Самыми распространенными видами ДЗЗ являются спутниковые снимки и аэрофотосъемка.

Основным инструментарием для анализа геоэкологической ситуации исследуемой территории использованы следующие методы:

- оценка состояния почвенно-растительного покрова по данным оптических систем дистанционного зондирования [21];
- мониторинг, моделирование и оценка экосистем [22];
- предыдущие исследования.

Очевидно, что каждая экспедиция по сбору полевых замеров на месте должна быть тщательно спланирована и оптимизирована. Исследования 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 местоположения тестовых участков исследования необходим анализ имеющихся данных, проведение первичной обработки данных ДЗЗ (включая неконтролируемую классификацию) и на основе этих материалов определить маршруты экспедиции, а также составить полевую форму для описания местности с фиксированием GPS-координат точек полевых наблюдений.

1.7. Проведение полевых исследований для сбора достоверных данных о климатических, почвенных и гидрогеологических условиях

Одной из основных задач, поставленных перед исследовательской группой, явилось проведение полевых исследований на казахстанской части ОДАМ для сбора достоверных данных о климатических, почвенных, гидрогеологических условиях. В связи с этим, в период с 24 апреля по 20 мая 2022 года проводились полевые исследования на территории

казахстанской части ОДАМ, включившие в себя почвенные, гидрогеологическое и геоботанические исследования.

В подготовительном этапе были определены основные задачи полевых исследований:

1. Описание современного состояния территории ОДАМ: земельный покров и преобладающие рельефообразующие процессы (с определением точных координат и абсолютных высот по GNSS-приемнику Spectra SP 60);

2. Геоботаническое описание растительных сообществ ОДАМ и выполнение аэрофотосъемочных работ в основных ключевых участках с применением БПЛА для оценки современного состояния растительного покрова;

3. Оценка современного состояния почвенного покрова и отбор проб для качественного анализа;

4. Оценка современного гидрогеологического состояния: измерение уровня грунтовых вод и определение их качества.

Для того чтобы получить общее представление о территории исследования, применен метод неконтролируемой классификации изображений k-means (k-средних) с целью определения границ спектрально-однородных регионов/контуров, представляющих однородные типы ландшафтов в 2022 году. 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.

Для планирования маршрута исследования и определения ключевых участков проведена неконтролируемая классификация k-means на основе дешифрирования актуальных космических снимков Sentinel-2, имеющие пространственное разрешение 10 м за сентябрь 2021 года (режим доступа <https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Наиболее популярными среди алгоритмов неконтролируемой классификации являются алгоритмы k-means и ISODATA. В нашем случае мы использовали алгоритм k-means [20] в программном комплексе SNAP с открытым исходным кодом, разработанное Европейским космическим агентством.

В качестве программного обеспечения для неконтролируемой классификации снимков был использован SNAP — программное обеспечение с открытым исходным кодом, разработанное Европейским космическим агентством. SNAP включает в себя панель Sentinel-Toolbox, специально предназначенную для обработки данных со спутников серии Sentinel.

Был составлен ряд схем и карт с использованием космических снимков и на основе имеющихся картографических материалов. Также определены основные маршруты и участки детальных исследований по результатам проведения неконтролируемой классификации различного периода доступных спутниковых снимков Landsat и Sentinel-2 (рисунок 1.2). Маршрут экспедиции составил около 2500 км (рисунок 1.3).

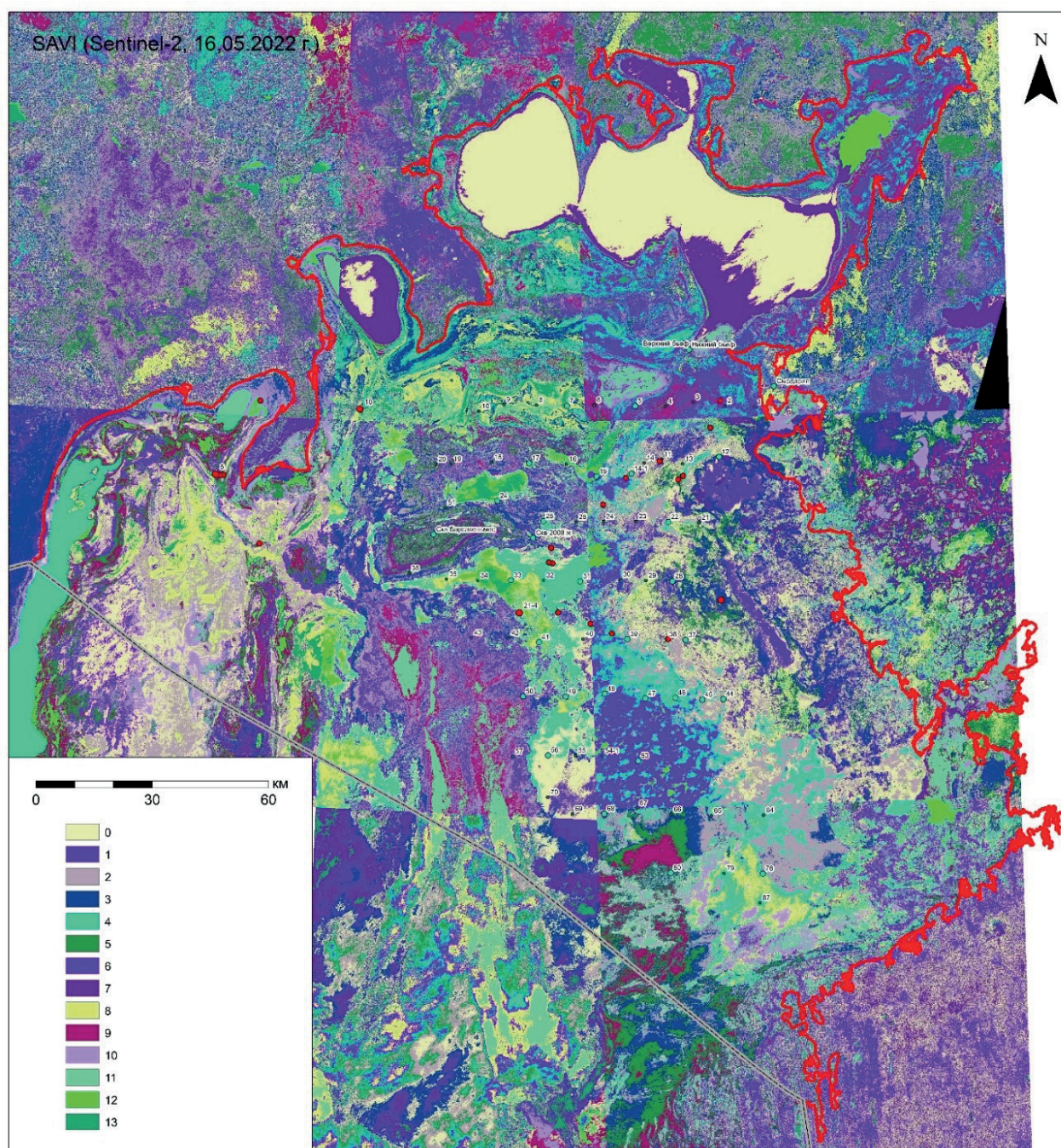


Рисунок 1.2. Карта неконтролируемых классов на основе Sentinel-2 от 16 мая 2022 г.

Признано, 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. Также в состав участков детальных полевых исследований мы не включили территории, занятые лесонасаждениями, в связи с отсутствием необходимости в фитомелиоративных работах.

При подготовке к работе на поле был сформирован состав экспедиции, которые были ознакомлены с правилами соблюдения техники безопасности при выполнении полевых работ.

Во время полевых работ проведены:

- описание современного состояния по ключевым участкам: земельный покров и преобладающие рельефообразующие процессы;
- определение точного координата и значения абсолютной высоты ключевых точек с помощью GNSS-приемника Spectra SP 60;
- геоботаническое описание растительных сообществ;
- аэрофотосъемочные работы с применением БПЛА для оценки современного состояния растительного покрова ключевых участков;
- закладка 68 почвенных разрезов, по которым выполнено морфологическое описание почвенного профиля и отобраны 348 почвенных образцов по генетическим горизонтам для качественного анализа;
- бурение 27 скважин глубиной до 6 метров с проведением замеров статического уровня грунтовых вод по 9 профилям, общий погонный метраж бурения составляет 140 м. Отобраны 32 пробы воды с разных уровней для сокращенного химического анализа, из них 1 проба из самоизливающей скважины, 1 проба из ранее пробуренной скважины, 3 с поверхностных источников, 27 из грунтовых вод.

Запланированные работы полностью достигли своих целей, собран обширный фактический материал. Собранные, систематизированы и унифицированы фондовые, опубликованные, статистические, картографические данные и оперативная информация по природным условиям (климат, поверхностные и подземные воды, водохозяйственные сооружения, рельеф, почвы, растительность, животный мир) района исследований для наполнения базы данных. Отобраны, систематизированы и предварительно обработаны разновременные космические снимки для составления тематических карт. Проведено полевое исследование, отобраны почвенные образцы в количестве 348 проб, образцы грунтовых вод в количестве 32 проб для лабораторного исследования. С помощью GNSS-приемника зафиксированы точные координаты и абсолютные высоты ключевых точек. В основных ключевых точках с помощью мультиспектральной камеры квадрокоптера проводились аэрофотосъемки для оценки современного состояния растительного покрова.

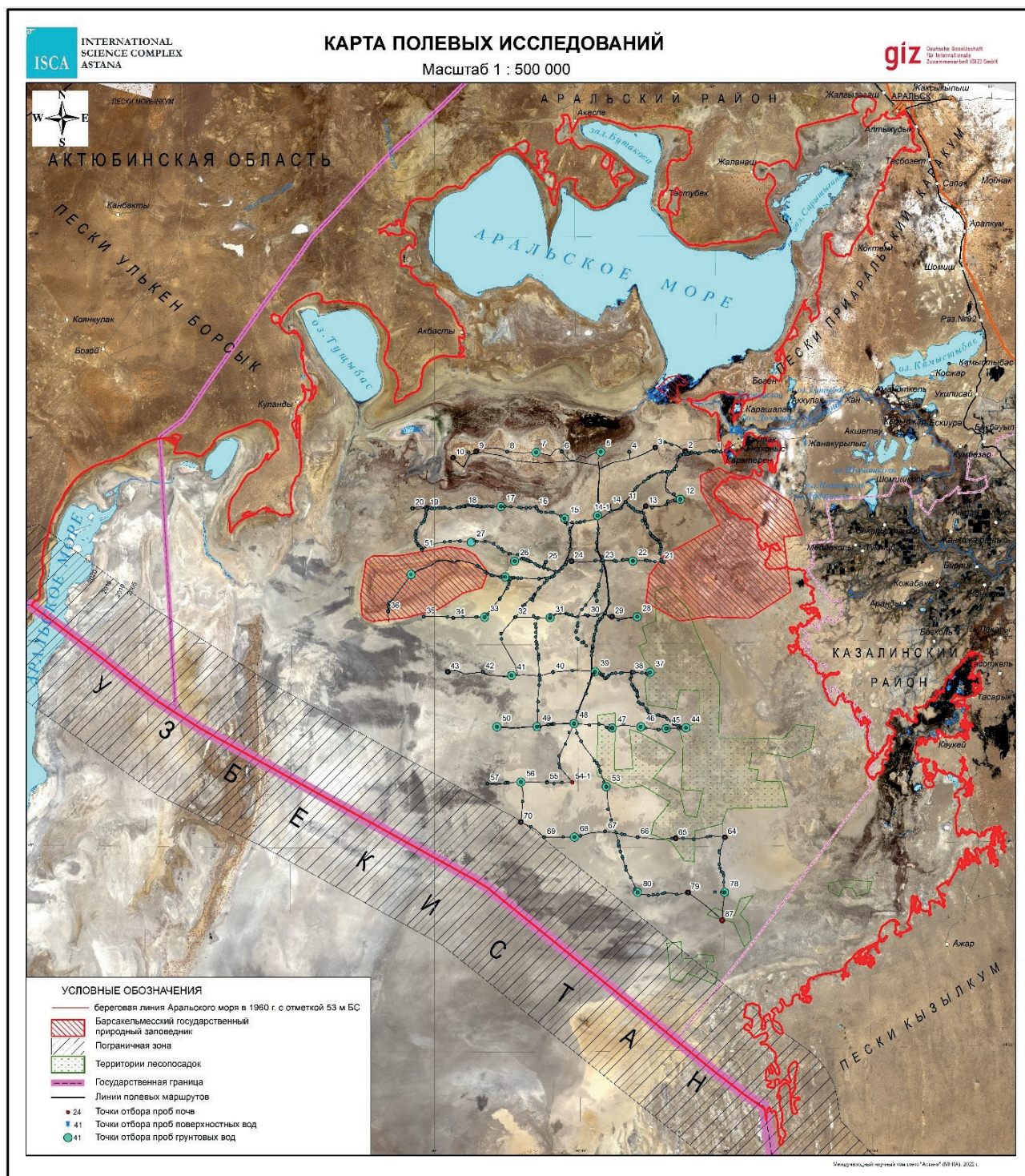


Рисунок 1.3. Маршрут исследования и точки отбора проб

По результатам обработки космических снимков отмечено 72 ключевых участка для детального исследования.

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.

Прямые методы исследований при проведении гидрогеологической съемки включают наземные маршрутные наблюдения, буровые работы с опробованием первого от поверхности

водоносного горизонта современных морских отложений, лабораторные исследования проб подземных и поверхностных вод.

Непосредственные маршрутные наблюдения на местности являются обязательным элементом гидрогеологической съемки. Они осуществляются комплексно и их результаты представляются наиболее важными для изучения и оценки верхних водоносных горизонтов (вскрываемых эрозионной сетью, колодцами и неглубокими картировочными скважинами) и составления соответствующей тематической гидрогеологической карты. По принятому маршруту на отдельных участках проводить при необходимости бурение картировочных скважин для определения уровня и минерализации безнапорных вод.

В полевой период в пределах ОДАМ пробурены 27 картировочных гидрогеологических скважин глубиной от 1,3 м до 5,2 м (средняя глубина 2,8 м) для вскрытия и опробования первого от поверхности водоносного горизонта современных морских отложений. Общий объем бурения 76,5 м, способ бурения ручной с применением мотобуров. Картировочные скважины размещены на поверхности осушенного дна Аральского моря с севера от контура Малого Арала на юг до границы с Узбекистаном на 9 широтных профилях от границ озерной котловины на востоке до контура Большого Арала на западе. Поверхность ОДАМ плоская, с абсолютными отметками 30–50 м, наклонена с востока на запад в сторону Большого Арала.

Расстояние между профилями 15–16 км. На отдельном профиле пройдены от 1–3 до 7 картировочных скважин. В каждой выработке проведен замер глубины уровня подземных вод, отобраны пробы воды и осадочных отложений на лабораторные анализы. Всего 27 проб подземных вод.

Отбор проб поверхностных вод на лабораторные анализы проведен в трех точках: р. Сырдарья–Гидроузел, Малый Арал–верхний бьеф Кокаральской плотины и Большой Арал – нижний бьеф Кокаральской плотины. На острове Барсакельмес обследованы и опробованы две ранее пробуренные гидрогеологические скважины.

В целом, в полевой период отобрано 32 пробы воды на лабораторные анализы. Пробы доставлены в г. Алматы, аналитические исследования выполнены в гидрохимическую лабораторию Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина. Координаты точек опробования сведены в таблице 1 и представлены на карте фактического материала (рисунок 1.4.).

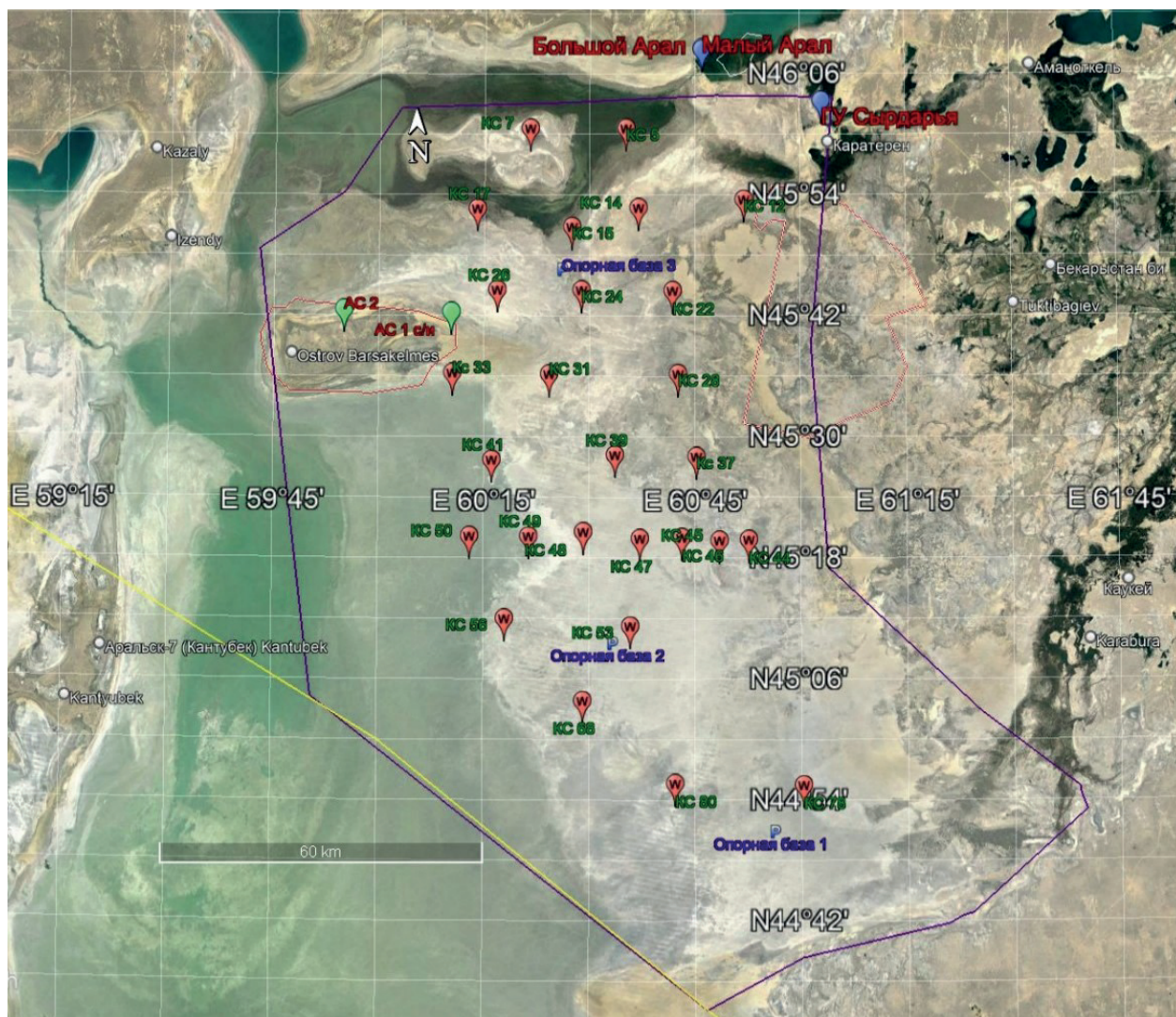
Таблица 1. Координаты картировочных скважин и точек отбора проб воды

№	Описание точки отбора	Географические координаты		Абсолютная отметка, м	Глубина скважины, м
		с.ш.	в.д.		
Осушенное дно Арала					
1.	Скв. 5	45° 58' 20,417" N	60° 35' 11,580" E	35,00	3,50
2.	Скв. 7	45° 58' 19,880" N	60° 21' 32,191" E	33,85	3,39
3.	Скв. 12	45° 51' 16,124" N	60° 51' 58,025" E	45,91	5,20
4.	Скв. 14	45° 50' 26,837" N	60° 36' 58,594" E	38,03	3,10
5.	Скв. 15	45° 48' 33,980" N	60° 27' 30,251" E	36,60	2,70
6.	Скв. 17	45° 50' 22,315" N	60° 14' 1,216" E	34,07	2,70
7.	Скв. 22	45° 42' 13,604" N	60° 41' 49,924" E	41,03	2,80
8.	Скв. 24	45° 42' 17,348" N	60° 28' 52,961" E	33,95	2,50
9.	Скв. 26	45° 42' 18,760" N	60° 16' 53,620" E	32,40	2,80
10.	Скв. 28	45° 33' 59,584" N	60° 42' 36,504" E	41,52	5,10

11.	Скв. 31	45° 33' 57,766" N	60° 24' 18,490" E	34,85	1,60
12.	Скв. 33	45° 34' 5,113" N	60° 10' 32,462" E	32,48	2,30
13.	Скв. 37	45° 25' 48,083" N	60° 45' 12,931" E	41,66	4,47
14.	Скв. 39	45° 25' 57,353" N	60° 33' 40,712" E	37,80	2,20
15.	Скв. 41	45° 25' 28,679" N	60° 16' 9,926" E	32,80	2,00
16.	Скв. 44	45° 17' 34,696" N	60° 52' 37,020" E	42,04	3,20
17.	Скв. 45	45° 17' 30,012" N	60° 48' 28,184" E	40,69	3,15
18.	Скв. 46	45° 17' 46,730" N	60° 43' 9,624" E	38,69	2,10
19.	Скв. 47	45° 17' 40,189" N	60° 37' 12,367" E	37,66	2,30
20.	Скв. 48	45° 18' 20,279" N	60° 29' 12,001" E	35,43	2,50
21.	Скв. 49	45° 17' 54,589" N	60° 21' 27,072" E	33,70	2,00
22.	Скв. 50	45° 17' 55,536" N	60° 13' 2,442" E	31,95	2,30
23.	Скв. 53	45° 9' 0,367" N	60° 35' 51,137" E	37,09	2,00
24.	Скв. 56	45° 9' 45,504" N	60° 18' 1,955" E	34,20	1,30
25.	Скв. 68	45° 1' 37,042" N	60° 29' 7,296" E	35,38	2,60
26.	Скв. 78	44° 53' 15,565" N	61° 0' 16,038" E	42,04	3,90
27.	Скв. 80	44° 53' 24,234" N	60° 42' 10,991" E	39,40	2,80
Точки отбора поверхностных вод					
28.	Малый Арал	46° 06' 19,9" N	60° 46' 2,03" E	42,00*	0,00
29.	Большой Арал	46° 06' 11,9" N	60° 46' 0,8" E	29,00*	0,00
30.	ГУ р. Сырдарьи	46° 01' 4,69" N	61° 03' 1,72" E	51,00*	0,00
Артезианские скважины					
31.	Скв. 1 – Самоизлив	45° 40' 7,9" N	60° 10' 21,2" E	37,00*	0,20
32.	Скв. 2 – о. Барсакельмес	45° 40' 22,5" N	59° 55' 03,8" E	53,00*	35,6

Примечание: * - значения абсолютных отметок сняты с изображений Google Earth Pro

В камеральный период обработки материалов полевых исследований проведены обобщение и анализ результатов лабораторных исследований проб поверхностных и подземных вод, составлена карту фактического материала с нанесением данных полученных полевых и лабораторных исследований.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Контур территории исследований



Артезианская скважина и ее номер



Точки отбора поверхностных вод с привязкой



Картировочная скважина и ее номер

Рисунок 1.4. Карта точек опробования

На основе собранных полевых, камеральных, лабораторных материалов, информации по гидрогеологической изученности района составлен отчет по проделанной работе и тематическая гидрогеологическая карта распространения и условий залегания подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта на территории ОДАМ (условия залегания и распространения, состав водовмещающих отложений и подземных вод).

2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

2.1. Режим температуры воздуха

На территории казахстанской части ОДАМ температура воздуха растет с севера на юг. Средняя годовая температура воздуха составляет на севере ОДАМ 8,5–9,0⁰С, в центральной части 9,5–10,0⁰С, а на юге 10,5–11,0⁰С (таблица 2.1, рисунок 2.1–2.2). Карты температуры воздуха по месяцам представлены в приложениях 1–12.

Таблица 2.1. Средняя, наибольшая и наименьшая годовая температура воздуха за период 1991–2021 гг. (°С)

Метеостанция	Средняя	Наибольшая	Наименьшая
Арал тенизи	9,1	10,8	6,7
Куланды	9,7	11,3	7,1
Казалы	9,8	11,1	7,3
Каукей	10,3	11,5	7,5

Из года в год температура воздуха колеблется в широких пределах. Например, в ОДАМ средняя годовая температура воздуха в теплые годы составляет 10,5–11,5⁰С (наибольшая), а в холодные годы 6,5–7,5⁰С (наименьшая). Холодными были 1992–1994, 1996 и 2018 годы. Теплыми были 2004, 2013, 2016 и 2021 годы. Динамика средней годовой температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет тенденцию роста (рисунок 2.1).

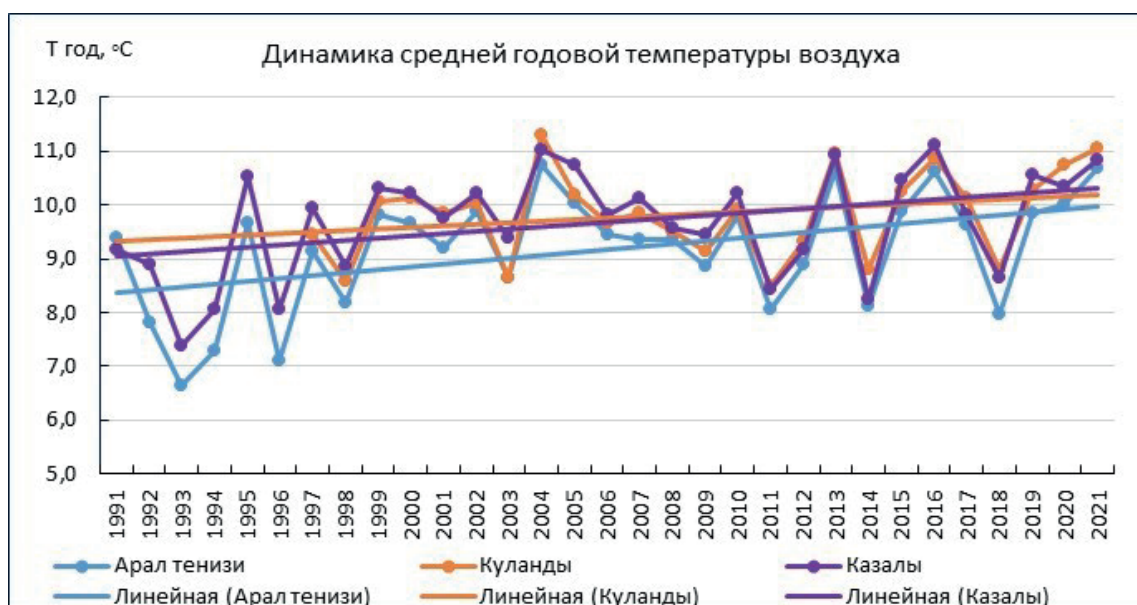


Рисунок 2.1. Многолетняя динамика средней годовой температуры воздуха

На территории ОДАМ летом разница температуры север-юг незначительная, но к зиме возрастает. Например, разница средних месячных температур воздуха в июле составляет 0,5⁰С, а в январе минус 4,0⁰С. Здесь летом бывает жарко, средняя за июль температура воздуха составляет 27,5–28,0⁰С, а зима бывает достаточно холодной, средняя за январь температура воздуха составляет минус 7,5–11,5⁰С (таблица 2.2).

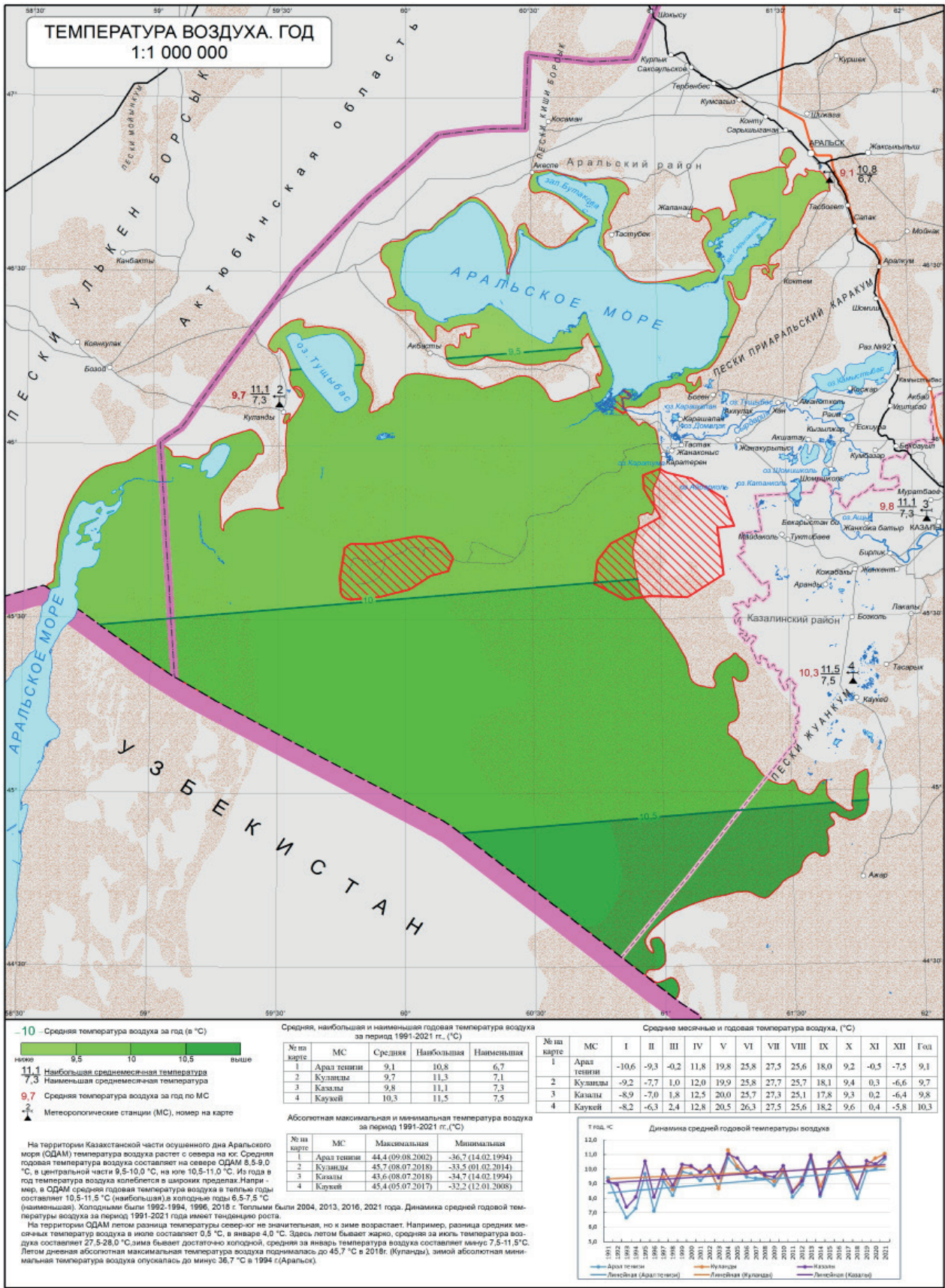


Рисунок 2.2. Карта средней годовой температуры воздуха

Таблица 2.2. Средние месячные и годовая температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$)

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Арал тенизи	-10,6	-9,3	-0,2	11,8	19,8	25,8	27,5	25,6	18,0	9,2	-0,5	-7,5	9,1
Куланды	-9,2	-7,7	1,0	12,0	19,9	25,8	27,7	25,7	18,1	9,4	0,3	-6,6	9,7
Казалы	-8,9	-7,0	1,8	12,5	20,0	25,7	27,3	25,1	17,8	9,3	0,2	-6,4	9,8
Каукей	-8,2	-6,3	2,4	12,8	20,5	26,3	27,5	25,6	18,2	9,6	0,4	-5,8	10,3

Летом дневная абсолютная максимальная температура воздуха поднималась до $45,7^{\circ}\text{C}$ в 2018 году (Куланды), зимой абсолютная минимальная температура воздуха опускалась до минус $36,7^{\circ}\text{C}$ в 1994 году (Аральск) (таблица 2.3).

Таблица 2.3. Абсолютная максимальная и минимальная температура воздуха за период 1991-2021 гг. ($^{\circ}\text{C}$)

Метеостанция	Максимальная	Минимальная
Арал тенизи	44,4 (09.08.2002 г.)	-36,7 (14.02.1994 г.)
Куланды	45,7 (08.07.2018 г.)	-33,5 (01.02.2014 г.)
Казалы	43,6 (08.07.2018 г.)	-34,7 (14.02.1994 г.)
Каукей	45,4 (05.07.2017 г.)	-32,2 (12.01.2008 г.)

Январь. В январе температура воздуха в среднем составляет на севере ОДАМ минус $11,0^{\circ}\text{C}$, в центральной части – минус $9,0-10,0^{\circ}\text{C}$, а на юге – минус $8,0^{\circ}\text{C}$. Из года в год температура воздуха колеблется в широких пределах. В ОДАМ средняя за январь температура воздуха в теплые годы составляет минус $1,1-3,3^{\circ}\text{C}$ (наибольшая), а в холодные годы – минус $19,7-21,1^{\circ}\text{C}$ (наименьшая). Январь был холодным в 2006 и 2008 годах, теплым – в 2002, 2007, 2016 и 2020 годах. Динамика средней за январь температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет очень слабую тенденцию роста (таблица 2.4, рисунок 2.3).

Таблица 2.4. Средняя, наибольшая и наименьшая месячная температура воздуха января за период 1991–2021 гг. ($^{\circ}\text{C}$)

Метеостанция	Средняя	Наибольшая	Наименьшая
Арал тенизи	-10,6	-3,3	-21,1
Куланды	-9,2	-2,7	-19,7
Казалы	-8,9	-1,6	-19,9
Каукей	-8,2	-1,1	-19,7

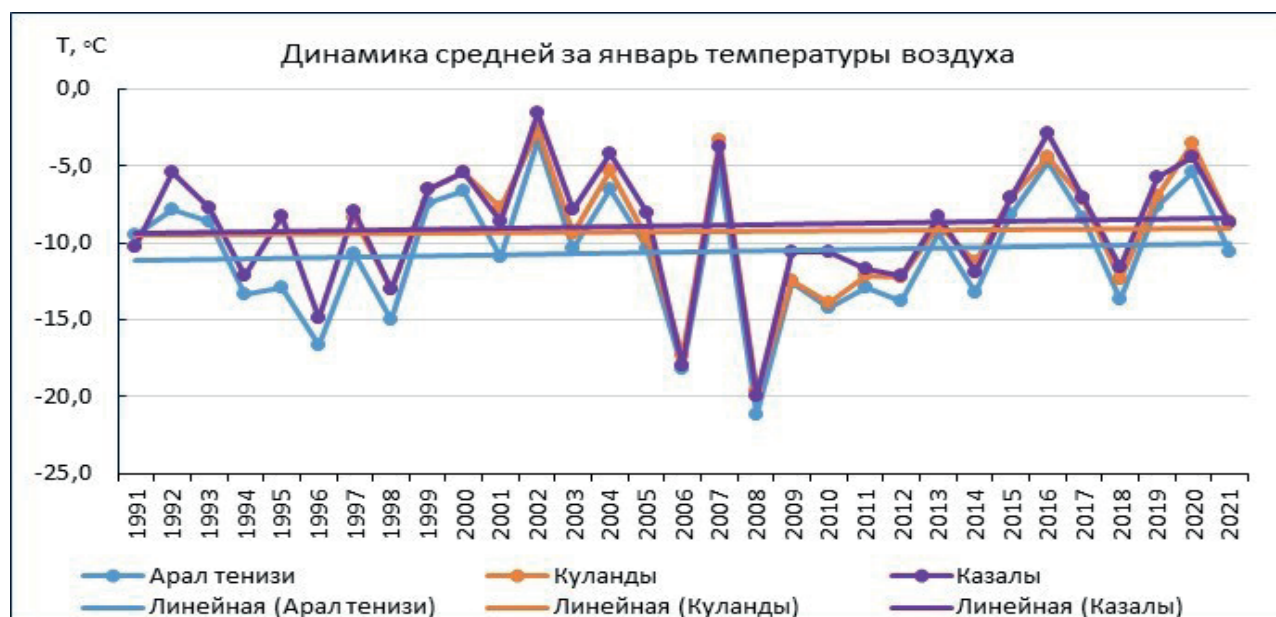


Рисунок 2.3. Многолетняя динамика средней за январь температуры воздуха

Февраль. В феврале температура воздуха в среднем составляет на севере ОДАМ минус $10,0^{\circ}\text{C}$, в центральной части – минус $8,0^{\circ}\text{C}$, а на юге – минус $6,0^{\circ}\text{C}$. Из года в год температура воздуха колеблется в широких пределах. Средняя за февраль температура воздуха в теплые годы составляет $1,5$ –минус $0,5^{\circ}\text{C}$ (наибольшая), а в холодные годы – минус $14,8$ – $18,2^{\circ}\text{C}$ (наименьшая). Февраль был холодным в 1994, 1996, 2012 и 2014 годах, теплым – в 2002, 2016 и 2020 годах. Динамика средней за февраль температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет очень слабую тенденцию роста. Тенденция снижения на метеостанции Куланды объясняется отсутствием данных в начальные 6 лет (таблица 2.5, рисунок 2.4).

Таблица 2.5. Средняя, наибольшая и наименьшая месячная температура воздуха февраля за период 1991–2021 гг. ($^{\circ}\text{C}$)

Метеостанция	Средняя	Наибольшая	Наименьшая
Арал тенизи	-9,3	-0,5	-18,2
Куланды	-7,7	0,1	-16,3
Казалы	-7,0	1,0	-15,6
Каукей	-6,3	1,5	-14,8

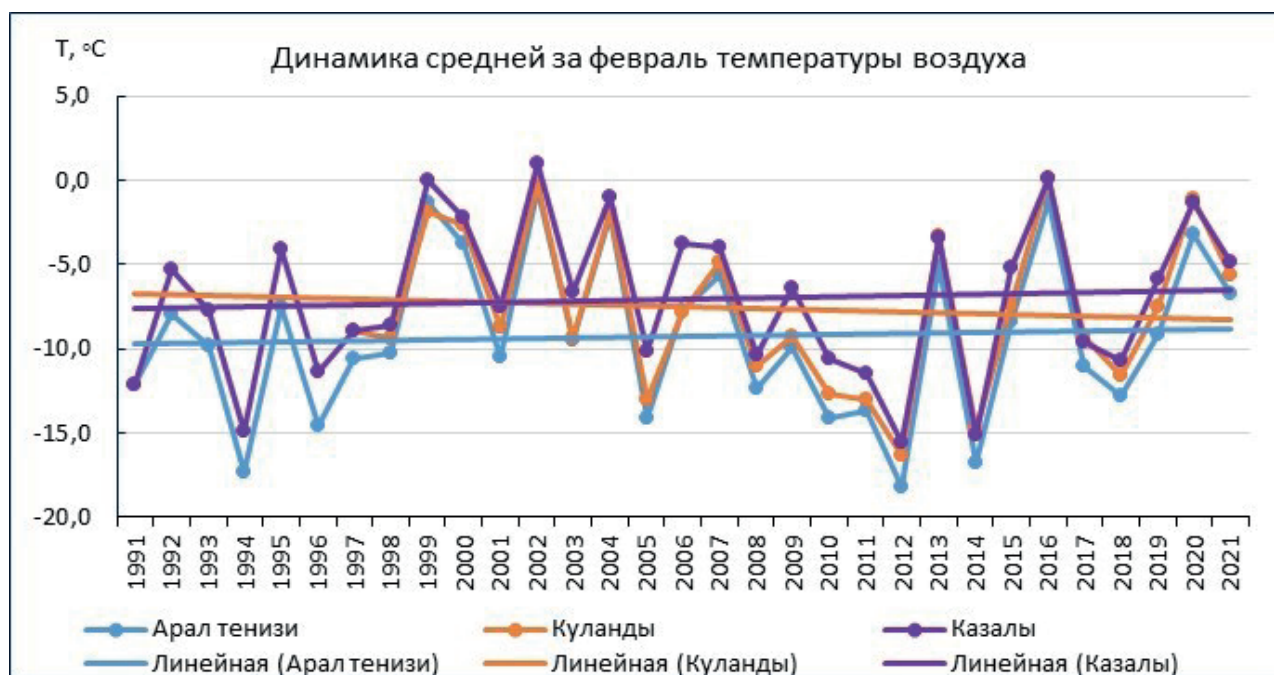


Рисунок 2.4. Многолетняя динамика средней за февраль температуры воздуха

Март. В марте температура воздуха в среднем составляет на севере ОДАМ минус 1,0⁰С, в центральной части 1,0⁰С, а на юге 3,0⁰С. Из года в год температура воздуха колеблется в широких пределах. Средняя за март температура воздуха в теплые годы составляет 6,8–8,6⁰С (наибольшая), а в холодные годы – минус 4,0–8,7⁰С (наименьшая). Март месяц был холодным в 1992, 1996 и 1998 годах, теплым – в 2002, 2008 и 2016 годах. Динамика средней за март температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет тенденцию роста (таблица 2.6, рисунок 2.5).

Таблица 2.6. Средняя, наибольшая и наименьшая месячная температура воздуха марта за период 1991–2021 гг. (°С)

Метеостанция	Средняя	Наибольшая	Наименьшая
Арал тенизи	-0,2	7,3	-8,7
Куланды	1,0	6,8	-4,6
Казалы	1,8	7,9	-4,4
Каукей	2,4	8,6	-4,0

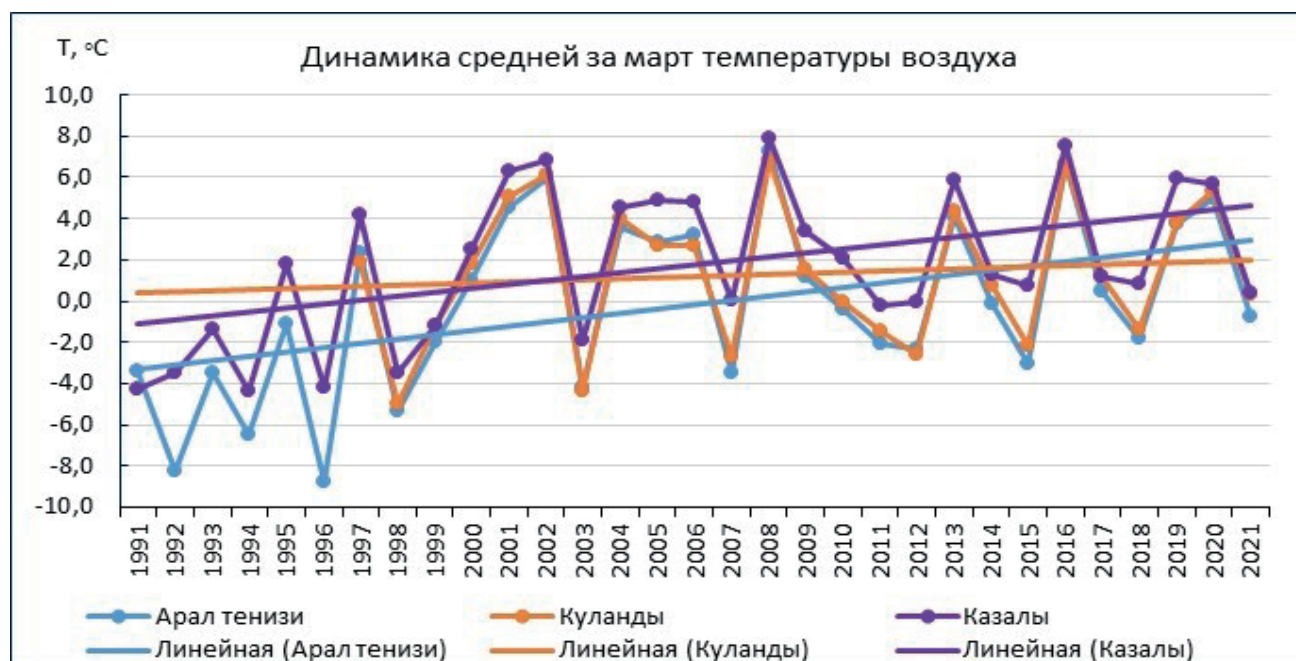


Рисунок 2.5. Многолетняя динамика средней за март температуры воздуха

Апрель. В апреле температура воздуха в среднем составляет на севере ОДАМ $11,0^{\circ}\text{C}$, в центральной части $12,0^{\circ}\text{C}$, а на юге $13,0^{\circ}\text{C}$. Из года в год температура воздуха колеблется в широких пределах. Средняя за апрель температура воздуха в теплые годы составляет $17,4\text{--}18,6^{\circ}\text{C}$ (наибольшая), а в холодные годы $7,2\text{--}8,8^{\circ}\text{C}$ (наименьшая). Апрель месяц был прохладным в 1996, 1998, 2002, 2003, 2009 и 2014 годах, теплым – в 1995, 2000 и 2012 годах. Динамика средней за апрель температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет тенденцию роста (таблица 2.7, рисунок 2.6).

Таблица 2.7. Средняя, наибольшая и наименьшая месячная температура воздуха апреля за период 1991–2021 гг. ($^{\circ}\text{C}$)

Метеостанция	Средняя	Наибольшая	Наименьшая
Арал тенизи	11,8	18,1	7,2
Куланды	12,0	17,4	8,1
Казалы	12,5	18,2	8,5
Каукей	12,8	18,6	8,8



Рисунок 2.6. Многолетняя динамика средней за апрель температуры воздуха

Май. В мае температура воздуха в среднем составляет на севере ОДАМ $19,5^{\circ}\text{C}$, в центральной части $20,0^{\circ}\text{C}$, а на юге $20,5^{\circ}\text{C}$. Из года в год температура воздуха колеблется в широких пределах. Средняя за май температура воздуха в теплые годы составляет $24,3\text{--}24,9^{\circ}\text{C}$ (наибольшая), а в холодные годы $15,9\text{--}17,0^{\circ}\text{C}$ (наименьшая). Май месяц был прохладным в 1993, 2000 и 2002 годах, жарким в 2014 и 2021 годах. Динамика средней за май температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет тенденцию роста (таблица 2.8, рисунок 2.7).

Таблица 2.8. Средняя, наибольшая и наименьшая месячная температура воздуха мая за период 1991–2021 гг. ($^{\circ}\text{C}$)

Метеостанция	Средняя	Наибольшая	Наименьшая
Арал тенизи	19,8	24,9	16,0
Куланды	19,9	24,4	15,9
Казалы	20,0	24,3	16,6
Каукей	20,5	24,4	17,0

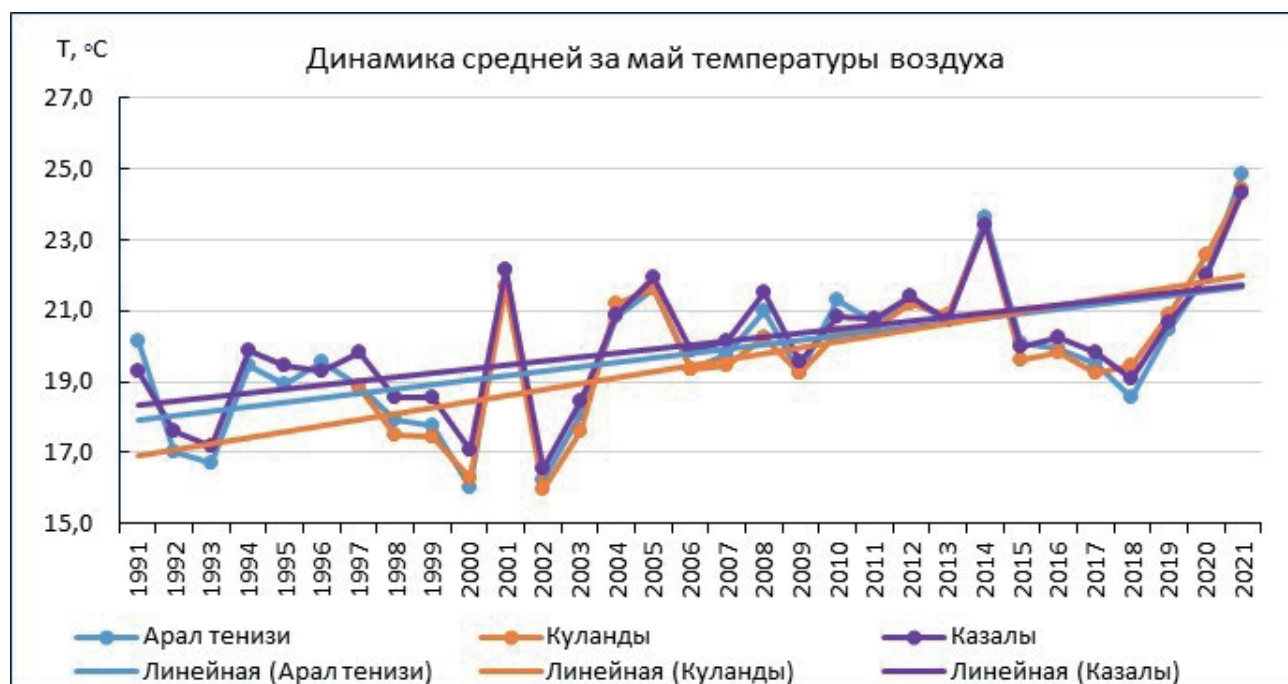


Рисунок 2.7. Многолетняя динамика средней за май температуры воздуха

Июнь. В июне температура воздуха на территории ОДАМ в среднем составляет 25,5–26,0⁰С. Из года в год температура воздуха колеблется в широких пределах. Средняя за июнь температура воздуха в жаркие годы составляет 27,8–28,9⁰С (наибольшая), а в прохладные годы 21,1–22,3⁰С (наименьшая). Июнь месяц был прохладным в 1999 и 2003 годах, жарким в 2010, 2015 и 2021 годах. Динамика средней за июнь температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет тенденцию роста (таблица 2.9, рисунок 2.8).

Таблица 2.9. Средняя, наибольшая и наименьшая месячная температура воздуха июня за период 1991–2021 гг. (°С)

Метеостанция	Средняя	Наибольшая	Наименьшая
Арал тенизи	25,8	28,9	21,1
Куланды	25,8	28,8	21,4
Казалы	25,7	27,8	21,9
Каукей	26,3	28,4	22,3

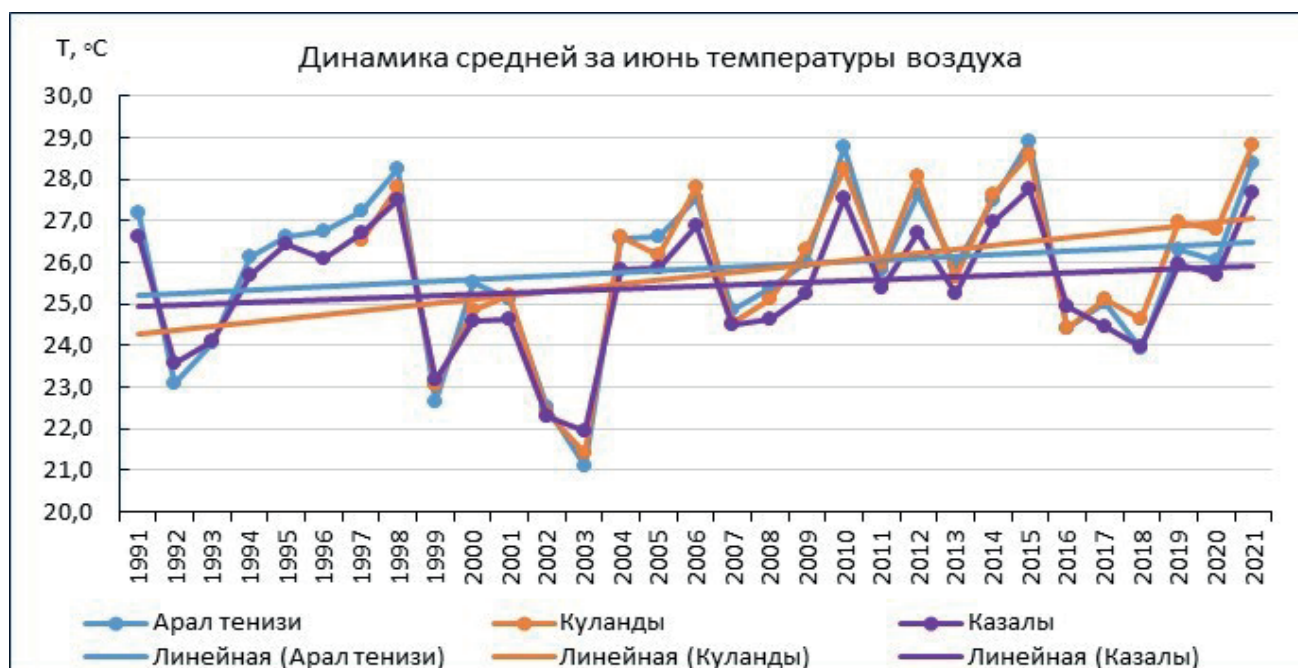


Рисунок 2.8. Многолетняя динамика средней за июль температуры воздуха

Июль. В июле температура воздуха на территории ОДАМ в среднем составляет 27,5–28,0°C. Из года в год температура воздуха колеблется в широких пределах. Средняя за июль температура воздуха в жаркие годы составляет 30,0–31,3°C (наибольшая), а в прохладные годы 24,2–25,2°C (наименьшая). Июль месяц был прохладным в 1994, 2001, 2003 и 2014 годах, жарким в 2012, 2018, 2019, 2020 и 2021 годах. Динамика средней за июль температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет тенденцию роста (таблица 2.10, рисунок 2.9).

Таблица 2.10. Средняя, наибольшая и наименьшая месячная температура воздуха июля за период 1991–2021 гг. (°C)

Метеостанция	Средняя	Наибольшая	Наименьшая
Арал тенизи	27,5	30,6	24,5
Куланды	27,7	31,3	25,2
Казалы	27,3	30,0	24,2
Каукей	27,5	30,4	24,5

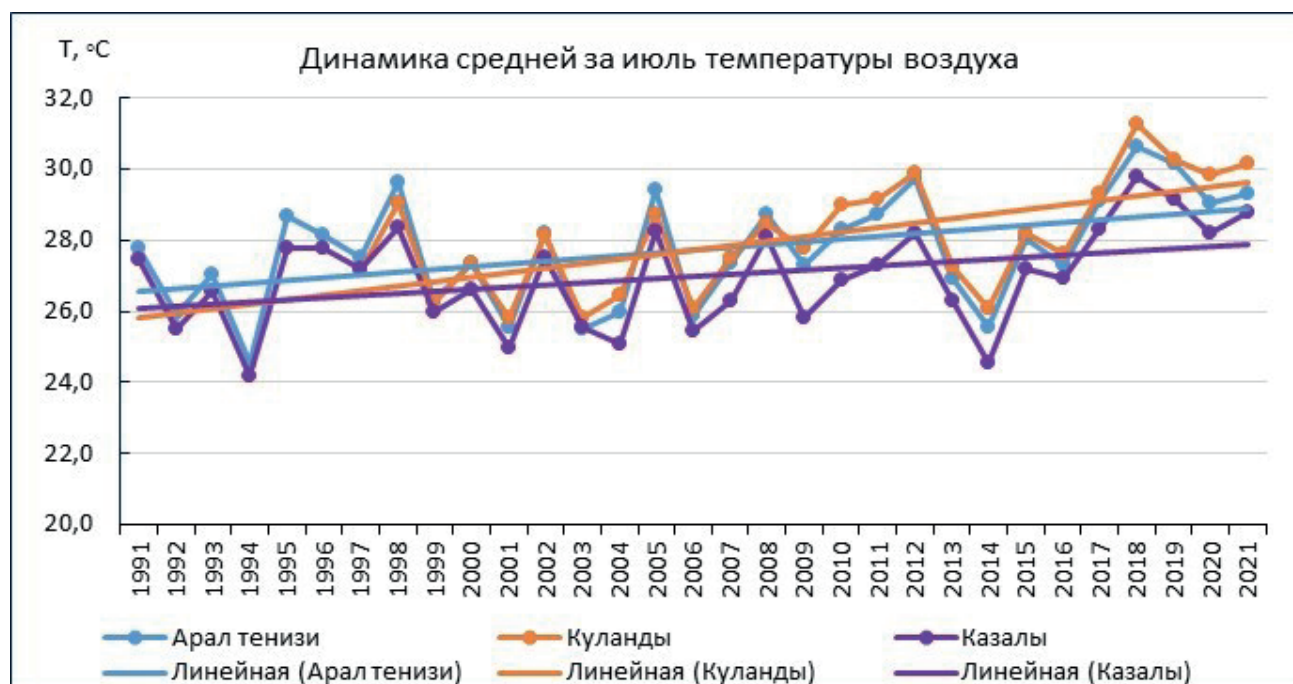


Рисунок 2.9. Многолетняя динамика средней за июль температуры воздуха

Август. В августе температура воздуха на территории ОДАМ в среднем составляет 25,5–26,0⁰С. Из года в год температура воздуха колеблется в широких пределах. Средняя за август температура воздуха в жаркие годы составляет 27,4–29,3⁰С (наибольшая), а в прохладные годы 21,5–22,5⁰С (наименьшая). Август месяц был прохладным в 1992, 1996, 2009 и 2019 годах, жарким – в 2003, 2014 и 2021 годах. Динамика средней за август температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет тенденцию роста (таблица 2.11, рисунок 2.10).

Таблица 2.11. Средняя, наибольшая и наименьшая месячная температура воздуха августа за период 1991–2021 гг. (°C)

Метеостанция	Средняя	Наибольшая	Наименьшая
Арал тенизи	25,6	28,9	22,0
Куланды	25,7	29,3	22,5
Казалы	25,1	27,4	21,5
Каукей	25,6	28,4	21,7

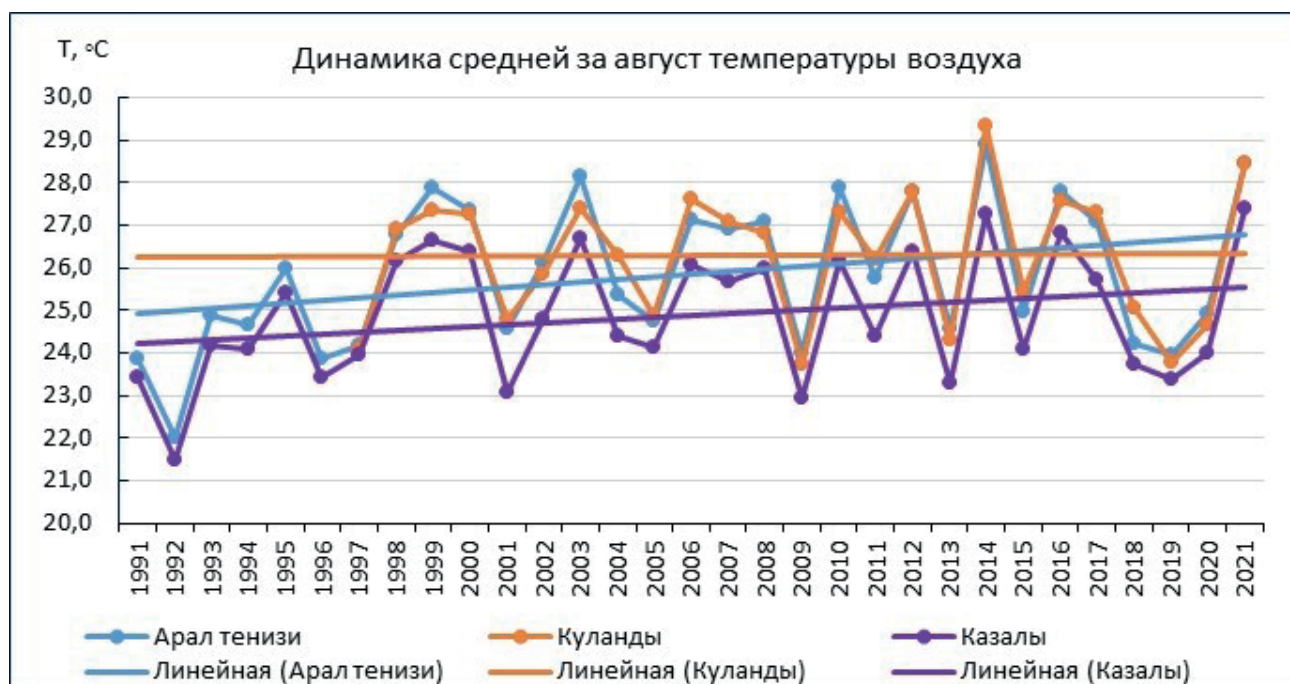


Рисунок 2.10. Многолетняя динамика средней за август температуры воздуха

Сентябрь. В сентябре температура воздуха на территории ОДАМ в среднем составляет 18,0–18,5⁰С. Из года в год температура воздуха колеблется в широких пределах. Средняя за сентябрь температура воздуха в теплые годы составляет 20,1–20,7⁰С (наибольшая), а в прохладные годы – 15,1–15,8⁰С (наименьшая). В 1993, 2001 и 2019 годах сентябрь был прохладным и жарким в 2004 и 2005 годах. Динамика средней за сентябрь температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет слабую тенденцию роста (таблица 2.12, рисунок 2.11).

Таблица 2.12. Средняя, наибольшая и наименьшая месячная температура воздуха сентября за период 1991–2021 гг. (°С)

Метеостанция	Средняя	Наибольшая	Наименьшая
Арал тенизи	18,0	20,1	15,1
Куланды	18,1	20,5	15,8
Казалы	17,8	20,2	15,1
Каукей	18,2	20,7	15,4

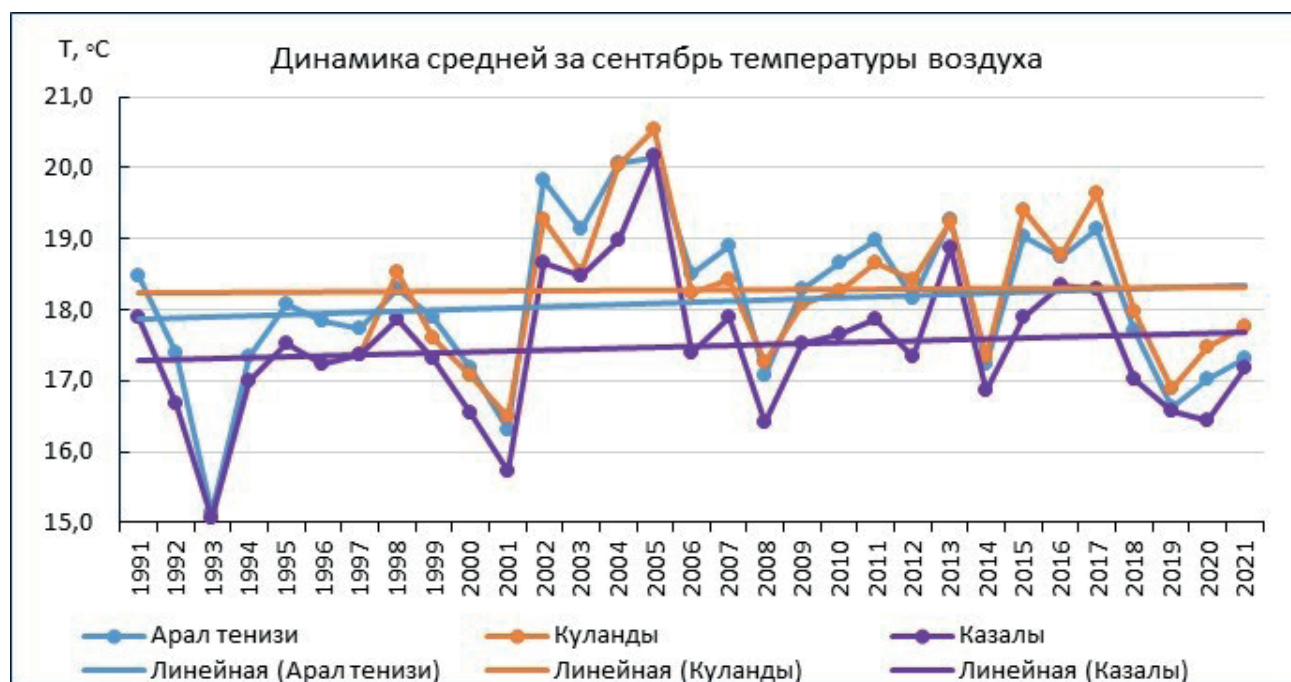


Рисунок 2.11. Многолетняя динамика средней за сентябрь температуры воздуха

Октябрь. В октябре температура воздуха на территории ОДАМ в среднем составляет 9,0–9,5⁰С. Из года в год температура воздуха колеблется в широких пределах. Средняя за октябрь температура воздуха в теплые годы составляет 14,3–15,1⁰С (наибольшая), а в холодные годы 4,8–5,6⁰С (наименьшая). Октябрь месяц был прохладным в 2000 и 2016 годах, теплым в 1991, 1997 и 1999 годах. Динамика средней за октябрь температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет слабую тенденцию снижения (таблица 2.13, рисунок 2.12).

Таблица 2.13. Средняя, наибольшая и наименьшая месячная температура воздуха октября за период 1991–2021 гг. (°C)

Метеостанция	Средняя	Наибольшая	Наименьшая
Арал тенизи	9,2	14,3	5,0
Куланды	9,4	14,3	5,6
Казалы	9,3	14,8	4,8
Каукей	9,7	15,1	5,2

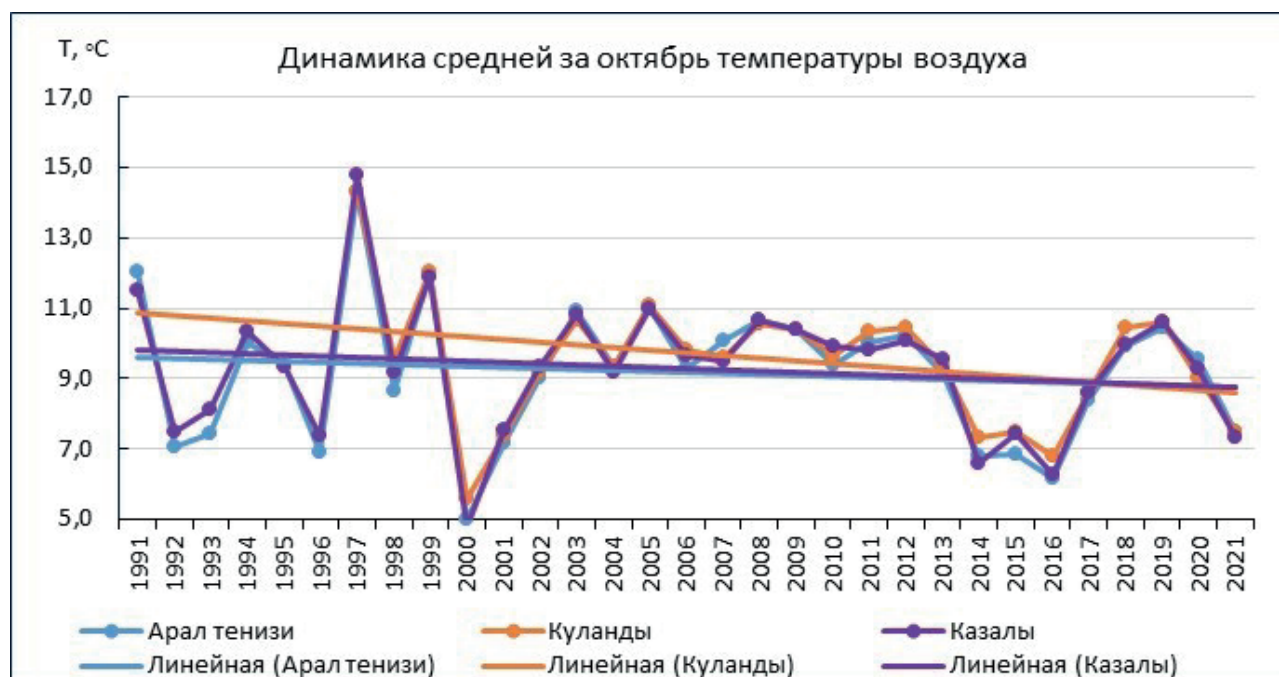


Рисунок 2.12. Многолетняя динамика средней за октябрь температуры воздуха

Ноябрь. В ноябре температура воздуха в среднем составляет на севере ОДАМ минус 0,5⁰С, в центральной части 0⁰С, а на юге 0,5⁰С. Из года в год температура воздуха колеблется в широких пределах. Средняя за ноябрь температура воздуха в теплые годы составляет 3,9–4,5⁰С (наибольшая), а в холодные годы минус 7,7–9,6⁰С (наименьшая). Ноябрь месяц был холодным в 1993 и 2011 годах, теплым в 1995, 2004, 2010, 2013 и 2017 годах. Динамика средней за ноябрь температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет слабую тенденцию снижения (таблица 2.14, рисунок 2.13).

Таблица 2.14. Средняя, наибольшая и наименьшая месячная температура воздуха ноября за период 1991–2021 гг. (°С)

Метеостанция	Средняя	Наибольшая	Наименьшая
Арал тенизи	-0,5	3,9	-9,6
Куланды	0,3	4,5	-7,9
Казалы	0,2	4,0	-8,0
Каукей	0,4	4,3	-7,7

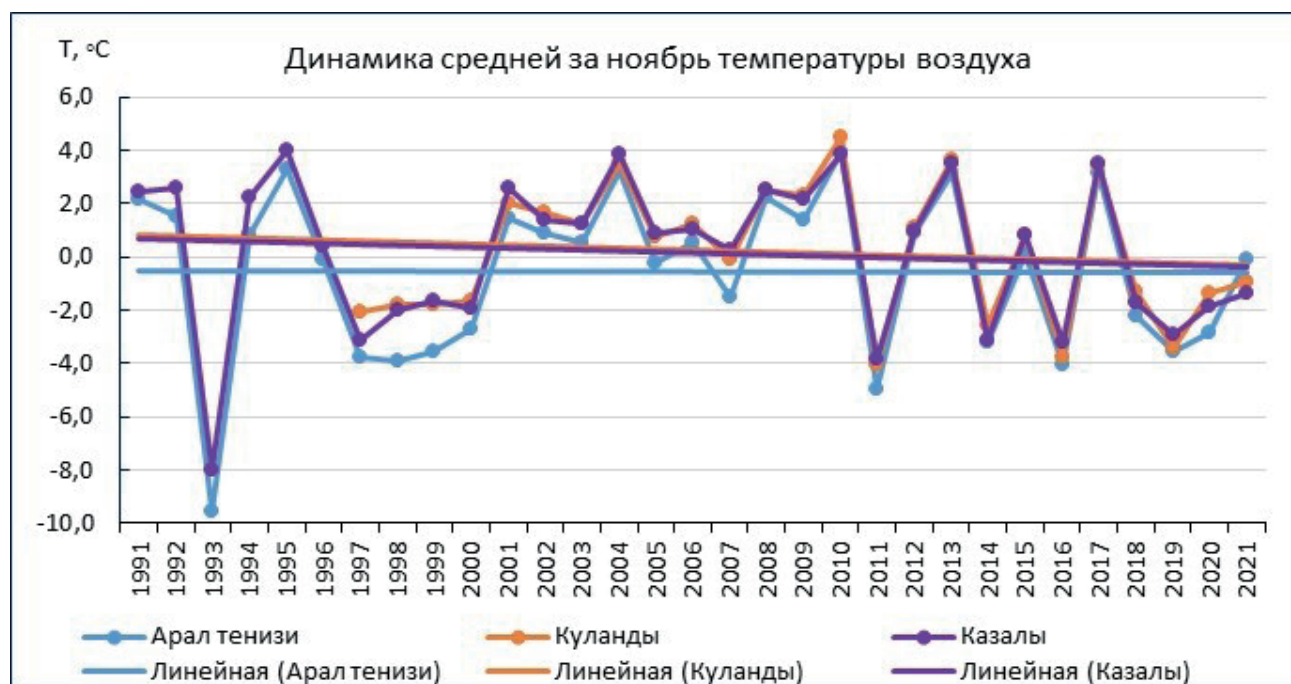


Рисунок 2.13. Многолетняя динамика средней за ноябрь температуры воздуха

Декабрь. В декабре температура воздуха в среднем составляет на севере ОДАМ минус 8,0⁰С, в центральной части минус 6,5–7,0⁰С, а на юге минус 5,5⁰С. Из года в год температура воздуха колеблется в широких пределах. Средняя за декабрь температура воздуха в теплые годы составляет минус 0,3–1,2⁰С (наибольшая), а в холодные годы минус 13,0–14,7⁰С (наименьшая). Декабрь месяц был холодным в 1993, 2002, 2007, 2011, 2012 и 2020 годах, теплым – в 1999, 2010, 2015, 2019 и 2021 годах. Динамика средней за декабрь температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет слабую тенденцию роста (таблица 2.15, рисунок 2.14).

Таблица 2.15. Средняя, наибольшая и наименьшая месячная температура воздуха декабря за период 1991–2021 гг. (°C)

Метеостанция	Средняя	Наибольшая	Наименьшая
Арал тенизи	-7,5	-1,2	-14,7
Куланды	-6,6	-0,6	-13,8
Казалы	-6,4	-0,5	-13,3
Каукей	-5,8	-0,3	-13,0

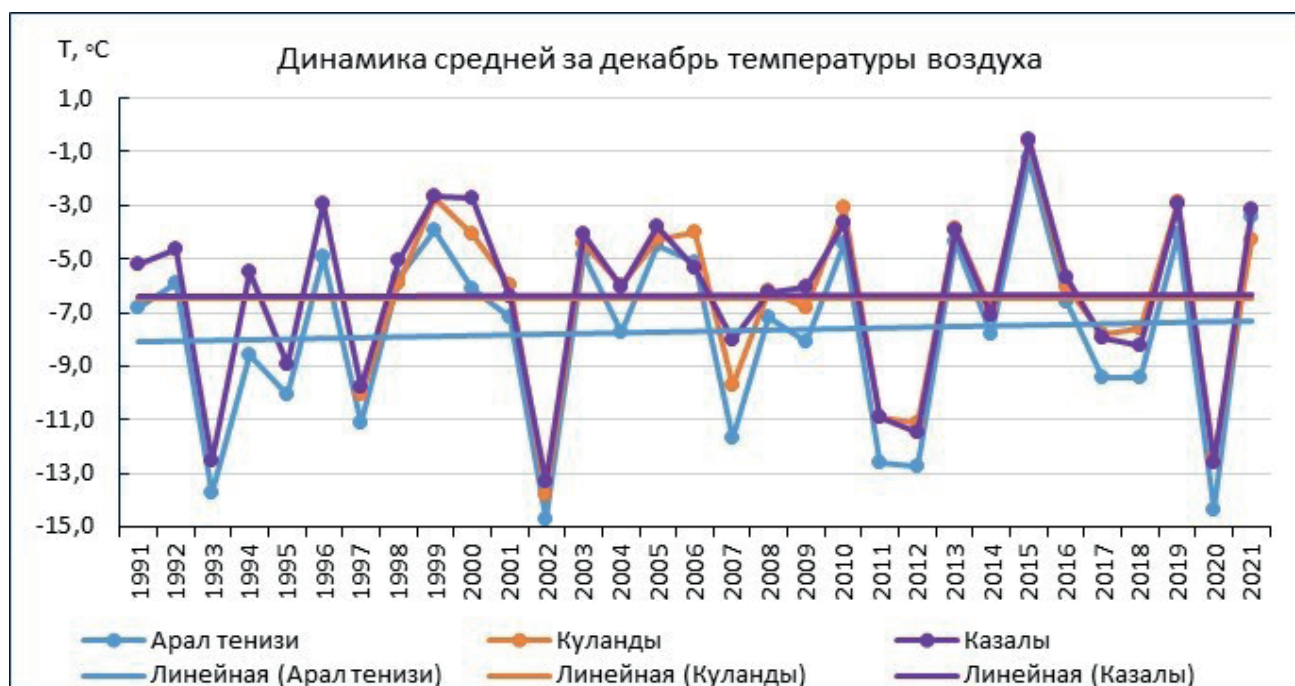


Рисунок 2.14. Многолетняя динамика средней за декабрь температуры воздуха

2.2. Режим осадков

В среднем за многолетний период на территории ОДАМ за год выпадают осадки от 110 мм на юге до 140 на севере (рисунок 2.16), что недостаточно для роста и развития сельскохозяйственных культур.

За теплый и за холодные периоды года выпадают примерно одинаковое количество осадков. За теплый период года (апрель-октябрь) выпадают 60–70 мм осадков. В годовом ходе минимум осадков наблюдается в период июль-сентябрь месяцы, когда выпадают всего 3–8 мм осадков в месяц. Для сравнения надо отметить, что летом в сельском хозяйстве выпадение менее 5 мм осадков за 1 сутки является недостаточным. Зимой осадков выпадает 10–20 мм ежемесячно (таблица 2.16).

Таблица 2.16. Месячные и годовая суммы осадков, мм

Метео-станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	IV-X	XI-III
Арал тенизи	11	11	16	14	13	12	8	6	4	11	14	13	133	69	65
Кулан-ды	11	10	15	14	12	10	7	6	3	10	13	13	124	62	62
Казалы	13	11	14	19	14	7	6	5	3	9	13	14	127	63	65
Каукей	10	10	12	13	12	7	5	5	3	8	10	12	107	53	54

Обеспеченность годовой суммы осадков показывает, что 1 раз в 10 лет ($P=10\%$) выпадают 165–185 мм осадков, а в 9 годах и 10 лет ($P=90\%$) обеспечены осадки около 95 мм (таблица 2.17).

Таблица 2.17. Обеспеченность годовой суммы осадков (мм)

Р, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Арал тенизи	185	163	141	133	128	117	113	105	93	63
Казалы	163	151	143	132	125	112	107	100	96	50

Обеспеченность суммы осадков за теплый период года показывает, что 1 раз в 10 лет ($P=10\%$) выпадают 90–100 мм осадков, а в 9 годах и 10 лет ($P=90\%$) обеспечены осадки около 35 мм (таблица 2.18).

Таблица 2.18. Обеспеченность суммы осадков за теплый период года (мм)

Р, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Арал тенизи	100	84	75	69	64	60	52	43	34	21
Казалы	90	74	69	63	60	58	48	45	33	9

Динамики годовой суммы осадков и суммы осадков за теплый период года за период 1991–2021 года имеют очень слабую тенденцию снижения (рисунок 2.14, рисунок 2.15).



Рисунок 2.14. Многолетняя динамика годовой суммы осадков



Рисунок 2.15. Многолетняя динамика суммы осадков за теплый период года

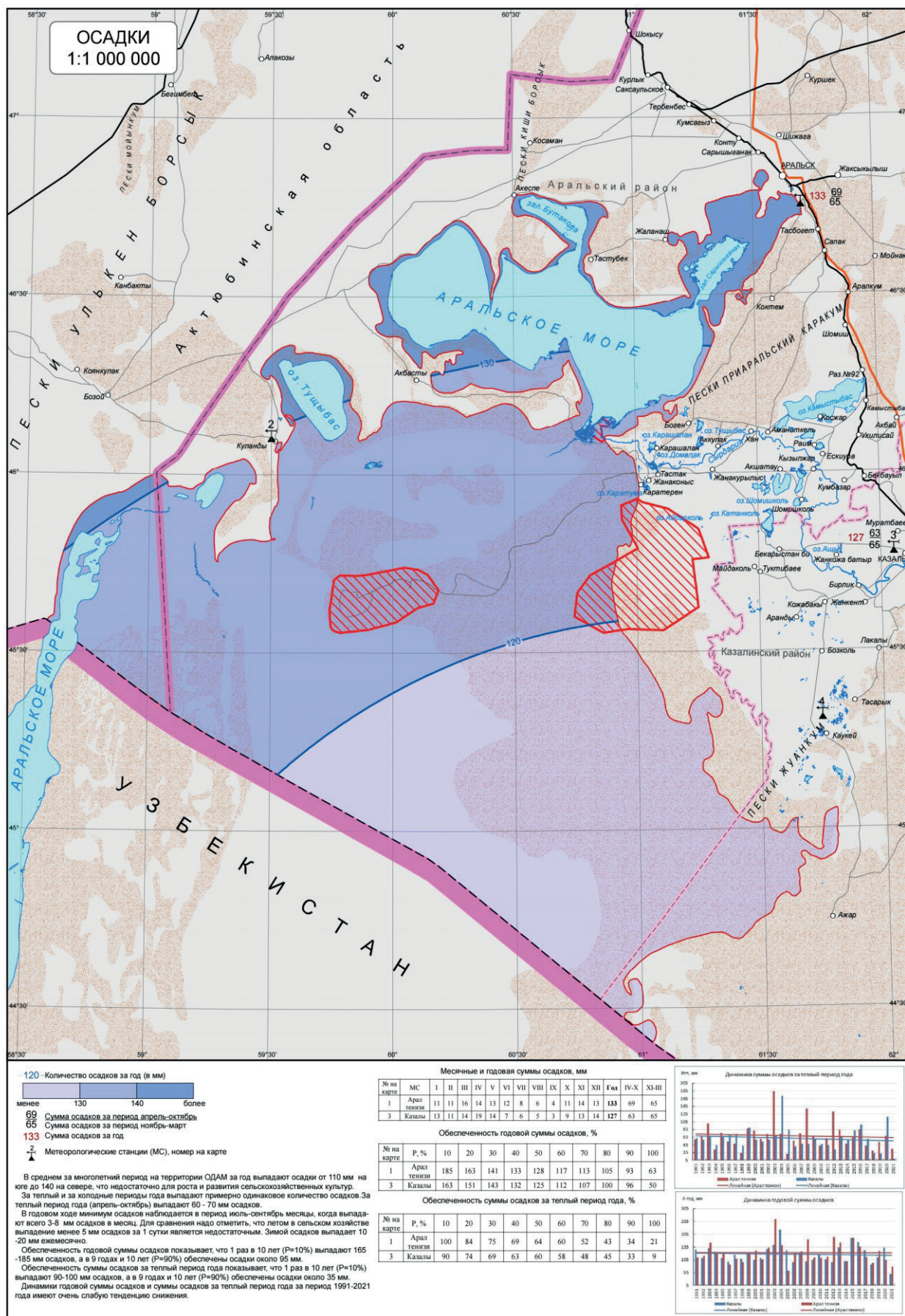


Рисунок 2.16. Карта годовой суммы осадков

2.3. Режим влажности воздуха

На территории казахстанской части ОДАМ в среднем за год относительная влажность воздуха составляет 54–57%, дефицит влажности воздуха (недостаток насыщения воздуха паром воды) 10–11 гПа. На севере ОДАМ воздух влажнее чем на юге (таблица 2.19–2.20, рисунок 2.19).

Таблица 2.19. Средние месячные и годовая относительная влажность воздуха (%)

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Арал тенизи	83	82	74	52	43	37	37	36	43	56	75	81	58
Куланды	74	75	72	55	46	39	39	40	45	58	72	76	57
Казалы	78	76	68	52	44	41	42	42	47	56	72	78	58
Каукей	74	73	66	52	40	34	33	36	43	53	68	74	54

Таблица 2.20. Средние месячные и годовой дефицит влажности воздуха (гПа)

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Арал тенизи	0,5	0,6	2,2	8,2	15,4	23,9	26,1	24,0	13,9	6,2	1,7	0,6	10,3
Куланды	0,8	1,0	2,4	7,7	14,8	23,3	26,1	22,7	13,6	6,0	2,0	0,9	10,1
Казалы	0,7	1,0	3,0	8,7	15,4	21,9	23,2	20,9	12,8	6,5	2,1	0,9	9,8
Каукей	0,9	1,2	3,4	9,0	17,8	25,6	27,7	24,2	14,0	6,7	2,4	1,1	11,2

В годовом ходе относительная влажность воздуха к лету снижается до 33–42%, к зиме повышается до 74–83%. Дефицит влажности воздуха составляет в июле 23–27 гПа, а в январе 0,5–0,9 гПа (рисунок 2.17).

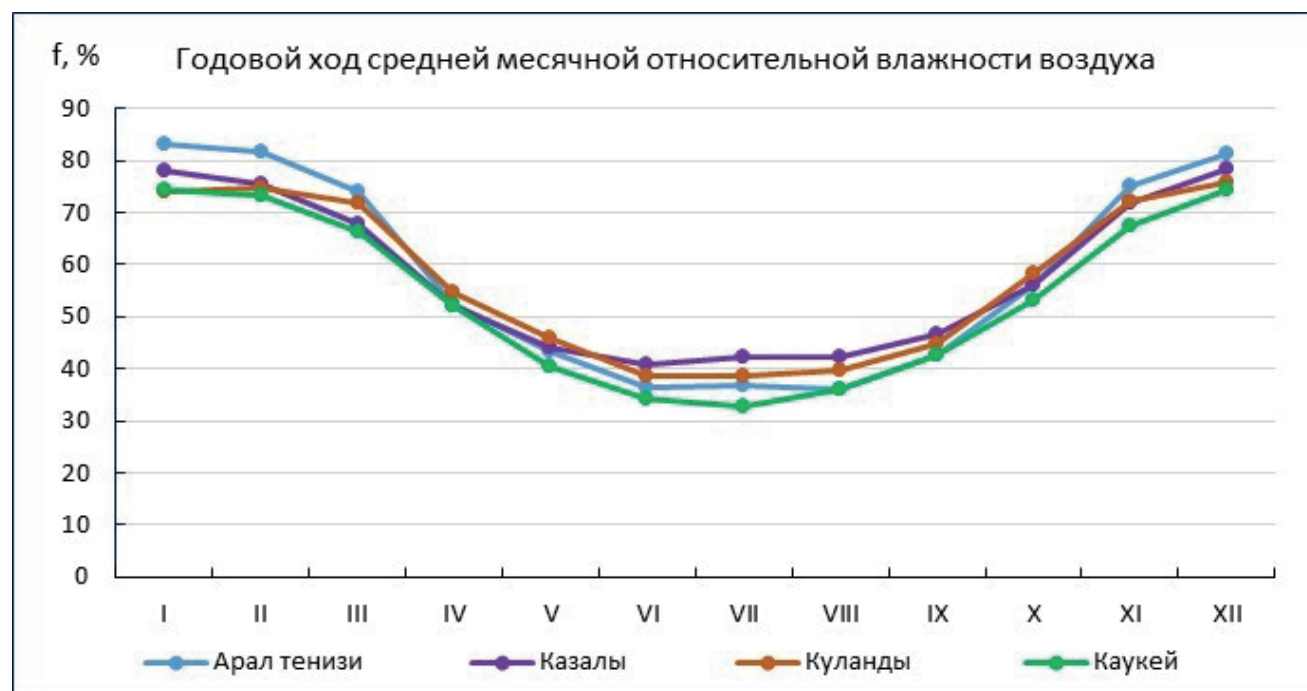


Рисунок 2.16. Годовой ход средней месячной относительной влажности воздуха

Динамика средней годовой относительной влажности воздуха за период 1991–2021 года имеет тенденцию снижения, что указывает на усиление сухости воздуха (рисунок 2.18).

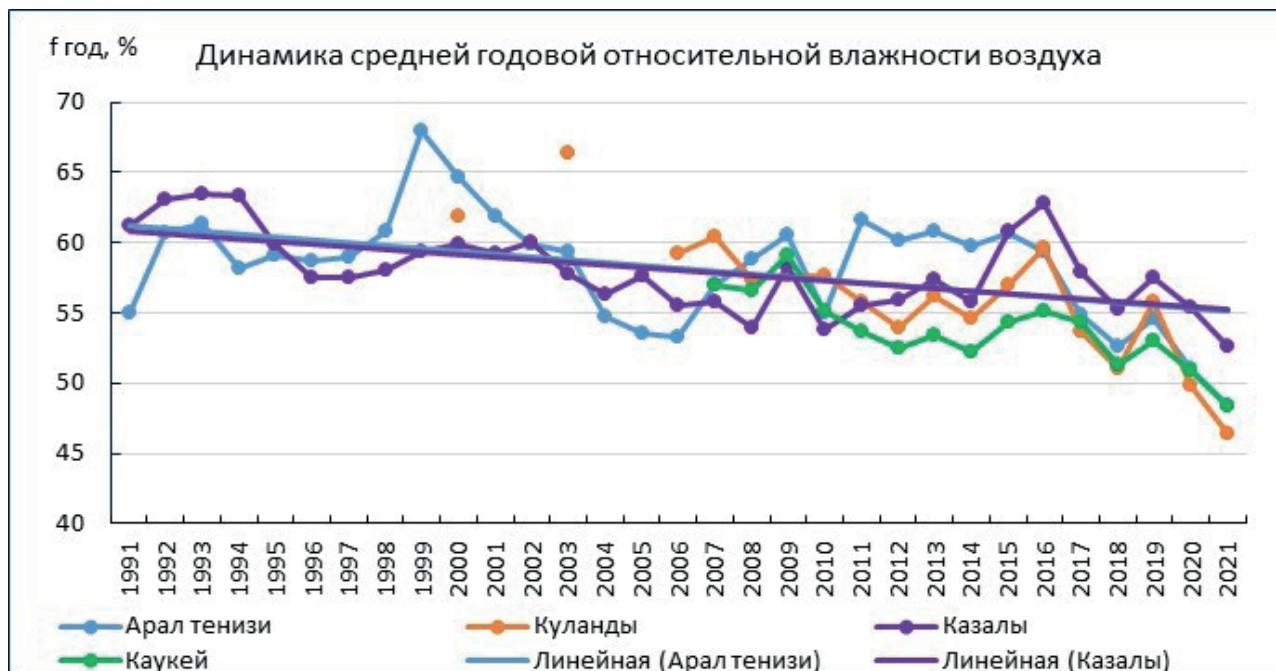


Рисунок 2.18. Многолетняя динамика средней годовой относительной влажности воздуха

Число дней с относительной влажностью воздуха не более 30%, косвенно характеризующий атмосферную засуху (сухость воздуха) растет с севера на юг ОДАМ от 145 до 160 дней (таблица 2.21).

Таблица 2.21. Среднее число дней с относительной влажностью воздуха не более 30%

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Арал тенизи	0	0	2	16	22	25	25	26	20	10	1	0	147
Казалы	0	0	5	18	23	25	25	25	21	12	2	0	156

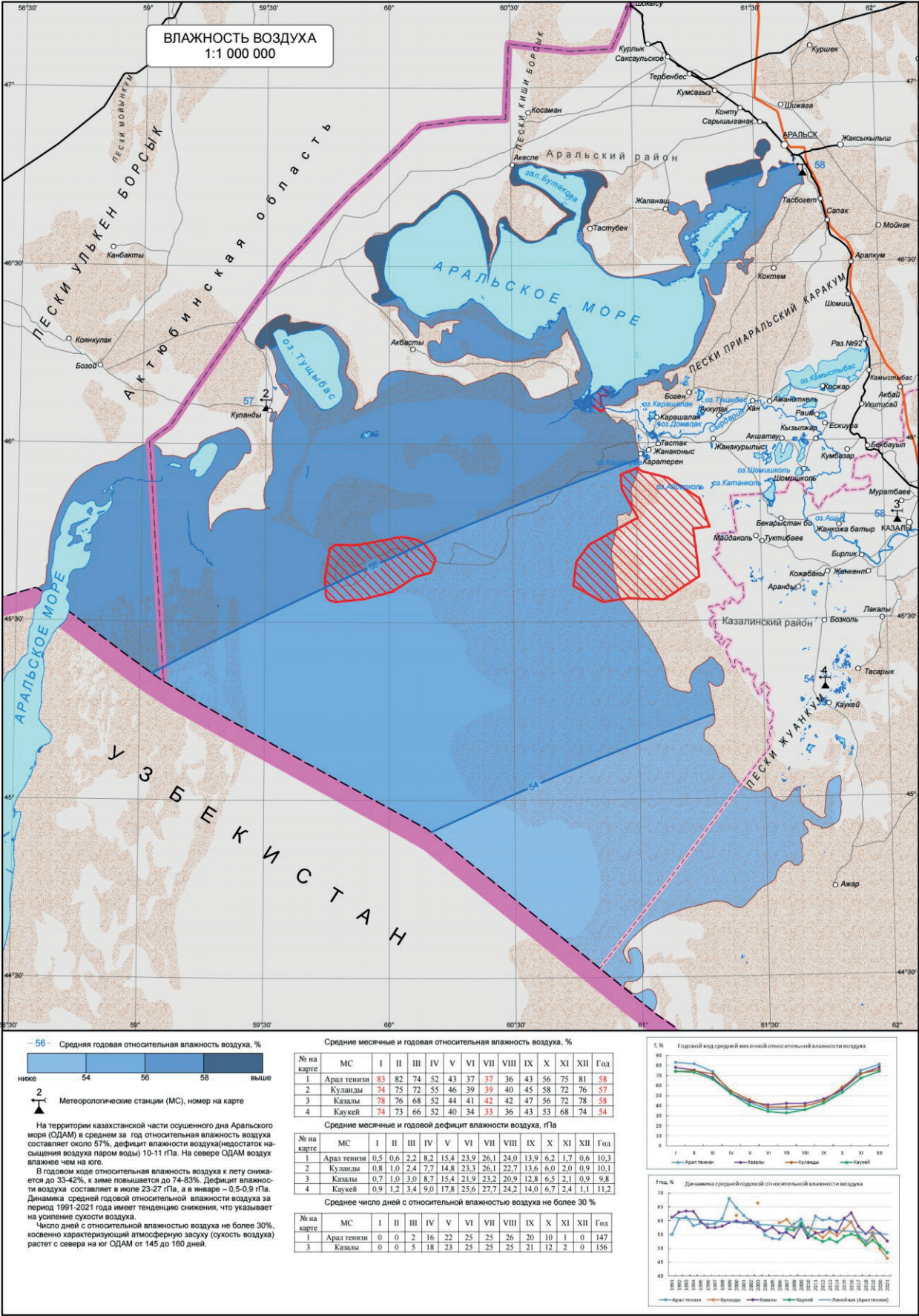


Рисунок 2.19. Карта средней за год относительной влажности воздуха

2.4. Режим ветра

Год. На территории казахстанской части ОДАМ в течение всего года бывает достаточно ветрено. В течение всего года наибольшие скорости ветра наблюдаются в окрестности г. Аральск, наименьшие в г. Казалы. Средняя годовая скорость ветра в г. Аральск составляет 4,3 м/с, Куланды – 3,2 м/с, Казалы – 1,9 м/с, Каукей – 3,5 м/с. Пониженная скорость ветра свойственно только для района метеорологической станции Казалы (таблица 2.18, рисунок 2.23).

Таблица 2.22. Средняя месячная и годовая скорость ветра (м/с)

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Арал тенизи	4,3	4,6	5,0	5,0	4,7	4,3	4,1	4,0	3,7	3,8	3,9	4,1	4,3
Куланды	3,2	3,4	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9	3,0	3,1	3,2
Казалы	1,8	2,1	2,3	2,2	2,4	1,9	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,7	1,9
Каукей	3,7	3,7	4,0	4,0	3,8	3,4	3,3	3,5	3,2	3,0	3,0	3,5	3,5

Обеспеченность средней годовой скорости ветра показывает, что в районе г. Аральск 1 раз в 10 лет (P=10%) скорость ветра составляет 4,6 м/с, а в 9 годах и 10 лет (P=90%) обеспечена скорость ветра 3,9 м/с, а в районе метеостанции Куланды составляет 3,5 м/с (P=10%) и 2,9 м/с (P=90%) соответственно (таблица 2.23).

Таблица 2.23. Обеспеченность средней за год скорости ветра (м/с)

P, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Арал тенизи	4,6	4,5	4,4	4,4	4,4	4,3	4,2	4,1	3,9	3,5
Куланды	3,5	3,4	3,2	3,2	3,2	3,1	3,0	2,9	2,9	2,8
Казалы	2,3	2,2	2,1	1,9	1,9	1,9	1,7	1,7	1,4	1,0
Каукей	3,9	3,8	3,8	3,8	3,6	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9

В годовом ходе ветер к лету начинает стихать, и опускается до минимальных значений в сентябре-октябре, далее к зиме ветер усиливается и достигает максимума в марте-апреле (рисунок 2.20).

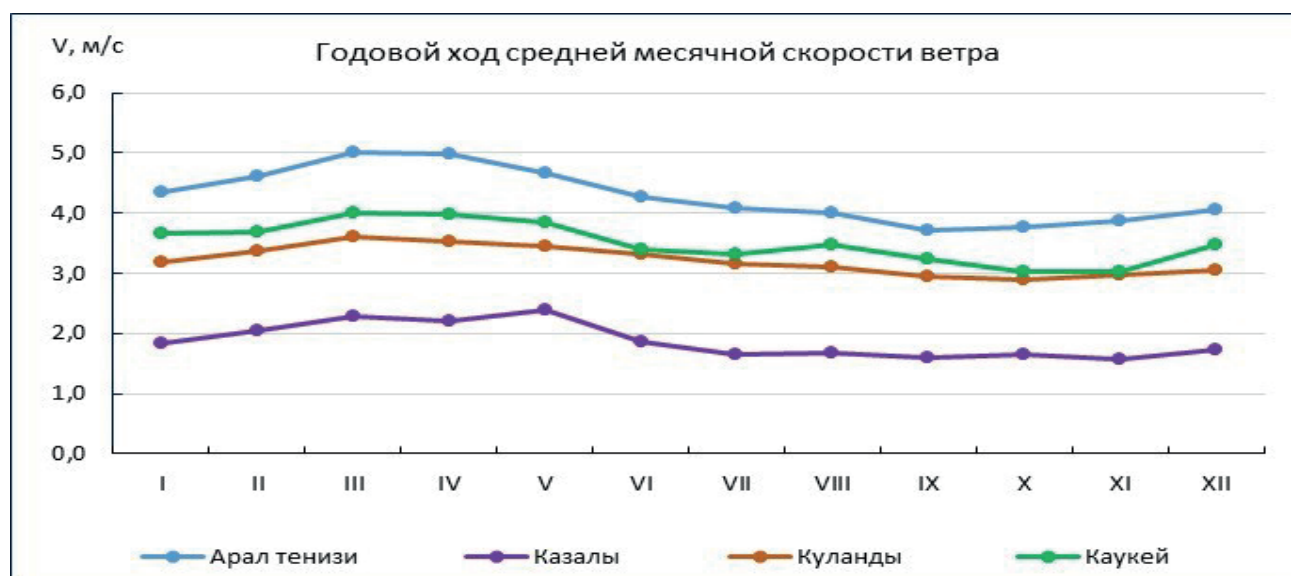


Рисунок 2.20. Годовой ход средней месячной скорости ветра

Многолетняя динамика средней годовой скорости ветра показывает, что из года в год скорость ветра колеблется в достаточно широких пределах. Например, в районе г. Аральска средняя годовая скорость ветра в 1996 и 1999 годах составляла 4,7 м/с (наибольшая), а в 2003 году – 3,5 м/с (наименьшая). За многолетний период средняя за год скорость ветра в районе метеостанции Аральск имеет слабую тенденцию снижения, а в районе метеостанции Казалы – слабую тенденции роста (рисунок 2.21).

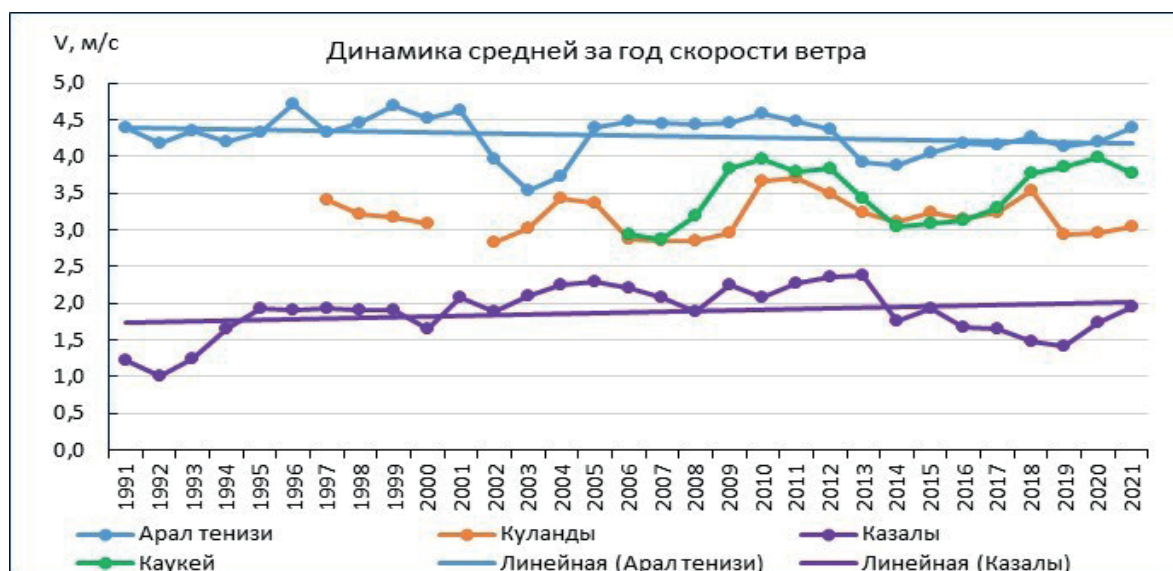


Рисунок 2.21. Многолетняя динамика средней за год скорости ветра

Анализ повторяемости направлений ветра по 8 румбам и построенных на их основе розы ветров показали, что в ОДАМ в среднем за год преобладают северные (С) и северо-восточные (СВ) ветры (таблица 2. 24, рисунок 2.22).

Таблица 2.24. Повторяемость среднегодового направления ветра и штиля (%)

Метеостанция	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	штиль
Арал тенизи	20	20	14	6	8	13	9	10	4
Казалы	13	25	15	6	5	10	13	13	26

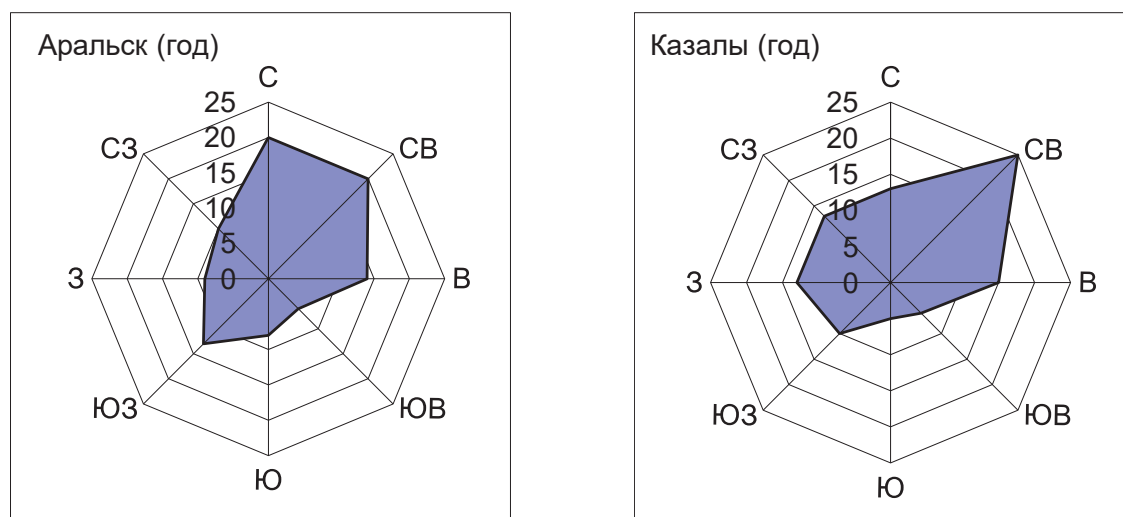


Рисунок 2.22. Средняя за год роза ветров

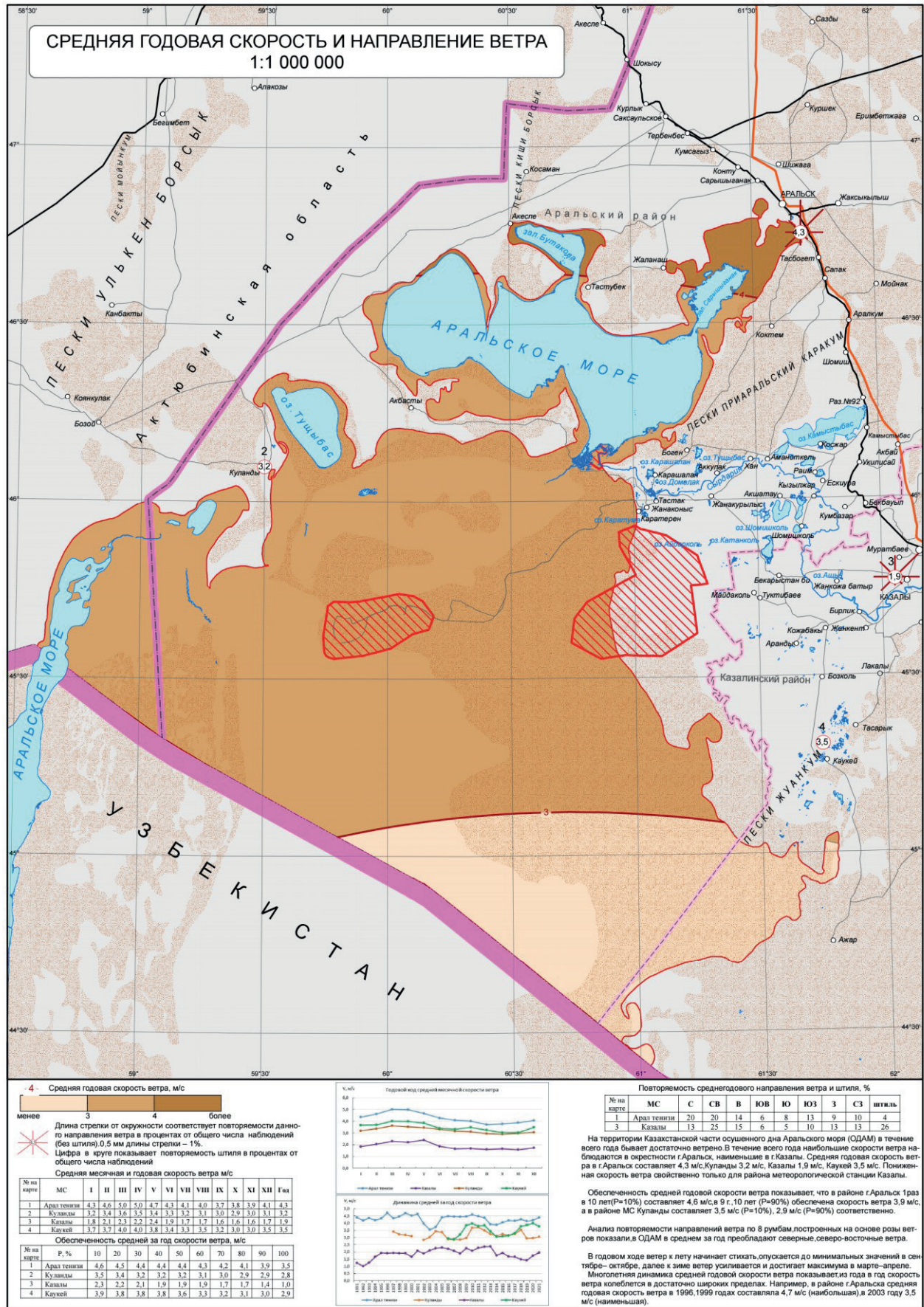


Рисунок 2.23. Карта средней годовой скорости и направления ветра

Январь. На территории казахстанской части ОДАМ в январе наибольшие скорости ветра наблюдаются в окрестности г. Аральск, наименьшие – в г. Казалы. Средняя за январь скорость ветра в г. Аральск составляет 4,3 м/с, Куланды – 3,2 м/с, г. Казалы – 1,8 м/с. Каукей – 3,7 м/с, Пониженная скорость ветра свойственно только для района метеорологической станции Казалы (см. приложение 13).

Обеспеченность средней за январь скорости ветра показывает, что в районе г. Аральск 1 раз в 10 лет ($P=10\%$) скорость ветра составляет 5,2 м/с, а в 9 годах и 10 лет ($P=90\%$) обеспечена скорость ветра 3,7 м/с, а в районе метеостанции Куланды составляет 4,0 м/с ($P=10\%$) и 2,5 м/с ($P=90\%$) соответственно (таблица 2.25).

Таблица 2.25. Обеспеченность средней за январь скорости ветра (м/с)

P, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Арал тенизи	5,2	4,7	4,6	4,3	4,3	4,2	4,1	3,9	3,7	2,7
Куланды	4,0	3,5	3,2	3,1	3,0	2,9	2,7	2,6	2,5	2,3
Казалы	2,5	2,2	2,1	1,9	1,7	1,7	1,5	1,5	1,4	1,0
Каукей	4,5	4,2	4,0	4,0	3,9	3,7	3,1	2,8	2,7	2,6

Многолетняя динамика средней за январь скорости ветра показывает, что из года в год скорость ветра колеблется в достаточно широких пределах. Например, в районе г. Аральска средняя январская скорость ветра в 2005 году составляла 5,7 м/с (наибольшая), а в 2003 году – 2,7 м/с (наименьшая). За многолетний период средняя за январь скорость ветра имеет слабую тенденцию роста (рисунок 2.24).



Рисунок 2.24. Многолетняя динамика средней за январь скорости ветра

Анализ повторяемости направлений ветра по 8 румбам и построенных на их основе розы ветров показали, что в ОДАМ в январе преобладают северные (С) и северо-восточные (СВ) ветра (таблица 2.26, рисунок 2.25).

Таблица 2.26. Повторяемость среднего за январь направления ветра и штиля (%)

Метеостанция	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	штиль
Арал тенизи	19	19	14	8	12	14	8	6	4
Казалы	9	24	19	9	8	15	10	6	24

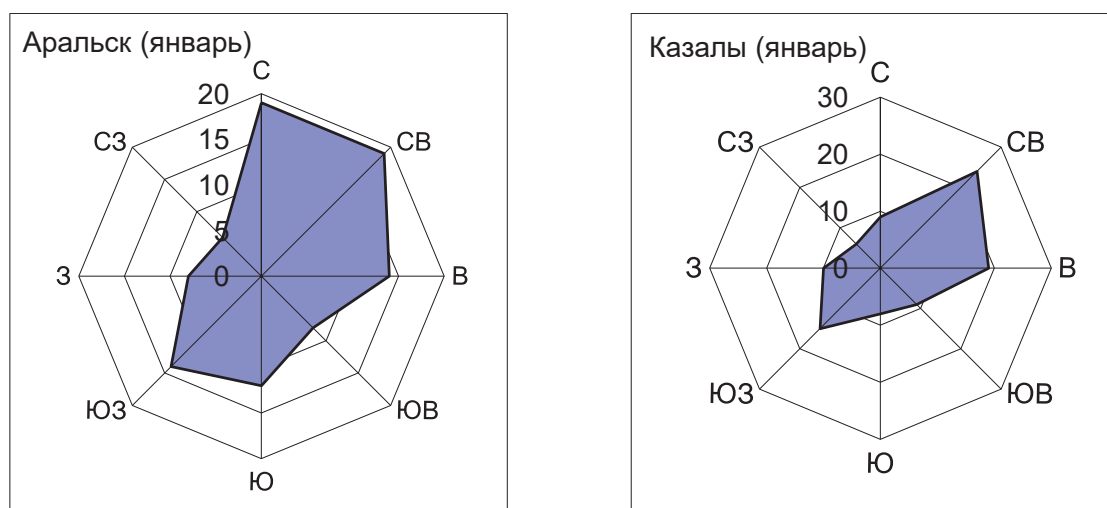


Рисунок 2.25. Роза ветров за январь

Июль. На территории казахстанской части ОДАМ в июле наибольшие скорости ветра наблюдаются в окрестности г. Аральск, наименьшие – в г. Казалы. Средняя за июль скорость ветра в г. Аральск составляет 4,1 м/с, Куланды – 3,2 м/с, г. Казалы – 1,7 м/с. Каукей – 3,3 м/с, Пониженная скорость ветра свойственно только для района метеорологической станции Казалы (см. приложение 14).

Обеспеченность средней за июль скорости ветра показывает, что в районе г. Аральск 1 раз в 10 лет ($P=10\%$) скорость ветра составляет 4,5 м/с, а в 9 годах и 10 лет ($P=90\%$) обеспечена скорость ветра 3,7 м/с, а в районе метеостанции Куланды составляет 3,5 м/с ($P=10\%$) и 2,8 м/с ($P=90\%$) соответственно (таблица 2.27).

Таблица 2.27. Обеспеченность средней за июль скорости ветра (м/с)

Р, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Арал тенизи	4,5	4,3	4,3	4,3	4,1	4,0	3,8	3,7	3,7	3,2
Куланды	3,5	3,4	3,2	3,1	3,1	3,0	2,9	2,9	2,8	2,7
Казалы	2,1	2,0	1,9	1,7	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2	0,7
Каукей	3,9	3,8	3,7	3,5	3,3	3,1	3,0	2,9	2,7	2,5

Многолетняя динамика средней за июль скорости ветра показывает, что из года в год скорость ветра колеблется в достаточно широких пределах. Например, в районе г. Аральска средняя июльская скорость ветра в 2000 году составляла 5,1 м/с (наибольшая), а в 2003 году – 3,2 м/с (наименьшая). За многолетний период средняя за июль скорость ветра имеет слабую тенденцию роста (рисунок 2.26).

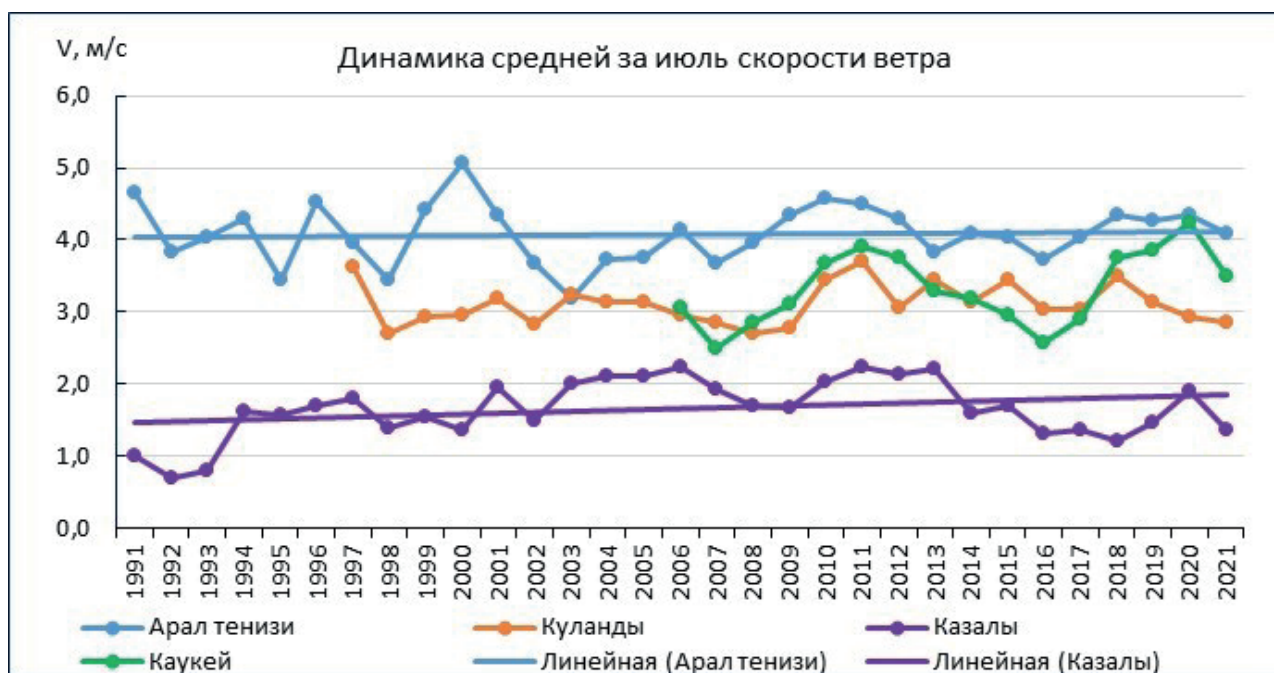


Рисунок 2.26. Многолетняя динамика средней за июль скорости ветра

Анализ повторяемости направлений ветра по 8 румбам и построенных на их основе розы ветров показали, что в ОДАМ в июле преобладают северные (С) и северо-западные (СЗ) ветра (таблица 2.28, рисунок 2.27).

Таблица 2.28. Повторяемость среднего за июль направления ветра и штиля (%)

Метеостанция	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	штиль
Арал тенизи	26	19	8	2	6	13	11	15	4
Казалы	18	20	7	3	2	7	18	25	27

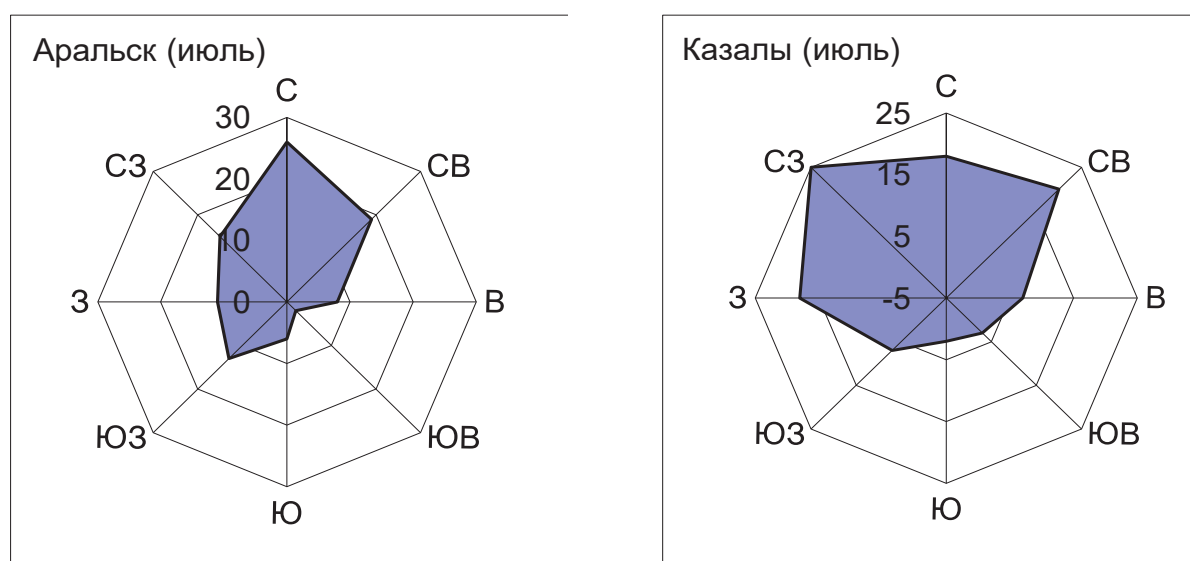


Рисунок 2.27. Роза ветров за июль

2.5. Теплообеспеченность вегетационного периода

Рост и развитие растений начинается с даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха выше уровня его биологической минимальной температуры. Для большинства степных и пустынных растений, а также ранних яровых сельскохозяйственных культур этот предел равен 5°C , для поздних яровых культур 10°C , а для теплолюбивых культур 15°C [23, 24].

Вегетационному периоду степных и пустынных растений соответствует продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха выше 5°C . Тепловые ресурсы вегетационного периода оцениваются суммой средних суточных температур воздуха выше 5°C . Соответственно теплообеспеченность вегетационного периода характеризуется продолжительностью периода со средней суточной температурой воздуха выше 5°C и суммой суточных температур воздуха выше 5°C . Здесь ограничивающим фактором являются заморозки. Также известно, что оптимальный срок посева семян саксаула соответствует дате перехода средней суточной температуры воздуха выше 5°C .

На территории казахстанской части ОДАМ средняя суточная температура воздуха устойчиво переходит через 5°C весной 23–27 марта, а осенью переходит обратно в конце октября – начале ноября. При этом продолжительность периода с температурой выше 5°C составляет 210–225 суток (таблица 2.29).

Таблица 2.29. Даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 5°C и 15°C , продолжительность периодов с температурой выше данных пределов (дата, сутки)

Метеостанция	Дата перехода через 5°C			Дата перехода через 15°C		
	весной	осенью	продолжительность	весной	осенью	продолжительность
Арал тенизи	27.03	28.10	215	25.04	25.09	153
Куланды	25.03	29.10	218	24.04	25.09	154
Казалы	24.03	30.10	220	23.04	25.09	155
Каукей	23.03	01.11	223	22.04	25.09	156

Средняя суточная температура воздуха устойчиво переходит через 15°C весной 22–25 апреля, а осенью переходит обратно 25 сентября. Продолжительность периода с температурой выше 15°C составляет 150–160 суток.

В среднем сумма среднесуточных температур воздуха выше 5°C составляет на севере ОДАМ 4150°C , в центральной части 4250°C , а на юге 4400°C . Сумма среднесуточных температур воздуха выше 15°C составляет на севере ОДАМ 3550°C , в центральной части 3600°C , а на юге 3700°C (таблица 2.30, рисунок 2.28).

Таблица 2.30. Суммы средних суточных температур воздуха выше 5°C и 15°C , количество дней в году с дневной максимальной температурой воздуха $37,0^{\circ}\text{C}$ и выше

Метеостанция	$\Sigma T > 5^{\circ}\text{C}$	$\Sigma T > 15^{\circ}\text{C}$	N ₃₇ , дни
Арал тенизи	4190	3570	17
Куланды	4270	3600	20
Казалы	4230	3540	15
Каукей	4350	3680	27

Высокой температурой, которая подавляет рост и развитие теплолюбивых растений, считается температура воздуха 37°C и выше. На территории ОДАМ количество дней в году с дневной максимальной температурой воздуха $37,0^{\circ}\text{C}$ и выше в среднем составляет на севере 15 дней, на юге 27 дней (таблица 2.30).

На территории ОДАМ климатически весна начинается в среднем 8–16 марта, лето – 22–25 апреля, осень в конце октября, а зима в середине ноября. Продолжительность весны в среднем составляет 40–45 суток, лета – 186–193 суток, осени – 14–16 суток, зимы – 113–123 суток (таблица 2.31).

Таблица 2.31. Даты начала и продолжительность сезонов года (дата, сутки)

Метеостанция	Весна		Лето		Осень		Зима	
	начало	прод.	начало	прод.	начало	прод.	начало	прод.
Арал тенизи	16.03	40	25.04	186	28.10	16	13.11	123
Куланды	11.03	43	23.04	190	30.10	16	15.11	116
Казалы	12.03	43	24.04	188	29.10	16	14.11	118
Каукей	08.03	45	22.04	193	01.11	14	15.11	113

Заморозок – кратковременное понижение температуры воздуха или поверхности почвы до 0°C и ниже, наблюдаемое на фоне положительных средних суточных температур воздуха. На территории ОДАМ весенние последние заморозки в среднем наблюдаются 11–12 апреля, а осенью первые заморозки начинаются 12–13 октября. Продолжительность безморозного периода в воздухе составляет около 185 суток (таблица 2.32).

Таблица 2.32. Средние даты последних весенних и первых осенних заморозков, продолжительность безморозного периода (дата, сутки)

Метеостанция	Весной	Осенью	Продолжительность
Арал тенизи	12.04	13.10	184
Казалы	11.04	12.10	185

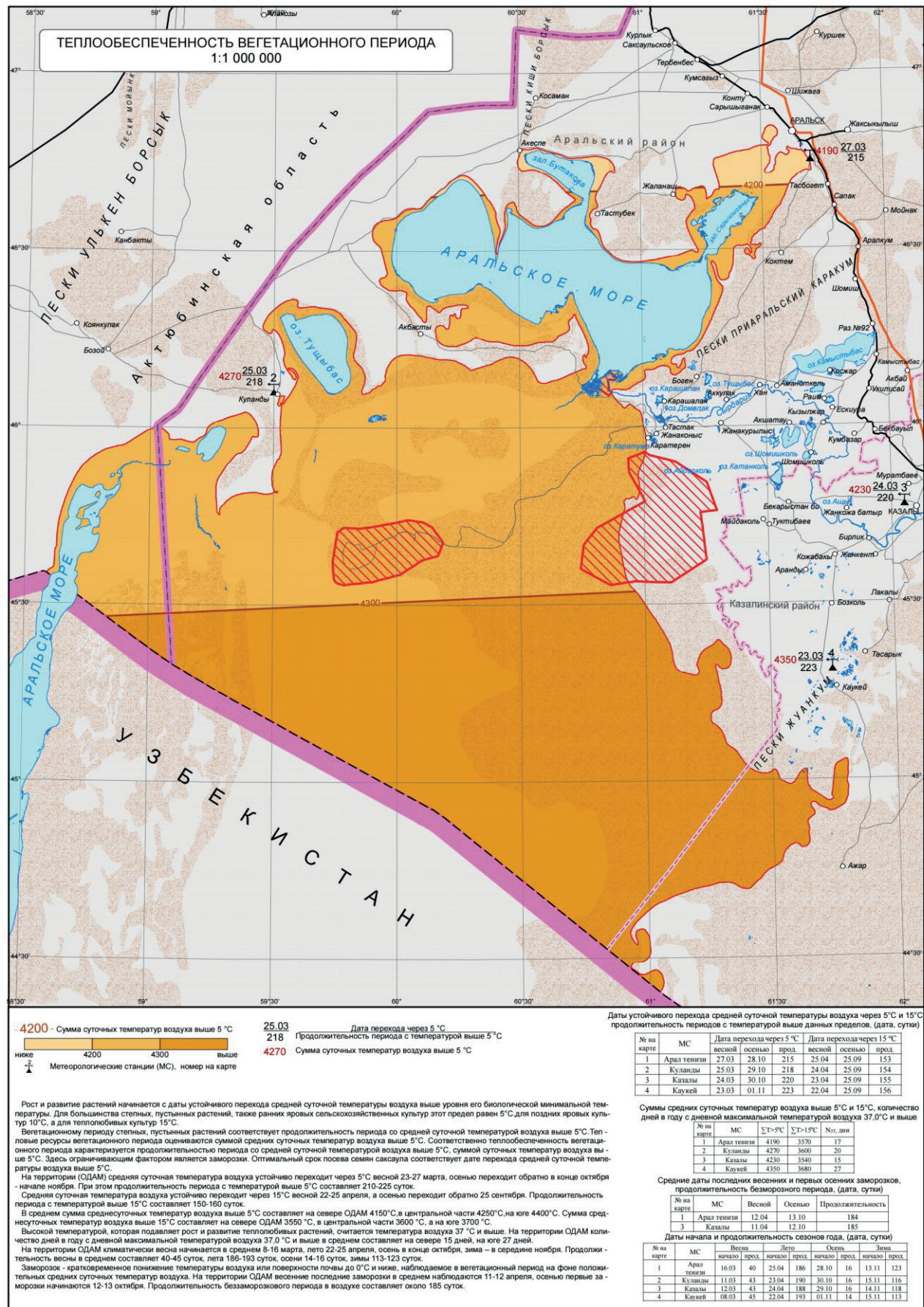


Рисунок 2.28. Карта теплообеспеченности вегетационного периода

2.6. Влагообеспеченность вегетационного периода

Для оценки влагообеспеченности вегетационного периода использовался коэффициент увлажнения K , рассчитанный за период активной вегетации сельскохозяйственных культур (май–август) [25, 26]:

$$K = \frac{0,5 \sum R_{114} + \sum R_{58}}{0,12 \sum T_{58}} \quad (1.1)$$

здесь: $\sum R_{114}$ – сумма осадков за ноябрь–апрель;

$\sum R_{58}$ – сумма осадков за май–август;

$\sum T_{58}$ – сумма температур воздуха за май–август.

Здесь сумма осадков за ноябрь–апрель косвенно характеризует запасы влаги в почве на начало мая (период сева культур), а сумма температур воздуха за май–август – испаряемость (таблица 2.33).

Таблица 2.33. Критерии оценки влагообеспеченности по коэффициенту увлажнения K

K	Влагообеспеченность
$\geq 1,40$	избыток влаги
1,00 – 1,39	оптимальная и устойчивая влагообеспеченность
0,80 – 0,99	достаточная, но не устойчивая влагообеспеченность
0,60 – 0,79	недостаточная влагообеспеченность
0,40 – 0,59	умеренный дефицит влаги
0,20 – 0,39	сильный дефицит влаги
$<0,20$	сухо

На севере и в центре казахстанской части ОДАМ влагообеспеченность вегетационного периода оценивается как «сильный дефицит влаги», на юге – «сухо» (таблица 2.34, рисунок 2.30).

Таблица 2.34. Влагообеспеченность вегетационного периода по K

Метеостанция	K	Влагообеспеченность
Арал тенизи	0,22	сильный дефицит влаги
Куланды	0,20	сильный дефицит влаги
Казалы	0,20	сильный дефицит влаги
Каукей	0,17	сухо

Обеспеченность коэффициента увлажнения показывает, что 1 раз в 10 лет ($P=10\%$) значение K составляет около 0,30, а в 9 годах и 10 лет ($P=90\%$) обеспечено значение около 0,11. Это показывает, что на территории ОДАМ всегда наблюдается сильный дефицит влаги (таблица 2.35).

Таблица 2.35. Обеспеченность коэффициента увлажнения K

$P, \%$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Арал тенизи	0,33	0,27	0,26	0,23	0,20	0,18	0,16	0,15	0,11	0,09
Куланды	0,27	0,23	0,22	0,20	0,17	0,15	0,14	0,13	0,10	0,06
Казалы	0,29	0,27	0,23	0,21	0,20	0,19	0,16	0,15	0,12	0,07

Динамика коэффициента увлажнения K за период 1991–2021 года имеет тенденцию снижения, т.е. снижался влагообеспеченность вегетационного периода (рисунок 2.29).



Рисунок 2.29. Многолетняя динамика коэффициента увлажнения K

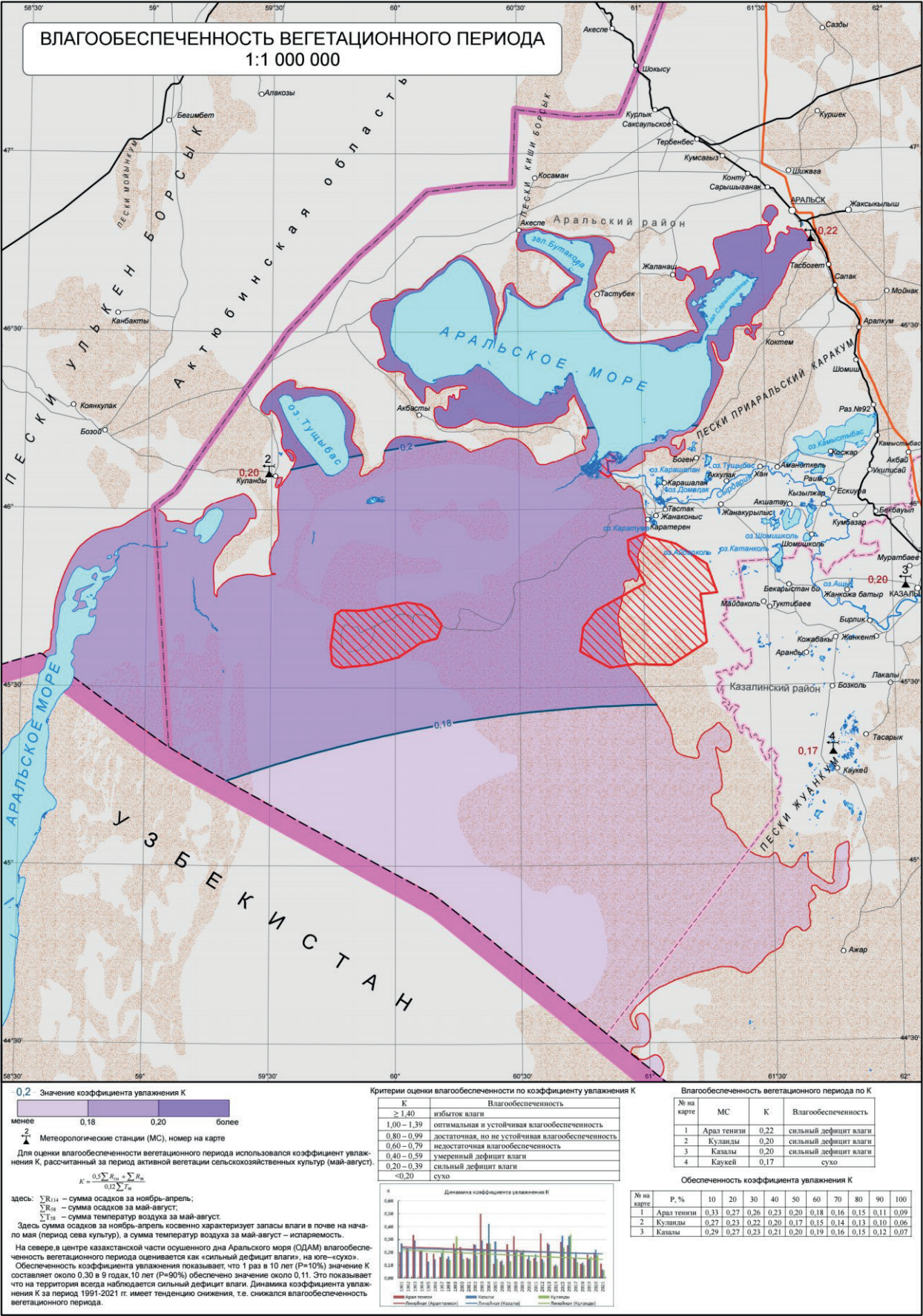


Рисунок 2.30. Карта влагообеспеченности вегетационного периода

2.7. Засушливость вегетационного периода

Для оценки засушливости вегетационного периода использовался гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК), рассчитанный за период активной вегетации сельскохозяйственных культур (май–август) (таблица 2.36) [25–27]:

$$ГТК = \frac{\sum R_{58}}{0,1 \sum T_{58}} \quad (1.2)$$

здесь: $\sum R_{58}$ – сумма осадков за май–август;

$\sum T_{58}$ – сумма среднесуточных температур воздуха за май–август.

Таблица 2.36. Критерии оценки засушливости вегетационного периода по ГТК₅₈

ГТК ₅₈	Степень засушливости
$\geq 0,80$	не засушливо
0,60 – 0,79	слабо засушливо
0,40 – 0,59	умеренно засушливо
$< 0,40$	сильно засушливо

На всей территории казахстанской части ОДАМ засушливость вегетационного периода оценивается как «сильно засушливо» (таблица 2.37, рисунок 2.32).

Таблица 2.37. Засушливость вегетационного периода по ГТК

Метеостанция	ГТК	Степень засушливости
Арал тенизи	0,13	сильно засушливо
Куланды	0,12	сильно засушливо
Казалы	0,11	сильно засушливо
Каукей	0,10	сильно засушливо

Обеспеченность гидротермического коэффициента показывает, что 1 раз в 10 лет (P=10%) значение ГТК составляет около 0,20, а в 9 годах и 10 лет (P=90%) обеспечено значение около 0,03. Это показывает, что на территория ОДАМ всегда бывает сильно засушливо (таблица 2.38).

Таблица 2.38. Обеспеченность ГТК

P, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Арал тенизи	0,24	0,19	0,14	0,14	0,10	0,08	0,06	0,05	0,03	0,01
Куланды	0,19	0,15	0,13	0,10	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01
Казалы	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,07	0,06	0,05	0,03	0,01

Динамика значений ГТК за период 1991–2021 года имеет тенденцию снижения, т.е. усиливался засушливость климата (рисунок 2.31).

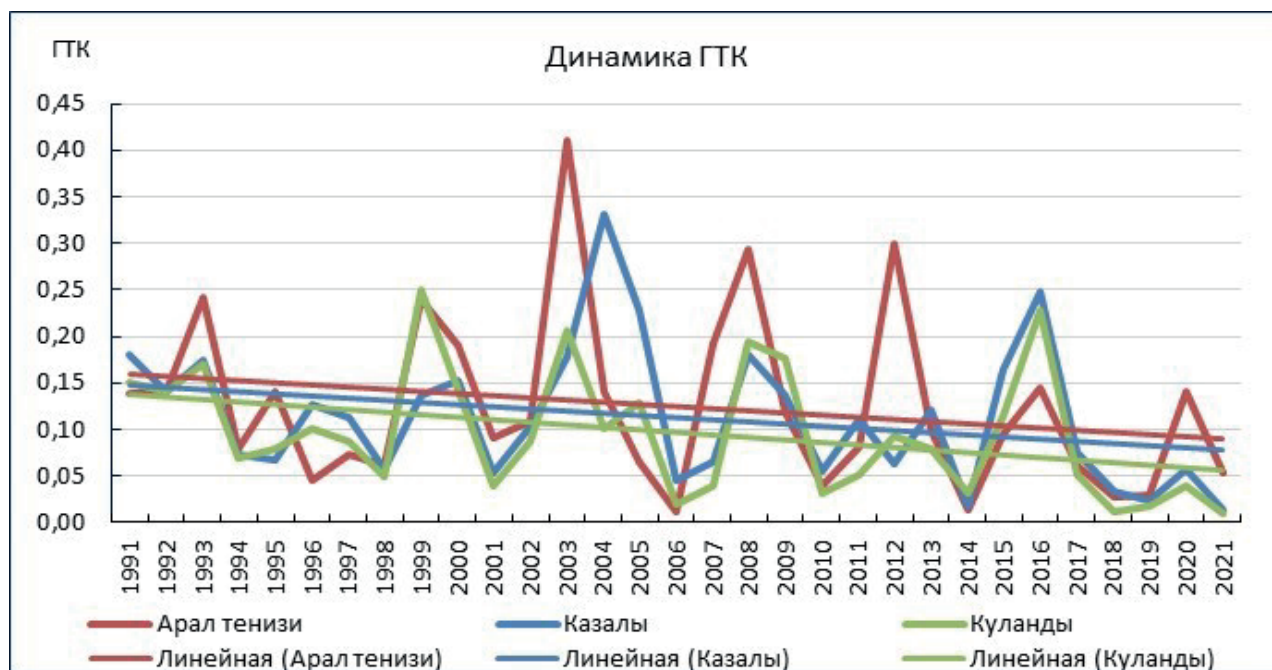


Рисунок 2.31. Многолетняя динамика ГТК

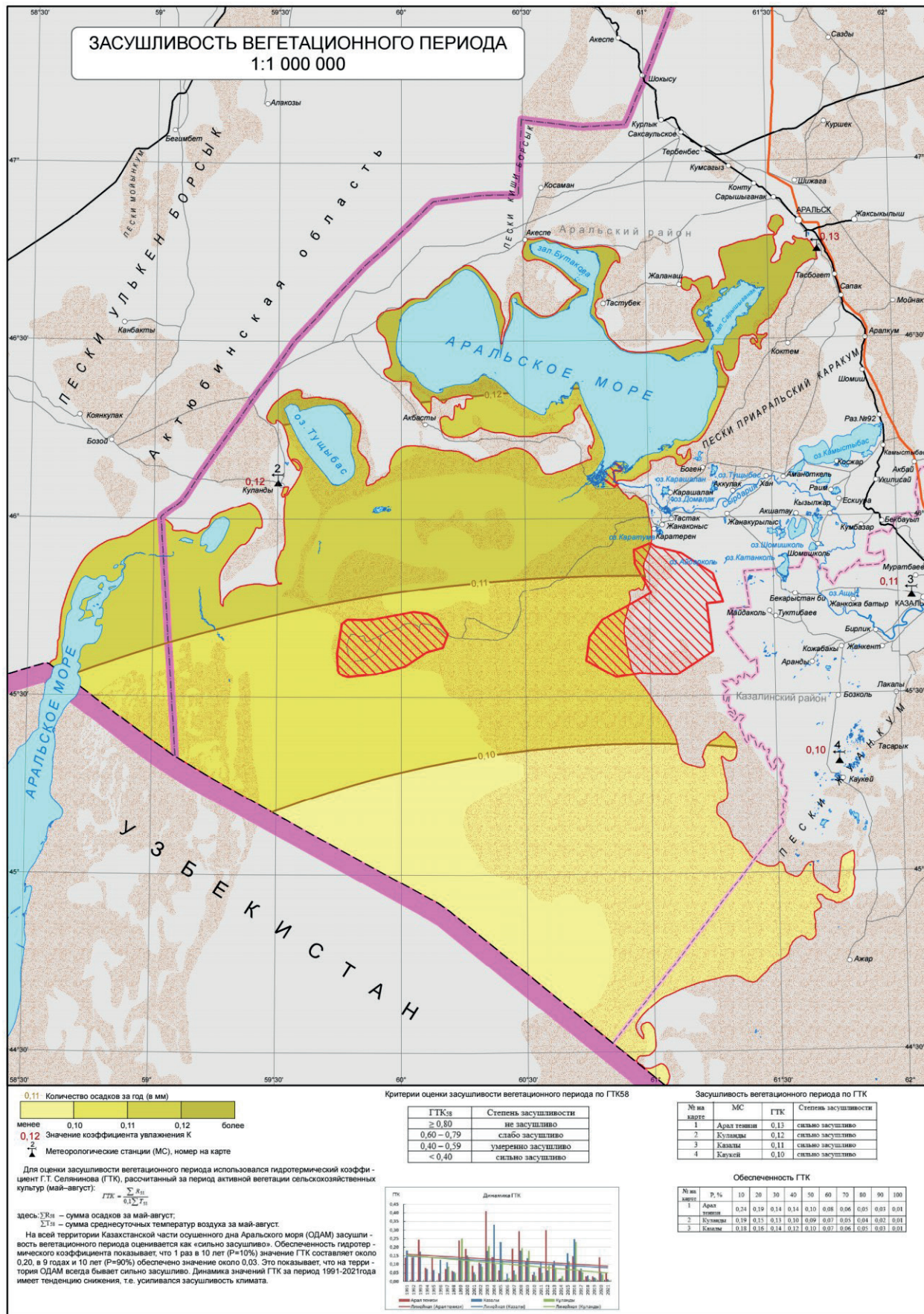


Рисунок 2.32. Карта засушливости вегетационного периода

2.8. Эвапотранспирация за вегетационный период

Эвапотранспирация – это объем воды, расходуемый на транспирацию растениями и испарение с почвы, в м³/га или мм. Транспирация – это процесс, при котором вода из почвы берется корнями растений, проходит через структуру растения и испаряется с поверхности листьев.

Различают фактическую и потенциальную эвапотранспирацию. В растениеводстве важным является потенциальная эвапотранспирация, т.е. объем воды, расходуемый на транспирацию и испарение с почвы при достаточной влагообеспеченности растения.

Для нормального роста и развития растений, необходимо удовлетворить его потребность в воде. Соответственно потенциальная эвапотранспирация понимается как потребность растений в воде.

Вегетация большинства растений проходит в период с температурой воздуха выше 5⁰С. На территории казахстанской части ОДАМ вегетация растений начинается в третьей декаде марта и завершается в конце октября. Продолжительность вегетационного периода в среднем составляет 210–230 дней.

В работах [28, 29] Байшоланова С.С. была предложена методика расчета оросительной нормы сельскохозяйственных культур в южных областях Казахстана, на основе метеорологических данных. В данной методике для расчета суммарного водопотребления, т.е. эвапотранспирации используется комплекс из трех формул (А.М. Алпатъев, И.А. Шаров, Д.А. Штойко). Данный подход был использован нами для расчета эвапотранспирации за вегетационный период на территории ОДАМ.

Эвапотранспирация растений зависит от метеорологических показателей, таких как температура и влажность воздуха, скорость ветра и т.д. На территории ОДАМ за вегетационный период в среднем накапливается 4100–4350⁰С тепла и 3300–3800 гПа дефицит влажности воздуха, средняя температура воздуха составляет 18,8–19,4⁰С, средняя относительная влажность воздуха составляет 41–46% (таблица 2.39).

Таблица 2.39. Значения метеорологических показателей и эвапотранспирация в вегетационный период

Метеостанция	N, сутки	ΣT, °C	t _c , °C	Σd, гПа	f _c , %	ЕТ, м ³ /га среднее	ЕТ, м ³ /га 2021 год
Арал тенизи	215	4150	19,3	3530	43	9800	11900
Куланды	218	4230	19,4	3430	45	9800	11800
Казалы	220	4140	18,8	3310	46	9500	11100
Каукей	223	4320	19,4	3780	41	10300	11600

За вегетационный период потенциальная эвапотранспирация в среднем составляет на севере ОДАМ 9600 м³/га (960 мм), в центральной части – 10000 м³/га (1000 мм), в южной части – 10400 м³/га (1040 мм). В годы с повышенной температурой воздуха возрастает значение эвапотранспирации. Например, в 2021 году, когда на территории ОДАМ в теплый период года установилась высокая температура воздуха, потенциальная эвапотранспирация составила 11100–11900 м³/га (таблица 2.39, рисунок 2.33).

Надо отметить, что по данным М.Х. Сарсенбаева и Ж.М. Калдарбековой [30] значение годовой испаряемости для территории ОДАМ (пустыня) в среднем составляет 1300–1400 мм/год.

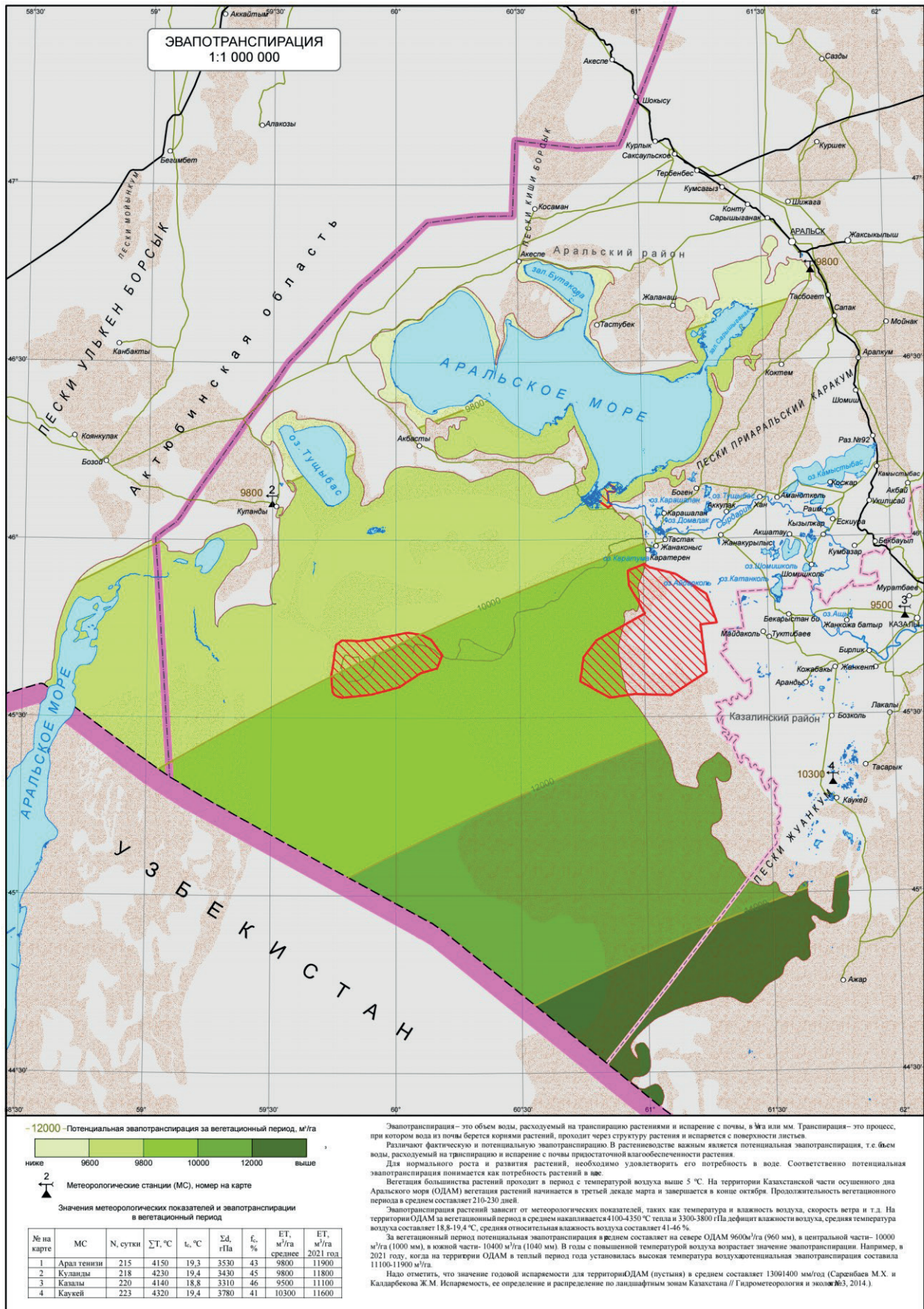


Рисунок 2.33. Карта эвапотранспирации за вегетационный период

2.9. Суховей

Суховей – сложное погодное явление, возникающее при скорости ветра более 5 м/с, высокой температуре воздуха более 25⁰С и влажности воздуха менее 20%, а при температуре 30⁰С более – скорость ветра 3 м/с и более [23, 31, 32].

Под воздействием суховея происходит интенсивное испарение почвенной влаги, нарушение водного баланса растений и обезвоживание тканей растений. В результате растения засыхают и погибают, даже при достаточном запасе влаги в почве, так как корневая система не успевает подавать в наземную часть достаточное количество воды.

Также день считается суховейным, если в околополуденное время дефицит влажности воздуха превышает 20 гПа (слабый), 30 гПа (умеренный) и 40 гПа (интенсивный) при скорости ветра менее 8 м/с [32, 33].

В казахстанской части ОДАМ слабо суховейная погода начинается в конце апреля – начала мая, далее 18–25 мая переходит в умеренный суховей, и в период с конца июня по 7–13 августа устанавливается интенсивный суховей. Далее суховей ослабевает и переходит обратно в умеренную стадию, а в начале сентября – в слабую стадию, и в 21–24 сентября суховейная погода прекращается (таблица 2.40).

Таблица 2.40. Даты начала и завершения суховея различной интенсивности

Метео-станция	Начало слабого суховея	Начало умеренного суховея	Интенсивный суховей	Конец умеренного суховея	Конец слабого суховея
Арал тенизи	01.05	25.05	01.07 – 08.08	02.09	21.09
Куланды	02.05	23.05	30.06 – 09.08	01.09	23.09
Казалы	27.04	23.05	02.07 – 07.08	01.09	23.09
Каукей	26.04	18.05	16.06 – 13.08	05.09	24.09

Годовое количество суховейных дней на территории ОДАМ колеблется от 140 дней на севере до 155 дней на юге. Из них количество дней с интенсивными суховеями, оказывающее сильное отрицательное влияние на рост и развитие растений, составляет на севере ОДАМ 35 дней, на юге – 60 дней. Умеренный суховей наблюдается на севере ОДАМ 60–65 дней, на юге – около 50 дней. Слабо суховейная погода наблюдается в 40–50 днях в году (таблица 2.41, рисунок 2.34).

Таблица 2.41. Годовое количество суховейных дней

Метео-станция	Количество суховейных дней			
	всего	интенсивный	умеренный	слабый
Арал тенизи	143	38	62	43
Куланды	144	40	61	43
Казалы	149	36	65	48
Каукей	151	58	52	41

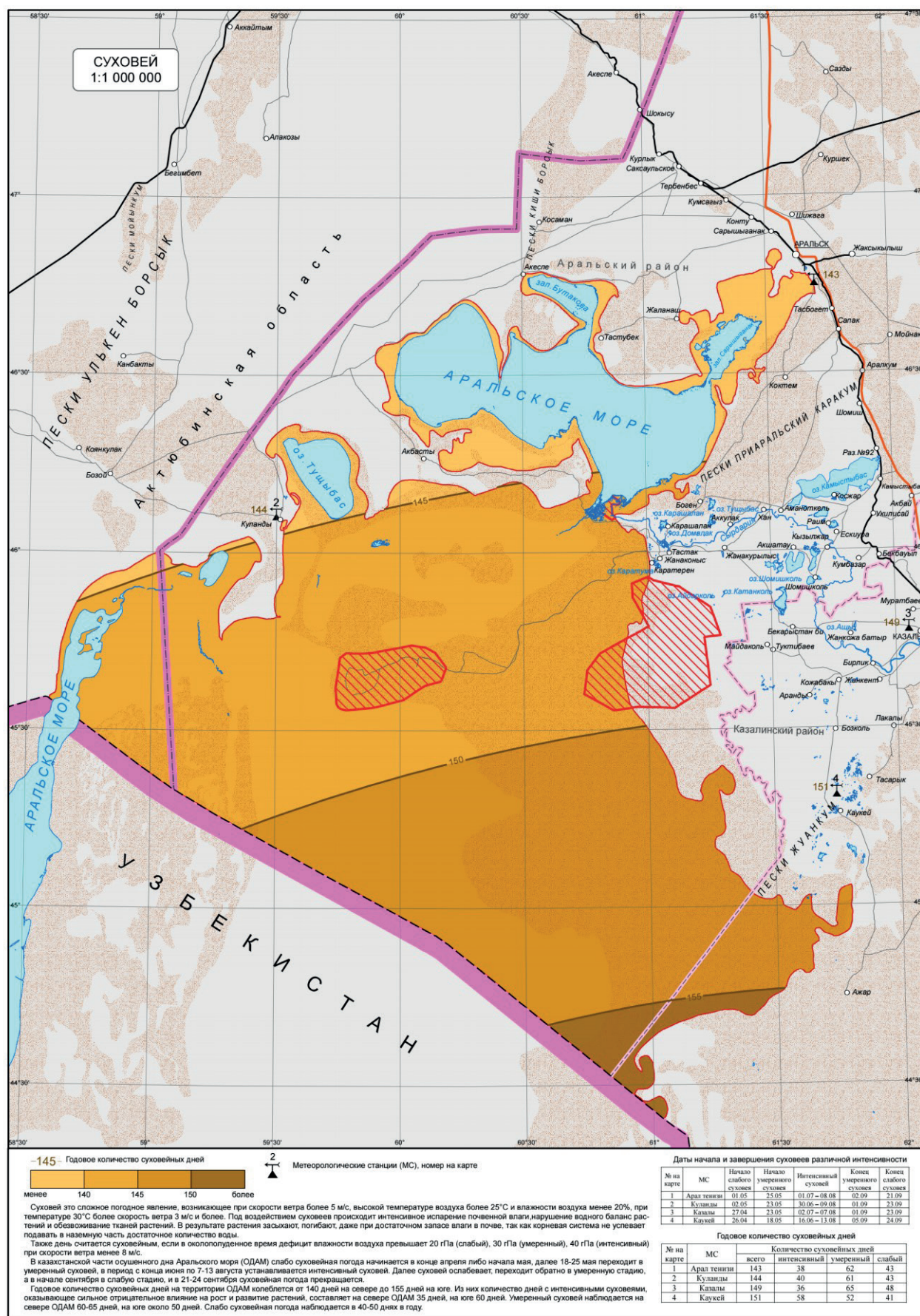


Рисунок 2.34. Карта годового количества суховейных дней

2.10. Анализ пыльных бурь

Пыльная буря – это перенос сильным ветром больших количеств пыли и песка, приводящий к значительному ухудшению видимости. Опасными считаются пыльные бури продолжительностью 3–12 часов, при скорости ветра 10–14 м/с. Они становятся особо опасными при скорости ветра более 15 м/с, продолжительности более 12 часов и видимости менее 500 м.

Исследования процесса выветривания донных отложений Аральского моря можно разделить на два этапа. На первом этапе изучались песчано-солевые бури над осушенными участками супесчаных и песчаных донных отложений. Изучение физических особенностей переноса песка и его влияния на кинематику и динамику воздушного потока позволило создать физико-статистическую модель песчано-солевых бурь и исследовать их климатический режим в Приаралье по данным наблюдений метеорологических станций. Впервые удалось оценить, в каком направлении и какие массы песка переносятся ветром в приземном слое атмосферы во время бурь. Исследовался солевой состав отложений и переносимого ветром аэрозоля. Была получена обширная информация о процессах в атмосфере, гидрологии и почвогрунтах, результаты которых можно найти в монографиях [1, 2].

Одним из наиболее опасных очагов развития песчано-солевых бурь в Центральной Азии является осушенное дно Аральского моря. Режим ветра с повышенными скоростями в сочетании с почвами легкого механического состава и песками способствовал развитию на осушенном дне моря дефляционных процессов и выносу песчаного и солевого аэрозоля на окружающие территории во время пыльных бурь.

Снижение уровня воды Аральского моря привело к формированию обширных площадей суши. В связи с тем, что значительная часть бывшего дна моря занята отложениями легкого механического состава (песками, супесями, суглинками), данная территория подвержена интенсивным процессам дефляции. Воздействие сильных ветров приводит к формированию пыльных бурь, что оказывает негативное влияние на природную среду и хозяйственную деятельность в Приаралье [21, 33, 34].

Высокая повторяемость и продолжительность пыльных бурь и поземок – характерная черта климата Приаралья. В то же время на территории казахстанской части осушенного дна Аральского моря работающих метеостанций нет. Метеостанция на бывшем острове Барсакельмес была закрыта. Установленная в 2020 г. по совместному казахстанско-китайскому проекту метеостанция с пескоуловителями, расположенная западнее с. Каратерен, занесена подвижными песками, в этой связи необходима ее передислокация (рисунок 2.35).

Так как на территории Аральского района отсутствуют систематические инструментальные наблюдения за песчаными бурями, анализ подверженности территории данному явлению исследовался на основе повторяемости и длительности пыльных бурь по метеостанциям, расположенным за пределами ОДАМ, распределению по скоростям и направлениям ветра.

Большая часть территории Приаралья сложена песками и почвами легкого механического состава. Средний размер частиц песка изменяется в зависимости от территории региона от 90 ÷ 100 мкм (осушенная часть дна моря) до 170 ÷ 270 мкм (пустыни, береговые дюны, бывшие острова). Состав песков Приаралья приводит к формированию разреженного растительного покрова. Эти факторы способствуют развитию на территории активных дефляционных процессов в виде песчаных бурь и поземок.

Причинами проявлений пыльных бурь в Аральском регионе также являются повышенные скорости ветра, переносящие пылеватые и песчаные частицы во влекомом и взвешенном состоянии (4–5 м/сек), низкая влажность, малое количество осадков. Наибольшая повторяемость сильных ветров характерна для северной и западной частей территории исследований.



*Рисунок 2.35. Занесенная подвижными песками метеостанция
в северо-восточной части ОДАМ*

За период с 1966–1992 гг. исследования по наблюдению за пыльными бурями проводились на 11 метеостанциях (Аральское море, Уялы, Монсыр, Казалинск, Кызылорда, Саксаульская, Чирик-Рабат, Карак, Джусалы, О. Лазарева, о. Барсакельмес). Было выявлено, что чаще пыльные бури и поземки наблюдались в Северном Приаралье, где их средняя повторяемость изменялась от 36 до 84 суток в год. Меньше пыльных бурь наблюдалось в Восточном Приаралье (9–23 бурь за год) и на островах Барсакеллмес и Лазарева, 2 и 5 соответственно. В Южном Приаралье число суток с пыльными бурями варьировало от 6 до 20 в год. На метеостанции О. Лазарева, единственной из 11 рассматриваемых, был отмечен неуклонный рост числа суток с пыльными бурями. Метеостанция о. Барсакельмес имела наименьшую среднюю повторяемость числа суток с пыльными бурями (1,5 суток). Наибольшее значение этого показателя характерно для метеостанции Аральское море.

Согласно Семенову О.Е. в период с 1960–1979 гг. по 1990 г. наблюдалась тенденция по снижению дефляционных процессов на значительной территории казахстанской части Приаралья [35]. Это связано в целом со снижением скоростей ветра на территории Центральной Азии. Увеличение количества бурь в Приаралье наблюдалось только на двух станциях – плато Устюрт и в районе г. Аральск (таблица 2.42). На метеостанциях Уялы, Монсыр, Казалинск за исследуемый период наблюдалось снижение числа суток с пыльными бурями. Резкое снижение пыльных бурь по станции Казалы связано также с ее местоположением, в региональном плане – в пределах крупного массива орошения, а в локальном – внутри озелененной части города с высокой древесной растительностью.

Одним из важных факторов территориального развития дефляции и аккумуляции пыли и песка является направление ветров. Средняя многолетняя роза ветров на севере Аральского региона свидетельствует о преобладании ветров северных и северо-восточных румбов, перенос частиц происходит в юго-западном и южном направлениях. На метеостанции Аральское море максимальный перенос наблюдается с северо-востока – 462 т/(км•год) и 465 т/(км•год) на юго-запад. В других направлениях перенос значительно меньше. Минимальный модуль (65 т/(км•год)) имеет северо-западный вектор.

Таблица 2.42. Среднее годовое число суток с дефляционными процессами за различные периоды наблюдений казахстанской части территории Приаралья

Станция	Период наблюдений		Местоположение станции
	1960–1979 гг.	1980–1990 гг.	
Аральское море	80	88	Северный берег моря
Уялы	32	13	Восточный берег моря
Казалинск	13	1	Дельта Сырдарьи
Саксаульская	65	34	Северное Приаралье
Монсыр	43	29	Северное Приаралье
Чирик-Рабат	14	3	Пустыня Кызылкум

На соседних станциях Саксаульская (145 т/(км•год)) и Монсыр (125 т/(км•год)) преобладает перенос частиц в восточном направлении. На метеостанциях Казалинск, Чирик-Рабат и Уялы преобладает перенос в направлениях юго-западной четверти румба.

Большинство метеостанций Аральского региона имеют максимальное значение в юго-западном направлении и лишь только некоторые станции – в юго-восточном, восточном и северо-восточном направлениях [35].

На территории Аральского района количество дней с пыльной бурей составляет от 10 до 60 суток, а на остальной территории области – менее 20 дней (рисунок 2.36). Наибольшее число дней с пыльной бурей (более 50 дней) наблюдается севернее Малого Аральского моря. В районе метеостанции Арал тенизи годовое число дней с пыльной бурей составляет 59 дней, а на остальной территории области 1–2 дня в году.

В особо ветреные годы по области пыльные бури могут наблюдаться в 33–109 днях в году. Пыльные бури в основном наблюдаются с апреля по сентябрь. Повторяемость опасных и особо опасных пыльных бурь составляет в районе метеостанции Арал тенизи – 12,8%. На метеостанции Арал тенизи максимальная продолжительность одной пыльной бури составила более 3-х суток (79 час. 30 мин).

Согласно Атласу природных и техногенных опасностей и рисков, чрезвычайных ситуации (2010 г.) степень опасности пыльных бурь в районе метеостанции Арал тенизи оценивается как «значительная», где средняя продолжительность пыльных бурь составляет 6–7 часов, а на остальной территории области как «умеренная» (средняя продолжительность 4–6 часов). В целом, уровень риска развития пыльных бурь в Приаралье оценивается как «высокий».

Выявление пыльных бурь на основе данных ДЗЗ

Пространственно-временной и непрерывный мониторинг проявлений песчано-пылевых бурь (ППБ) и выявление их климатических и наземных движущих факторов имеют важное значение для контроля, смягчения или предотвращения их негативных последствий. Из-за отсутствия пунктов мониторинга ППБ или метеорологических станций на высохшем дне Аральского моря данные дистанционного зондирования со спутниковых платформ являются одним из важных источников достоверной информации для мониторинга [36].

Анализ ежедневных снимков MODIS позволил собрать определенную базу спутниковых снимков с пыльными бурями Приаралья, перечень с датами приведен в таблице 2.43. Из 52 проявлений пыльных бурь 71% проходили весной, большей частью в апреле, остальная – в зимние месяцы (февраль), летние (июнь) и единично осенью (ноябрь). Частота проявлений пыльных бурь связана с усилением ветров в зимние и весенние месяцы. В целом вынос пыле-песчано-солевой смеси большей частью происходит с западной и северо-западной частей ОДАМ в связи с рыхлым несвязным состоянием поверхности песчаных и песчано-солончаковых пустынь.

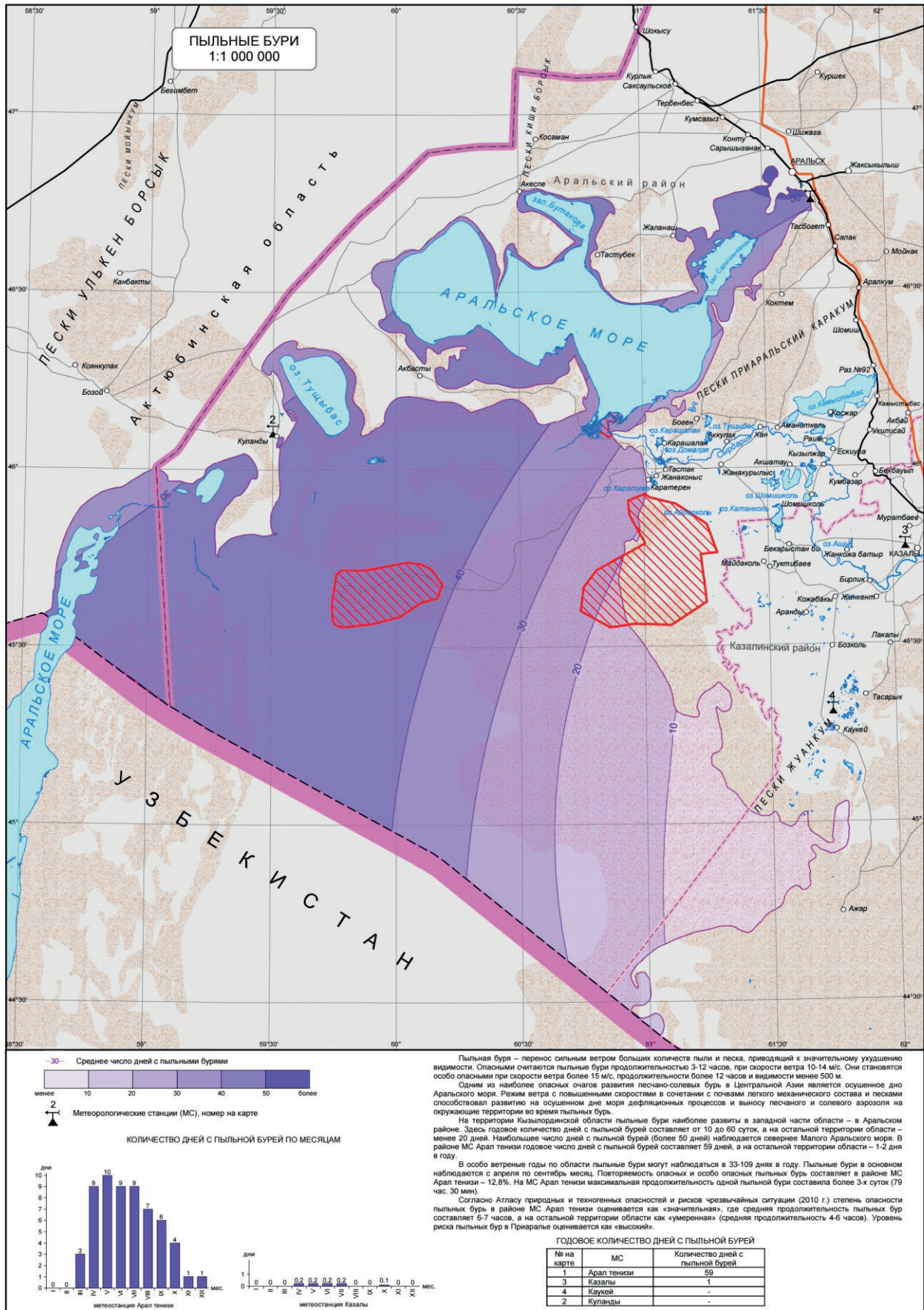


Рисунок 2.36. Карта пыльных бурь по территории ОДАМ

Таблица 2.43. Перечень спутниковых снимков MODIS с датами проявлений пыльных бурь в Приаралье за 2002–2021 гг.

№	Дата	№	Дата	№	Дата
	2002 г.		2009 г.		2016 г.
1.	3 апреля 2002	18.	6 мая 2009	34.	19 января 2016
2.	26 мая 2002	19.	25 мая 2009	35.	17 марта 2016
	2003 г.		2010 г.		2017 г.
3.	7 апреля 2003	20.	22 августа 2010	36.	30 марта 2017
4.	10 апреля 2003	21.	26 июня 2009	37.	11 апреля 2017
5.	15 апреля 2003	22.	5 марта 2022	38.	3 мая 2017
6.	16 апреля 2003	23.	6 марта 2022		2018 г.
7.	18 апреля 2003	24.	25 мая 2010	39.	6 мая 2018
	2005 г.		2012 г.	40.	27 мая 2018
8.	1 февраля 2005	25.	17 апреля 2012	41.	28 мая 2018
9.	2 февраля 2005	26.	21 мая 2012	42.	29 мая 2018
10.	3 февраля 2005		2013 г.	43.	2 июня 2018
11.	31 января 2005	27.	5 апреля 2013	44.	7 июня 2018
	2006 г.	28.	3 мая 2013	45.	8 июня 2018
12.	16 мая 2006		2014 г.		2020 г.
13.	1 сентября 2006	29.	19 марта 2014	46.	3 марта 2020
	2007 г.	30.	22 апреля 2014	47.	6 марта 2020
14.	7 мая 2007	31.	25 апреля 2014	48.	7 марта 2020
15.	8 мая 2007	32.	11 мая 2014	49.	8 марта 2020
	2008 г.		2015 г.	50.	23 марта 2020
16.	10 апреля 2008	33.	17 июля 2015	51.	24 марта 2020
17.	29 апреля 2008				2021 г.
				52.	1 ноября 2021

В последние десятилетия предложено и оценено множество индексов оценки переноса пыли на основе снимков MODIS. Это индексы разницы яркостной температуры (BTD – Brightness Temperature Difference), нормализованный разностный индекс пыли (NDDI – Normalized Difference Dust Index), индекс пыли Ближнего Востока (MEDI – Middle East Dust Index), индекс пыли с поправкой на яркостную температуру (BADI – Temperature Adjusted Dust Index) и расширенный индекс пыли (EDI – Enhanced Dust Index).

В исследовании зарубежных ученых [37] оценивалась применимость EDI для реконструкции временных рядов событий ППБ, а затем изучены межгодовые и внутригодовые временные вариации EDI и относительная важность факторов (осадки, скорость ветра, относительная влажность, общая площадь поверхности воды, суточный диапазон температуры поверхности земли и частичного растительного покрова), влияющих на активность ППБ в Приаралье за последние два десятилетия (2000–2020 гг.). Результаты показывают, что сезонные и трендовые компоненты временных рядов EDI полезны для мониторинга ППБ. Весенний сезон – наиболее активный период песчаных и пыльных бурь, особенно в апреле (рисунки 2.37–2.38).

Сезонный скачок, основанный на BFAST (перерывы для аддитивных сезонных и трендовых изменений), показал, что наибольший пик развития ППБ приходится на более раннюю дату с 2018 года. В целом тенденция EDI увеличивалась в течение 2001–2015 годов, ненадолго снизилась в 2016 году и резко возросла после 2017 года.

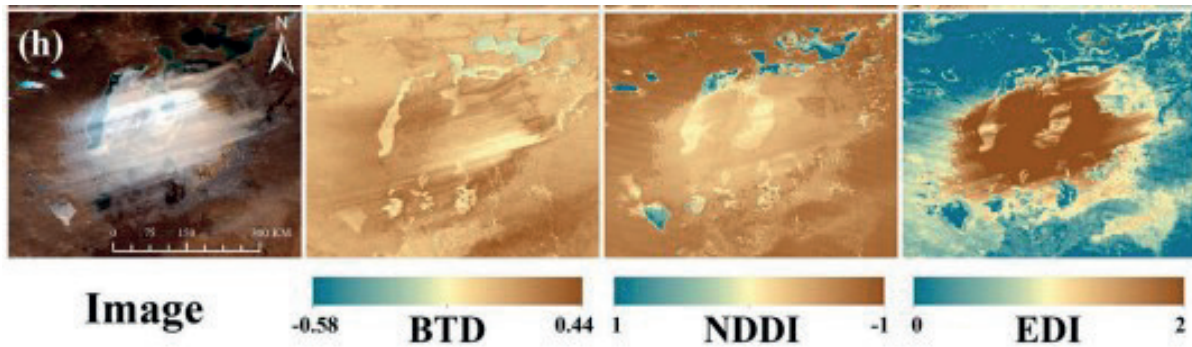


Рисунок 2.37. Изображения MODIS (каналы RGB) (колонка 1), BTDR (колонка 2) NDDI (колонка 3) и EDI (колонка 4); События ППБ 24 марта 2020 года.

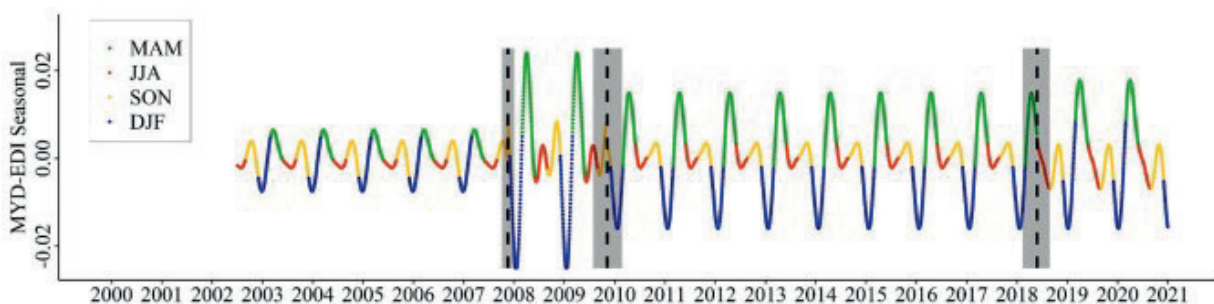


Рисунок 2.38. График временных вариаций сезонных компонентов среднего значения EDI в регионе Аральского моря с 2000 по 2020 год (MAM: Март-май, JJA: Июнь-август, SON: Сентябрь-ноябрь, DJF: декабрь-февраль; Пунктирные линии: сезонные контрольные точки, Серое затенение: доверительные интервалы.)

Qu с соавторами [38] предложили NDDI, нормализованное соотношение полосы 2,1 мкм и синей полосы, для обнаружения пыльных бурь и мониторинга изменения влажности пыльной бури. Преимущества NDDI обусловлены высокой чувствительностью диапазона MODIS 2,1 мкм к содержанию влаги. С помощью этого индекса пыль, находящуюся в воздухе, можно отличить от других элементов.

Нормализованный индекс пыли (Normalized Difference Dust Index (NDDI)) вычисляется по формуле:

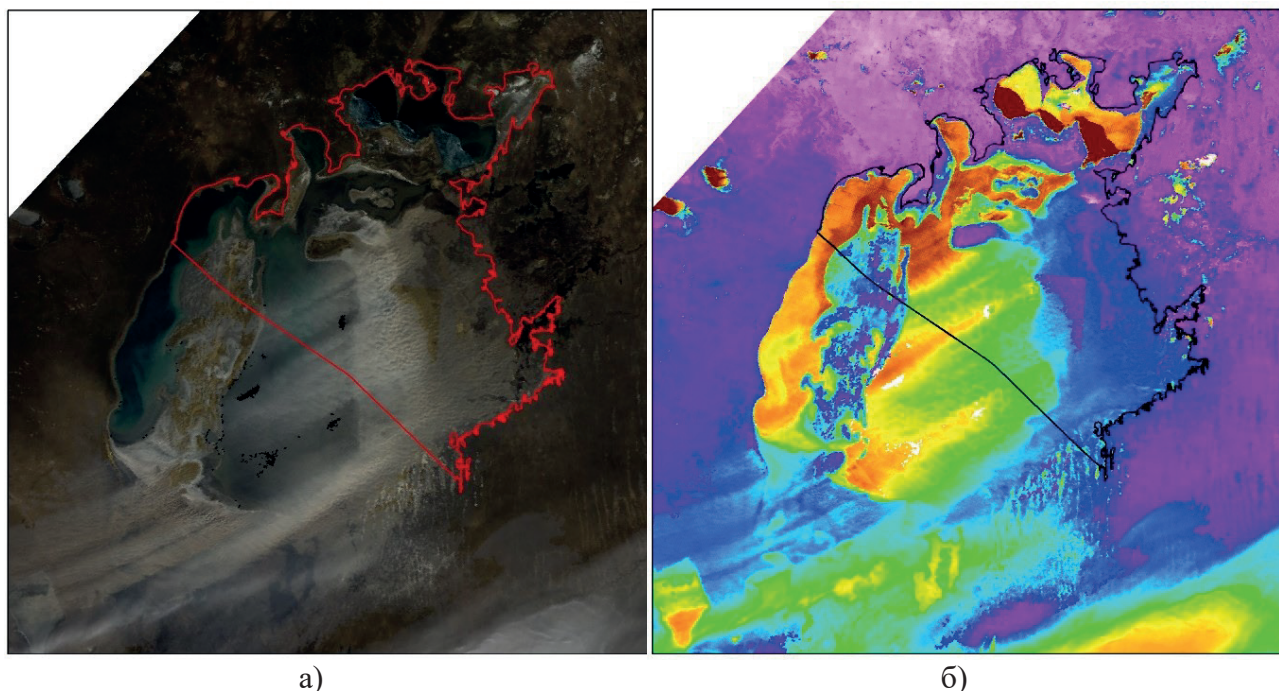
$$NDDI = (\rho_{2.13 \mu m} - \rho_{0.469 \mu m}) / (\rho_{2.13 \mu m} + \rho_{0.469 \mu m})$$

Алгоритм обработки выполнен в программе ENVI с помощью инструмента Band Math по следующей формуле:

$$NDDI = (float(b3) - float(b7)) / (float(b3) + float(b7))$$

где b3, b7 – соответствующие каналы MODIS.

В данной работе для обработки снимка со спутника MODIS за 17 июля 2015 года использован индекс NDDI (рисунок 2.39). Для сравнения значений на снимке определены следующие типы: пыльная буря, облака разной плотности и водные объекты. Очаг развития пыльной бури находится на территории осушенного дна казахстанской части ОДАМ.



а) б)
Рисунок 2.39. Исходный с каналами 3 и 7 (а) и обработанный по индексу NDDI (б) снимок MODIS за 17.07.2015 г.

На снимке четко наблюдается территория формирования пыльной бури в восточной части ОДАМ и направление выноса пыле-солевой смеси в юго-западном направлении. На обработанном снимке территория формирования и прохождения пыльной бури соответствует зеленому цвету, который показывает шлейф бури на территории ОДАМ. Очаг находится на осушенном дне казахстанской части со значениями пикселей бури от береговой линии с 0,05 до 0,28 над поверхностью воды, протяженность плотного шлейфа достигает 80 км в длину. Перенос более тонких частиц виден шлейфом пыльной бури со значениями минус 0,1, минус 0,2 за пределы Аральского моря, примерно на расстояние в 130 км от зоны выноса. Значения индекса на территории с плотной облачностью изменяется от 0,5 до 0,8. Земная поверхность имеет отрицательные значения, от минус 0,3 до минус 0,6. Таким образом, индексом NDDI является возможным выявление песчаных и пыльных бурь отделяя их по значениям от облаков.

Второй этап развития бурь на дне Арала, связан с выходом из-под воды на дневную поверхность донных алевритовых и илистых отложений. Быстрое падение уровня воды в Аральском море в начале 21 века привело к образованию новых больших площадей суши на территории Большого Арала, занятых отложениями алевритовых и глинистых илов с высоким содержанием солей. Они подвергаются интенсивным процессам выветривания. Известно, что алевриты состоят преимущественно из минеральных зерен (кварц полевой шпат, слюда и др.) размером 0,005...0,1 мм (5...100 мкм), но детальная информация о функции распределения их частиц по размерам отсутствует. Алевритовые грунты должны так же легко подвергаться выдуванию, как песчаные и супесчаные, так как они содержат в своем составе те же наиболее легко перемещаемые ветром частицы размером 70...100 мкм. Наличие в них более мелких частиц размером 5...50 мкм приводит к формированию более длинных шлейфов выносов аэрозолей из-за большей продолжительности жизни этих частиц в атмосфере [3, 4].

Анализ космических снимков 2002–2020 годов подтверждает увеличившуюся повторяемость пылевых выносов из района Арала и большую оптическую плотность их изображения. Имеются космические снимки, на которых шлейфы пылевых выносов достигают более 700 км, что свидетельствует о большем обогащении потоков мелкими частицами и возросшей переносимой массе частиц твердой фазы.

Таким образом, на многолетние и сезонные изменения активности ППБ влияет сочетание метеорологических и наземных условий. Причем основные движущие факторы деятельности ППБ могут различаться на разных этапах. В период 2000–2005 гг. преобладающим движущим фактором была скорость ветра. С 2006 по 2015 год наземный фактор был основной движущей силой деятельности ППБ, в котором доминировали общая площадь поверхности воды, суточный диапазон температуры поверхности земли. Региональная засуха, низкая относительная влажность воздуха и осадки сыграли жизненно важную роль в активизации ППБ с 2017 года.

Продолжающееся понижение уровня и уменьшение водной поверхности западного и особенно восточного участков Аральского моря увеличивают запыленность территории, а повторяемость засух увеличивает риск развития ППБ в Приаралье в ближайшие 5–10 лет. В будущем необходимы дополнительные исследования для оценки риска ППБ, чтобы обеспечить научную основу для устойчивого развития Приаралья [37].

2.11. Ожидаемое изменение климата в казахстанской части осушенного дна Аральского моря

ОЖИДАЕМОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА К 2030 ГОДУ

Температура воздуха

Полученные результаты показывают, что на казахстанской территории ОДАМ до 2030 г. возможно дальнейшее повышение приземной температуры воздуха, как в целом за год, так и во все сезоны при всех рассматриваемых сценариях. Повышение может составить в среднем по сезонам на 1,6–1,9⁰С к 2030 г.

Возможное прогнозируемое изменение средней годовой температуры воздуха на казахстанской части территории ОДАМ к 2030 г. будет находится в диапазоне 1,6–1,8⁰С. Нижняя граница диапазона соответствует сценарию концентрации парниковых газов РТК4.5, а верхняя граница РТК8.5. Наибольшее повышение температуры воздуха, осредненной по казахстанской части территории Иле-Балхашского бассейна, ожидается в летний сезон на 1,8–1,9⁰С в 2030 г. (таблица 2.44, рисунки 2.40–2.42). В зимний и переходные сезоны года рост температуры менее существенный и составляет 1,5–1,9⁰С в 2030 г.

Таблица 2.44. Вероятные изменения годовой и сезонной температуры воздуха на территории казахстанской части ОДАМ к 2030 г., по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей РТК4.5 и РТК8.5

Сценарий	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
2020–2039 гг. (2030 г.)					
РТК4.5	1,6	1,6	1,5	1,8	1,6
РТК8.5	1,8	1,9	1,8	1,9	1,7

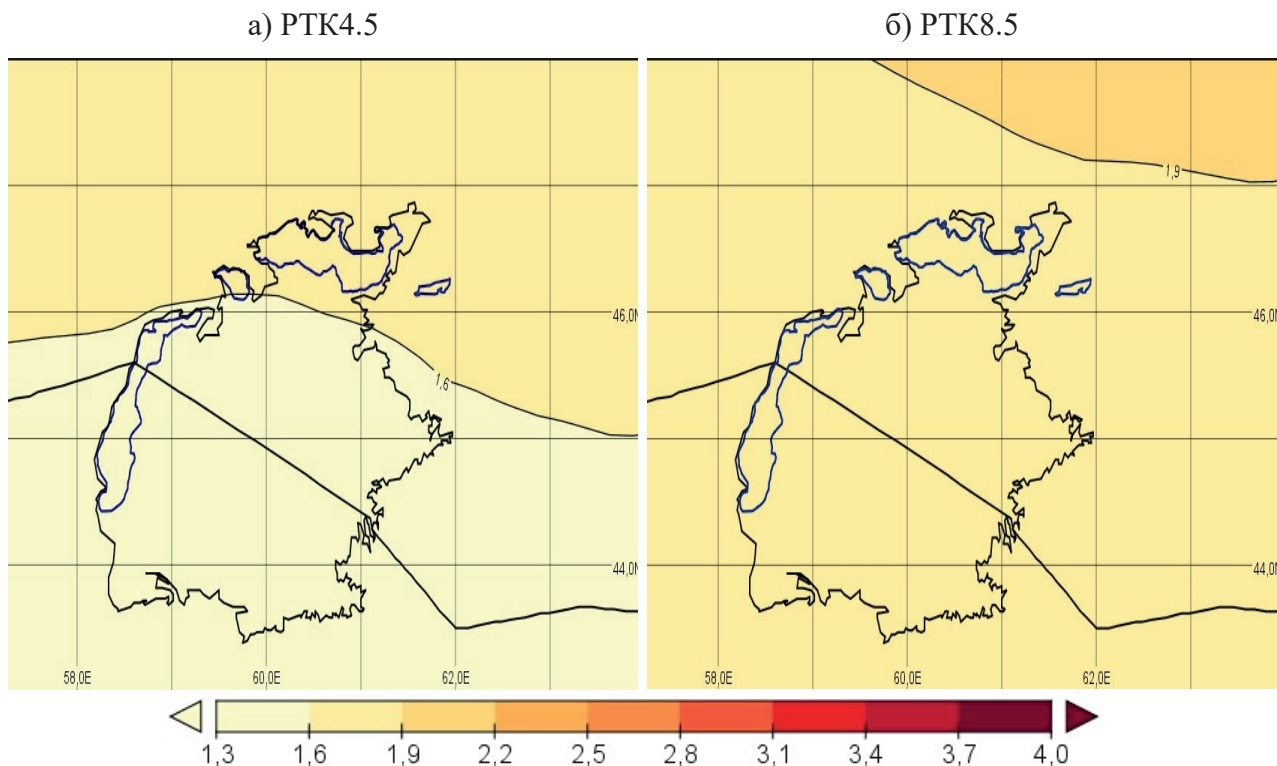


Рисунок 2.40. Изменение средней годовой температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) к 2030 г. (а, б) по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей РТК4.5 и РТК8.5.

Наибольшее повышение температуры воздуха, осредненной по казахстанской части ОДАМ, ожидается в летний сезон на $1,8\text{--}1,9^{\circ}\text{C}$ в 2030 г. Повышение зимних температур в 2030 г.; весенних – на $1,5\text{--}1,8^{\circ}\text{C}$, а осенних – на $1,6\text{--}1,7^{\circ}\text{C}$ (таблица 2.42, рисунки 2.41–2.42). Как и следовало ожидать, наибольшее повышение температуры воздуха будет происходить при высокой радиационной нагрузке (сценарий РТК8.5).

Пространственное распределение среднегодовой и сезонной температуры воздуха к 2030 г. при различном радиационном воздействии (РТК4.5 и РТК8.5) показано на рисунках 2.41–2.42. Наибольшее повышение температуры воздуха на казахстанской части территории ОДАМ ожидается в зимний и весенний периоды в северных и северо-восточных районах исследуемой территории при всех сценариях концентрации парниковых газов, в летний и осенний периоды температурное поле над водной поверхностью и территории ОДАМ более однородно.

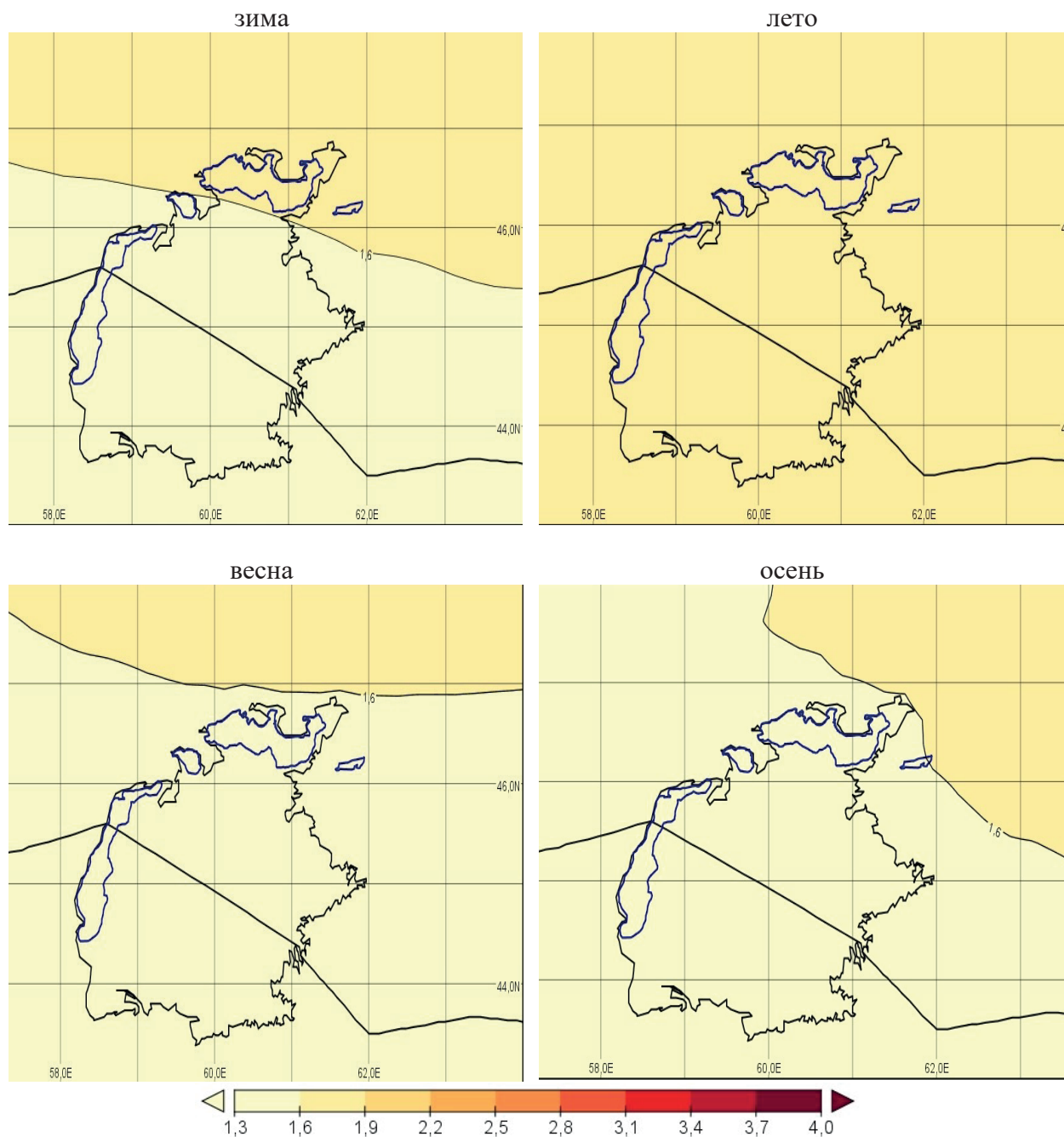


Рисунок 2.41. Изменение средней сезонной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) к 2030 г. по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей РТК4.5.

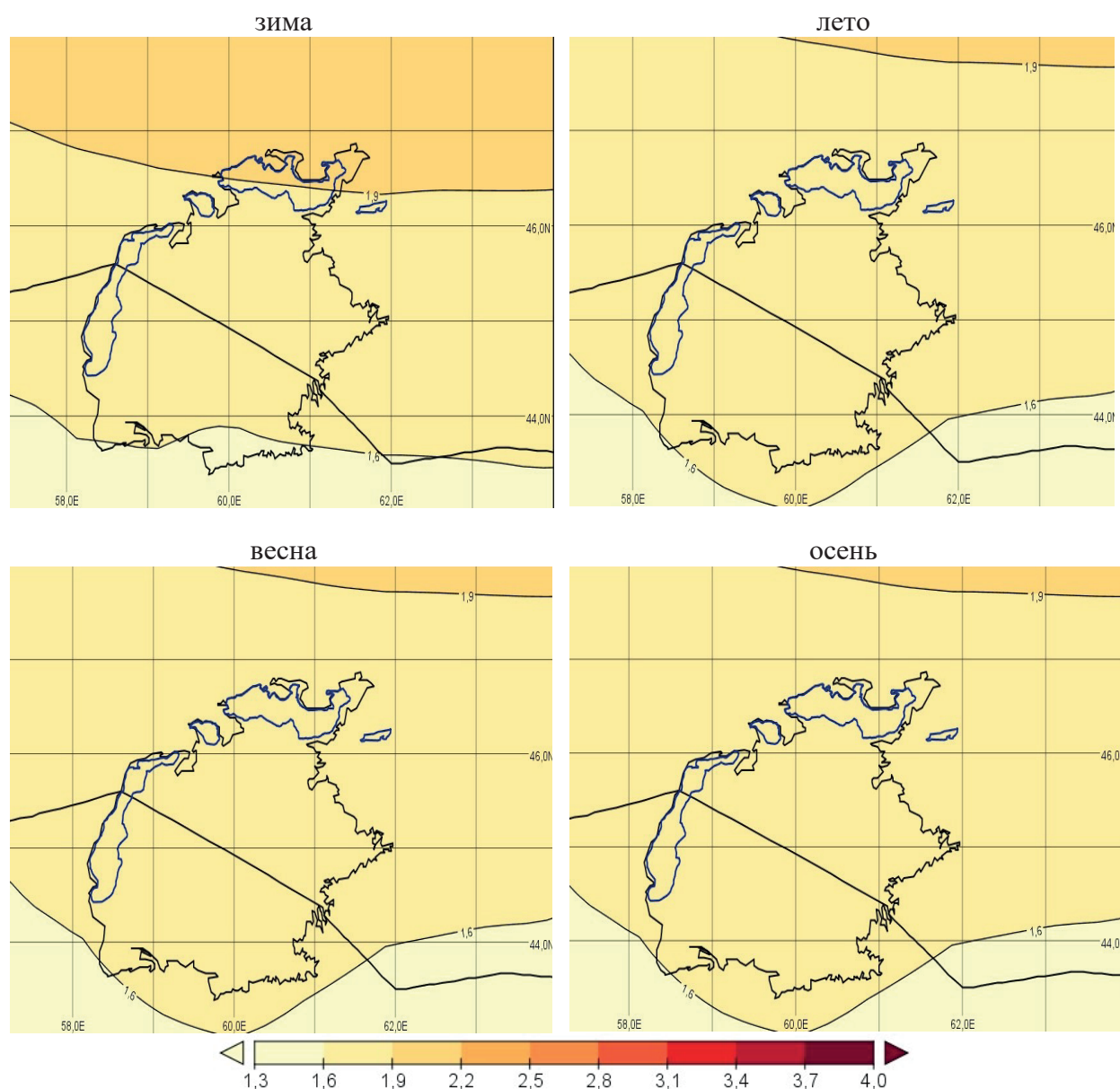


Рисунок 2.42. Изменение средней сезонной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) к 2030 г. по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей РТК8.5.

На рисунке 2.43 и таблице 2.43 представлен внутригодовой ход вероятных изменений температуры воздуха, осредненных по территории казахстанской части ОДАМ. В период 2020–2039 гг. (2030 г.) текущего столетия во все месяцы года вероятно повышение температура воздуха на исследуемой территории. Наибольшее повышение температуры воздуха ожидается в период с середины лета до середины осени, в феврале и марте месяцах по всем сценариям радиационного воздействия, и по сценарию высокой радиационной нагрузке (РТК8.5) в эти месяцы будет преодолен температурный порог в $2,0^{\circ}\text{C}$, что для средней глобальной температуры признано пределом, за которым может последовать непредсказуемая разбалансировка климатической системы [35, 36].

Таблица 2.43. Вероятные изменения среднемноголетней месячной температуры воздуха на территории казахстанской части ОДАМ к 2030 г. ($^{\circ}\text{C}$)

Сценарий	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2020–2039 гг.												
РТК4.5	1.6	1.8	1.6	1.5	1.5	1.6	1.8	1.8	1.9	1.5	1.4	1.4
РТК8.5	1.7	2.1	2.1	1.7	1.5	1.6	1.9	2.1	2.1	1.8	1.4	1.8

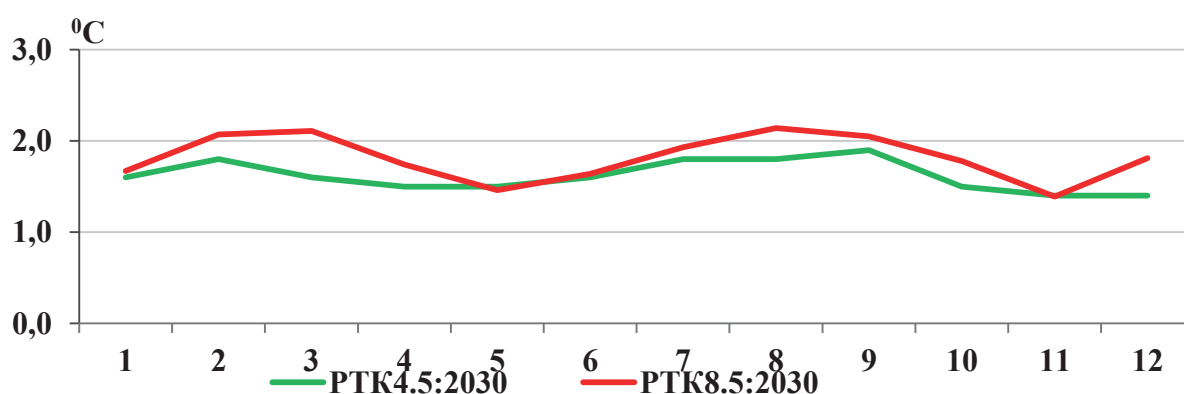


Рисунок 2.43. Внутригодовое изменение температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в 2050 г. сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей РТК8.5, осредненные по казахстанской части территории ОДАМ.

Количество атмосферных осадков

На рисунках 2.44–2.46 и таблице 2.44 представлены вероятные изменения количества осадков по казахстанской территории ОДАМ к 2030 г. в соответствии с репрезентативными траекториями концентрации парниковых газов РТК4.5 и РТК8.5. Изменения в количестве осадков были рассчитаны в процентах относительно среднего многолетнего значения за период 1980–1999 гг.

На исследуемой территории в период 2020–2039 гг. следует ожидать незначительное увеличение годовой суммы осадков для всех рассматриваемых новых сценариев. Во все сезоны года по сценарию высокой радиационной нагрузке (РТК8.5) возможно уменьшение количества осадков, а в осенний период даже дефицит осадков.

Направление изменения осадков зависит от уровня радиационной нагрузки. В частности, в условиях стабилизации (РТК4.5) или высокой радиационной нагрузки (РТК8.5). Изменение годовых сумм осадков в среднем по казахстанской части ОДАМ относительно 1980–1999 гг. будет вероятно находиться в диапазоне 9,1–3,2% к 2030 г. Нижняя граница диапазона соответствует сценарию концентрации парниковых газов РТК4.5, а верхняя граница РТК8.5.

Наибольшее увеличение годовых сумм осадков по двум сценариям ожидается в юго-западных и северных регионах котловины. Наименьшее увеличение годового количества осадков прогнозируется в северо-восточных регионах.

Таблица 2.44. Вероятные изменения годовых и сезонных сумм осадков на территории казахстанской части ОДАМ к 2030 г. по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей РТК4.5 и РТК8.5 (%)

Сценарий	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
2030 г. (2020–2039 гг.)					
РТК4.5	9,1	12,2	7,7	15,2	5,0
РТК8.5	3,2	8,4	2,2	6,0	-2,6

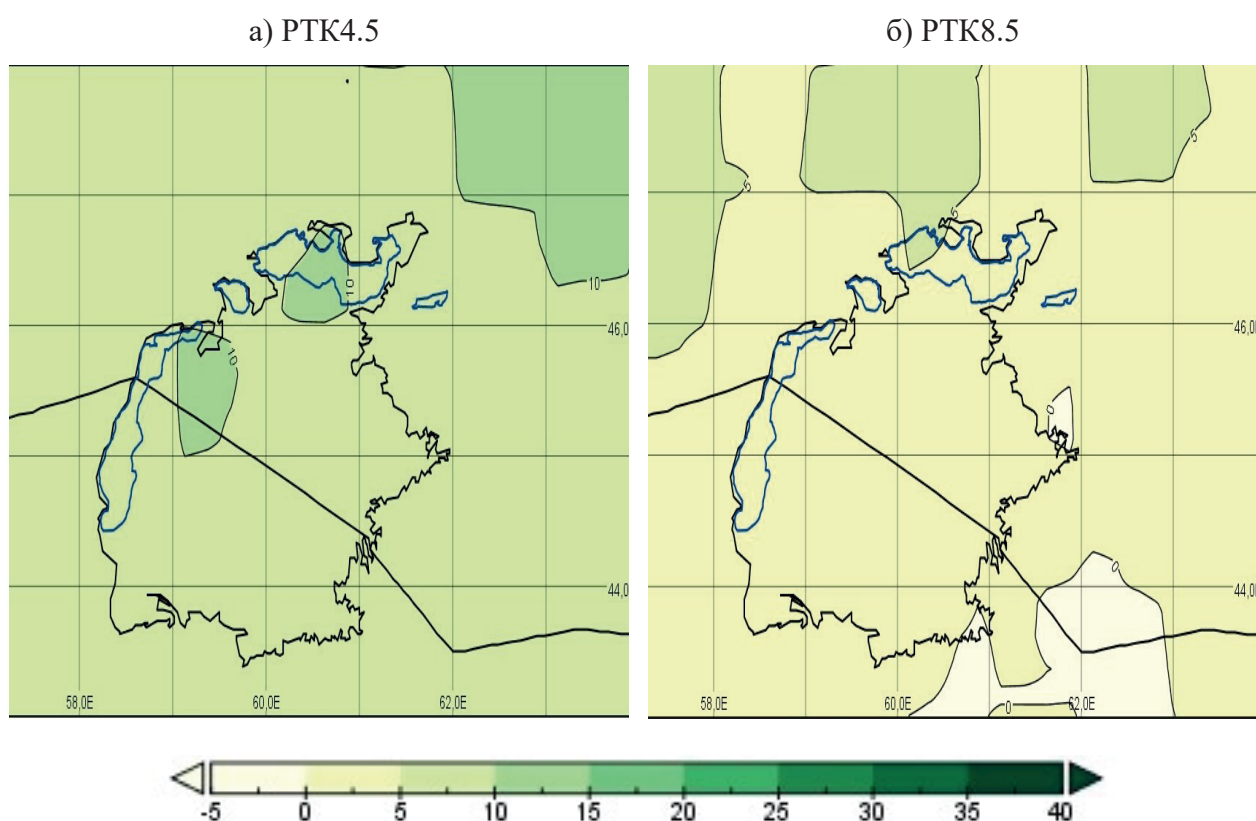


Рисунок 2.44. Изменение годового количества осадков (%) к 2030 г. (а, б) по оценкам ансамбля 21 модели CMIP5 по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей RCP4.5 (а) и RCP8.5 (б). Изменения рассчитаны относительно периода 1980–1999 гг.

В сезонном разрезе в характере изменений осредненных по территории казахстанской части ОДАМ количества осадков предполагаются значительные различия. Наибольшее увеличение осадков ожидается в зимний и летний периоды, – в зимний период на 12,2–8,4% к 2030 г., а в летний период на 15,2–6,0% к 2030 г., максимальные изменения в этот период ожидаются в юго-восточном регионе. В весенний период количество осадков увеличится на 11,3–9,9% к 2030 г. Наименьшее увеличение осадков, а в некоторых регионах исследуемой территории даже уменьшение количества осадков, ожидается в осенний сезон по сценарию РТК4.5 к 2030 г. на 5,0%. По сценарию высокого радиационного воздействия (РТК8.5) существует вероятность дефицита количества осадков к 2030 г. до 2,6% в среднем по территории (рисунки 2.44–2.46), наибольший дефицит осадков ожидается в восточном, юго-восточном регионе. Нижняя граница диапазона соответствует сценарию концентрации парниковых газов РТК4.5, а верхняя граница РТК8.5. Как и следовало ожидать, наименьшее увеличение, или даже дефицит, количества осадков возможно будет происходить при высокой радиационной нагрузке (сценарий РТК8.5).

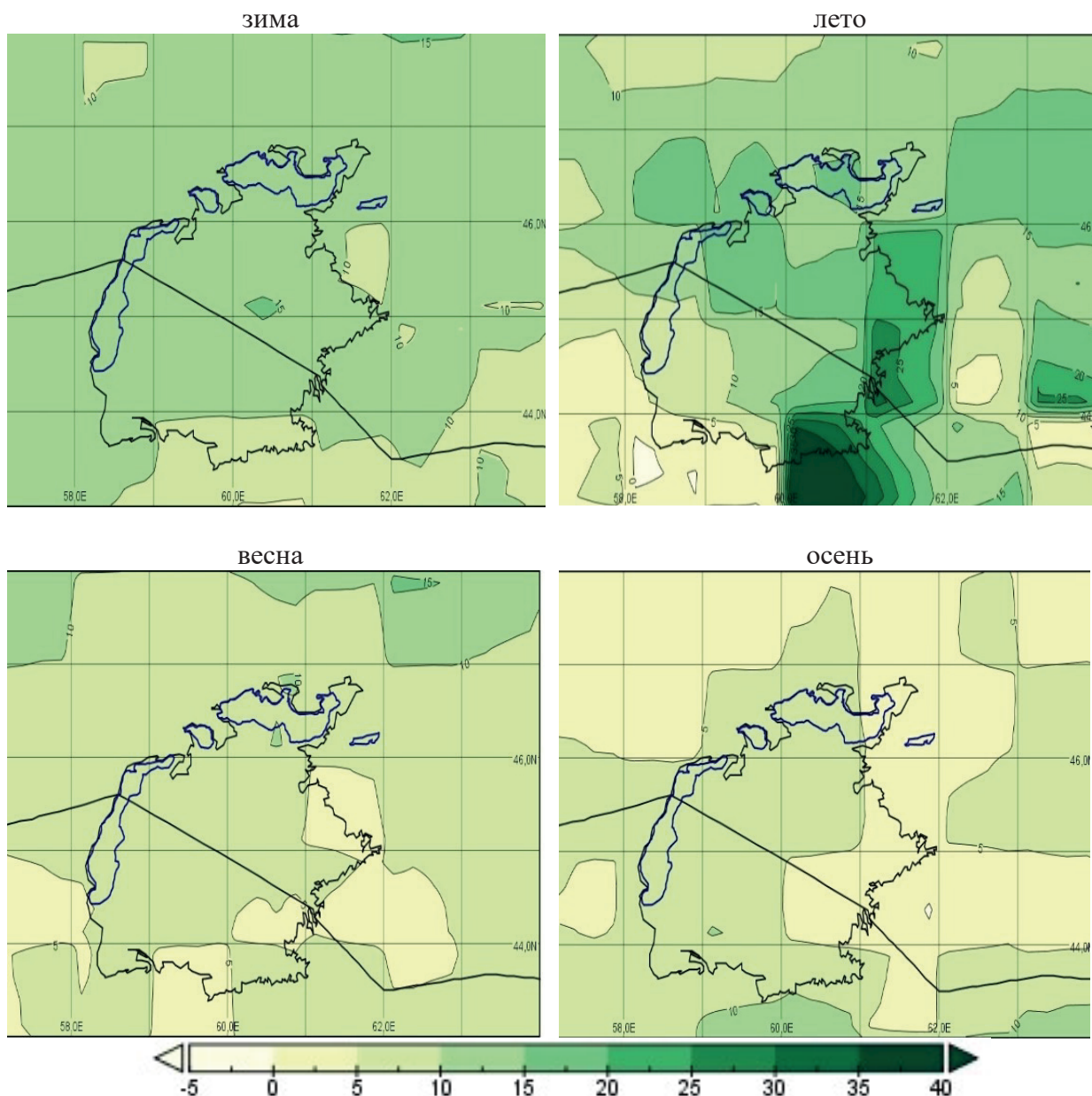


Рисунок 2.45. Изменение средних многолетних сезонных сумм осадков к 2030 г.
по оценкам ансамбля 21 модели CMIP5
по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей РТК4.5.

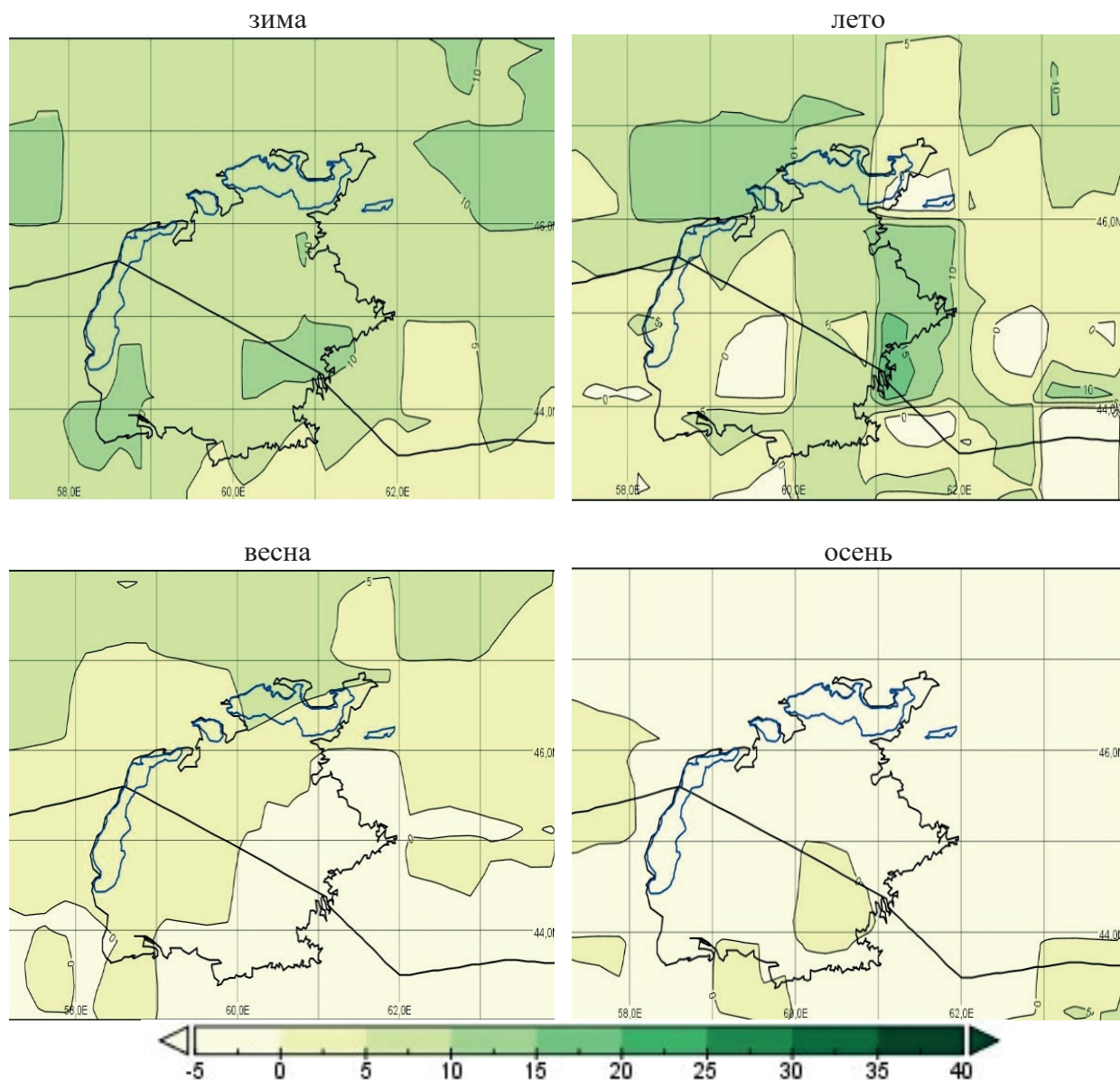


Рисунок 2.46. Изменение средних многолетних сезонных сумм осадков к 2030 г.
по оценкам ансамбля 21 модели CMIP5
по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей RCP8.5.

На рисунке 2.47 и таблице 2.45 представлен внутригодовой ход вероятных изменений количества атмосферных осадков, осредненных по казахстанской части ОДАМ. На исследуемой территории возможно увеличение количества осадков по всем сценариям радиационного воздействия. Более высокие темпы роста количества осадков вероятны по сценарию умеренной стабилизации радиационного воздействия РТК4.5, в следующих месяцах года: декабре, июне, феврале, августе. В то же время, в июле, сентябре, ноябре, апреле возможно неизменное или незначительное увеличение количества осадков относительно периода 1980–1999 гг., а в октябре и марте месяцах возможно уменьшение количества осадков по всем сценариям.

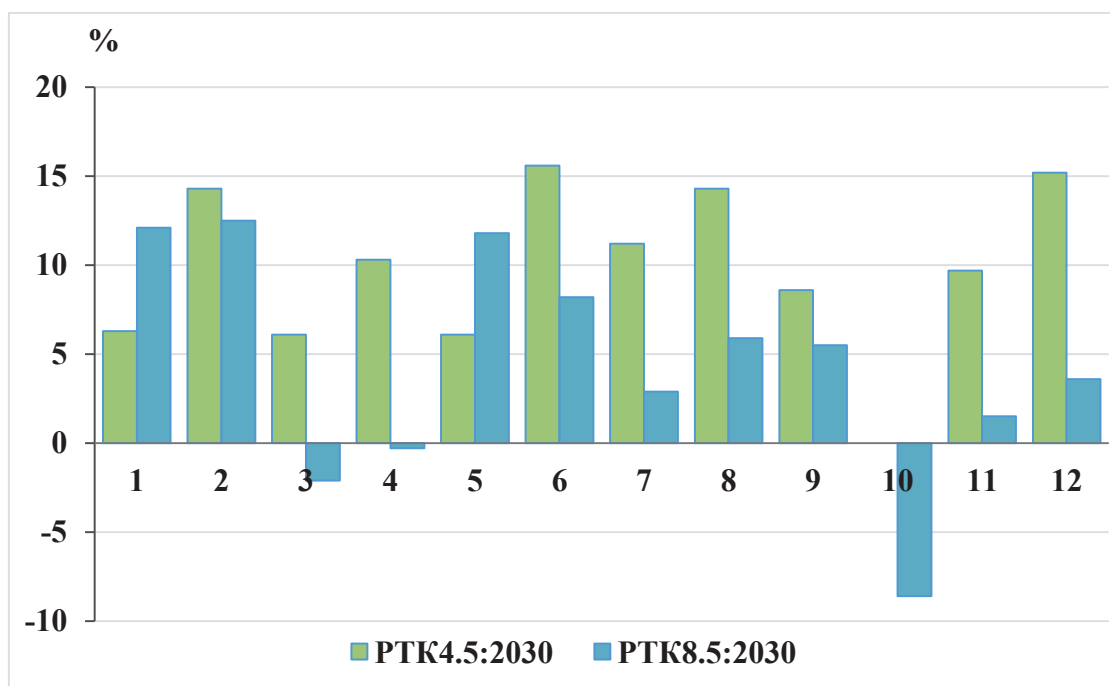


Рисунок 2.47. Внутригодовые изменения количества осадков (%) в 2030 г., осредненные по казахстанской части территории ОДАМ. Изменения рассчитаны относительно периода 1980–1999 гг. в рамках сценариев антропогенного воздействия РТК4.5 и РТК8.5

Таблица 2.45. Вероятные изменения среднего многолетнего месячного количества осадков на территории казахстанской части ОДАМ к 2030 г. по оценкам ансамбля 21 модели CMIP5 по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей РТК4.5 и РТК8.5. (%)

Сценарий	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2030 г. (2020–2039 гг.)												
РТК4.5	6,3	14,3	6,1	10,3	6,1	15,6	11,2	14,3	8,6	-0,0	9,7	15,2
РТК8.5	12,1	12,5	-2,1	-0,3	11,8	8,2	2,9	5,9	5,5	-8,6	1,5	3,6

Агроклиматические показатели

Наши расчеты показали, что на территории ОДАМ к 2030 году ожидается на 1–2 дня более раннее наступление даты перехода через 10⁰С и увеличение продолжительности такого периода на 3–5 дней. Это приведет к увеличению ресурсов тепла (сумма суточных температур воздуха выше 10⁰С) на 135–219⁰С. Наибольшие изменения ожидаются по сценарию РТК8.5 (таблица 2.46).

Таблица 2.46. Дата перехода (D₁₀), продолжительность периода (N₁₀) и сумма температур (ΣT₁₀) воздуха выше 10⁰С, в условиях современного климата (СК) и климата 2030 годов по сценариям РТК4.5 и РТК8.5

Метео-станция	СК			РТК4.5			РТК8.5		
	D ₁₀	N ₁₀	ΣT ₁₀	D ₁₀	N ₁₀	ΣT ₁₀	D ₁₀	N ₁₀	ΣT ₁₀
Арал тенизи	10.04	185	3994	09.04	188	4129	09.04	189	4164
Казалы	08.04	187	3944	07.04	190	4125	06.04	192	4163

Рост температуры воздуха приведет к уменьшению значений К и ГТК к 2030 году, т.е. ожидается снижение влагообеспеченности и усиление засушливости вегетационного периода (таблицы 2.47, 2.48). В 2030 году также будут наблюдаться сильный дефицит влаги и сильно засушливый климат.

Таблица 2.47. Коэффициент увлажнения К в условиях современного климата (СК) и климата 2030 годов по сценариям РТК4.5 и РТК8.5

Метеостанция	СК	РТК4.5	РТК8.5
Арал тенизи	0,22	0,22	0,21
Казалы	0,20	0,20	0,19

Таблица 2.48. Засушливость климата по ГТК в условиях современного климата (СК) и климата 2030 годов по сценариям РТК4.5 и РТК8.5

Метеостанция	СК	РТК4.5	РТК8.5
Арал тенизи	0,13	0,13	0,12
Казалы	0,11	0,11	0,10

ОЖИДАЕМОЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА К 2050 г.

Температуры воздуха

Получены оценки диапазона вероятного изменения годовой и сезонной температуры приземного воздуха на период до 2050 г., которые указывают на продолжающееся дальнейшее значительное увеличение температуры воздуха на исследуемой территории во все сезоны годы и по всем сценариям. Повышение может составить в среднем по сезонам на 2,3–3,2⁰С к 2050 г. (таблица 2.49, рисунки 2.48–2.50).

Наибольшее повышение температуры воздуха, в среднем по казахстанской части ОДАМ к 2050 г., ожидается в летний и весенний сезоны на 2,5–3,2⁰С и 2,4–3,0⁰С, соответственно. В зимний и переходные сезоны года рост температуры немного ниже и составляет вероятное потепление 2,3–2,8⁰С (таблица 2.49, рисунки 2.48–2.50).

Таблица 2.49. Вероятные изменения годовой и сезонной температуры воздуха на территории казахстанской части ОДАМ к 2050 г. по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей РТК4.5 и РТК8.5

Сценарий	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
2040–2059 гг. (2050 г.)					
РТК4.5	2,3	2,3	2,4	2,5	2,5
РТК8.5	2,9	2,8	3,0	3,2	2,8

На казахстанской части ОДАМ к 2050 г. увеличение средней годовой температуры воздуха возможно достигнет 2,3–2,9⁰С. Нижняя граница диапазона соответствует сценарию концентрации парниковых газов РТК4.5, а верхняя граница РТК8.5.

а) РТК4.5

б) РТК8.5

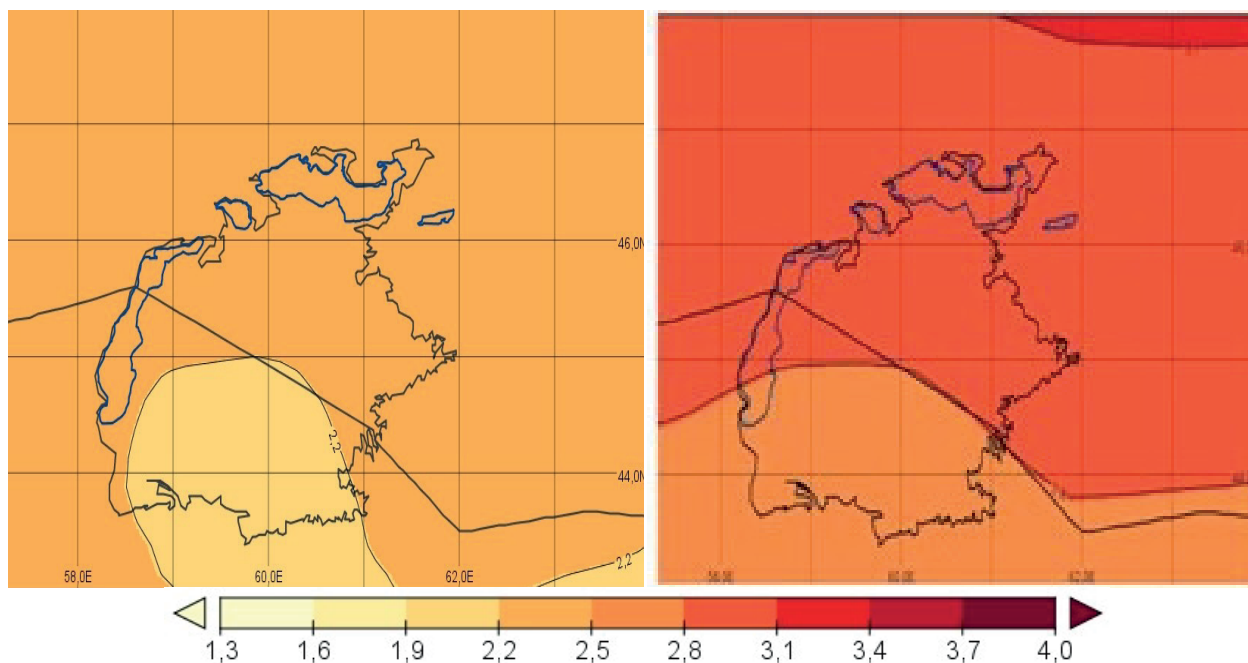


Рисунок 2.48. Изменение средней годовой температуры воздуха (⁰С) к 2050 г. (а, б) по оценкам ансамбля 21 модели CMIP5 по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей РТК4.5 и РТК8.5.

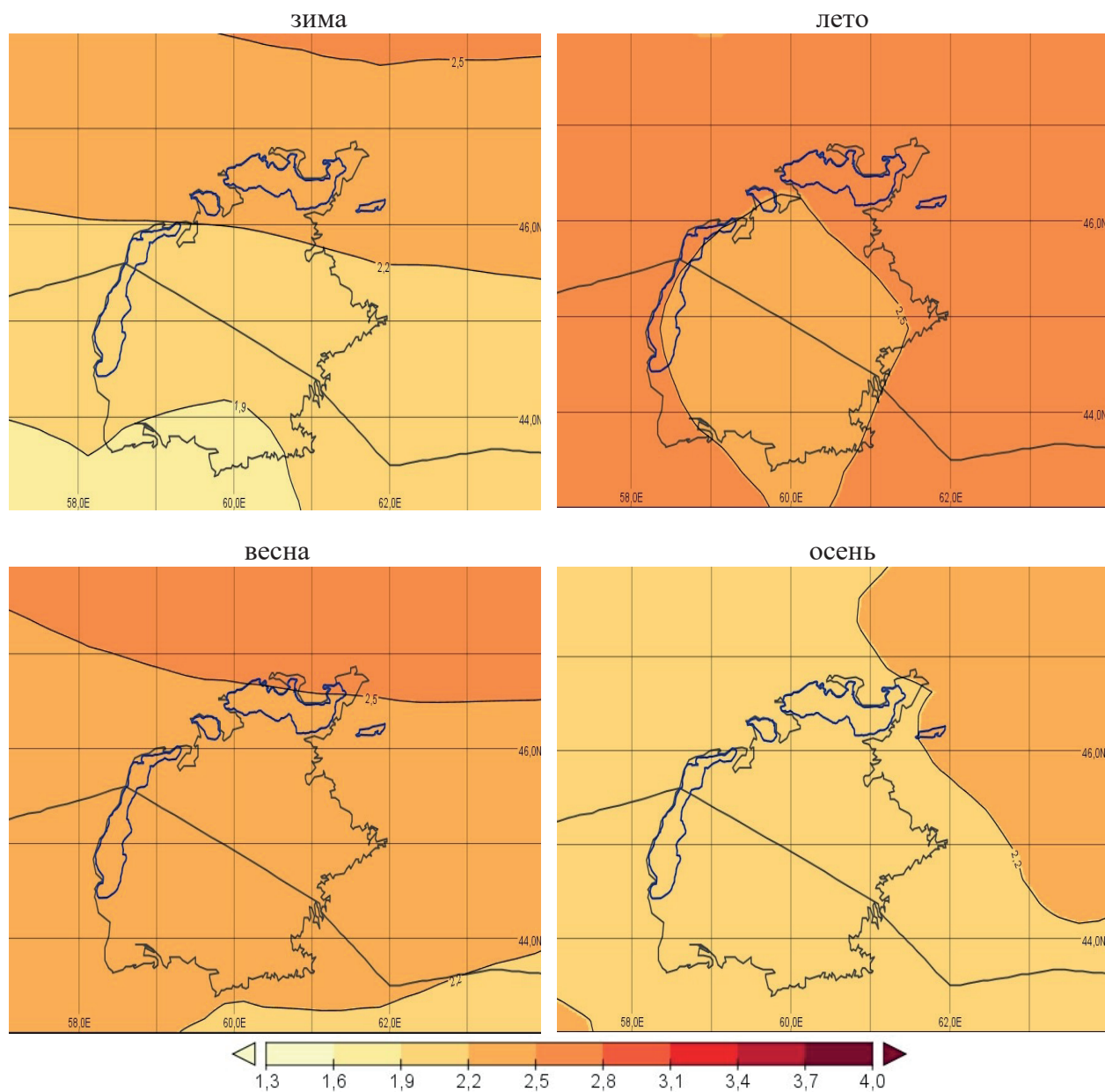


Рисунок 2.49. Изменение средней сезонной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) к 2050 г.
по оценкам ансамбля 21 модели CMIP5 в соответствии
со сценарием воздействия парниковых газов и аэрозолей RTK4.5

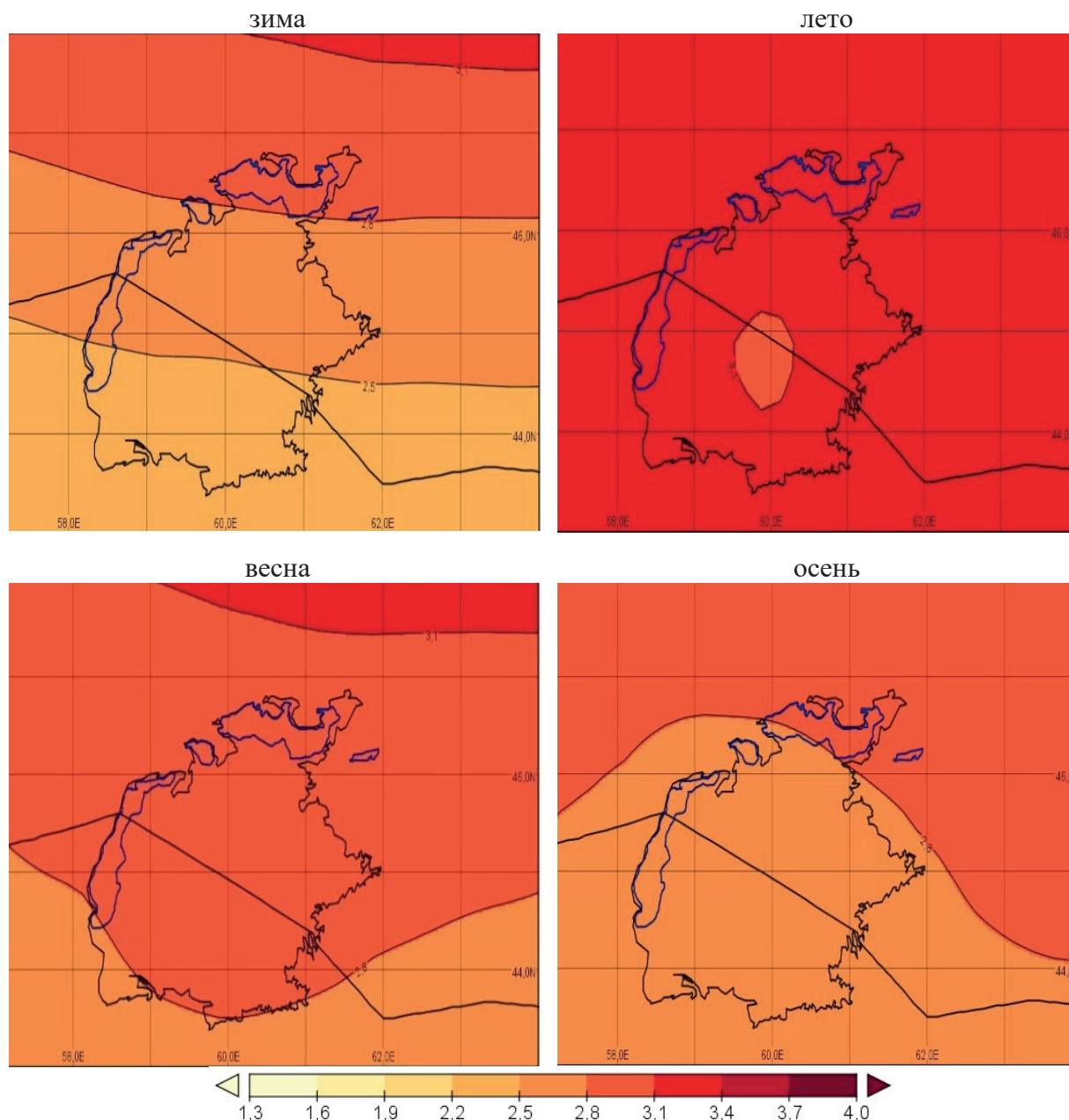


Рисунок 2.50. Изменение средней сезонной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) к 2050 г. по оценкам ансамбля 21 модели СМIP5 в соответствии со сценарием воздействия парниковых газов и аэрозолей РТК8.5

На рисунке 2.51 и таблице 2.50 представлен внутригодовой ход вероятных изменений температуры воздуха, осредненных по казахстанской части ОДАМ. До 2050 г. текущего столетия во все месяцы года вероятно продолжение значительного повышения температура воздуха на исследуемой территории. По умеренному сценарию радиационного воздействия РТК4.5 вероятно будет преодолен температурный порог в $2,0^{\circ}\text{C}$ практически во все месяцы года, но наибольшее повышение температуры воздуха ожидается в период с середины лета до середины осени и в феврале, марте и апреле месяцах. По более «жесткому» сценарию радиационного воздействия РТК8.5 вероятно более высокие темпы повышения температуры воздуха во все месяцы года, но наибольший рост и преодоление температурного порога в $3,0^{\circ}\text{C}$ возможен в феврале, марте, апреле и июле, августе и сентябре.

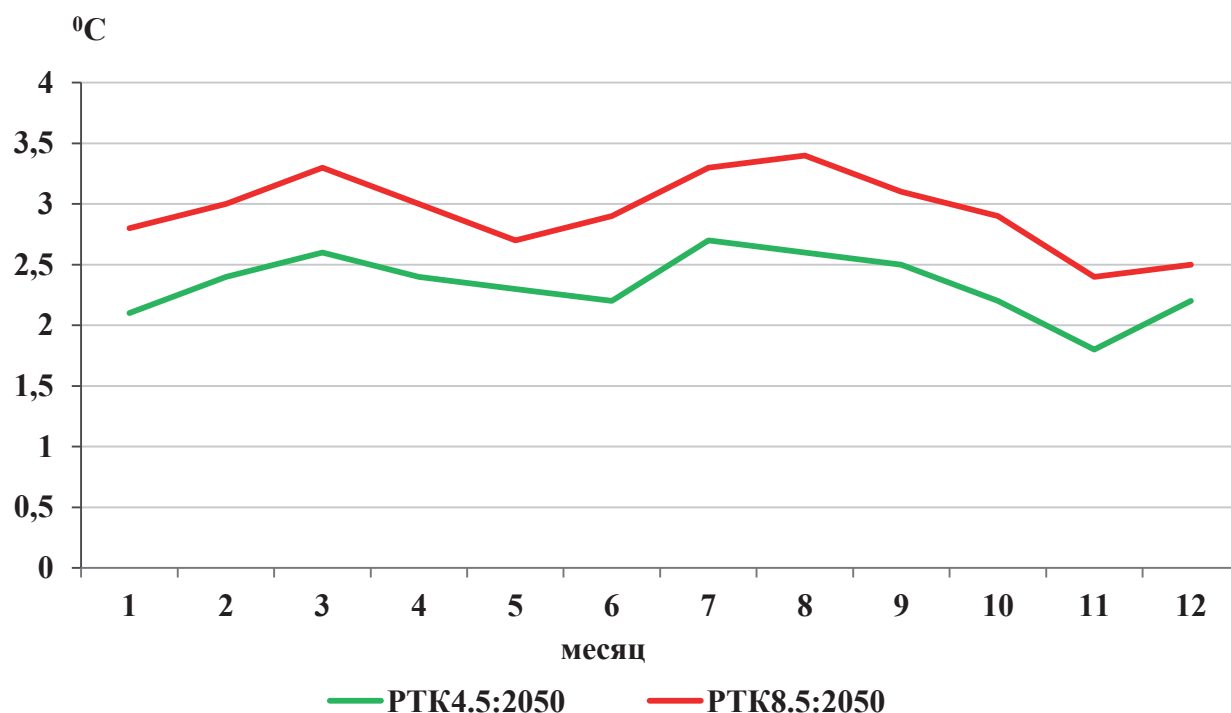


Рисунок 2.51. Внутригодовое изменение температуры воздуха (в °C) в 2050 г., осредненные по казахстанской части территории ОДАМ, в рамках сценариев антропогенного воздействия РТК4.5 и РТК8.5

Таблица 2.50. Вероятные изменения среднегодовой месячной температуры воздуха на территории казахстанской части ОДАМ к 2050 г., по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей РТК4.5 и РТК8.5 (°C)

Сценарий	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2040–2059 гг.												
РТК4.5	2.1	2.4	2.6	2.4	2.3	2.2	2.7	2.6	2.5	2.2	1.8	2.2
РТК8.5	2.8	3.0	3.3	3.0	2.7	2.9	3.3	3.4	3.1	2.9	2.4	2.5

Атмосферные осадки

Получены оценки диапазона вероятного изменения годового, сезонного количества осадков на период 2040–2059 гг. (к 2050 г.) в каждой точке широтно-долготной сетки с шагом $0,25^0 \times 0,25^0$ (таблица 2.51, рисунки 2.52–2.54).

Наибольшее увеличение количества атмосферных осадков на территории казахстанской части ОДАМ ожидается в зимний и летний сезоны при сценарии изменения концентрации парниковых газов РТК4.5 на 10-13%, при сценарии изменения концентрации парниковых газов РТК8.5 к 2050 г. увеличение количества осадков в зимний период может составить около 9%. Наименьшее увеличение количества осадков, а в некоторых регионах исследуемой территории даже уменьшение, ожидается в летний и осенний сезоны по сценарию высокого радиационного воздействия. Прирост количества летних осадков на большей части территории к 2050 г. редко превышает 10–1%, а в осенний период ожидается уменьшение количества осадков при сценарии изменения концентрации парниковых газов РТК8.5 около 2% в среднем по территории.

Таблица 2.51. Вероятные изменения годовых и сезонных сумм осадков на территории казахстанской части Аральского моря к 2050 г. по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей РТК4.5 и РТК8.5 (%)

Сценарий	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
2050 г. (2040–2059 гг.)					
РТК4.5	7,3	12,9	4,4	10,4	4,4
РТК8.5	2,8	9,1	1,6	0,9	-2,1

Согласно расчетам по составленному ансамблю моделей на территории казахстанской части ОДАМ к 2050 г. следует ожидать незначительное увеличение годовой суммы осадков и разнонаправленное изменение осадков в различные сезоны года для всех рассматриваемых новых сценариев, увеличение наблюдается, в основном, за счет осадков зимнего и летнего периодов (таблица 2.46, рисунки 2.52–2.53). В переходные сезоны (весенний и осенний периоды) к середине текущего столетия возможно уменьшение и даже в некоторых районах дефицит количества осадков по сценарию высокого радиационного воздействия РТК8.5. Изменение годовых сумм осадков в среднем по казахстанской части ОДАМ относительно 1980–1999 гг. будет вероятно находиться в диапазоне 7,3–2,8% к 2050 г. Наименьшее увеличение изменения годовых сумм атмосферных осадков ожидается в восточном регионе по двум сценариям (рисунок 2.52).

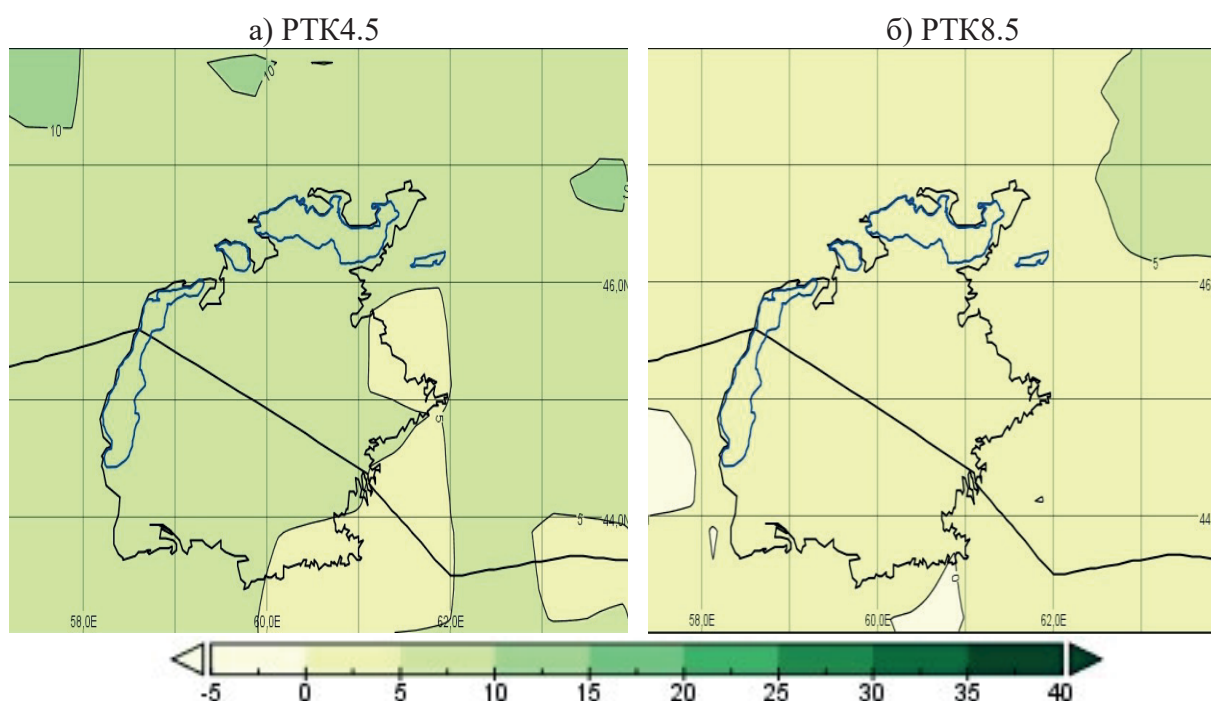


Рисунок 2.52. Изменение годового количества осадков (%) к 2050 г. (а, б) по оценкам ансамбля 21 модели СМIP5 по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей RCP4.5 (а) и RCP8.5 (б).

В сезонном разрезе в характере изменений осредненных по территории казахстанской части ОДАМ количества осадков предполагаются значительные различия. Наибольшее увеличение осадков ожидается в зимний и летний периоды, – в зимний период незначительные увеличения количества осадков к 2050 г. на 12,9–9,1%, а в летний период наблюдается уменьшение количества осадков к 2050 г. на 10,4–0,9%. В весенний период количество

осадков незначительно увеличится до конца 2050 годов на 12,2–12,1%. Наименьшее увеличение осадков, а в некоторых регионах исследуемой территории даже уменьшение количества осадков, ожидается в осенний сезон по сценарию РТК4.5 к 2050 г. на 4,4%. По сценарию высокого радиационного воздействия (РТК8.5) существует вероятность увеличения дефицита количества осадков к 2050 г. на 2,1% в среднем по территории. Как и следовало ожидать, наименьшее увеличение, или даже дефицит, количества осадков возможно будет происходить при высокой радиационной нагрузке (сценарий РТК8.5).

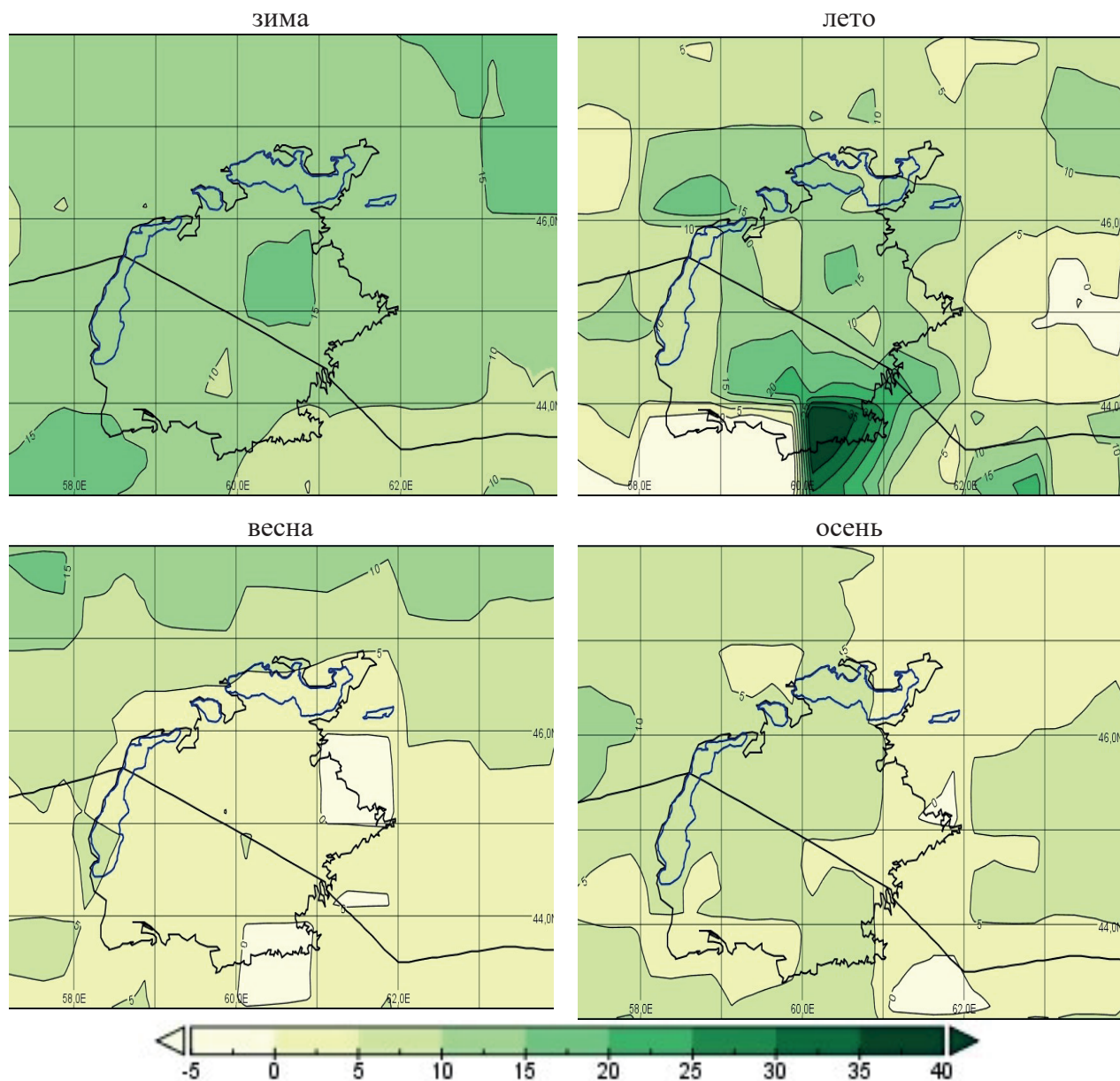


Рисунок 2.53. Изменение средних многолетних сезонных сумм осадков к 2050 г. по оценкам ансамбля 21 модели CMIP5 по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей RCP4.5. Изменения рассчитаны в % относительно периода 1980–1999 гг.

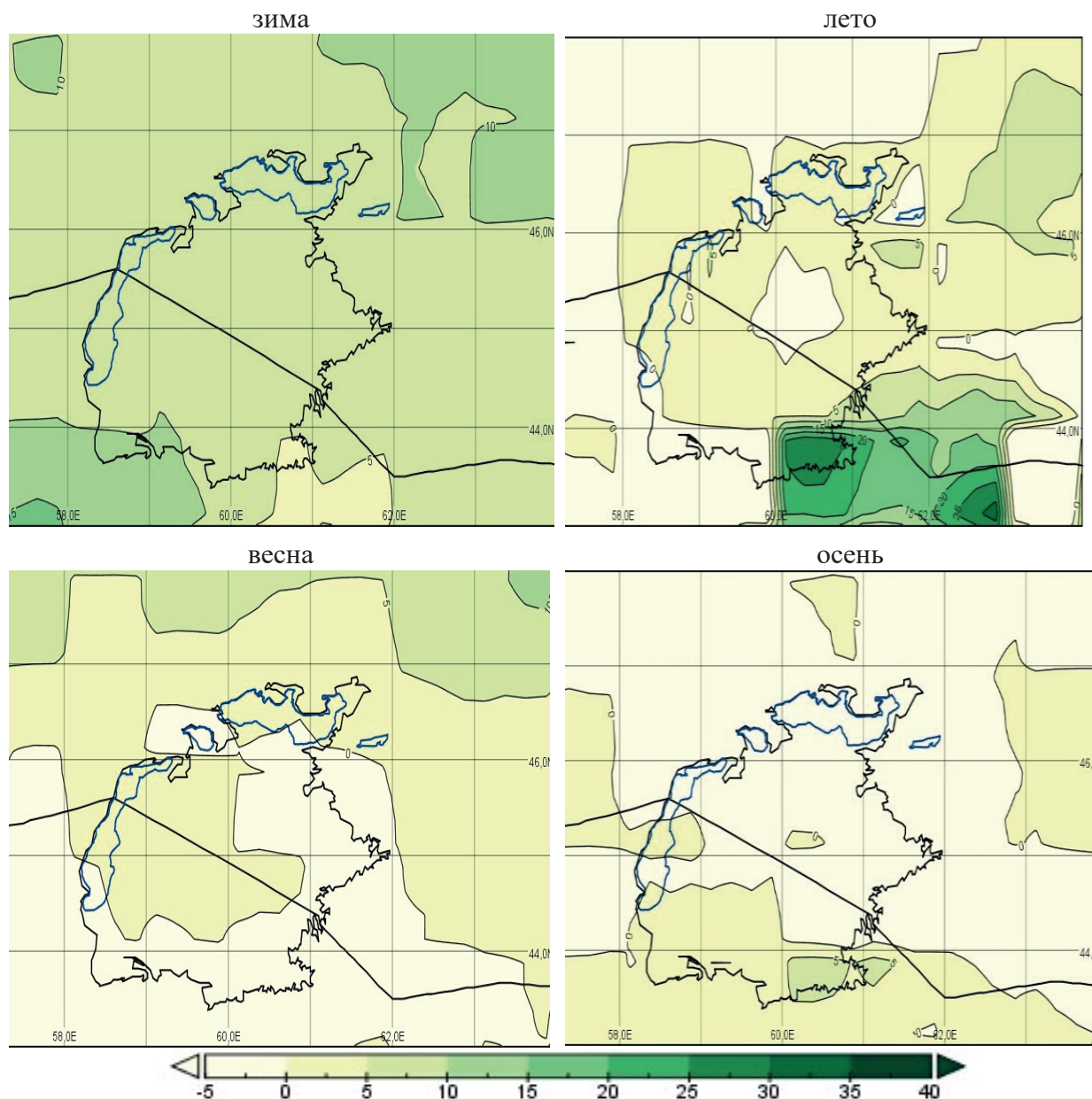


Рисунок 2.54. Изменение средних многолетних сезонных сумм осадков к 2050 г. по оценкам ансамбля 21 модели CMIP5 по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей RCP8.5. Изменения рассчитаны в % относительно периода 1980–1999 гг.

На рисунке 2.55 и таблице 2.52 представлен внутригодовой ход вероятных изменений количества атмосферных осадков, осредненных по казахстанской части ОДАМ к 2030 г. На исследуемой территории возможно увеличение количества осадков по сценарию умеренного радиационного воздействия РТК4.5 и незначительное увеличение или дефицит осадков по сценарию высокого радиационного воздействия РТК8.5. Более высокие темпы роста количества осадков вероятны по сценарию умеренной стабилизации радиационного воздействия РТК4.5, в следующих месяцах года: феврале, июле, январе и декабре. В то же время, в марте, апреле, августе, октябре возможно неизменное или незначительное увеличение количества осадков относительно периода 1980–1999 гг., а в сентябре месяце возможно значительно уменьшение количества осадков по всем сценариям.

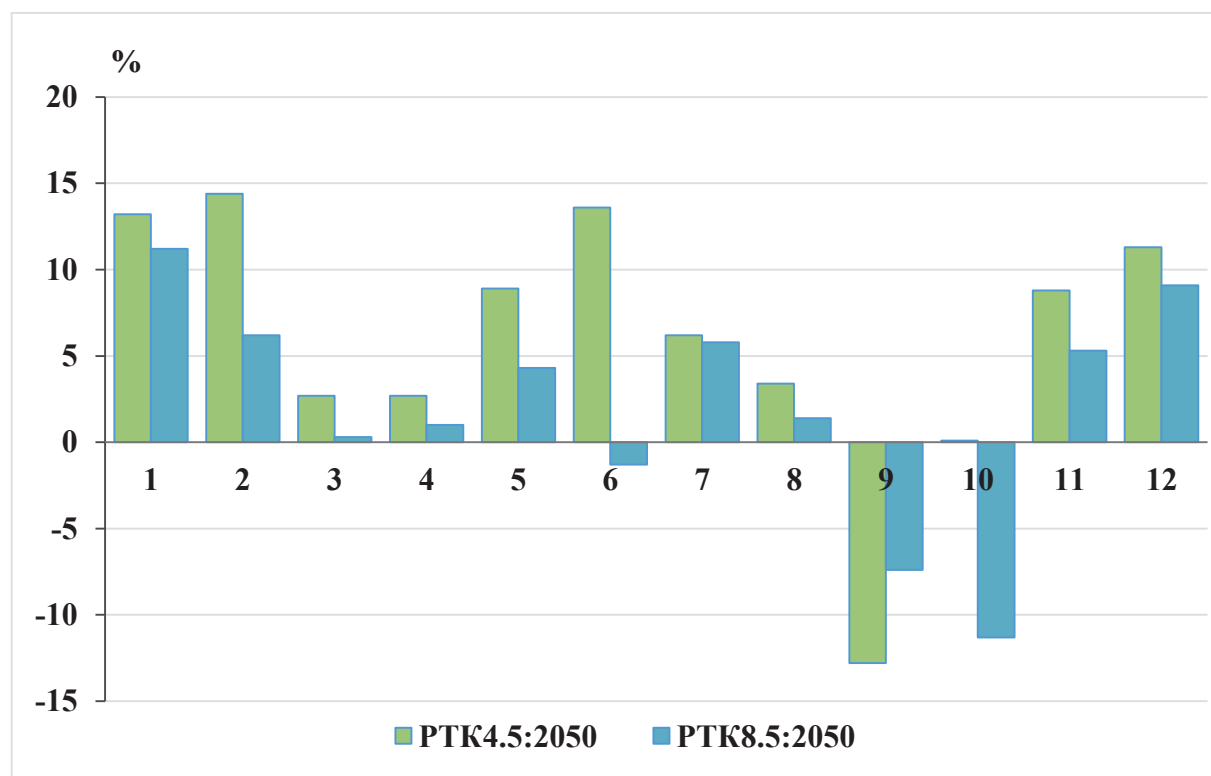


Рисунок 2.55. Внутригодовое изменение количества осадков (%) в 2050 г., осредненные по казахстанской части территории ОДАМ, в рамках сценариев антропогенного воздействия РТК4.5 и РТК8.5

Таблица 2.52. Вероятные изменения среднего многолетнего месячного количества осадков на территории казахстанской части ОДАМ к 2050 г. относительно периода 1980–1999 гг. по оценкам ансамбля 21 модели CMIP5 по сценариям воздействия парниковых газов и аэрозолей РТК4.5 и РТК8.5 (%)

Сценарий	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2050 г. (2040–2059 гг.)												
РТК4.5	13,2	14,4	2,7	2,7	8,9	13,6	6,2	3,4	-12,8	0,1	8,8	11,3
РТК8.5	11,2	6,2	0,3	1,0	4,3	-1,3	5,8	1,4	-7,4	-11,3	5,3	9,1

Агроклиматические показатели

Расчеты показали, что на территории ОДАМ к 2050 году ожидается на 2–4 дня более раннее наступление даты перехода через 10⁰С и увеличение продолжительности такого периода на 7–12 дней. Это приведет к увеличению ресурсов тепла (сумма суточных температур воздуха выше 10⁰С) на 270–384⁰С. Наибольшие изменения ожидаются по сценарию РТК8.5 (таблица 2.53).

Таблица 2.53. Дата перехода (D_{10}), продолжительность периода (N_{10}) и сумма температур (ΣT_{10}) воздуха выше 10°C , в условиях современного климата (СК) и климата 2050 годов по сценариям РТК4.5 и РТК8.5

Метеостанция	СК			РТК4.5			РТК8.5		
	D_{10}	N_{10}	ΣT_{10}	D_{10}	N_{10}	ΣT_{10}	D_{10}	N_{10}	ΣT_{10}
Арал тенизи	10.04	185	3994	08.04	192	4265	06.04	196	4355
Казалы	08.04	187	3944	05.04	195	4247	04.04	199	4328

Рост температуры воздуха приведет к уменьшению значений К и ГТК к 2050 году, т.е. ожидается снижение влагообеспеченности и усиление засушливости вегетационного периода (таблицы 2.54 и 2.55). В 2050 году также будут наблюдаться сильный дефицит влаги и сильно засушливый климат.

Таблица 2.54. Коэффициент увлажнения К в условиях современного климата (СК) и климата 2050 годов по сценариям РТК4.5 и РТК8.5

Метеостанция	СК	РТК4.5	РТК8.5
Арал тенизи	0,22	0,21	0,20
Казалы	0,20	0,19	0,18

Таблица 2.55. Засушливость климата по ГТК в условиях современного климата (СК) и климата 2050 годов по сценариям РТК4.5 и РТК8.5

Метеостанция	СК	РТК4.5	РТК8.5
Арал тенизи	0,13	0,12	0,11
Казалы	0,11	0,10	0,10

Заключение. На территории Казахстанской части ОДАМ температура воздуха растет с севера на юг. Средняя годовая температура воздуха составляет на севере ОДАМ $8,5-9,0^{\circ}\text{C}$, в центральной части $9,5-10,0^{\circ}\text{C}$, а на юге $10,5-11,0^{\circ}\text{C}$. Средняя годовая температура воздуха в теплые годы составляет $10,5-11,5^{\circ}\text{C}$ (наибольшая), а в холодные годы $6,5-7,5^{\circ}\text{C}$ (наименьшая). Холодными были 1992–1994, 1996 и 2018 года. Теплыми были 2004, 2013, 2016 и 2021 года. Динамика средней годовой температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет тенденцию роста.

В январе температура воздуха в среднем составляет на севере ОДАМ минус $11,0^{\circ}\text{C}$, в центральной части – минус $9,0-10,0^{\circ}\text{C}$, а на юге – минус $8,0^{\circ}\text{C}$. Средняя за январь температура воздуха в теплые годы составляет минус $1,1-3,3^{\circ}\text{C}$ (наибольшая), а в холодные годы – минус $19,7-21,1^{\circ}\text{C}$ (наименьшая). Динамика средней за январь температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет очень слабую тенденцию роста.

В июле температура воздуха в среднем составляет $27,5-28,0^{\circ}\text{C}$. Температура воздуха в жаркие годы составляет $30,0-31,3^{\circ}\text{C}$ (наибольшая), а в прохладные годы $24,2-25,2^{\circ}\text{C}$ (наименьшая). Июль месяц был прохладным в 1994, 2001, 2003 и 2014 годах, жарким – в 2012, 2018, 2019, 2020 и 2021 годах. Динамика средней за июль температуры воздуха за период 1991–2021 года имеет тенденцию роста.

На территории ОДАМ в среднем за год выпадают осадки от 110 мм на юге до 140 на севере, что недостаточно для роста и развития сельскохозяйственных культур. В годовом ходе минимум осадков наблюдается в период июль-сентябрь месяцы, когда выпадают всего 3-8 мм осадков в месяц. За теплый период года 1 раз в 10 лет выпадают 90-100 мм осадков, а в 9 годах и 10 лет обеспечены осадки около 35 мм. Динамики годовой суммы осадков и суммы осадков за теплый период года за период 1991-2021 года имеют слабую тенденцию снижения.

На территории ОДАМ в среднем за год относительная влажность воздуха составляет 54–57%, дефицит влажности воздуха 10–11 гПа. Относительная влажность воздуха к лету снижается до 33–42%, к зиме повышается до 74–83%. Динамика средней годовой относительной влажности воздуха за период 1991-2021 года имеет тенденцию снижения, что указывает на усиление сухости воздуха. Число дней с относительной влажностью воздуха не более 30%, косвенно характеризующий атмосферную засуху (сухость воздуха) растет с севера на юг ОДАМ от 145 до 160 дней.

На территории ОДАМ в течение всего года бывает достаточно ветрено. В течение всего года наибольшие скорости ветра наблюдаются в окрестности г. Аральск, наименьшие – в г. Казалы. Средняя годовая скорость ветра в г. Аральск составляет 4,3 м/с, Куланды – 3,2 м/с, Казалы – 1,9 м/с, Каукей – 3,5 м/с. В годовом ходе ветер к лету начинает стихать, и опускается до минимальных значений в сентябре-октябре, далее к зиме ветер усиливается и достигает максимума в марте – апреле. В ОДАМ в среднем за год преобладают северные (С) и северо-восточные (СВ) ветра.

На территории ОДАМ климатически весна начинается в среднем 8–16 марта, лето – 22–25 апреля, осень – в конце октября, зима – в середине ноября. Продолжительность весны в среднем составляет 40–45 суток, лета – 186–193 суток, осени – 14–16 суток, зимы – 113–123 суток.

Средняя суточная температура воздуха устойчиво переходит через 5⁰С весной 23–27 марта, а осенью переходит обратно в конце октября – начале ноября. Продолжительность периода с температурой выше 5⁰С составляет 210–225 суток. Средняя суточная температура воздуха устойчиво переходит через 15⁰С весной 22–25 апреля, а осенью переходит обратно 25 сентября. Продолжительность периода с температурой выше 15⁰С составляет 150–160 суток.

В среднем сумма среднесуточных температур воздуха выше 5⁰С составляет на севере ОДАМ – 4150⁰С, в центральной части – 4250⁰С, а на юге – 4400⁰С. Сумма среднесуточных температур воздуха выше 15⁰С составляет на севере ОДАМ – 3550⁰С, в центральной части – 3600⁰С, а на юге – 3700⁰С.

Количество дней в году с высокой температурой воздуха, которая подавляет рост и развитие теплолюбивых растений (37,0⁰С и выше) в среднем составляет на севере 15 дней, на юге – 27 дней.

На территории ОДАМ весенние последние заморозки в среднем наблюдаются 11–12 апреля, а осенью первые заморозки начинаются 12–13 октября. Продолжительность периода в воздухе без заморозков составляет около 185 суток.

На севере и в центре ОДАМ влагообеспеченность вегетационного периода оценивается как «сильный дефицит влаги», на юге – «сухо». За период 1991-2021 года влагообеспеченность вегетационного периода имел тенденцию снижения.

На всей территории ОДАМ засушливость вегетационного периода оценивается как «сильно засушливо». За период 1991–2021 года показатель засушливости имел тенденцию снижения, т.е. усиливалась засушливость климата.

На территории ОДАМ слабо суховейная погода начинается в конце апреля – начала мая, далее 18–25 мая переходит в умеренный суховей, и в период с конца июня по 7–13 августа устанавливается интенсивный суховей. Далее суховей ослабевает и переходит обратно в умеренную стадию, а в начале сентября – в слабую стадию, и в 21–24 сентября суховейная погода прекращается. Годовое количество суховейных дней колеблется от 140 дней на севере до 155 дней на юге. Из них количество дней с интенсивными суховеями, оказывающее сильное

отрицательное влияние на рост и развитие растений, составляет на севере ОДАМ 35 дней, на юге – 60 дней. Умеренный сухой период наблюдается на севере ОДАМ 60-65 дней, на юге – около 50 дней. Слабо сухой период наблюдается в 40-50 дней в году.

За вегетационный период потенциальная эвапотранспирация в среднем составляет на севере ОДАМ – 9600 м³/га (960 мм), в центральной части – 10000 м³/га (1000 мм), в южной части – 10400 м³/га (1040 мм). В 2021 году, когда на территории ОДАМ установилась высокая температура воздуха, потенциальная эвапотранспирация составила 11100-11900 м³/га (1110-1190 мм). Значение годовой испаряемости для территории ОДАМ в среднем составляет 1300–1400 мм/год.

Получены оценки диапазона вероятного изменения годовой, сезонной и месячной температуры приземного воздуха для территории казахстанской части ОДАМ на период до 2030 г. и 2050 г., которые указывают на дальнейшее значительное увеличение температуры воздуха региона во все сезоны года. Повышение может составить в среднем по сезонам 1,6–1,9⁰С к 2030 г. и 2,3–3,2⁰С к 2050 г.

Наибольшее повышение температуры воздуха на территории казахстанской части ОДАМ ожидается в период с середины лета до середины осени и в феврале, марте, апреле, мае по всем сценариям и во все исследуемые временные периоды. В пространственном распределении наибольшее повышение температуры воздуха на территории казахстанской части ОДАМ ожидается в северных и северо-западных районах в зимний, весенний и осенний периоды во все временные периоды и при всех сценариях концентрации парниковых газов.

Получены оценки диапазона вероятного изменения годового, сезонного и месячного количества осадков на период до 2030 г. и 2050 г. Наибольшее увеличение количества атмосферных осадков на территории казахстанской части ОДАМ ожидается в зимний и летний сезоны всех рассматриваемых сценариях изменения концентрации парниковых газов: к 2050 г. увеличение может составить 10–1%. Наименьшее увеличение количества осадков и даже дефицит осадков ожидается в осенний сезон.

Основной вывод заключается в том, что на территории казахстанской части ОДАМ зимы, вероятно, будут более влажными. Во многие месяцы теплого периода года будет более сухо, особенно в восточной части. При сценарии высокой радиационной нагрузки РТК8.5 до конца 2050 годов ожидается увеличение засушливости, особенно в осенний период по всей территории казахстанской части ОДАМ.

На территории ОДАМ к 2050 году ожидается на 2–4 дня более раннее наступление даты перехода через 10⁰С, увеличение продолжительности такого периода на 7–12 дней и увеличение ресурсов тепла на 270–384⁰С. Также ожидается снижение влагообеспеченности и усиление засушливости вегетационного периода.

Подготовлены карты современного климата ОДАМ (средняя температура воздуха за год и за 12 месяцев, годовая сумма осадков, средняя годовая относительная влажность воздуха, средняя скорость и направление ветра за год, за январь и за июль, теплообеспеченность вегетационного периода, влагообеспеченность вегетационного периода, засушливость вегетационного периода, эвапотранспирация за вегетационный период, годовое количество суховейных дней).

3. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ И ДИНАМИКА ИХ ИЗМЕНЕНИЙ

За период инструментальных наблюдений в многолетних изменения уровня Аральского моря выделяются два периода (условно-естественный (1911–1960 гг.) и современный, резко нестационарный период активного антропогенного воздействия на режим моря (с 1961 года) [39].

Для первого периода характерна относительная стабильность уровневого режима моря. Средние годовые уровни моря колебались около его средней многолетней отметки 53,0 м. Размах межгодовых колебаний уровня находился в пределах 1,0 м. Объем воды составлял 1064 км³, из которых 79,7 км³ приходилось на Северное Аральское море и 984 км³ – на большое море. Площадь зеркала воды всего Аральского моря составляла 66086 км³ (5992 км² – площадь Северного Аральского моря, 13628 км² – площадь западной части Большого моря и 46466 км² – его восточной части). Приток речных вод к морю был 56 км³/год, а средняя соленость – 10–11‰ [39].

В режиме уровня моря в этот период проявлялась определенная цикличность колебаний средних годовых значений уровня моря (22–25 лет) и запаздывание примерно на год многолетнего уровня моря относительно многолетних колебаний стока, выпадающих в море рек [39].

Начиная с 1961 года средний годовой уровень Аральского моря стал снижаться. Это объясняется как естественным маловодьем предшествующих лет, так и антропогенными факторами – изъятием речного стока на орошение. Причем объем безвозвратных потерь стока увеличился не только из-за расширения орошаемых площадей, но из-за увеличения интенсивности самого орошения. Немалую роль сыграли дополнительные потери воды на испарение с поверхности водохранилищ, построенных в бассейнах Амударьи и Сырдарьи. Интенсивность понижения уровня с 1961 по 1965 г. составила в среднем 22 см/год, а с 1965 по 1970 г. – 18 см/год. Таким образом, за десятилетний период уровень моря понизился на 2 м, при среднем притоке речных вод к морю 43 м³/год. В следующее пятилетие (1971–1975 гг.) уровень моря снизился еще на 2,4 м, а среднегодовая величина его падения составила 48 см/год. Начиная с 1975 года падение уровня ускорилось – примерно 68 см/год. К концу 1985 года уровень моря снизился до отметки 41,4 м или на 11,6 м. по сравнению с его средним многолетним значением за 1911–1960 гг. [39].

В 1981–1986 гг. в ряде лет сток полностью отсутствовал, а его среднее значение в эти годы составляло примерно 1,7 км³/год. Одновременно более чем в 3 раза сократился объем в Аральском море (до 330 км³) и почти в 2 раза площадь водоема (до 36500 км²). Средняя глубина уменьшилась с 16,1 до 9,0 м [39].

Площадь Северного Аральского моря сократилась до 3500 м², а объем вод – до 28 км³, Северное Аральское и Большое моря соединялись между собой проливом Берга, ширина которого в связи с падением уровня моря уменьшилась на 10 км, а максимальные глубины – на 12 м. Пролив Аузы-Кокарал, соединяющий с западной стороны Северное Аральское и Большое моря высох, а остров Кокарал стал полуостровом [39].

Снижение уровня продолжалось, и, к концу 1987 года уровень моря достиг критической отметки 40,0 м, при которой произошло разделение водоема на две части – Большое и Северное Аральское моря. Однако разделение было неустойчивым и в условиях относительной многоводности в 1987 и 1988 годах воды Сырдарьи и Амударьи доходили до моря. Сток Сырдарьи в эти годы составлял соответственно 1,2 и 6,2 км³, а Амударьи 8 и 16 км³. Так в 1988 году часть стока Сырдарьи через пролив Берга поступала в Большое море. Тем не менее уровень Большого моря продолжал снижаться, и к концу 1989 года вновь произошло разделение на Северное Аральское и Большое моря, при этом уровень Большого моря снизился до отметки 38,6 м, а уровень Северного Арала находился на отметках около 39,5 м.

Площадь Большого моря к началу 1990 г. составляла 33,5 тыс. км², объем 310 км³, а средняя соленость около 30‰. Площадь Северного Аральского моря составила около 3 тыс. км², объем 20 км³ [39].

В августе 2005 года была перекрыта протока между Большим и Северным Аральским морями и завершено строительство Кокаральской разделительной плотины.

В настоящее время отметка Северного Аральского моря колеблется на отметках 41,5 – 42,2 м. При увеличении уровня воды излишек воды сбрасывается через гидротехнические сооружения Кокаральской плотины в Большой Арал [39].

Ледовый режим в основном определяется климатическими и метеорологическими условиями и, прежде всего, зависит от температуры воздуха. Определенное влияние на ледовый режим отдельных районов моря оказывают их морфометрические особенности, соленость вод и ветровой режим [39].

Хотя Аральское море лежит и в южной зоне, на нем ежегодно образуется лед. Когда море было единым водоемом, ледообразование начиналось в прибрежных районах на севере и северо-востоке моря примерно во второй декаде ноября. К концу этого месяца первичные формы льда появлялись у южных берегов. В открытом море льды наблюдались со второй декады декабря, а у западного побережья лед образовывался в среднем в первой декаде января [39].

Даты замерзания моря в течение современного антропогенного периода (после 1961 года) несколько изменились. Появление плавучего льда и устойчивого припая отмечается позже на 11 и 7 суток соответственно, а окончательное замерзание всей водной поверхности – на 4 суток раньше. Можно полагать, что ледообразование начинается позже и протекает быстрее [39].

Весеннее разрушение льда обычно начинается во второй половине февраля на юге и в первой половине марта на севере. Однако при холодной весне на отдельных участках северного и восточного побережья припай может сохраняться до 20–25 апреля. В среднем льды в Аральском море держатся 4–5 месяцев, но иногда в течение полугода. Наиболее короткое время льды существуют в западной глубокой части моря. Окончательное очищение моря ото льда наступает 4–7 апреля. В антропогенный период процесс таяния и разрушения льда стал задерживаться на 3–8 суток и проходит за более длительный период – 20–25 суток [39].

В связи с падением уровня моря изменился термический режим водоема. Из-за увеличения солёности снизилась температура замерзания (вплоть до минус 1,5–2,0⁰С) и соответственно температура воды зимой. Одновременно с уменьшением глубин и объема воды возросла температура воды весной (на 1–1,5⁰С) и летом (на 0,5⁰С). Ледовый режим стал более суровым. Водоем теперь замерзает быстрее и таяние льда начинается позже и проходит за более длительный период [39].

Солевой режим замкнутых и полужамкнутых морей является наиболее важным параметром, так как изменение этого компонента моря, оказывает угнетающее влияние на его биоэкологическую систему. Земляная дамба, сооруженная в проливе Берга в августе 1992 г, просуществовавшая до весны 1993 г, дала заметный опресняющий эффект для морской воды. В июне 1993 г. наибольшая соленость (залив Бутакова) снизилась до 29,8‰, а средняя до 22,0‰, т.е. средняя соленость уменьшилась на 6,7‰, а максимальная – на 9,8‰.

С ростом речного притока с 1993 г. в акватории моря четко начала выделяться опресненная приустьевая зона и, начиная с 1994 г., изучения осуществлялись на дополнительно установленных здесь точках отбора проб. Соленость воды здесь была 1,2–19,1‰, в основном до 7,8‰.

Процесс опреснения Малого моря под влиянием стока р. Сырдарьи при наличии плотин происходил за счет разбавления морской воды речной. При отсутствии плотин опреснение протекало в результате диффузии солей в сторону потока пресных речных вод.

Гидрохимическая съемка моря, проведенная в мае-июне 2006 г., т.е. при наличии Кокаральской плотины, установила дальнейшее опреснение морской воды. В этот период средняя соленость моря снизилась до ее уровня в воде Малого моря (9,0–9,5‰), отмеченного в 1956–1960 гг. В опресненной зоне соленость воды равнялась 1,76–6,00‰.

Согласно данным натурных наблюдений средняя и максимальная соленость морской воды составила (‰): в 2010 г. 10,4 и 15,1, в 2014 г. – 6,2 и 8,9, в 2017 г. – 7,4 и 15,6 соответственно. Максимальная соленость воды характерна для залива Бутакова из-за нестабильности его связи с морем (рисунок 3.1) [40].

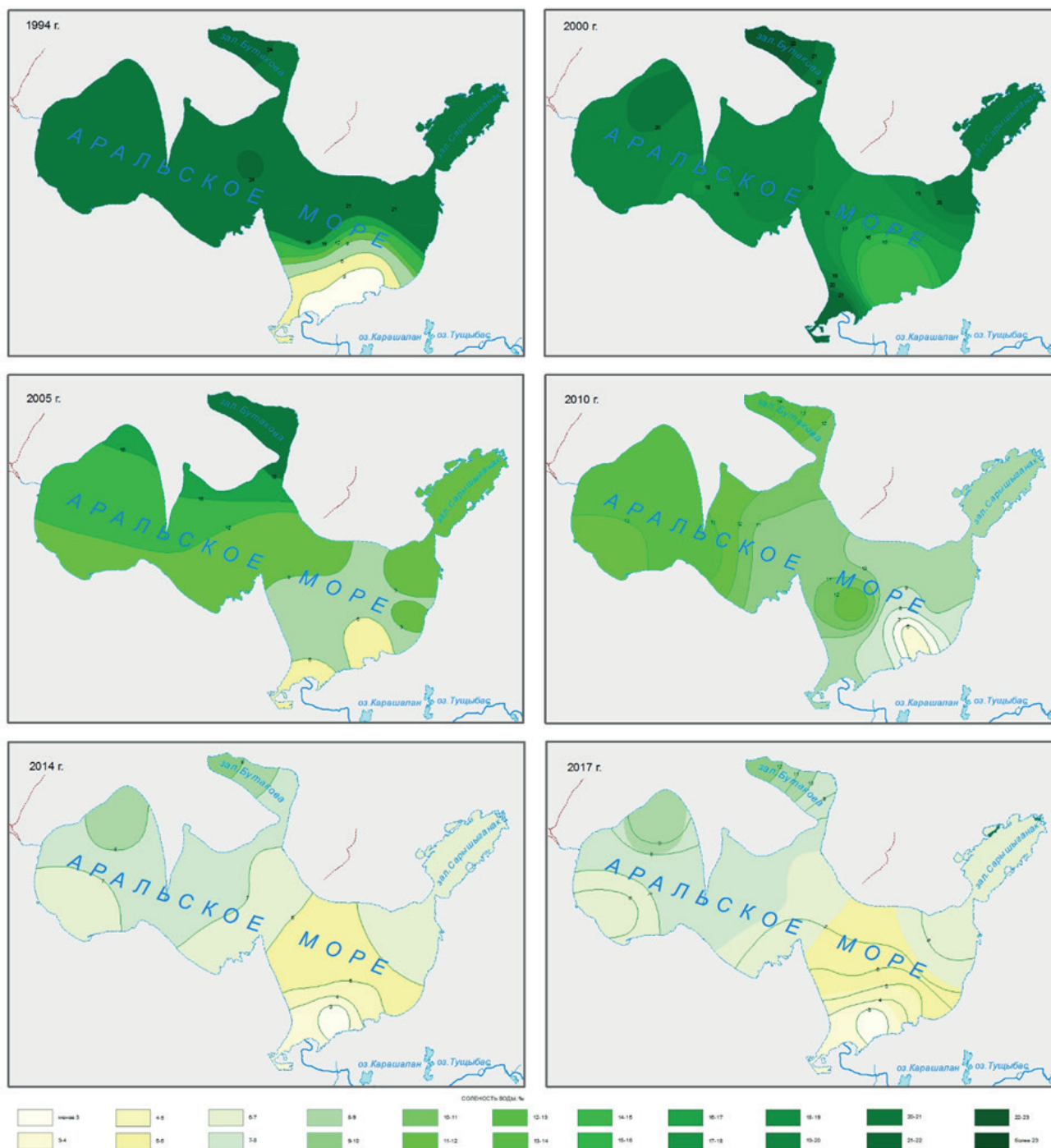


Рисунок 3.1. Распределение солености воды Малого Аральского моря

3.1. Влияние ресурсов и режима реки Сырдарьи на Малое Аральское море

Основным источником питания Северного Аральского моря является река Сырдарья. Динамика изменений уровня Северного Арала напрямую зависит от водности Сырдарьи. Бассейн реки расположен на территории 4-х государств: Кыргызстана, Узбекистана, Таджикистана и Казахстана. Водные ресурсы р. Сырдарьи формируются в основном за пределами Казахстана: свыше 74% в Кыргызстане (р. Нарын), около 14% в Узбекистане, около 3% в Таджикистане. На долю Казахстана приходится 9% (реки Арысь и Келес).

Водные ресурсы р. Сырдарьи – это сток рек ее бассейна в зоне формирования. За период устойчивого водопотребления по сравнению с периодом условно-естественного режима произошло уменьшение стока всего на 30%. Однако в результате его интенсивного использования наблюдается явный дефицит воды в нижней части бассейна реки.

В нижнем течении и устьевой части русло р. Сырдарьи становится крайне неустойчивым. В половодье, а также при заторах и зажорах река выходит из берегов, затопливая окрестности, меняет очертания и положение русла. Перед впадением в Аральское море р. Сырдарья образует дельту с многочисленными рукавами и протоками.

Получая основную часть воды из горной области, река первоначально имеет режим стока, унаследованный от главных ее составляющих. Вниз по течению общая водоносность реки уменьшается, волна половодья постепенно снижается, расплывается, сглаживается. Если в верховьях расходы половодья в 2–3 раза больше меженных, то в низовьях только в 1,5–2 раза. В период половодья расходы воды в низовьях в 2 раза меньше, чем в верховьях, а в межень, наоборот, значительно больше, чем в верховьях. Весной в нижнем течении подъем паводочной волны начинается несколько раньше за счет притока воды с низконагорной северо-западной части водосбора. Режим нижнего течения сильно зависит от попусков из Шардаринского и Коксарайского водохранилищ. Река испытывает антропогенное воздействие, что сказывается на годовой речной сток по длине реки – годовой сток по длине реки уменьшается (таблицы 3.1, 3.2).

Водные ресурсы Сырдарьи в условно-естественных условиях составляли: по зоне формирования стока – 37,1 км³, в створах нижнего бьефа Шардаринского водохранилища – 22 км³, у города Казалы – 15,0 км³. В результате длительного освоения реки и ее притоков снижение бытового стока, по сравнению с условно-естественным стоком, составляло в этих створах 5,5–11,5 км³ в различные периоды хозяйственной деятельности.

Таблица 3.1. Ресурсы поверхностных вод

№	Река-створ	Площадь водосбора км ²	Средний сток		
			Расход воды м ³ /с	Модуль годового стока, л/с на км ²	Слой стока, мм
1.	Сырдарья-Коктобе	219000	484	2,2	70
2.	Сырдарья-Томенарык	219000	436	2,0	63
3.	Сырдарья-Кергельмес	-	378	-	-
4.	Сырдарья-Тасбугет	-	297	-	-
5.	Сырдарья-Караозек	-	207	-	-
6.	Сырдарья-Жосалы	-	168	-	-
7.	Сырдарья-Казалы	-	199	-	-
8.	Сырдарья-Каратерень	-	208	-	-

9.	Протока Караозек-Караозек	-	49	-	-
10.	Протока Караозек-Жосалы	-	36	-	-
11.	Бесарык	400	1,6	4,0	126
12.	Акуйык	750	2,3	3,0	97
13.	Жидели	850	2,2	2,5	82
14.	Арыстанды	450	1,0	2,3	70
15.	Шолак	400	0,8	2,0	63

Таблица 3.2. Средний годовой объем стока

№	Река-створ	Годы	Средний годовой объем стока, млн. м ³
1.	Сырдарья-Коктобе	1986–1994, 2000–2015	15260
2.	Сырдарья-Томенарык	1986–2015	13750
3.	Сырдарья-Кергельмес	1986–1991, 94–98, 2000–2015	11920
4.	Сырдарья-Тасбугет	1986–97, 2001–2015	9370
5.	Сырдарья-Караозек	1986–2015	6530
6.	Сырдарья-Жосалы	1986–94, 2008–2015	5300
7.	Сырдарья-Казалы	1986–2015	6280
8.	Сырдарья-Каратерень	1993–2015	6560
9.	Протока Караозек-Караозек	1986–2015	1545
10.	Протока Караозек-Жосалы	1986–95, 2008–2015	1135
11.	Бесарык		50
12.	Акуйык		73
13.	Жидели		70
14.	Арыстанды		32
15.	Шолак		25

Также по длине реки изменяется внутригодовое распределение стока. Если при входе в Казахстан расходы воды в весенний и летний периоды преобладают над зимним периодом, то в нижнем течении, за счет интенсивного забора воды в вегетативный период, в летний месяцы расходы уменьшаются до минимума (рисунки 3.2–3.5).

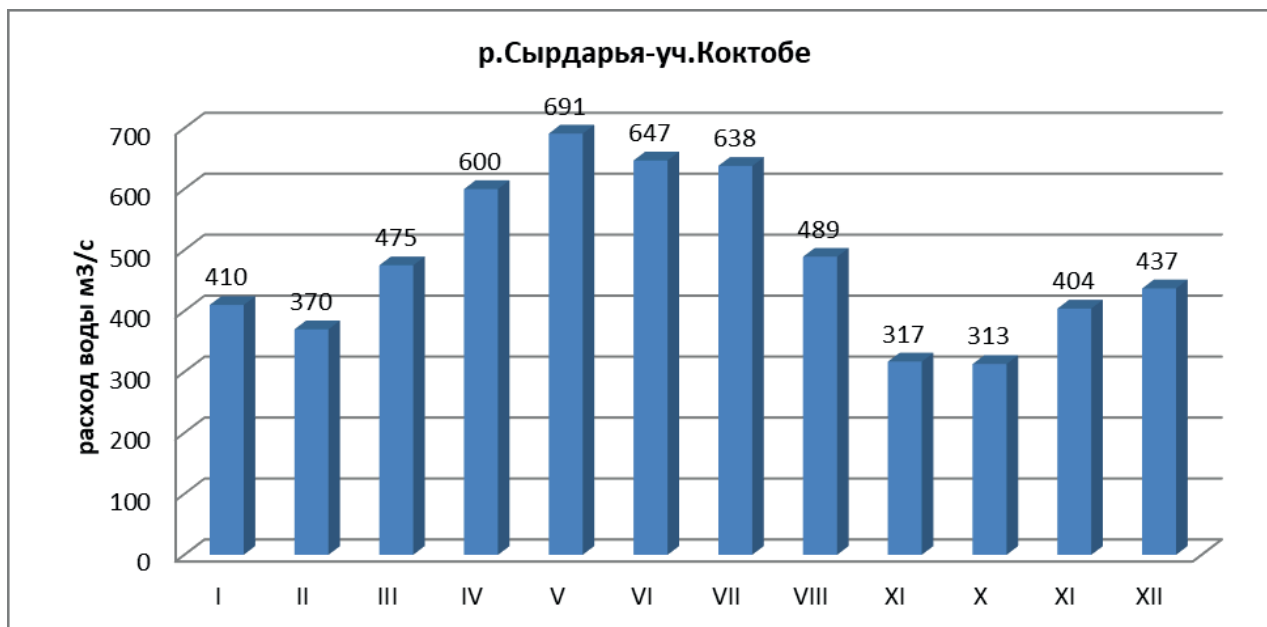


Рисунок 3.2. Внутригодовое распределение расходов воды по посту р. Сырдарья-уч.Коктобе



Рисунок 3.3. Внутригодовое распределение расходов воды по посту р. Сырдарья–ж/д станция Томенарык



Рисунок 3.4. Внутригодовое распределение расходов воды по посту р. Сырдарья–г. Казалы



Рисунок 3.5. Внутригодовое распределение расходов воды по посту р. Сырдарья–с.Каратерень

Как видно из рисунков 3.2–3.5 если при входе в Казахстан (р. Сырдарья–уч.Коктобе) в летние месяцы расходы воды превышают 600 м³/с, то в нижнем створе (р. Сырдарья–с.Каратерень) расходы воды уменьшаются до 100 м³/с, а в июле – до 78 м³/с.

С вводом в эксплуатацию Шардаринского водохранилища летние горизонты воды в нижней части р. Сырдарьи зависят от пусков из водохранилища. В соответствии с пропускной способностью водосбросного сооружения гидроузла Шардаринской плотины пуски в летний период ограничены расходом в 1500 м³/с, в отдельных случаях – 1800 м³/с. В зимний период максимальные расходы воды зависят от пропускной способности русла. В связи с переходом Токтогульского водохранилища в 1993 г. на энергетический режим работы резко увеличился зимний приток к Шардаринскому водохранилищу.

3.2. Динамика изменений основных показателей Аральского моря

По спутниковым снимкам хорошо прослеживается динамика изменений водного зеркала и очертаний береговой линии Аральского моря. За основу взят снимок 1972 года, когда Аральское море еще не испытало серьезных антропогенных нагрузок. В дальнейшем, как видно из снимков, в сочетании с увеличением интенсивности антропогенного и климатического воздействий, береговая линия Аральского моря изменяется в сторону уменьшения (рисунок 3.6–3.8).

На рисунке 3.6 прослеживается уменьшение площади Аральского моря. При этом водоем остается еще единым. Хорошо видно обнажение дна с восточной и северо-восточной части водоема. В связи с падением уровня Аральского моря увеличилась площадь острова Возрождения (рисунок 3.6).

Период с 1989 года по 2006 год характеризуется разделением водоема на две части – Северный Арал и Большой Арал. При этом Большой Арал остается еще единым водоемом. Этот период характеризуется интенсивным уменьшением площади Большого Арала. С 1997 года остров Барсакельмес становится полуостровом, а с 2001 года остров Возрождения также становится полуостровом (рисунок 3.7).

С 2007 года наступил третий период в динамике Аральского моря, когда Большой Арал разделился на две части – западный водоем и восточный водоем. При этом на спутниковых снимках видно, что очертания Северного Арала остаются стабильными (рисунок 3.8).

На рисунках 3.9–3.14 представлены динамика изменений отметок уровня, площади зеркала и объемов Аральского моря за период 1960–2018 годы. На рисунках отмечены три периода. Первый период – с 1960 по 1988 годы, когда Аральское море было единым водоемом; Второй период – с 1989 по 2006 годы, когда Аральское море разделилось на два водоема – Малый (северный) Арал и Большой Арал. Третий период после 2007 года, когда Большой Арал разделился на западную и восточную части.

Зоны формирования казахстанской части ОДАМ по времени высыхания указаны в таблице 3.3 и в рисунке 3.18.

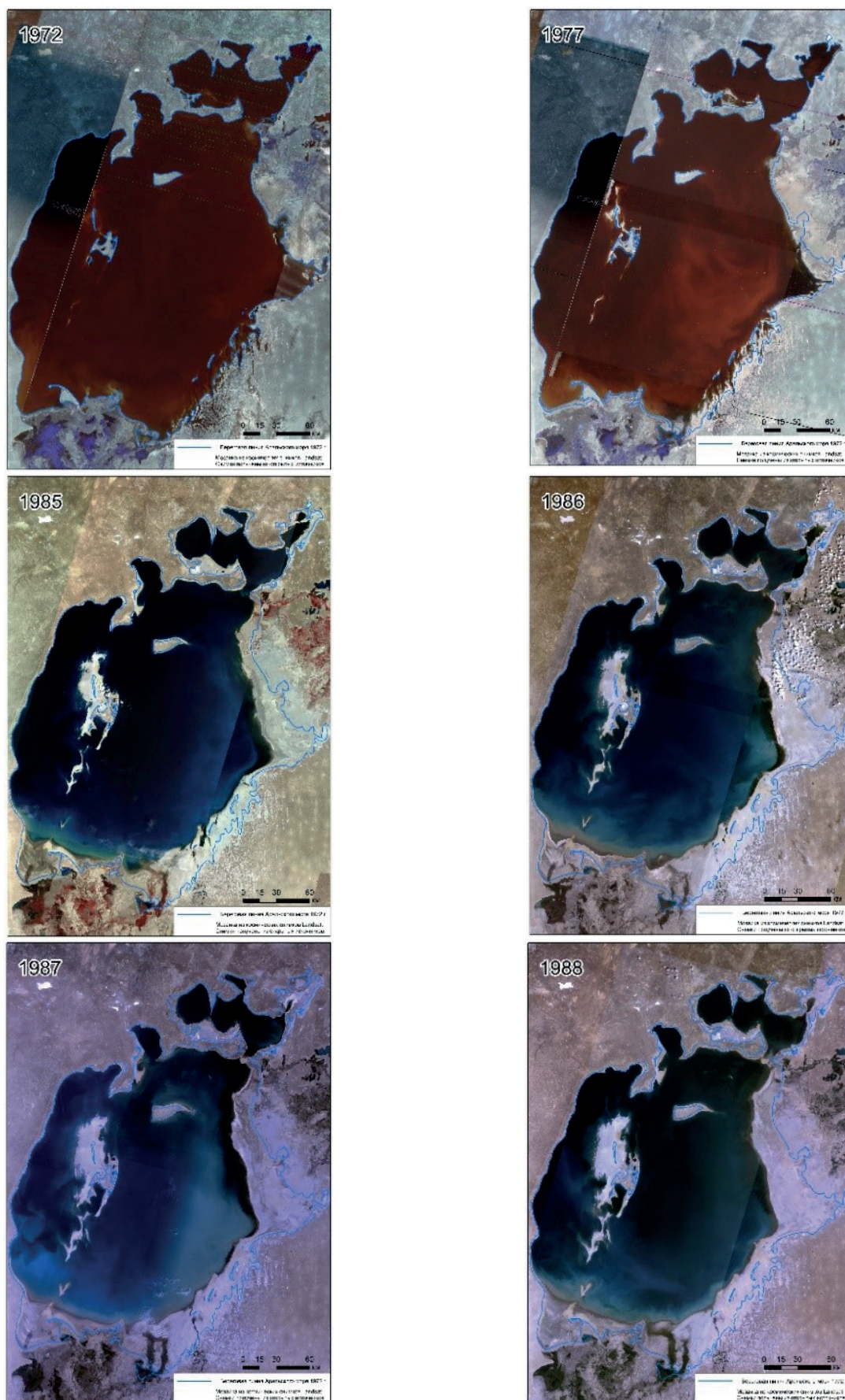


Рисунок 3.6. Динамика изменения площадей водного зеркала Аральского моря с 1972 по 1988 гг. по космическим снимкам

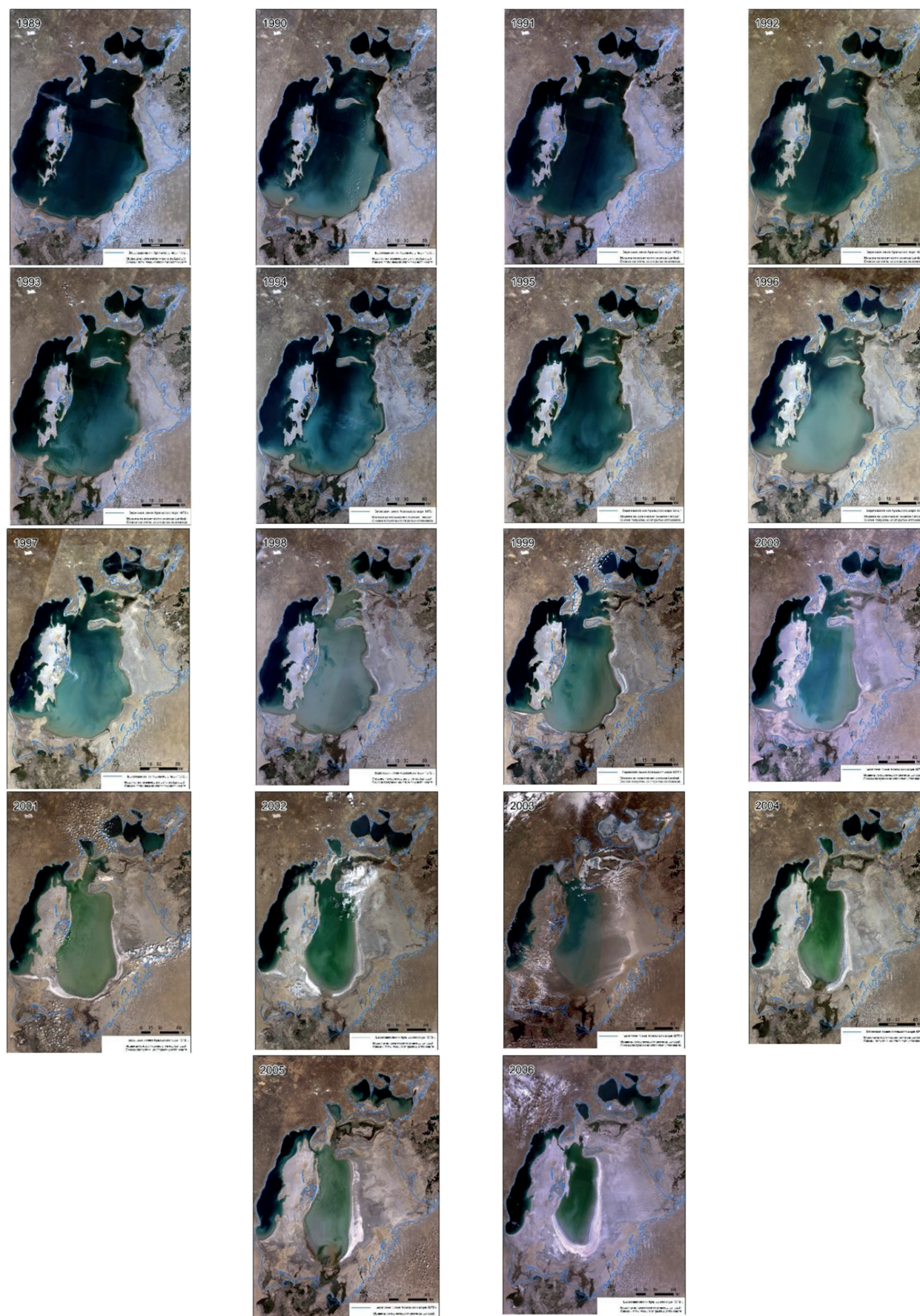


Рисунок 3.7. Динамика изменения площадей водного зеркала Аральского моря с 1989 по 2006 гг. по космическим снимкам.

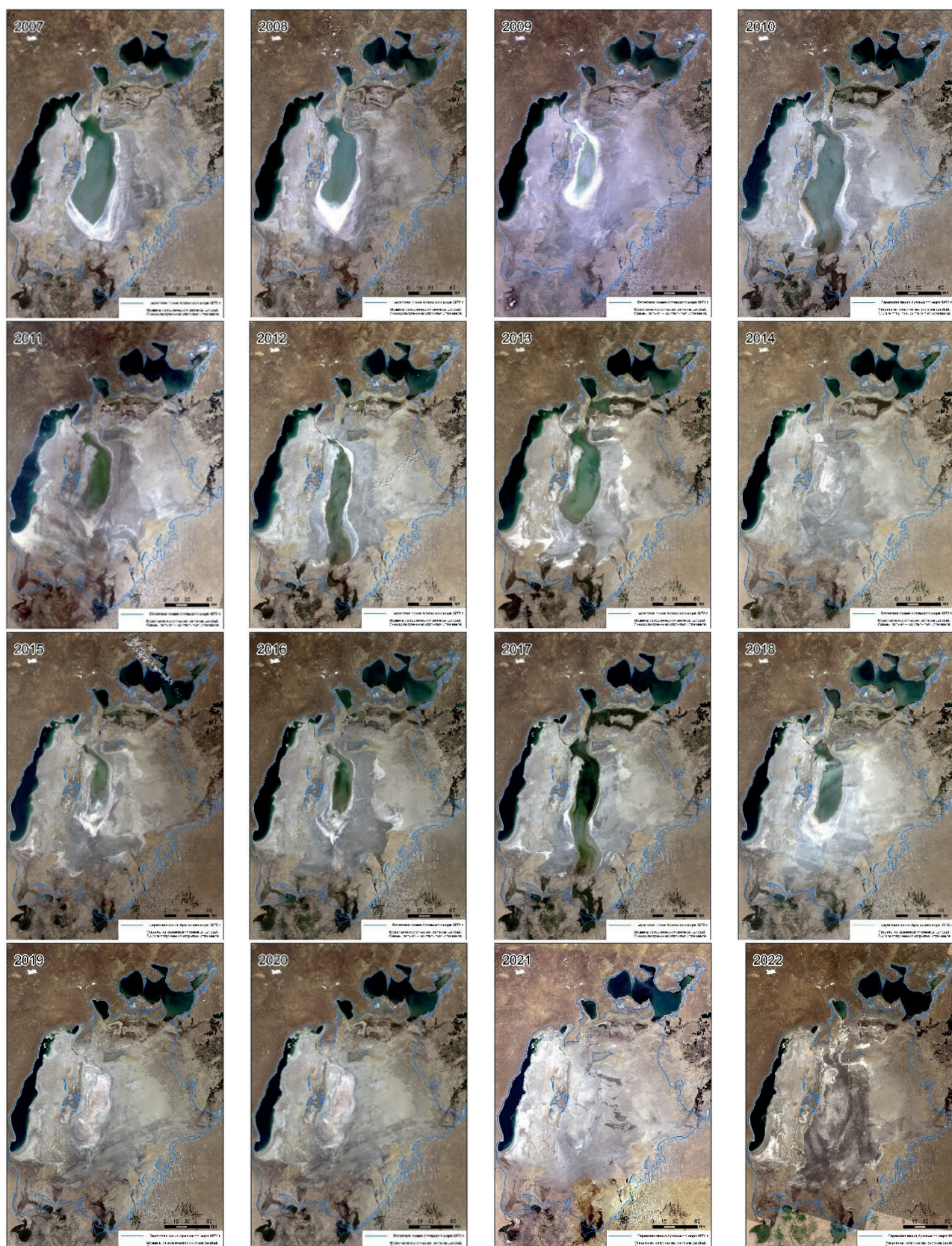


Рисунок 3.8. Динамика изменения площадей водного зеркала Аральского моря
с 2007 по 2022 гг. по космическим снимкам

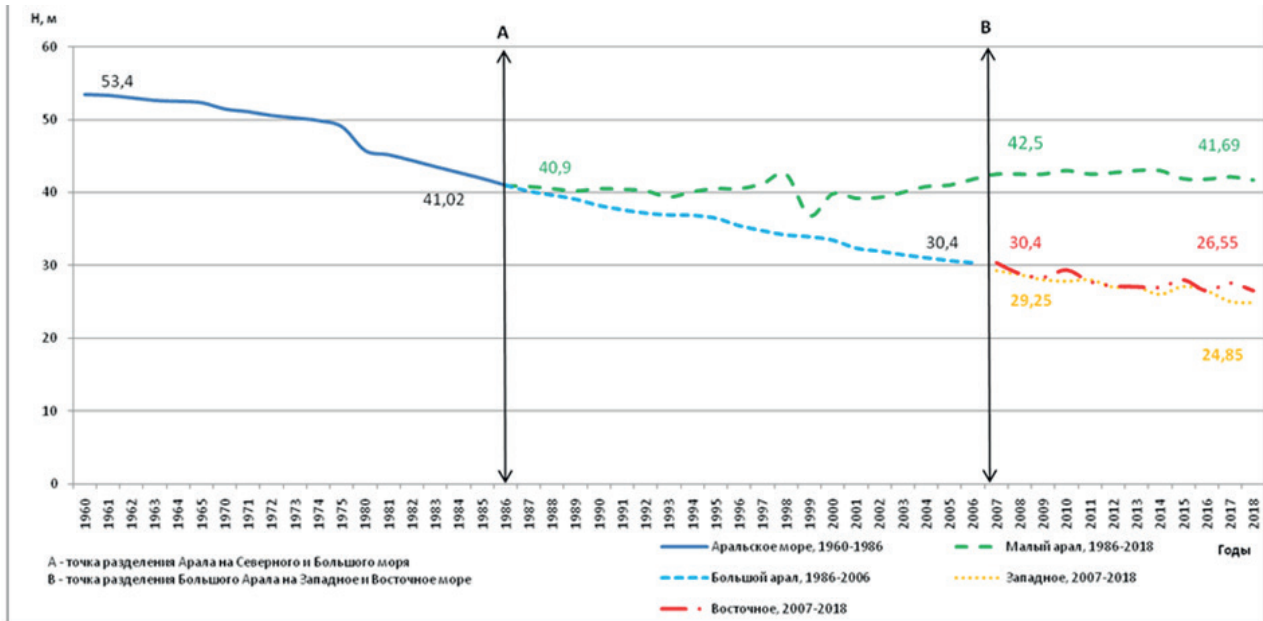


Рисунок 3.9. Динамика изменений уровня Аральского моря за 1960–2018 гг.

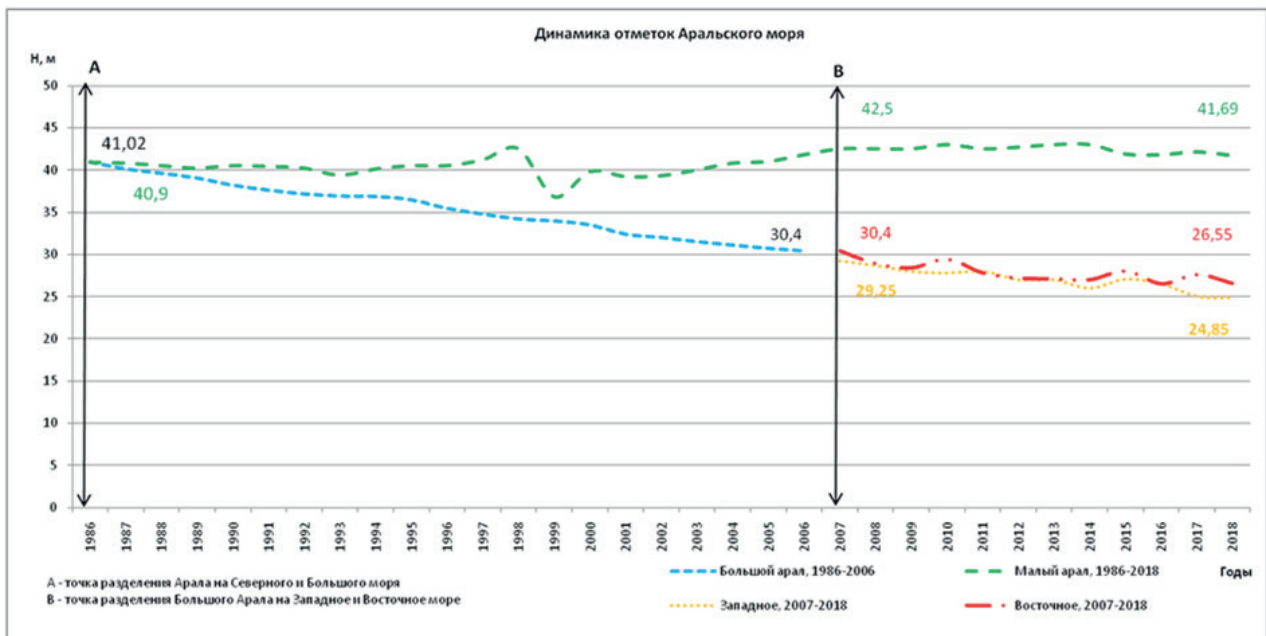


Рисунок 3.10. Динамика изменений уровня Аральского моря после его разделения 1986–2018 гг.

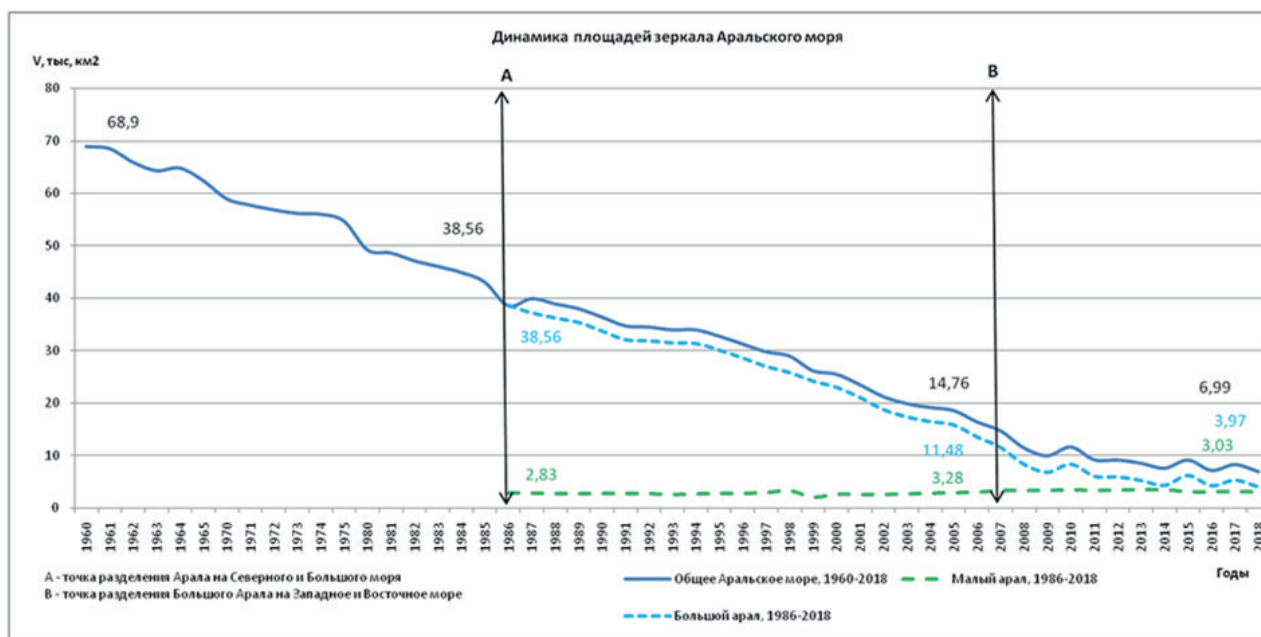


Рисунок 3.11. Динамика изменений площадей зеркала Аральского моря за 1960–2018 гг.

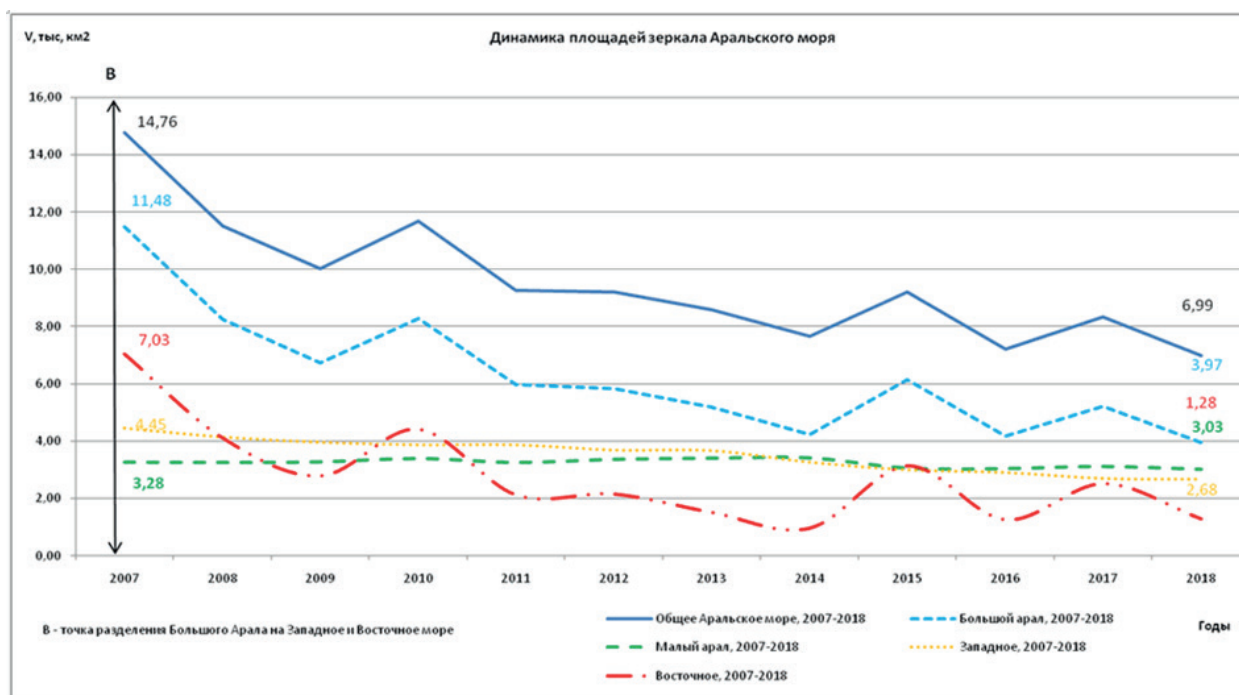


Рисунок 3.12. Динамика изменений площадей зеркала Малого и Большого Арала за 2007–2018 гг.

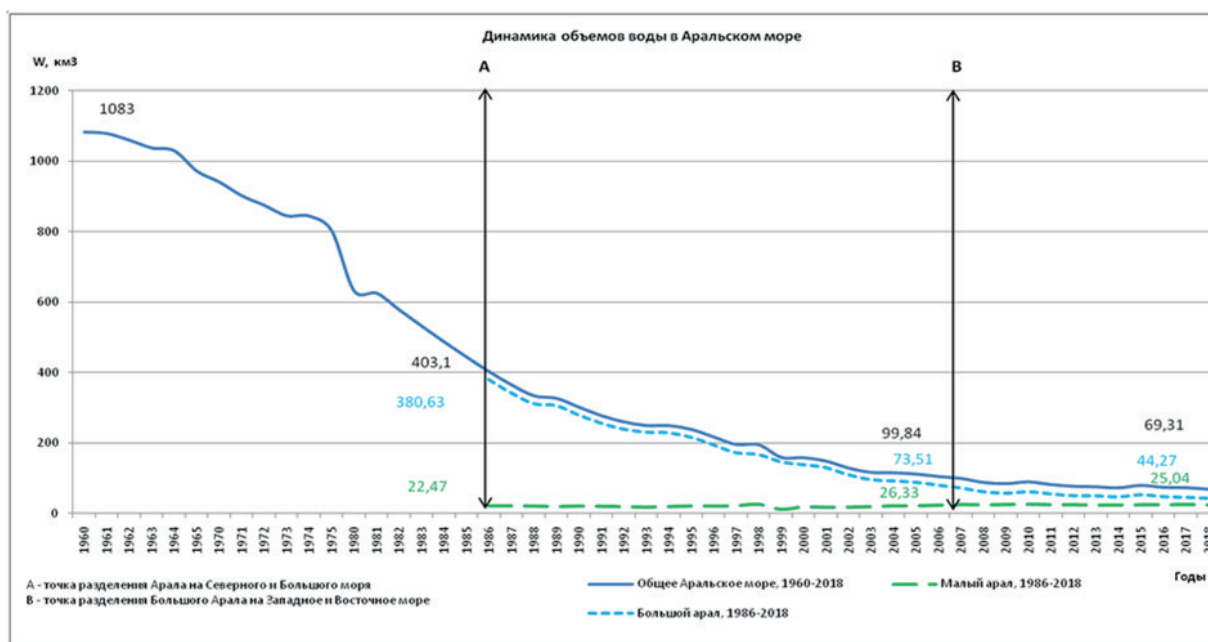


Рисунок 3.13. Динамика изменений объемов воды в Аральском море за 1960–2018 гг.

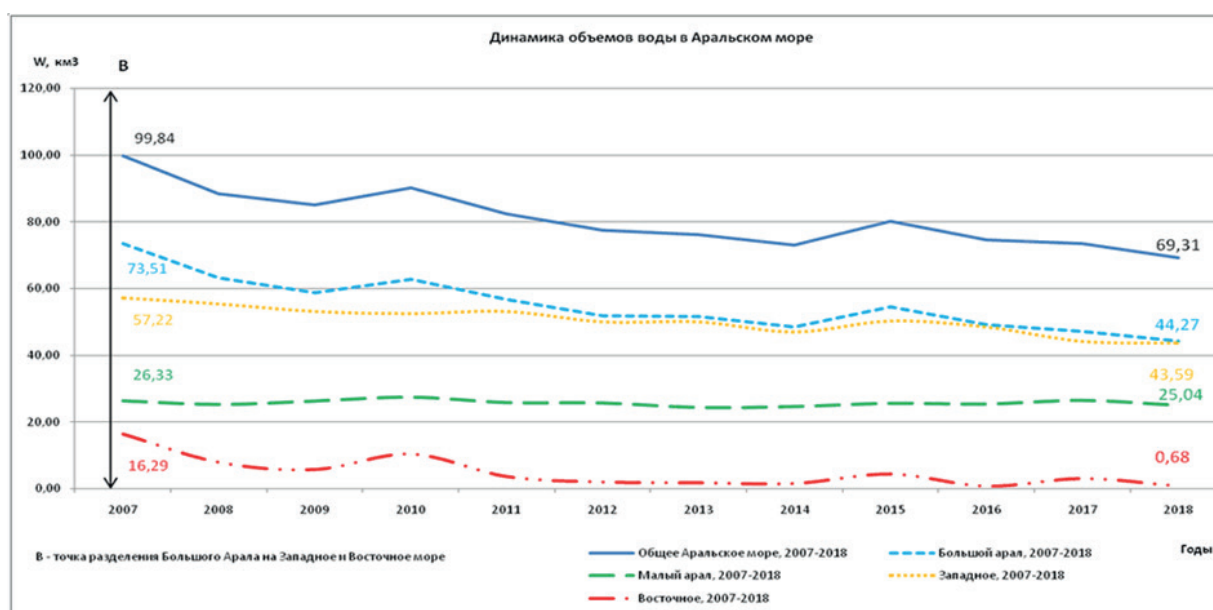


Рисунок 3.14. Динамика изменений объемов воды в Малом, Большом Арале за 2007–2018.

По результатам обработки радарных снимков установлено, что после постройки Кокаральской плотины уровень воды в Малом Арале поднялся до отметок 41,5–42,5 м и до настоящего времени колеблется в этих пределах.

Уровень Западной части Большого Арала стабильно падает: за период с 2011 года по 2021 год уровень упал на 8 метров – с 28 м до 20 м.

Хотя объем воды в Восточной части Большого Арала небольшой, динамика уровня в настоящее время в целом стабильна, отмечается весна 2018 года, когда уровень воды достиг отметки 28,8 м [11].

Мелководный Восточный водоем полностью зависит от притока к дельте Амударьи, и колеблющийся между 1 и 17 млрд м³ [41].

Уровень, площадь и объем Малого Арала, представлены графиками, основанными на радарных спутниковых снимках (рисунки 3.15–3.17). Данные загружены с глобальной базы данных с открытым доступом THEIA (<https://www.theia-land.fr/en/homepage-en/>).

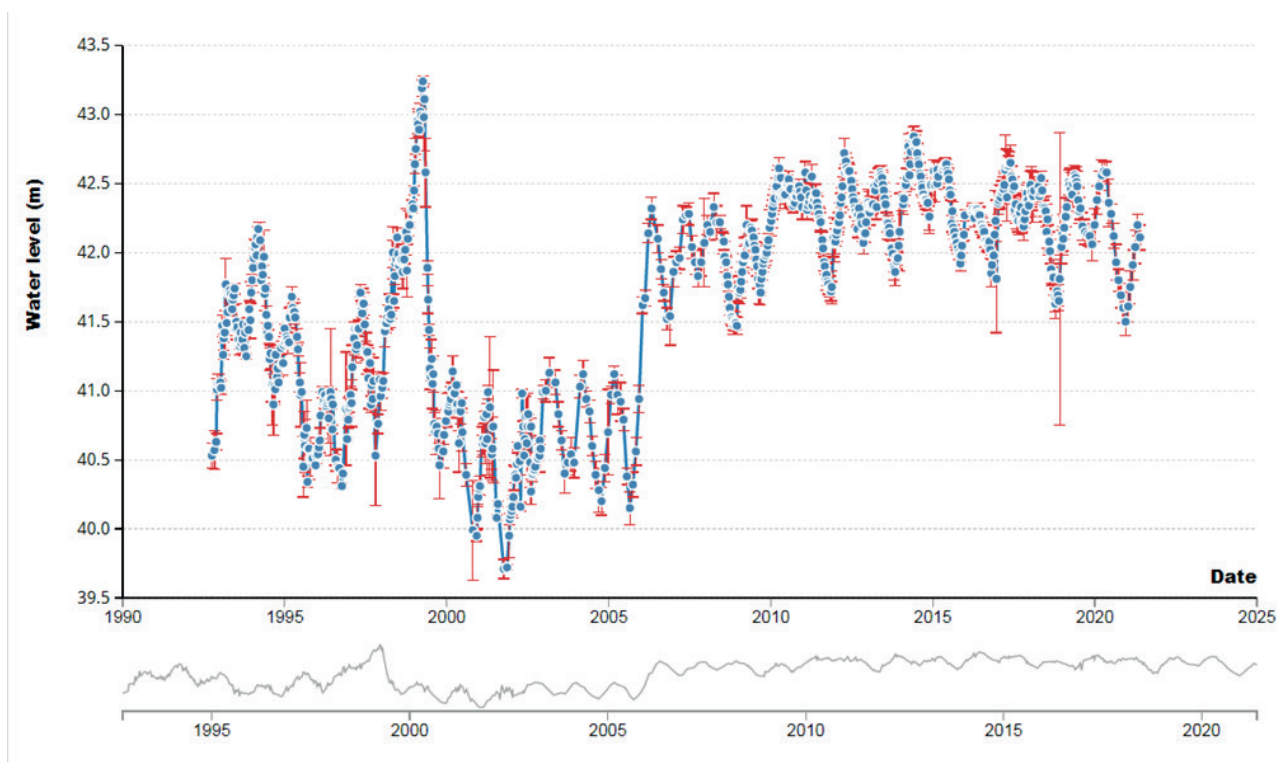


Рисунок 3.15. Динамика изменений уровня Малого Арала за 1992–2021 гг. по глобальным данным ДЗЗ.

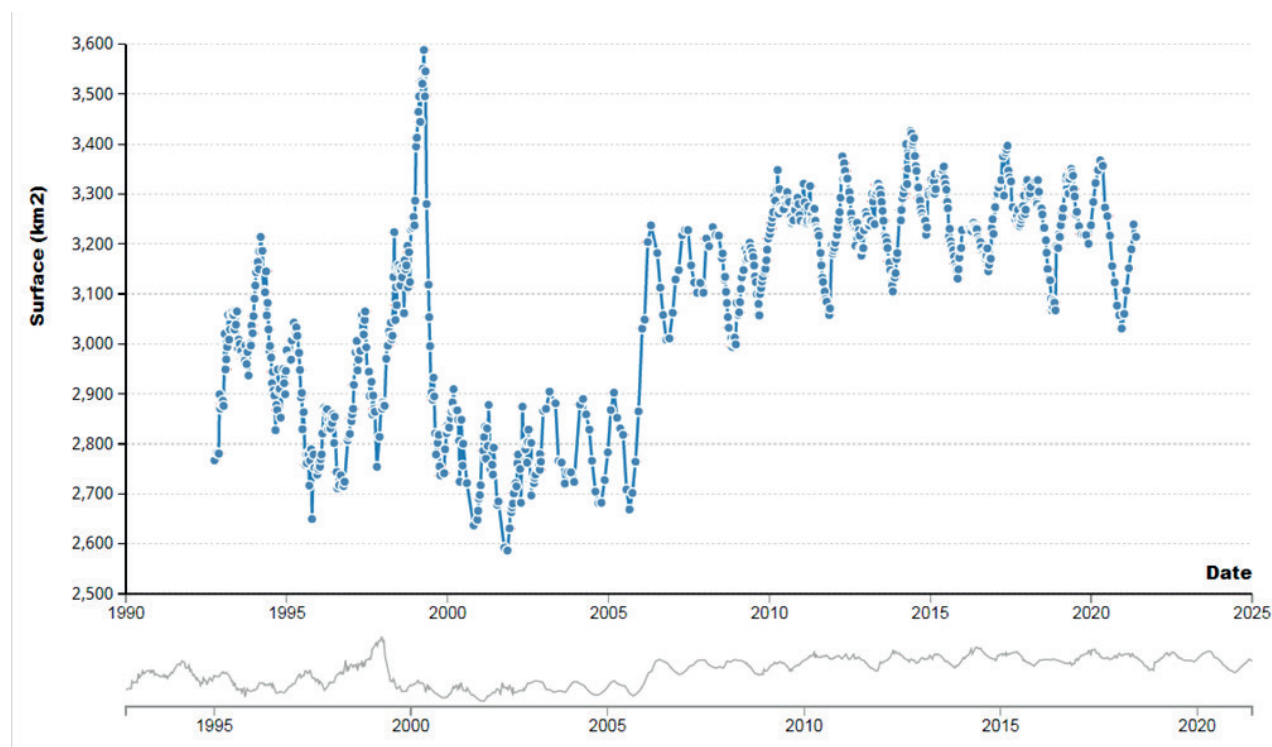


Рисунок 3.16. Динамика изменений площади зеркала Малого Арала за 1992–2021 гг. по глобальным данным ДЗЗ.

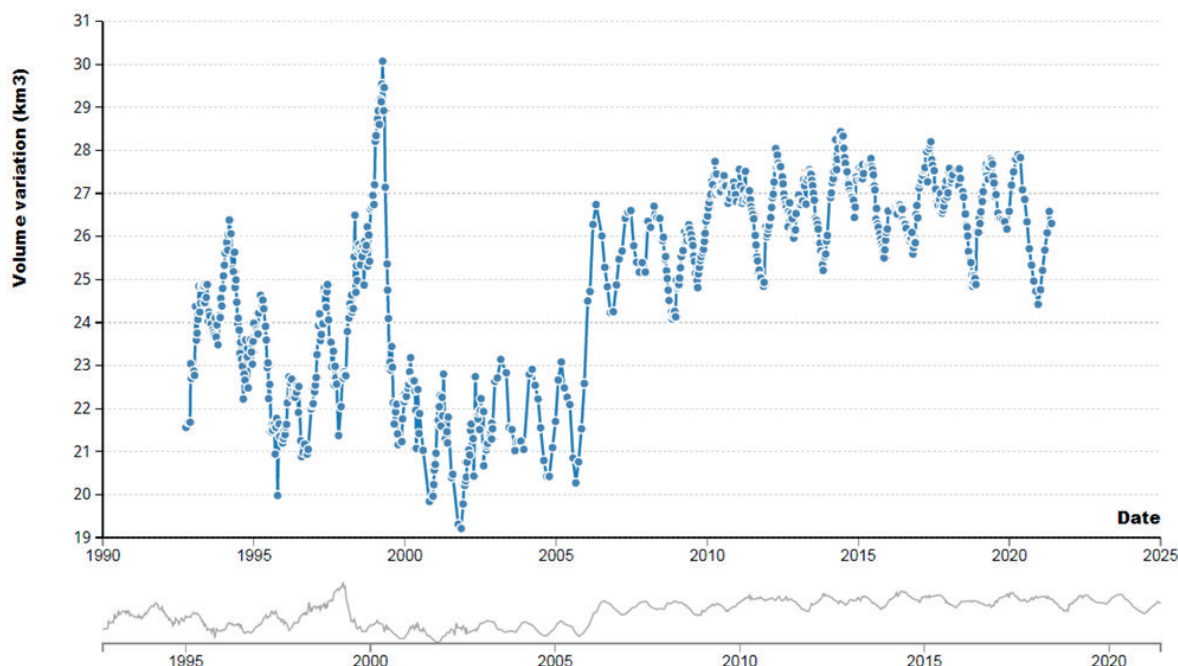


Рисунок 3.17. Динамика изменений объема воды Малого Арала за 1992–2021 гг. по глобальным данным ДЗЗ.

Как видно из графиков по Малому Аралу отмечается стабильность этих трех показателей после 2005 года. Стабильность связана с постройкой Кокаральской плотины. Назрела необходимость строительства гидротехнического сооружения, которая позволила бы поднять уровень Малого Аральского моря к отметкам, близким к отметкам условно-естественного периода (до 1960 г.). Это позволило бы не только увеличить объем водоема, но и уменьшить его соленость, улучшить экологическое и социально-экономическое состояние региона.

Таблица 3.3. Площади зон казахстанской части ОДАМ по времени высыхания

№	Период осушения	Площадь, га	% от всей площади казахстанской части ОДАМ
1.	с 1960 по 1972 гг.	449 193,9	15
2.	с 1972 по 1985 гг.	616594,7	20,6
3.	с 1985 по 1990 гг.	361 688,4	12
4.	с 1990 по 1995 гг.	236 145,1	7,9
5.	с 1995 по 2000 гг.	397 201,0	13,2
6.	с 2000 по 2005 гг.	328 394,5	11
7.	с 2005 по 2010 гг.	201 577,9	6,7
8.	с 2010 по 2015 гг.	170 744,6	5,7
9.	с 2015 по 2020 гг.	175 558,7	5,9
10.	с 2020 по 2022 гг.	60 298,7	2
	Итого	2 997 397,5	100
	острова	51 611,36	
	вода	406 685,2	

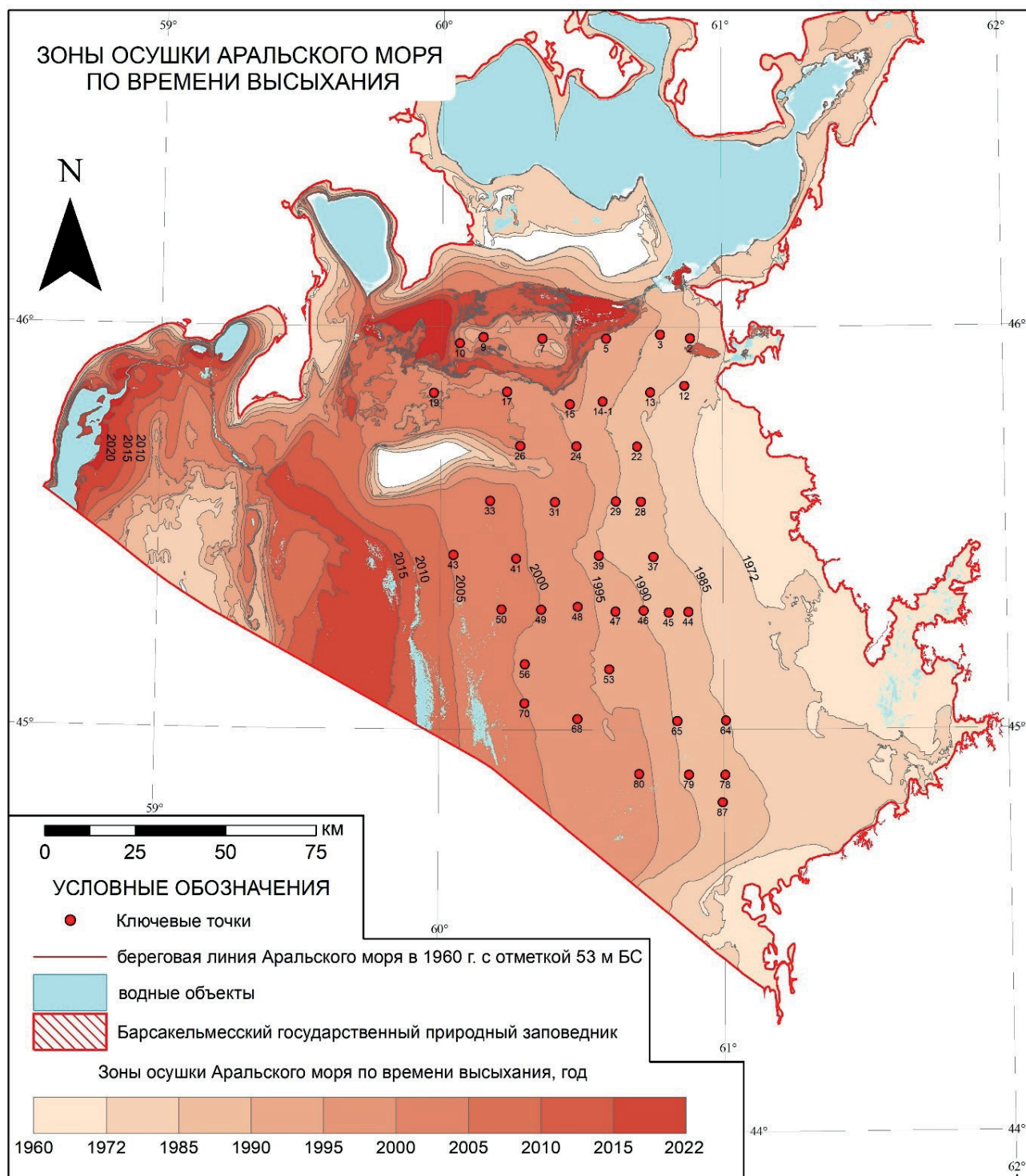


Рисунок 3.18. Зоны казахстанской части ОДАМ по времени высыхания

4. ОПИСАНИЕ ГЛУБИН ЗАЛЕГАНИЯ И МИНЕРАЛИЗАЦИИ ГРУНТОВЫХ ВОД

Реализация исследований гидрогеологических условий ОДАМ проведена поэтапно.

На 1-м этапе предполевых исследований выполнен сбор, картографическая привязка и анализ имеющихся гидрогеологических карт прибрежной зоны бывшего Аральского моря, с акцентированием внимания на общих условиях залегания, закономерностях распределения и формирования безнапорных подземных вод.

Второй этап полевых исследований включал проведение рекогносцировочных маршрутов с бурением 27 картировочных гидрогеологических скважин для вскрытия и опробования первого от поверхности водоносного горизонта современных морских отложений. Картировочные скважины размещены на поверхности осушенного дна Аральского моря с севера от контура Малого Арала на юг до границы с Узбекистаном на 9 широтных профилях от границ озерной котловины на востоке до контура Большого Арала на западе. Расстояние между профилями 15–16 км. На отдельном профиле пройдены от 1–3 до 7 картировочных скважин. В каждой выработке проведен замер глубины уровня подземных вод, отобраны пробы воды и осадочных отложений на лабораторные анализы.

Отбор проб поверхностных вод на лабораторные анализы проведен в трех точках: р. Сырдарья–Гидроузел, Малый Арал–верхний бьеф Кокаральской плотины и Большой Арал–нижний бьеф Кокаральской плотины. Дополнительно, на острове Барсакельмес обследованы и опробованы две ранее пробуренные гидрогеологические скважины.

Всего, в полевой период отобрано 32 пробы воды на лабораторные анализы.

На 3-м этапе камеральных исследований лабораторный анализ проб поверхностных и подземных вод выполнен в гидрохимической лаборатории Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина, которая имеет Аттестат аккредитации на выполнение химических анализов объектов окружающей среды, включая воды, почвы и донные отложения.

Составлены карта фактического материала с нанесением данных полученных полевых и лабораторных исследований, специализированные карты изолиний глубин залегания подземных вод, гидроизогипс современного морского водоносного горизонта, изолиний минерализации подземных вод, гидрогеологическая карта ОДАМ.

Для территории ОДАМ характерно наличие двух основных гидрогеологических этажей, разделенных региональным глинистым палеогеновым водоупором. В верхнем гидрогеологическом этаже развиты преимущественно безнапорные поровые подземные воды современных морских отложений. Нижний этаж содержит в основном напорные порово-пластовые воды меловых отложений.

Высокая минерализация (более 35 г/л) безнапорных вод и слабая водообильность водовмещающих отложений определяют их практическую непригодность для использования в хозяйственных целях.

Напорные подземные воды меловых водоносных комплексов умеренно солоноватые (3–5 г/л) и солоноватые (5–10 г/л), их водообильность характеризуется дебитами скважин свыше 6 л/с (более 500 м³/сут). Они являются наиболее перспективными для практического освоения.

Дальнейшие гидрогеологические исследования необходимы для изучения полного разреза современных морских отложений ОДАМ, для организации наблюдательной сети мониторинга подземных вод, а также для обоснования сооружения разведочно-эксплуатационных гидрогеологических скважин в контуре ОДАМ для добычи напорных пластовых вод меловых водоносных комплексов для хозяйственно-бытовых нужд сельского населения, оазисного орошения и водопоя скота.

4.1. Геолого-гидрогеологическая характеристика территории исследований

Территория исследований в административном отношении приурочена, в основном, к Аральскому и Казалинскому районам Кызылординской области, частично, к Шалкарскому району Актюбинской области. Площадь территории более 15 тыс. км².

В геолого-структурном отношении территории входит в состав Скифско-Туранской плиты, расположенной в южной периферийной части древней Восточно-Европейской платформы. В строении Туранской плиты выделяются дислоцированный палеозойский фундамент и пологозалегающий мезо-кайнозойский платформенный чехол. В истории тектонического развития выделяются два основных этапа: геосинклинальный и платформенный. В палеозойское время территория входила в состав Урало-Тяньшаньской геосинклинальной области. Геосинклинальное развитие закончилось в каледонское время, и, начиная с девона, здесь образовались средне-верхнепалеозойские наложенные впадины. Платформенный чехол на большей части плиты начинается отложениями верхней юры и лишь местами - нижней юры верхнего триаса.

В гидрогеологическом отношении Казахстана в пределах казахстанской части Скифско-Туранской плиты на территории Аральской озерной котловины граничат три сложных бассейнов безнапорных и напорных вод I-го порядка: с запада – Устюртский (I-2), с востока – Сырдарьинский (I-4) и с севера – Приаральско-Торгайско-Шу-Сарысузский (I-5) (рисунок 4.1, таблица 4.1) [43, 44].

Таблица 4.1. Схема гидрогеологического районирования Аральского региона на территории Казахстана

Регионы Системы бассейнов безнапорных и напорных вод	Провинции Бассейны подземных вод I порядка (сложные бассейны безнапорных и напорных вод)	Под провинции Бассейны подземных вод II порядка (бассейны напорных и субнапорных вод)
I Скифско- Туранская система бассейнов пластовых, корово-блоковых, блоково- пластовых вод	I-2 Устюртский сложный бассейн пластовых и блоково- пластовых вод	I-2А Челкарский бассейн пластовых вод I-2Б Северо-Устюртский бассейн пластовых вод
	I-4 Сырдарьинский сложный бассейн пластовых и блоково- пластовых вод	I-4А Восточно-Приаральский бассейн пластовых и блоково-пластовых вод
	I-5 Приаральско-Торгайско-Шу- Сарысузский бассейн пластовых вод	I-5А Северо-Приаральский бассейн пластовых вод

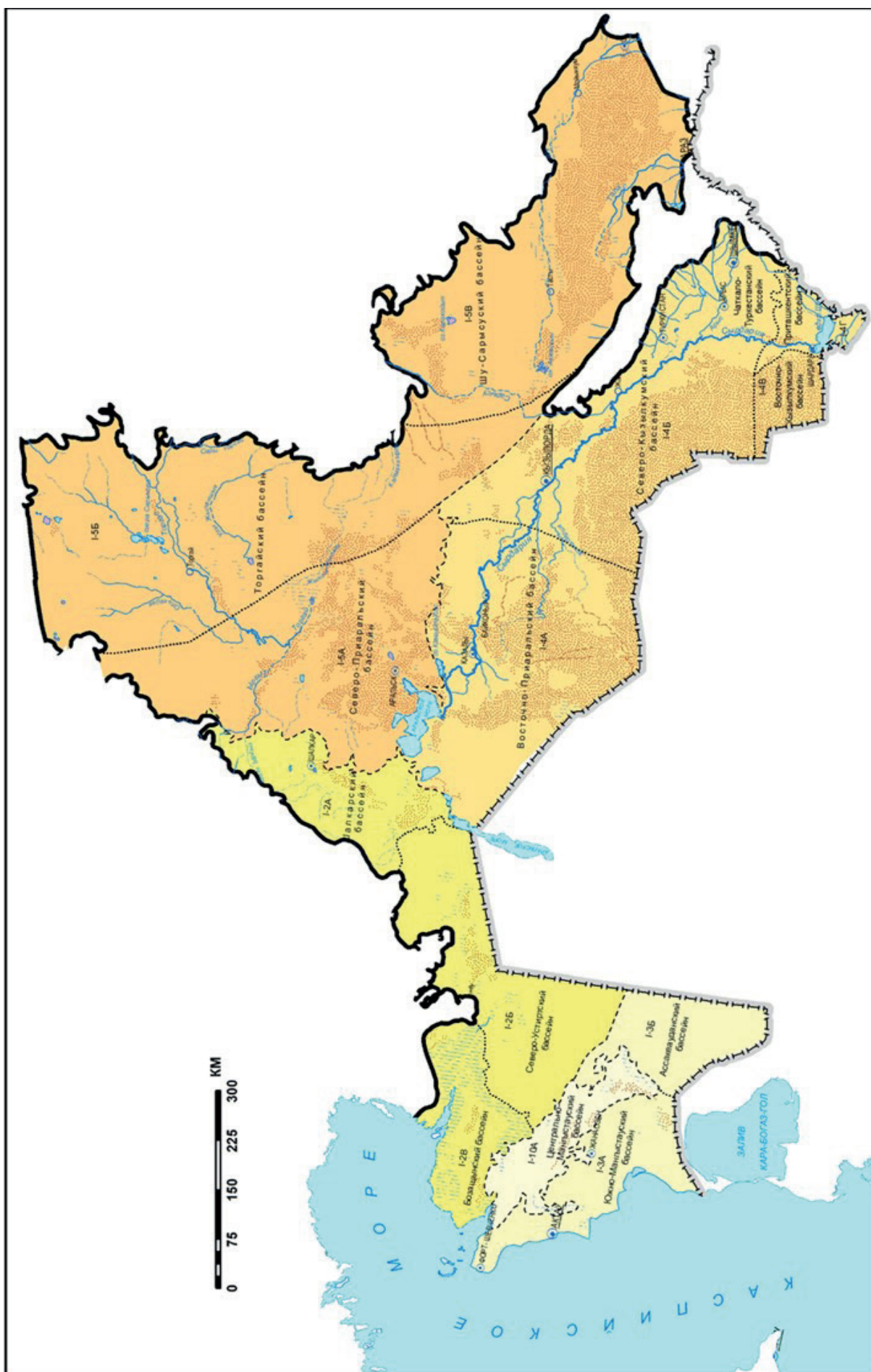


Рисунок 4.1. Гидрогеологическое районирование казахстанской части Скифско-Туранской плиты

Собственно территория исследований занимает западную часть Восточно-Приаральского бассейна напорных пластовых вод II-го порядка (I-4A), который расположен в северо-западной части Сырдарьинской впадины, непосредственно прилегающей к Аральскому морю. Южная и юго-западная границы проходят за пределами территории Казахстана. Западная граница проходит по Арало-Кызылкумскому валу и его продолжению под акваторией Аральского моря – горсту, наиболее приподнятыми участками которого являются о. Возрождения и полуострова Муйнак и Куланды. От Северо-Кызылкумского бассейна его отделяет Аккырско-Кумкалинская седловина [43].

Территория бассейна находится в засушливой пустынной зоне с крайне малым количеством атмосферных осадков. Речной сток практически отсутствует. Единственная река – Сырдарья, некогда крупная, в последние годы сильно сократила свой сток и впадает в Малый Арал. Большое влияние на гидрогеологические условия оказывают техногенные факторы, отрицательно воздействующие на окружающую среду. С каждым годом прогрессирует опустынивание местности, возрастает объем эолового переноса солей на значительные расстояния, который оказывает влияние на солевой состав почв и подземных вод всего региона.

Мощность осадочного чехла Восточно-Приаральского артезианского бассейна не превышает 1500 м. Поток напорных нисходяще-восходящих вод мезозоя направлен с востока на запад в сторону Аральской котловины. Местными базисами разгрузки являются бессточные котловины и выходы водоносных горизонтов в долине р. Сырдарьи. Основные ресурсы подземных вод приурочены к неоген-четвертичным и меловым водоносным комплексам, разделенным между собой региональным водоупором – палеоцен-миоценовыми глинами.

Слабая расчлененность местности, равнинность территории, повышенная глинистость водовмещающих пород неоген-четвертичных отложений способствовали формированию застойного режима содержащихся в них безнапорных подземных вод. Процессы континентального засоления обусловили их высокую минерализацию и практическую непригодность для использования в хозяйственных целях. Лишь на отдельных участках в пойменной части долины р. Сырдарья встречаются линзы пресных вод, используемые для водоснабжения чабанских бригад и водопоя скота.

4.2. Характеристика гидрогеологического разрезов и комплексов

Подземные воды в пределах территории исследований приурочены к различным стратиграфическим подразделениям и значительно различаются по условиям формирования, залегания, циркуляции, качественным и количественным показателям. По степени минерализации здесь распространены подземные воды от пресных до рассолов, а по условиям залегания – безнапорные и напорные.

На основании материалов предшествующих исследований и в соответствии с легендой к гидрогеологическим картам на рассматриваемой территории в зависимости от генетического происхождения, стратиграфической принадлежности и литологического состава водовмещающих пород, а также условий формирования и циркуляции приуроченных к ним подземных вод выделяются следующие водоносные горизонты и комплексы [36, 38–40]:

- водоносный горизонт современных морских отложений (mQ_{IV});
- водоносный горизонт современных аллювиальных отложений (aQ_{IV});
- водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиальных отложений (aQ_{III});
- водоносный горизонт верхнеплиоценово-среднечетвертичных отложений ($N_2^3-Q_{II}$);
- водоносный комплекс верхнетурон-сенонских отложений (K_{2t-sn});
- водоносный комплекс альб-сеноманских отложений ($K_{1al}-K_{2cm}$).

Помимо водоносных горизонтов также распространены водоупорные эоценовые и олигоценовые отложения тасаранской и чеганской свит (P_{2ts} и P_{3cg}), а также водопроницаемые, но практически безводные олигоценовые отложения.

Залегающие в основании разреза нижнемеловые (аптские и неокомские) и юрские отложения обводнены, но содержат подземные воды высокой минерализации и в настоящее время практического применения не нашли.

Ниже приводится характеристика выделенных водоносных горизонтов и комплексов.

Водоносный горизонт современных морских отложений (mQ_{IV}) распространен вдоль восточного побережья Арала, где занимает высохшую часть озерной котловины. Водовмещающими отложениями являются тонкозернистые, реже мелкозернистые пески, мощность обводненной толщи – 3–8 м. По минералогическому составу пески кварцево-полевошпатовые, с содержанием кварца 65–81%, но встречаются и кварцевые с содержанием кварца до 99%. В зоне аэрации наибольшим распространением пользуются тяжелые супеси и легкие суглинки, иловатые, сильно засоленные. Подстиляется водоносный горизонт глинисто-мергелистой толщей палеогена.

Воды безнапорные, глубина залегания уровня составляет, в основном, 1,6–2,5 м. Водообильность отложений незначительная. Дебиты скважин колеблются в пределах 0,1–0,5 л/с при понижениях соответственно 0,8–2,9 м. Удельные дебиты в основном в пределах 0,1–0,15 л/с.

Подземные воды по степени минерализации относятся в основном к слабым рассолам с величиной минерализации 40–104 г/л. По химическому составу воды хлоридно-сульфатные натриево-магниевые, III_a гидрохимического типа (по О.А. Алекину). Сводная формула химического состава имеет вид:

$$M_{40.5-103.9} \frac{Cl\ 65 - 80\ SO_4\ 20 - 34\ HCO_3\ 1}{(Na + K)\ 63 - 66\ Mg\ 29 - 35\ Ca\ 3 - 9}$$

Питание подземных вод осуществляется за счет атмосферных осадков, выпадающих на площади распространения водоносного горизонта, а также разгрузки в него вод других водоносных горизонтов верхнеплиоцен-четвертичных отложений. Разгрузка происходит в основном за счет испарения, ввиду неглубокого залегания уровня подземных вод и высокой испаряемости, а также за счет оттока в сторону сохранившейся части моря.

Практического значения воды водоносного горизонта современных морских отложений не имеют, ввиду их высокой минерализации и незначительной водообильности.

Водоносный горизонт современных аллювиальных отложений (aQ_{IV}) распространен вдоль русла р. Сырдарья, в его пойменной части. Водовмещающие отложения представлены тонко- и мелкозернистыми песками с прослоями глин и суглинков. Подстиляется водоносный горизонт средне-верхнечетвертичными и неогеновыми образованиями. Мощность водоносного горизонта до 15–20 м.

Воды безнапорные с глубиной залегания до 5 м. Водообильность отложений невысокая, дебиты скважин и колодцев составляют преимущественно десятые доли л/с. колеблются в пределах 0,1–0,5 л/с.

Питание подземных вод происходит за счет фильтрации из реки и ирригационных каналов, а также инфильтрации атмосферных осадков, что отражается на качественном составе подземных вод. Минерализация воды пестрая, от пресных до соленых. Химический состав пресных и солоноватых подземных вод гидрокарбонатно-сульфатный и сульфатно-хлоридный натриевый и смешанный трехкатионный II-го гидрохимического типа, соленых вод – хлоридный и хлоридно-сульфатный натриевый III_a гидрохимического типа.

Разгрузка подземных вод происходит путем подземного стока в русло реки и ниже залегающие горизонты, а также за счет эвапотранспирации.

Воды водоносного горизонта, ввиду преобладания повышенной минерализации, используются весьма ограниченно, чаще для водопоя скота на отгонных пастбищах.

Водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиальных отложений (aQ_{III}) в Восточном Приаралье приурочен к осадкам второй надпойменной террасы р. Сырдарья. Водовмещающими отложениями являются разнородные пески с гравием и галькой с прослоями супесей, глин и суглинков. Подстиляется водоносный горизонт глинистыми образованиями более древних возрастов. Мощность водоносного горизонта в пределах 1-20 м.

Воды обычно безнапорные, глубина их залегания до 15-20 м. Водообильность и минерализация подземных вод зависит от условий питания и гранулометрического состава водовмещающих отложений. В приречной зоне удельные дебиты водопунктов достигают 1-2 л/с, а минерализация воды изменяется в пределах 1-2 г/д. При удалении от реки удельные дебиты снижаются до 0,1–0,3 л/с при повышении минерализации до 10 г/л и более. Сводная формула химического состава имеет вид:

$$M_{1,0-20,0} \frac{Cl\ 17 - 69\ SO_4\ 30 - 66\ HCO_3\ 1 - 41}{(Na + K)\ 32 - 63\ Mg\ 17 - 42\ Ca\ 12 - 26}$$

Пресные и слабосоленые воды водоносного горизонта представляют практический интерес для водопоя скота на отгонных пастбищах.

Водоносный горизонт верхнеплиоценовых-среднечетвертичных отложений ($N^3_2-Q_{II}$) развит локально в долинообразных понижениях. Глубина залегания уровня безнапорных вод составляет 1,0–12,4 м. Водовмещающими породами являются тонкозернистые (реже мелкозернистые) пески. Мощность водоносного горизонта обычно составляет 5–6 м. Подстилающими породами почти повсеместно являются водоупорные глины палеогена.

Водообильность водоносного горизонта незначительная, дебиты скважин составляют 0,2–0,3 л/с при понижениях 2–3,2 м. Очень редко дебиты достигают 1,2 л/с (скв. 32). Удельные дебиты составляют преимущественно 0,05–0,1 л/с. Величина минерализации подземных вод составляет 2,4–23,6 г/л, преимущественно же умеренно соленые с минерализацией 3–5 г/л. По химическому составу воды преимущественно сульфатно-хлоридные натриево-магниевые II-го гидрохимического типа.

Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и разгрузки в него вод четвертичных водоносных горизонтов. Разгрузка происходит в местные дрены (соры) и за счет испарения. Воды горизонта используются для водопоя скота, эксплуатация осуществляется колодцами.

Водоносный комплекс верхнетурон-сенонских отложений является наиболее перспективным и доступным для практического использования. Он распространен на всей территории Восточно-Приаральского бассейна, но выходит на поверхность лишь в районе Нижнесырдарьинского свода. Разрез верхнетурон-сенонских отложений представлен песчано-глинистой толщей морского и континентального происхождения. Общая мощность пород комплекса изменяется от 20–40 до 260 м, а эффективная – от 10–20 до 200–220 м.

Подземные воды в основном напорные. Уровни устанавливаются от 10 м ниже земной поверхности до +16 м выше ее поверхности. Водообильность водоносного комплекса довольно высокая. Дебиты скважин на самоизливе составляют 4,3–17,5 л/с при понижении уровня соответственно 5,1–20,5 м. Преобладающие дебиты скважин 3–12 л/с. Удельные дебиты колеблются от 0,3 до 1,0 л/с, преимущественно составляя 0,5–0,7 л/с.

По степени минерализации распространены воды от весьма слабосоленых до сильно соленых. Величина минерализации составляет 1,2–13,8 г/л. Химический состав слабосоленых вод – смешанный по анионному составу с преобладанием сульфатов. С увеличением минерализации состав воды становится сульфатно-хлоридным и хлоридно-сульфатным. По катионному составу воды натриевые. Преобладают воды II-го гидрохимического типа.

Питание подземных вод комплекса осуществляется далеко за пределами территории исследований, на участках выхода на поверхность меловых отложений и подтока воды с горных сооружений. Движение подземных вод происходит с востока на запад в сторону котловины Арала.

Пресные и слабоминерализованные воды комплекса используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения и орошения земель. Воды с минерализацией до 5 г/л представляют интерес для водопоя скота и хозяйственно-бытовых нужд сельских населенных пунктов. В различные годы на территории Восточно-Приаральского артезианского бассейна было пробурено значительное количество скважин, часть которых самоизливается до настоящего времени.

Водоносный комплекс альб-сеноманских отложений (K_{1al}-K_{2cm}) распространен повсеместно и является вторым по практической значимости в Восточно-Приаральском бассейне. Водовмещающие породы представлены переслаиванием глин, алевролитов, разнотерристых песчаников и песков. Эффективная мощность отложений комплекса изменяется от 40 до 120 м, кровля комплекса залегает на глубинах 100–500 м.

Водоносный комплекс характеризуется высокими напорами. Почти повсеместно скважины дают самоизлив. Высота напоров воды над поверхностью земли достигает 15–21 м. Водообильность комплекса достаточно высокая. Дебиты скважин на самоизливе составляют 8–19 л/с при понижениях, соответственно, 14,8–20,5 м. Удельные дебиты составляют 0,6–0,86 л/с.

По степени минерализации подземные воды комплекса солоноватые и сильно солоноватые с величиной минерализации 4,6–15,0 г/л. По химическому составу воды с минерализацией до 7–8 г/л сульфатно-хлоридные натриевые, а с увеличением минерализации состав их становится хлоридно-сульфатным. Весьма характерным является высокое содержание натрия в водах с любой минерализацией. Сводный состав подземных вод выражается следующей формулой солевого состава:

$$M_{4,8-12,9} \frac{Cl \ 30 - 64 \ SO_4 \ 34 - 59 \ HCO_3 \ 1 - 2}{(Na + K) \ 88 - 94 \ Mg \ 3 - 6 \ Ca \ 3 - 6}$$

Питание подземных вод комплекса осуществляется далеко за пределами территории исследований, на участках выхода на поверхность меловых отложений и подтока воды с горных сооружений. Движение подземных вод происходит с востока на запад в сторону котловины Арала.

Маломинерализованные подземные воды используются для водопоя скота и хозяйственно-бытовых нужд сельских населенных пунктов.

В целом, для Восточно-Приаральского бассейна характерно наличие двух основных гидрогеологических этажей, разделенных региональным водоупором палеогеновых глин. В верхнем гидрогеологическом этаже развиты преимущественно безнапорные поровые подземные воды четвертичных отложений. Нижний этаж содержит в основном напорные порово-пластовые воды меловых отложений.

На формирование безнапорных вод оказывают влияние количественные и качественные показатели воды, поступающей в водоносные горизонты, рельеф местности, засоленность и гранулометрический состав водовмещающих отложений, глубина уровня.

Напорные пластовые воды имеют иные условия формирования. Основная область питания приурочена к горам Букантау и Тамдытау, основная разгрузка происходит в котловину Арала. Наиболее перспективными для практического освоения являются водоносные комплексы меловых отложений.

В соответствии с целью проекта исследованию подлежат только подземные воды первого от поверхности водоносного горизонта для создания для территории ОДАМ тематической гидрогеологической карты в масштабе 1:500 000.

4.3. Результаты гидрогеологических исследований

Территория исследований расположена ОДАМ в пределах Казахстана, на левобережье реки Сырдарья, южнее Малого Арала и восточнее Большого Арала. В гидрогеологическом отношении территория относится к западной части Восточно-Приаральского артезианского бассейна и ограничена с севера границами Малого Арала, с востока контуром озерной котловины, с юга границей с Республикой Узбекистан, с запада контуром Большого Арала. Площадь территории более 15 тыс. км².

При реализации полевых исследований пройдены 27 картировочных скважин ручного бурения глубиной 1,3–5,2 м на 9 широтных профилях для вскрытия и опробования первого от поверхности водоносного горизонта современных морских отложений. Проведен отбор 32 проб воды на лабораторные исследования, в том числе: 27 проб подземных вод, 3 пробы поверхностных вод и 2 пробы подземных вод из ранее пробуренных скважин.

4.4. Анализ и оценка результатов исследований

Первый от поверхности водоносный горизонт современных морских отложений распространен повсеместно на территории ОДАМ. Зона аэрации с поверхности сложена приморскими почвами, представленными приморскими солончаковыми среднесуглинистыми почвами с навеванным песчаным чехлом, приморскими солонцеватыми легкоглинистыми, супесчаными и песчаными почвами, солончаками приморскими песчаными, супесчаными и солончаками корково-пухлыми суглинистыми, нередко навеванными песчаным чехлом. По результатам гранулометрического анализа, проведенного аттестованной лабораторией КазНИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова, современные морские отложения представлены песками мелкозернистыми и тонкозернистыми, алевритами и алевритистыми песками, при содержании глинистых частиц обычно менее 10% (таблица 4.2).

Таблица 4.2. Гранулометрический состав современных морских отложений осушенного дна Аральского моря

№	Описание точки отбора	Глубина скважины, м	Глубина отбора пробы, м	Содержание фракции в % на абсолютную сухую почву							
				Размеры фракции в мм							
				Песок			Алеврит (пыль)				Ил (глина)
				1,0–0,25	0,25–0,05	1,0–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	0,05–0,001	
1.	Скв. 5	3,50	3,50	1,56	7,50	9,05	34,88	51,50	2,49	88,87	2,08
2.	Скв. 7	3,39	3,30	5,01	47,19	52,19	41,62	3,30	2,47	47,39	0,41
3.	Скв. 12	5,20	5,20	1,46	24,98	26,44	42,27	12,19	10,16	64,62	8,94
4.	Скв. 14	3,10	3,00	0,36	77,49	77,85	16,51	2,42	1,61	20,54	1,61
5.	Скв. 15	2,70	2,60	0,67	18,69	19,37	39,91	17,10	18,73	75,75	4,89
6.	Скв. 17	2,70	2,65	2,52	52,32	54,84	21,97	4,48	13,02	39,46	5,70
7.	Скв. 24	2,50	1,20	0,47	61,52	61,99	29,11	3,24	1,21	33,56	4,45
8.	Скв. 26	2,80	1,10	0,60	13,34	13,94	19,86	17,38	45,51	82,75	3,31
9.	Скв. 28	5,10	1,20	0,41	23,08	23,49	13,99	16,04	30,44	60,47	16,04

10.	СКВ. 31	1,60	1,20	3,20	13,26	16,46	39,27	38,43	5,43	83,12	0,42
11.	СКВ. 33	2,30	1,15	2,17	78,45	80,62	11,13	5,77	1,24	18,14	1,24
12.	СКВ. 37	4,47	1,50	0,41	15,71	16,12	7,81	68,26	6,99	83,06	0,82
13.	СКВ. 39	2,20	1,00	0,53	26,92	27,45	29,75	25,68	13,04	68,47	4,08
14.	СКВ. 41	2,00	1,00	1,71	16,55	18,27	70,59	2,48	3,30	76,37	5,37
15.	СКВ. 44	3,20	2,15	2,85	49,80	52,65	3,24	26,71	10,52	40,47	6,88
16.	СКВ. 45	3,15	1,20	8,32	49,88	58,20	28,69	2,05	1,64	32,38	9,43
17.	СКВ. 46	2,10	1,50	7,48	72,84	80,32	10,66	1,64	1,23	13,53	6,15
18.	СКВ. 47	2,30	1,10	0,74	11,26	11,99	43,80	42,16	0,41	86,37	1,64
19.	СКВ. 48	2,50	1,10	0,60	57,52	58,12	31,81	7,65	0,81	40,27	1,61
20.	СКВ. 49	2,00	1,10	0,58	90,58	91,16	1,61	2,81	3,22	7,64	1,21
21.	СКВ. 50	2,30	1,20	1,99	33,84	35,83	19,04	37,67	4,55	61,27	2,90
22.	СКВ. 53	2,00	1,00	1,30	83,47	84,77	1,60	0,80	11,22	13,62	1,60
23.	СКВ. 56	1,30	1,10	0,51	13,10	13,61	32,19	43,60	8,56	84,35	2,04
24.	СКВ. 68	2,60	1,00	0,35	9,26	9,61	42,35	24,43	16,29	83,06	7,33
25.	СКВ. 78	3,90	1,20	1,30	33,41	34,71	28,79	10,14	17,44	56,37	8,92
26.	СКВ. 80	2,80	1,00	6,55	36,55	43,09	28,05	15,04	11,79	54,88	2,03
<i>Среднее</i>		<i>2,84</i>	<i>1,70</i>	<i>2,06</i>	<i>39,17</i>	<i>41,24</i>	<i>26,56</i>	<i>18,58</i>	<i>9,36</i>	<i>54,49</i>	<i>4,27</i>
<i>Максим.</i>		<i>5,20</i>	<i>5,20</i>	<i>8,32</i>	<i>90,58</i>	<i>91,16</i>	<i>70,59</i>	<i>68,26</i>	<i>45,51</i>	<i>88,87</i>	<i>16,04</i>
<i>Миним.</i>		<i>1,30</i>	<i>1,00</i>	<i>0,35</i>	<i>7,50</i>	<i>9,05</i>	<i>1,60</i>	<i>0,80</i>	<i>0,41</i>	<i>7,64</i>	<i>0,41</i>

Таблица 4.3. Гранулометрический состав отложений зоны аэрации современного морского водоносного горизонта

№	Показатель	Ед. изм.	Значения		
			от	до	среднее
Условия отбора					
1.	Количество точек отбора	скв.			19
2.	Глубина отбора пробы	м	1,00	1,50	1,15
Гранулометрический состав по фракциям					
3.	Песок крупный и средний (1,0–0,25 мм)	%	0,35	8,32	2,06
4.	Песок мелкий (0,25–0,05 мм)	%	9,26	90,58	38,98
5.	Алеврит крупный (0,05–0,01 мм)	%	1,60	70,59	25,79
6.	Алеврит средний (0,01–0,005 мм)	%	0,80	68,26	19,22
7.	Алеврит мелкий (0,005–0,001 мм)	%	0,41	45,51	9,70
8.	Глина (ил) (менее 0,001 мм)	%	0,42	16,04	4,24

Необходимая зона аэрации первого от поверхности водоносного горизонта сложена мелкозернистыми и тонкозернистыми песками (до 90,6%), крупными (до 70,6%) и средними (до 68,3%) алевритами, алевритистыми песками (таблица 4.3). Содержание глинистых частиц не превышает 10%, и в единичном случае (скв. 28) достигает 16,0% (таблица 4.2). Средний состав отложений зоны аэрации представляется следующим: пески крупно- и среднезернистые – 2,1%; пески мелкозернистые – 39,0%; алеврит крупный (25,8%), алеврит средний (19,2%), алеврит мелкий (9,7%), глина (4,2%).

Гидрогеодинамические особенности первого от поверхности водоносного горизонта

В пределах ОДАМ на территории исследований водоносный горизонт современных морских отложений распространен повсеместно и является первым от поверхности. Опробован 27 картировочными скважинами глубиной 1,3–5,2 м (рисунок 4.2). Абсолютные отметки устья скважин варьируют в пределах 32,0–45,9 м при перепаде высот 13,9 м.

Подземные воды безнапорные, уровни залегают на глубине 1,2–5,2 м, составляя в среднем 2,74 м. Водовмещающими отложениями являются мелко- и тонкозернистые пески, нередко алевритистые, реже алевриты. Содержание глинистых частиц не превышает 10% (таблица 4.4).

Таблица 4.4. Гранулометрический состав отложений современного морского водоносного горизонта

№	Показатель	Ед. изм.	Значения		
			от	до	среднее
Условия отбора					
1.	Количество точек отбора	скв.	7	7	7
2.	Глубина отбора пробы	м	2,15	5,20	3,20
Гранулометрический состав по фракциям					
3.	Песок крупный и средний (1,0–0,25 мм)	%	0,36	5,01	2,06
4.	Песок мелкий (0,25–0,05 мм)	%	7,50	77,49	39,71
5.	Алеврит крупный (0,05–0,01 мм)	%	3,24	42,27	28,63
6.	Алеврит средний (0,01–0,005 мм)	%	2,42	51,50	16,81
7.	Алеврит мелкий (0,005–0,001 мм)	%	1,61	18,73	8,43
8.	Глина (ил) (менее 0,001 мм)	%	0,41	8,94	4,36

Средний состав водовмещающих отложений описываемого водоносного горизонта представляется следующим: пески крупно- и среднезернистые – 2,1%; пески мелкозернистые – 39,7%; алеврит крупный (28,6%), алеврит средний (16,8%), алеврит мелкий (8,4%), глина (4,4%). По минералогическому составу пески кварцево-полевошпатовые, реже кварцевые.

Распределение глубин залегания безнапорных вод в пределах ОДАМ показано на рисунке 4.2. Наибольшие значения глубины зеркала подземных вод составляют 3,8–5,2 в восточной части территории исследований ОДАМ, меньшие значения 1,2–2,2 м приурочены к западной части, в прибрежной зоне Большого Арала.

Картировочными скважинами не вскрыт полный разрез морского водоносного горизонта, по литературным источникам, мощность водонасыщенной толщи варьирует в пределах от <1–3 м до 7–8 м. Подстилается водоносный горизонт глинисто-мергелистой толщей палеогена.

Абсолютные отметки уровня безнапорных вод изменяются от 29,7 м до 40,7 м, при перепаде высот до 11,0 м. Распределение изолиний гидроизогипс современного морского водоносного горизонта представлено на рисунке 4.3. Основное направление потока безнапорных вод с востока на запад в сторону Большого Арала. Уклоны уровенной поверхности подземных вод изменяются по профилям картировочных скважин в пределах 0,00006–0,00027, составляя в среднем 0,00015 (таблица 4.5).

Таблица 4.5. Уклоны уровенной поверхности подземных вод современного морского водоносного горизонта ОДАМ

№	Профиль скважин (№№)	Длина профиля, км	Абсолютные отметки уровня воды, м		Перепад высот, м	Уклон
			от	до		
1.	№5 - №7	17,5	31,60	30,56	1,04	0,00006
2.	№12 - №17	49,1	40,71	31,47	9,24	0,00019
3.	№22 - №26	32,2	38,33	29,70	8,63	0,00027
4.	№28 - №33	41,6	36,52	30,28	6,24	0,00015
5.	№37 - №41	38,2	37,29	30,90	6,39	0,00017
6.	№44 - №50	51,7	38,94	29,75	9,19	0,00018
7.	№53 - №56	23,4	35,29	33,00	2,29	0,00010
8.	№78 - №80	23,8	38,24	36,70	1,54	0,00006

Питание подземных вод осуществляется за счет атмосферных осадков, выпадающих на площади распространения водоносного горизонта, а также регионального подтока подземных вод четвертичных отложений с восточного побережья. Разгрузка происходит в основном за счет испарения, ввиду неглубокого залегания уровня подземных вод и высокой испаряемости, а также за счет оттока в сторону сохранившейся части Аральского моря (Большой Арал).

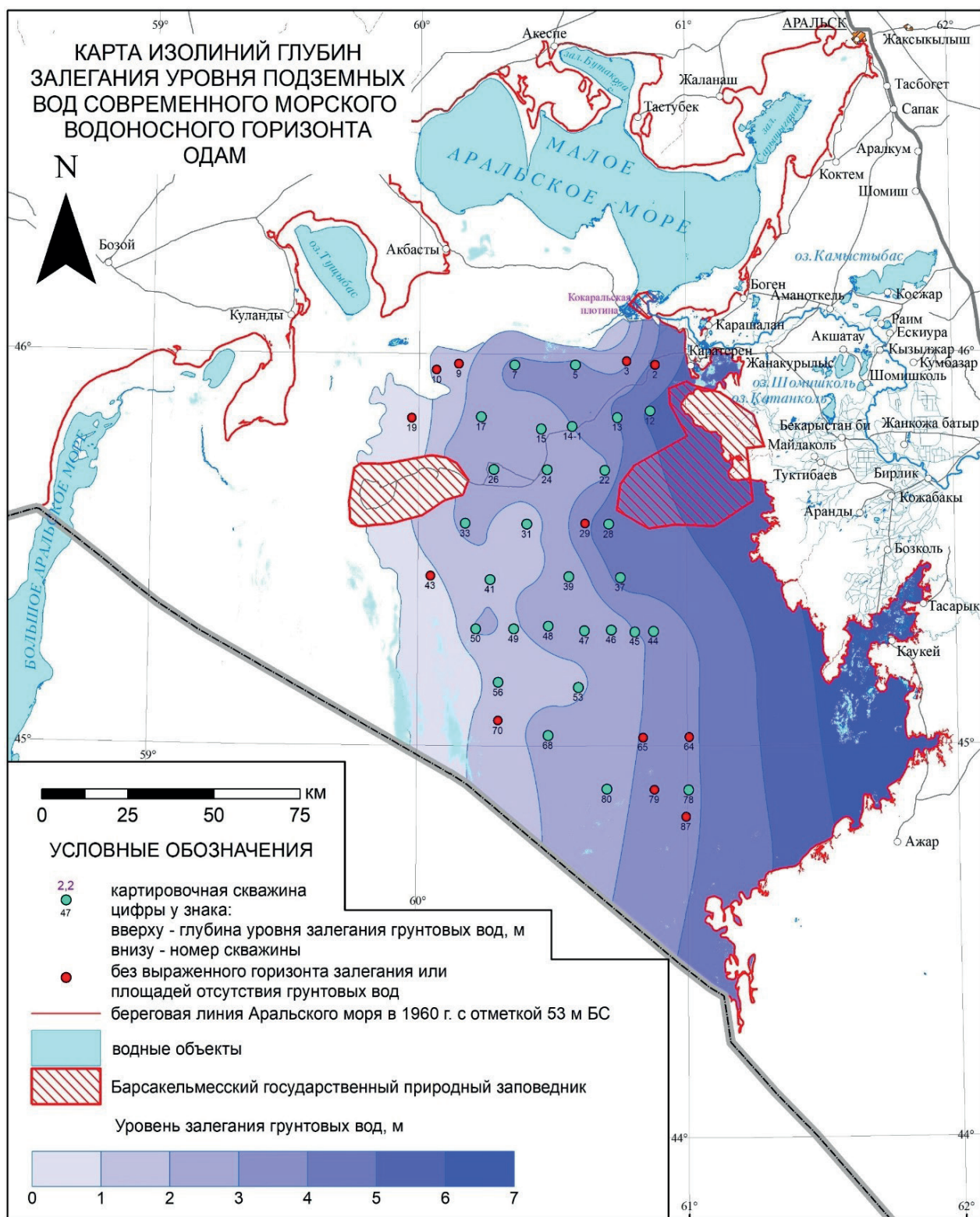


Рисунок 4.2. Карта изолиний глубин залегания уровня подземных вод современного морского водоносного горизонта ОДАМ

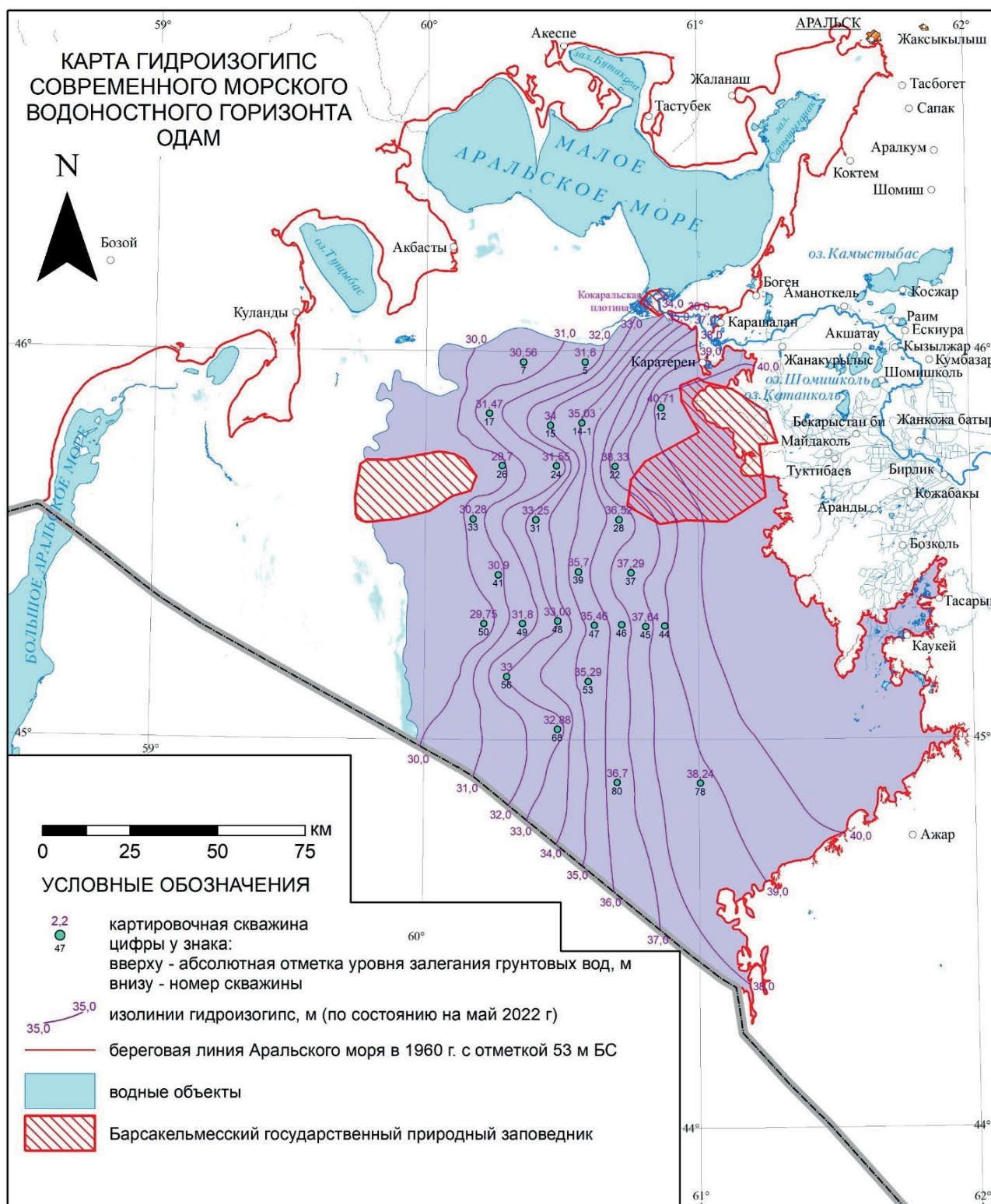


Рисунок 4.3. Карта гидроизогипс современного морского водоносного горизонта ОДАМ

Гидрогеохимические особенности подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта.

Гидрогеохимическая характеристика безнапорных вод современного морского водоносного горизонта ОДАМ выполнена на основе лабораторных анализов 27 проб подземных вод, отобранных из картировочных скважин в процессе полевых работ. Химико-аналитические исследования проведены в гидрохимической лаборатории Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина.

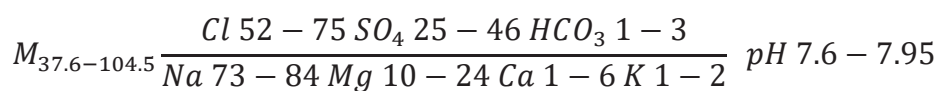
Подземные воды морского горизонта ОДАМ по степени минерализации относятся в основном к сильносоленым и слабым рассолам с величиной минерализации в пределах 37,6–104,6 г/л, при среднем значении 65,4 г/л [43]. Значения сухого остатка изменяются от 35,4 г/л до 95,5 г/л, при среднем значении 62,8 г/л (таблица 4.7). Распределение изолиний минерализации подземных вод современного морского водоносного горизонта представлено на рисунке 4.4. В юго-западной четверти территории вскрыты подземные воды с минерализацией 80–100 г/л. Воды с минерализацией менее 40 г/л встречены в северо-западной части. Величина минерализации воды с глубиной несколько понижается, рассолы содержанием солей более 100 г/л залегают на глубине до 2,0 м (рисунок 4.5). Зависимости главных ионов от величины минерализации подземных вод современных морских отложений представлены на рисунке 4.5.

Воды очень жесткие с величиной общей и карбонатной жесткости, соответственно, в пределах 115,0–345,0 мг-экв/л и 4,5–15,1 мг-экв/л, при средних величинах, соответственно, 201,5 мг-экв/л и 9,3 мг-экв/л. Реакция воды нейтральная, значения pH составляют 7,63–7,95 (таблица 4.7) [47].

В макрокомпонентом составе подземных вод морского горизонта ОДАМ преобладают катионы натрия, анионы хлора и сульфатов. При повышении минерализации воды увеличивается содержание отдельных макрокомпонентов. В целом концентрации главных ионов варьируют в пределах, г/л:

- катионы: натрия – 11,36–34,84 (при среднем 20,98), калия – 0,31–0,71 (при среднем 0,51), кальция – 0,4–0,8 (при среднем 0,57) и магния – 0,91–3,83 (при среднем 2,11);
- анионы: хлориды – 10,64–39,00 (при среднем 24,58), сульфаты – 11,52–26,14 (при среднем 17, 16), гидрокарбонаты – 0,27–0,92 (при среднем 0,57) и карбонаты – менее 0,008.

По химическому составу воды хлоридно-сульфатные натриевые, реже натриево-магниевые, II-го гидрохимического типа (по О.А. Алекину). Сводная формула химического состава имеет вид:



Среди микрокомпонентов в подземных водах морского горизонта выявлены биогенные элементы (аммоний, нитриты и нитраты, железо двух- и трехвалентное, кремний) и фтор (таблица 4.6). Содержание микрокомпонентов изменяется в пределах, мг/л: аммоний – <0,05–8,5; нитриты – <0,2; нитраты – 0,05–2,0; железо двухвалентное – 0,05–3,8; железо трехвалентное – 0,05–2,0; диоксид кремния – 4,1–35,7 и фтор – 0,06–5,78.

Таблица 4.6. Сводные характеристики химического состава подземных вод современного морского водоносного горизонта

№	Описание точки отбора	Минерализация воды, мг/л	Сухой остаток, мг/л	Жесткость, мг-экв/л		Величина, рН	Тип воды
				общая	карбо- натная		
Осушенное дно Арала							
1.	Скв. 5	62 959,0	66 200,0	230,0	14,6	7,65	CIS II Na
2.	Скв. 7	67 426,0	67 400,0	235,0	7,3	7,65	CIS II Na
3.	Скв. 12	62 842,0	61 800,0	205,0	8,7	7,82	CIS II Na
4.	Скв. 14	69 835,0	66 900,0	240,0	10,5	7,74	CIS II Na
5.	Скв. 15	60 694,0	60 800,0	200,0	8,3	7,78	CIS II Na
6.	Скв. 17	37 622,0	35 400,0	125,0	15,1	7,88	CIS II Na
7.	Скв. 22	44 010,0	40 200,0	115,0	6,7	7,91	CIS II Na
8.	Скв. 24	55 077,0	52 700,0	170,0	7,9	7,71	CIS II Na
9.	Скв. 26	62 284,0	58 600,0	175,0	11,7	7,74	CIS II Na
10.	Скв. 28	59 689,0	57 500,0	140,0	5,7	7,80	CIS II Na
11.	Скв. 31	73 227,0	74 500,0	225,0	8,5	7,63	CIS II Na
12.	Скв. 33	78 547,0	77 100,0	345,0	13,9	7,69	CIS II NaMg
13.	Скв. 37	76 082,0	69 100,0	250,0	12,0	7,74	CIS II Na
14.	Скв. 39	50 289,0	48 100,0	125,0	6,0	7,87	CIS II Na
15.	Скв. 41	102 522,0	95 500,0	300,0	13,8	7,64	CIS II Na
16.	Скв. 44	58 356,0	56 600,0	140,0	6,1	7,80	CIS II Na
17.	Скв. 45	60 608,0	59 600,0	200,0	8,2	7,74	CIS II Na
18.	Скв. 46	61 122,0	55 600,0	155,0	4,5	7,78	CIS II Na
19.	Скв. 47	70 980,0	68 600,0	225,0	8,2	7,76	CIS II Na
20.	Скв. 48	83 994,0	76 800,0	220,0	7,1	7,80	CIS II Na
21.	Скв. 49	80 202,0	74 800,0	220,0	14,0	7,75	CIS II Na
22.	Скв. 50	67 549,0	70 300,0	230,0	11,8	7,64	CIS II Na
23.	Скв. 53	57 599,0	55 100,0	210,0	6,8	7,74	CIS II NaMg
24.	Скв. 56	104 546,0	95 400,0	285,0	5,8	7,73	CIS II Na
25.	Скв. 68	67 735,0	66 900,0	195,0	6,3	7,67	CIS II Na
26.	Скв. 78	45 054,0	40 600,0	140,0	9,0	7,95	CIS II Na
27.	Скв. 80	46 014,0	43 100,0	140,0	12,9	7,95	CIS II Na
Среднее		65 439,4	62 785,2	201,5	9,3	7,76	
Максим.		104 546,0	95 500,0	345,0	15,1	7,95	
Миним.		37 622,0	35 400,0	115,0	4,5	7,63	

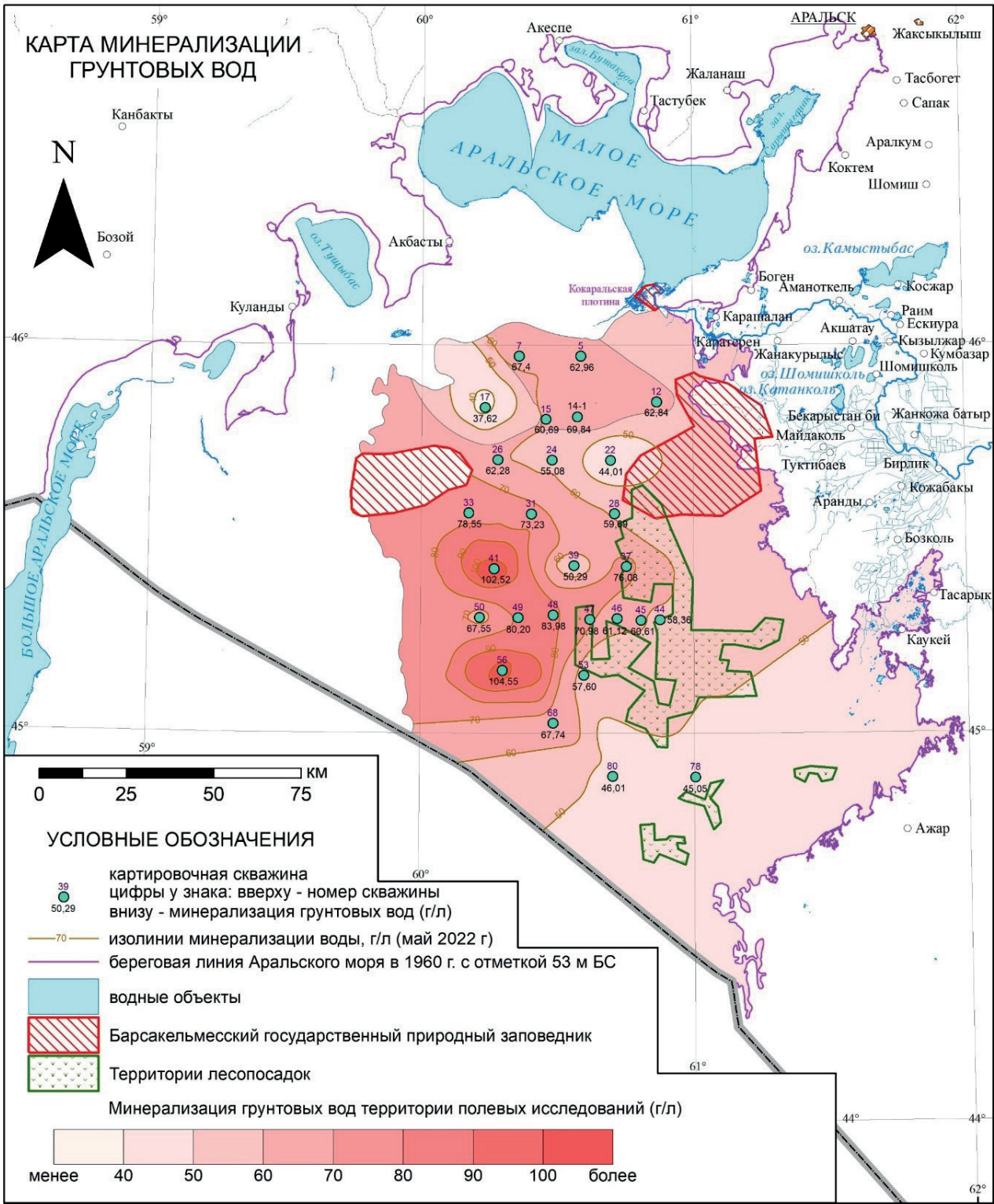


Рисунок 4.4. Карта изолиний минерализации подземных вод современного морского водоносного горизонта ОДАМ

Таблица 4.7. Макрокомпонентный состав подземных вод современного морского водоносного горизонта

№	Описание точки отбора	Минера- лизация воды, мг/л	Катионы, мг/л				Анионы, мг/л			
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	карбо- наты	гидро- карбонаты	хло- риды	суль- фаты
Осушенное дно Арала										
1.	Скв. 5	62 959,0	19 292,0	546,0	701,4	2 371,2	<8.0	890,9	23 047,1	16 093,6
2.	Скв. 7	67 426,0	19 869,0	499,0	601,2	2 492,8	<8.0	445,4	26 592,8	16 916,8
3.	Скв. 12	62 842,0	18 859,0	415,0	801,6	2 006,4	<8.0	530,9	26 592,8	13 624,0
4.	Скв. 14	69 835,0	19 437,0	523,0	801,6	2 432,0	<8.0	640,7	27 301,9	18 686,6
5.	Скв. 15	60 694,0	18 572,0	529,9	501,0	2 128,0	<8.0	506,5	24 819,9	13 624,0
6.	Скв. 17	37 622,0	11 363,0	307,3	501,0	1 216,0	<8.0	921,4	10 637,1	12 636,1
7.	Скв. 22	44 010,0	13 814,0	456,0	801,6	912,0	<8.0	408,8	14 182,8	13 418,2
8.	Скв. 24	55 077,0	17 274,0	508,0	601,2	1 702,4	<8.0	482,1	21 274,2	13 212,4
9.	Скв. 26	62 284,0	18 572,0	477,0	501,0	1 824,0	<8.0	713,9	23 047,1	17 172,6
10.	Скв. 28	59 689,0	18 716,0	397,0	701,4	1 276,8	<8.0	348,8	24 819,9	13 418,2
11.	Скв. 31	73 227,0	22 319,0	690,0	701,4	2 310,4	<8.0	518,7	24 819,9	21 856,0
12.	Скв. 33	78 547,0	22 464,0	611,0	601,2	3 830,4	<8.0	848,2	24 819,9	25 354,6
13.	Скв. 37	76 082,0	31 311,0	394,0	501,0	2 736,0	<8.0	732,2	31 911,3	18 480,8
14.	Скв. 39	50 289,0	16 697,0	391,9	701,4	1 094,4	<8.0	366,1	19 501,4	11 524,8
15.	Скв. 41	102 522,0	32 836,0	712,5	501,0	3 344,0	<8.0	842,1	39 002,7	25 272,2
16.	Скв. 44	58 356,0	18 716,0	477,0	501,0	1 398,4	<8.0	372,2	23 047,1	13 829,8
17.	Скв. 45	60 608,0	18 427,0	474,0	701,4	2 006,4	<8.0	500,4	23 047,1	15 435,0
18.	Скв. 46	61 122,0	17 851,0	488,0	601,2	1 520,0	<8.0	274,6	23 047,1	17 328,4
19.	Скв. 47	70 980,0	20 878,0	472,0	501,0	2 432,0	<8.0	500,4	26 592,8	19 592,2
20.	Скв. 48	83 994,0	26 233,0	679,1	501,0	2 371,2	<8.0	433,2	37 229,9	16 546,3
21.	Скв. 49	80 202,0	23 762,0	697,0	601,2	2 310,4	<8.0	854,3	26 592,8	25 354,6
22.	Скв. 50	67 549,0	20 589,8	618,9	400,8	2 553,6	<8.0	720,0	26 592,8	16 052,4
23.	Скв. 53	57 599,0	16 697,0	396,0	400,8	2 310,4	<8.0	414,9	21 274,2	16 093,6
24.	Скв. 56	104 546,0	34 836,0	585,6	400,8	3 222,4	<8.0	353,9	39 002,7	26 136,6
25.	Скв. 68	67 735,0	20 733,9	529,9	400,8	2 128,0	<8.0	384,4	24 819,9	18 727,9
26.	Скв. 78	45 054,0	31 814,0	369,6	400,8	1 459,2	<8.0	567,5	14 182,8	14 241,4
27.	Скв. 80	46 014,0	14 391,0	394,0	400,8	1 459,2	<8.0	787,1	15 955,7	12 595,0
Среднее		65 439,4	20 975,0	505,1	567,8	2 105,5		568,9	24 583,5	17 156,4
Максим.		104 546,0	34 836,0	712,5	801,6	3 830,4		921,4	39 002,7	26 136,6
Миним.		37 622,0	11 363,0	307,3	400,8	912,0		274,6	10 637,1	11 524,8

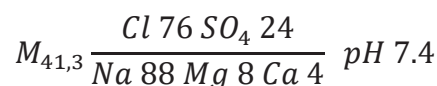
Таблица 4.8. Результаты определения микроэлементов в пробах подземных вод современного морского водоносного горизонта

№	Описание точки отбора	Минерализация воды, мг/л	Микроэлементы, мг/л						
			NH ₄ ⁺	Fe ⁺²	Fe ⁺³	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻	SiO ₂
Осушенное дно Арала									
1.	Скв. 5	62 959,0	<0.05	0,30	0,05	<0,2	0,02	0,58	16,37
2.	Скв. 7	67 426,0	<0.05	<0.1	0,05	<0,2	0,09	0,06	8,00
3.	Скв. 12	62 842,0	<0.05	<0.1	0,05	<0,2	0,70	1,10	10,38
4.	Скв. 14	69 835,0	<0.05	<0.1	0,05	<0,2	<0,01	0,96	10,79
5.	Скв. 15	60 694,0	<0.05	<0.1	0,05	<0,2	0,07	1,13	11,17
6.	Скв. 17	37 622,0	<0.05	0,05	0,05	<0,2	<0,01	4,34	35,74
7.	Скв. 22	44 010,0	<0.05	<0.1	0,05	<0,2	0,70	3,16	12,75
8.	Скв. 24	55 077,0	<0.05	<0.1	0,05	<0,2	0,07	4,00	18,28
9.	Скв. 26	62 284,0	<0.05	<0.1	<0.1	<0,2	0,01	3,09	23,03
10.	Скв. 28	59 689,0	<0.05	<0.1	0,05	<0,2	0,1	0,38	10,79
11.	Скв. 31	73 227,0	<0.05	<0.1	0,20	<0,2	<0,01	2,26	9,59
12.	Скв. 33	78 547,0	<0.05	<0.1	<0.1	<0,2	0,01	5,78	16,46
13.	Скв. 37	76 082,0	<0.05	<0.1	<0.1	<0,2	<0,01	0,77	15,13
14.	Скв. 39	50 289,0	<0.05	<0.1	0,05	<0,2	0,04	0,98	11,17
15.	Скв. 41	102 522,0	<0.05	<0.1	0,10	<0,2	<0,01	1,64	9,99
16.	Скв. 44	58 356,0	<0.05	0,15	0,30	<0,2	0,02	1,66	12,75
17.	Скв. 45	60 608,0	<0.05	<0.1	0,05	<0,2	0,01	1,15	15,92
18.	Скв. 46	61 122,0	<0.05	<0.1	0,05	<0,2	0,09	1,96	9,99
19.	Скв. 47	70 980,0	<0.05	<0.1	0,05	<0,2	0,4	1,05	10,38
20.	Скв. 48	83 994,0	<0.05	<0.1	<0.1	<0,2	0,7	1,14	8,00
21.	Скв. 49	80 202,0	8,50	3,80	1,20	<0,2	<0,01	1,59	15,13
22.	Скв. 50	67 549,0	<0.05	<0.1	0,50	<0,2	<0,01	1,53	19,07
23.	Скв. 53	57 599,0	0,05	<0.1	<0.1	<0,2	0,3	1,24	10,38
24.	Скв. 56	104 546,0	<0.05	<0.1	0,05	<0,2	0,75	2,79	4,07
25.	Скв. 68	67 735,0	<0.05	<0.1	0,05	<0,2	0,1	0,98	9,20
26.	Скв. 78	45 054,0	<0.05	<0.1	0,05	<0,2	0,06	3,47	15,13
27.	Скв. 80	46 014,0	8,50	3,50	2,00	<0,2	<0,01	1,95	15,13
Среднее		65 439,4		0,37	0,21	<0,2	0,22	1,88	13,51
Максим.		104 546,0	8,50	3,80	2,00		0,75	5,78	35,74
Миним.		37 622,0	0,05	0,05	0,05		0,01	0,06	4,07

Результаты опробования ранее пробуренных скважин

В процессе полевых работ опробованы две ранее пробуренные гидрогеологические скважины, расположенные в контуре о. Барсакельмес.

В восточной части острова обследована скважина (АС 1), уровень воды которой установился практически на уровне земной поверхности. Наблюдается незначительный излив воды по стенкам скважины. Высота оголовка скважины до 0,15 м, диаметр 190 мм. Обсадная труба покрыта ржавчиной коркой солей. Вскрыты подземные воды современного морского водоносного горизонта. Воды сильносоленые с минерализацией 41,3 г/л, химический состав – хлоридно-сульфатный натриевый II-го гидрохимического типа. Сводная формула химического состава имеет вид:



В центральной части острова выявлена скважина, уровень воды в которой установился на глубине 35,6 м. Скважина в неисправном техническом состоянии. Сведения о вскрытом водоносной толщине отсутствуют.



Рисунок 4.5. Зависимость минерализации подземных вод современных морских отложений от глубины из залегания

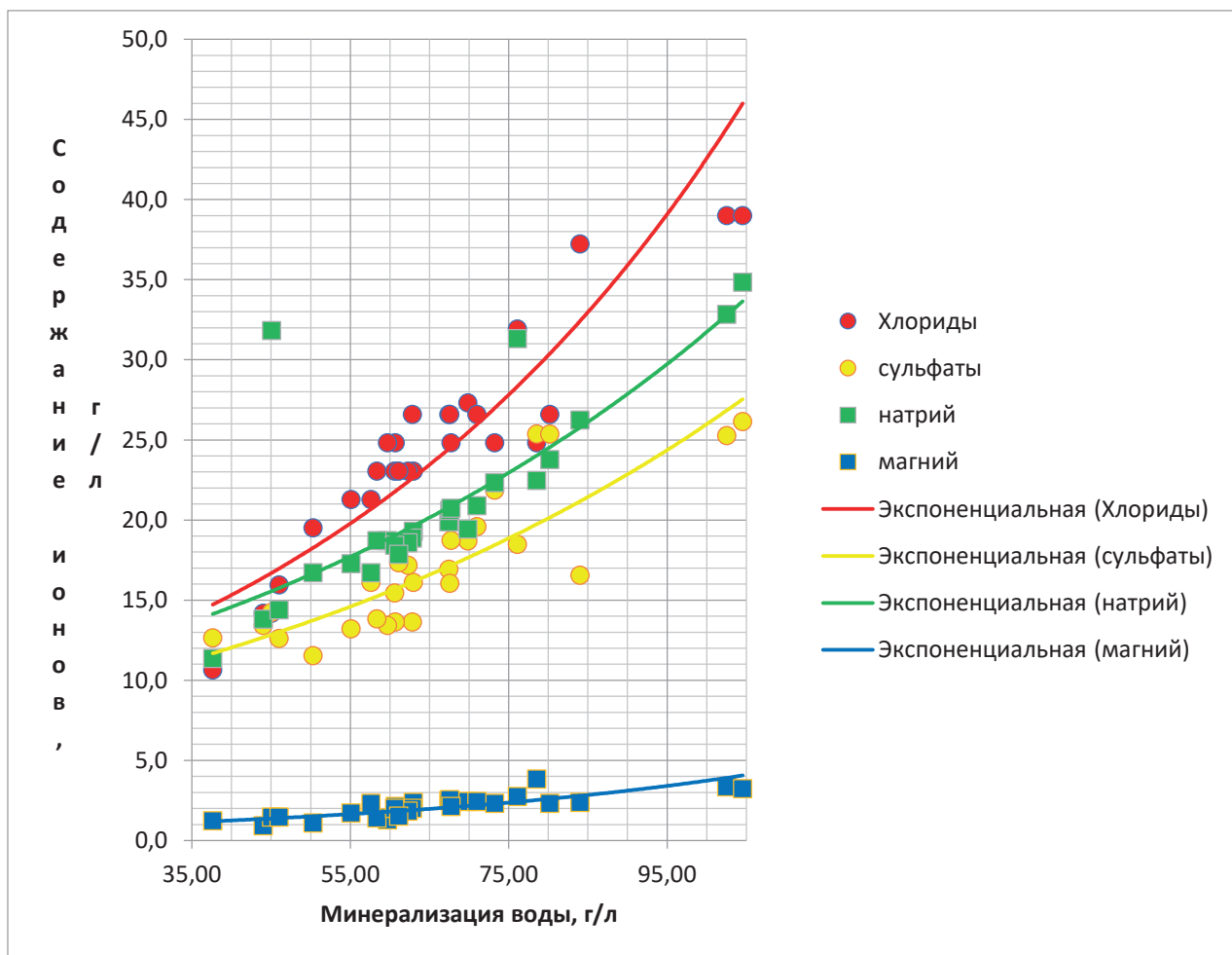


Рисунок 4.6. График зависимости главных ионов от величины минерализации подземных вод современных морских отложений

Гидрохимические характеристики поверхностных вод территории исследований

В процессе полевых исследований проведен отбор проб поверхностных вод на лабораторные анализы в трех точках: р. Сырдарья–Гидроузел, Малый Арал–верхний бьеф Кокаральской плотины, Большой Арал–нижний бьеф Кокаральской плотины. Результаты химико-аналитических исследований сведены в таблицах 5.10–5.12.

Река Сырдарья–Гидроузел. Минерализация речной воды 1,07 г/л, воды весьма слабосоленоватые. Величина сухого остатка 0,88 г/л. Общая жесткость 6,5 мг-экв/л, карбонатная – 3,3 мг-экв/л (вода средней жесткости). Значение pH 7,8 – реакция воды нейтральная.

В макрокомпонентом составе речных вод преобладают катионы натрия и анионы сульфатов. Содержание отдельных макрокомпонентов составляют, мг/л:

- катионы: натрия – 200,8; калия – 6,6; кальция – 70,1 и магния – 36,5;

- анионы: хлориды – 81,6; сульфаты – 465,9; гидрокарбонаты – 201,4 и карбонаты – менее 8,0.

По химическому составу воды хлоридно-гидрокарбонатные натриево-кальциево-магниевые, II-го гидрохимического типа (по О.А. Алекину). Сводная формула химического состава имеет вид:

$$M_{1,1} \frac{SO_4 63 HCO_3 21 Cl 15}{Na 57 Ca 23 Mg 20} pH 7.8$$

Среди микрокомпонентов в речных водах определены биогенные элементы (аммоний, нитриты и нитраты, железо двух- и трехвалентное, кремний) и фтор. Содержание микрокомпонентов составляет, мг/л: аммоний – <0,05; нитриты – <0,01; нитраты – 2,5; железо двухвалентное – <0,1; железо трехвалентное – 0,25; диоксид кремния – 2,3 и фтор – 1,1.

Малый Арал – верхний бьеф Кокаральской плотины. Поверхностные воды солоноватые, с минерализацией 6,42 г/л и величиной сухого остатка 6,16 г/л. Вода очень жесткая, при значениях общей жесткости 30,0 мг-экв/л, карбонатной – 3,0 мг-экв/л. Величина рН 8,14 – реакция воды слабощелочная.

В макрокомпонентном составе вод Малого Арала преобладают катионы натрия, анионы сульфатов и хлоридов. Содержание отдельных макрокомпонентов составляют, мг/л:

- катионы: натрия – 1526,0; калия – 46,8; кальция – 400,8 и магния – 121,6;

- анионы: хлориды – 1418,3; сульфаты – 2724,8; гидрокарбонаты – 183,1 и карбонаты – менее 8,0.

По химическому составу воды сульфатно-хлоридные натриево-кальциевые, II-го гидрохимического типа (по О.А. Алекину). Сводная формула химического состава имеет вид:

$$M_{6,4} \frac{SO_4 \ 57 \ Cl \ 40 \ HCO_3 \ 3}{Na \ 68 \ Ca \ 21 \ Mg \ 10} \ pH \ 8.1$$

Среди микрокомпонентов в водах Малого Арала определены биогенные элементы (аммоний, нитриты и нитраты, железо двух- и трехвалентное, кремний) и фтор. Содержание микрокомпонентов составляет, мг/л: аммоний – <0,05; нитриты – 0,04; нитраты – <0,2; железо двухвалентное – <0,1; железо трехвалентное – 0,05; диоксид кремния – 0,3 и фтор – 2,0.

Таблица 4.9. Сводные характеристики химического состава поверхностных вод

№	Описание точки отбора	Минерализация воды, мг/л	Сухой остаток, мг/л	Жесткость, мг-экв/л		Величина рН	Тип воды
				общая	карбонатная		
1.	Малый Арал	6 424,0	6 160,0	30,0	3,0	8,14	SCI II NaCa
2.	Большой Арал	15 801,0	15 400,0	65,0	6,5	8,16	ClS II Na
3.	ГУ р. Сырдарья	1 069,0	878,00	6,50	3,30	7,82	SC II NaCaMg

Таблица 4.10. Макрокомпонентный состав поверхностных вод

№	Описание точки отбора	Минерализация воды, мг/л	Катионы, мг/л				Анионы, мг/л			
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	карбонаты	гидрокарбонаты	хлориды	сульфаты
1.	Малый Арал	6424,0	1526	46,8	400,8	121,6	<8,0	183,1	1418,3	2724,8
2.	Большой Арал	15801,0	3829	142,0	501,0	486,4	12,0	372,2	4609,4	5844,7
3.	ГУ р. Сырдарья	1069,0	200,8	6,6	70,1	36,5	<8,0	201,4	81,6	465,9

Таблица 4.11. Результаты определения микроэлементов в пробах поверхностных вод

№	Описание точки отбора	Минерализация воды, мг/л	Микроэлементы, мг/л						
			NH ₄ ⁺	Fe ⁺²	Fe ⁺³	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻	SiO ₂
1.	Малый Арал	6424,0	<0,05	<0,1	0,05	<0,2	0,04	2,02	0,3
2.	Большой Арал	15801,0	<0,05	<0,1	0,10	<0,2	<0,01	2,37	1,88
3.	ГУ р. Сырдарья	1069,0	<0,05	<0,1	0,25	2,5	<0,01	1,06	2,29

Большой Арал – нижний бьеф Кокаральской плотины. Поверхностные воды сильно солоноватые, с минерализацией 15,8 г/л и величиной сухого остатка 15,4 г/л. Вода очень жесткая, при значениях общей жесткости 65,0 мг-экв/л, карбонатной – 6,5 мг-экв/л. Величина рН 8,16 – реакция воды слабощелочная.

В макрокомпонентом составе вод Большого Арала преобладают катионы натрия, анионы сульфатов и хлоридов. Содержание отдельных макрокомпонентов составляют, мг/л:

- катионы: натрия – 3829,0; калия – 142,0; кальция – 501,0 и магния – 486,4;

- анионы: хлориды – 4609,4; сульфаты – 5844,7; гидрокарбонаты – 372,2 и карбонаты – 12,0.

По химическому составу воды хлоридно-сульфатные натриевые, II-го гидрохимического типа (по О.А. Алекину). Сводная формула химического состава имеет вид:

$$M_{15,8} \frac{Cl\ 50\ SO_4\ 47\ HCO_3\ 3}{Na\ 71\ Mg\ 17\ Ca\ 11} \text{ рН } 8.1$$

Среди микрокомпонентов в водах Большого Арала определены биогенные элементы (аммоний, нитриты и нитраты, железо двух- и трехвалентное, кремний) и фтор. Содержание микрокомпонентов составляет, мг/л: аммоний – <0,05; нитриты – <0,01; нитраты – <0,2; железо двухвалентное – <0,1; железо трехвалентное – 0,1; диоксид кремния – 1,9 и фтор – 2,4.

4.5. Особенности гидрогеологических условий осушенного дна Аральского моря

Территория исследований занимает площадь осушенного дна Аральского моря (ОДАМ) в пределах Казахстана, на левобережье реки Сырдарья, южнее Малого Арала и восточнее Большого Арала. В гидрогеологическом отношении территория относится к западной части Восточно-Приаральского артезианского бассейна и ограничена с севера границами Малого Арала, с востока контуром озерной котловины, с юга границей с Республикой Узбекистан, с запада контуром Большого Арала. Площадь территории более 15 тыс. км².

Территория находится в засушливой пустынной зоне с крайне малым количеством атмосферных осадков. В северной части протекает единственная река – Сырдарья, которая в последние годы сильно сократила свой сток и впадает в Малый Арал. Поверхность ОДАМ плоская, с абсолютными отметками 30–50 м, наклонена с востока на запад в сторону Большого Арала.

Подземные воды в пределах территории исследований приурочены к различным стратиграфическим подразделениям и значительно различаются по условиям формирования, залегания, циркуляции, качественным и количественным показателям. Характерно наличие

двух основных гидрогеологических этажей, разделенных региональным водоупором палеогеновых глин. В верхнем гидрогеологическом этаже развиты преимущественно безнапорные поровые подземные воды четвертичных отложений. Нижний этаж содержит в основном напорные порово-пластовые воды меловых отложений.

На основании материалов предшествующих исследований и результатов полевых работ выделяются следующие водоносные горизонты и комплексы, которые нашли отображение на гидрогеологической карте ОДАМ (рисунок 4.7–4.8).

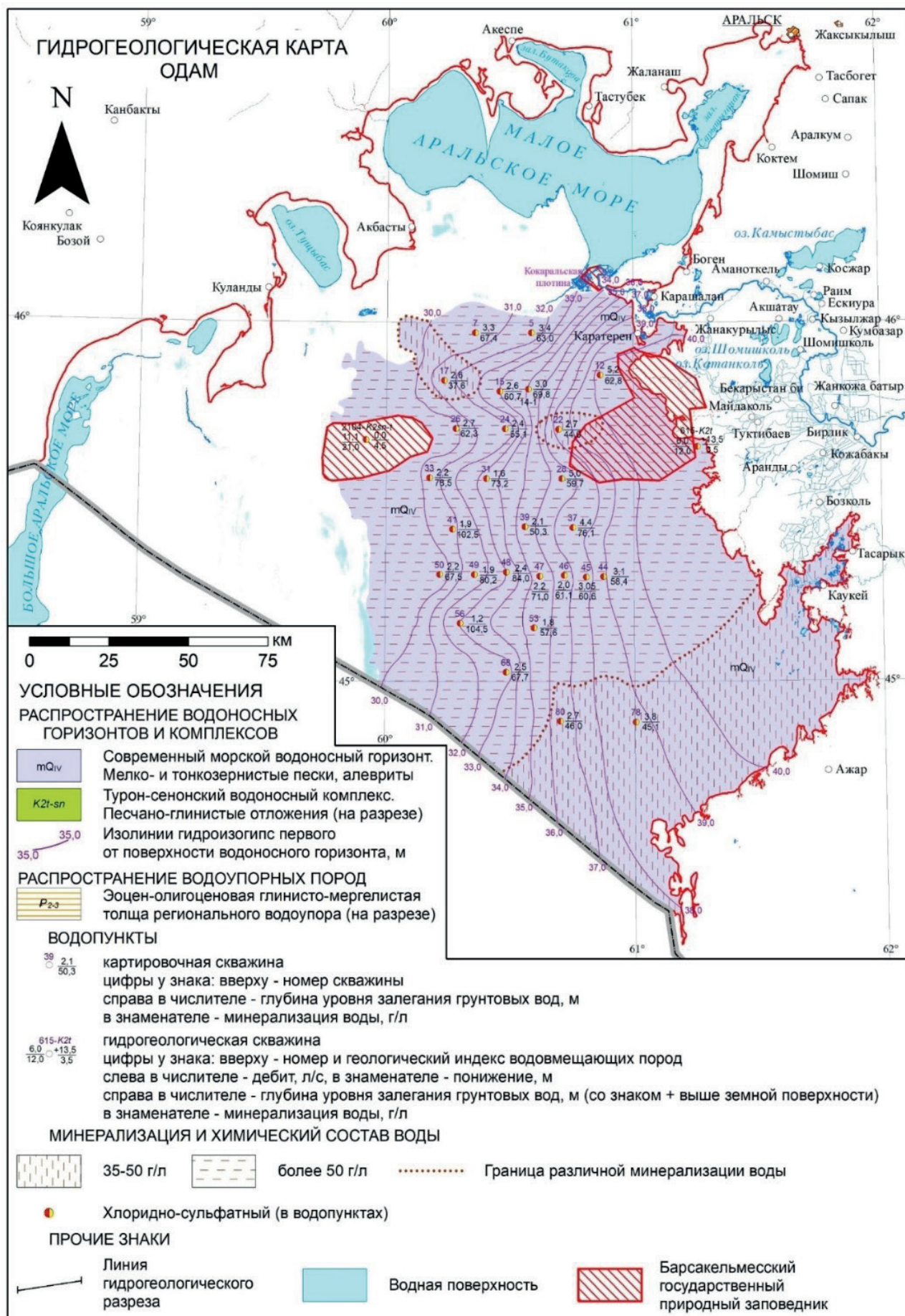


Рисунок 4.7. Гидрогеологическая карта ОДАМ

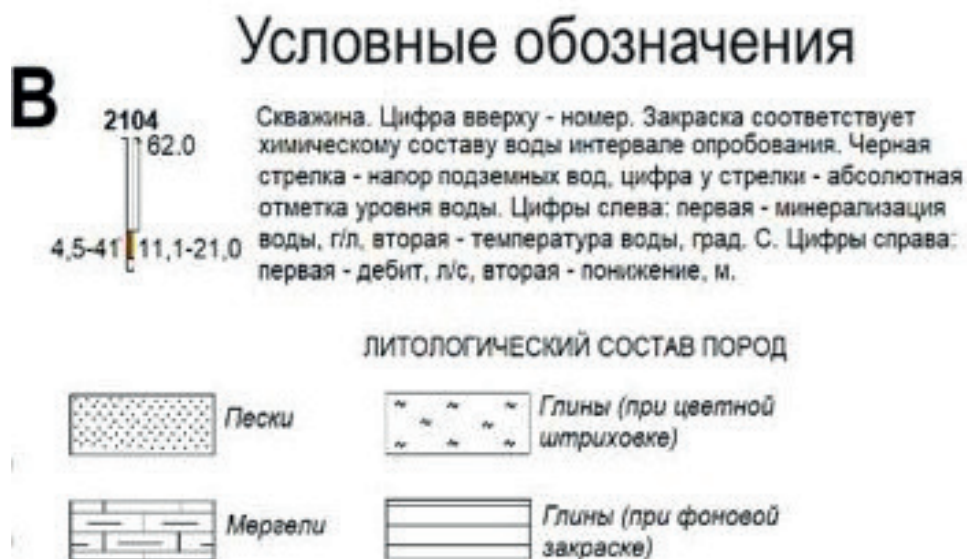


Рисунок 4.8. Гидрогеологический разрез ОДАМ

Водоносный горизонт современных морских отложений (mQ_{IV}).

Водоносный комплекс верхнетурон-сенонских отложений (K_{2t-sn}).

Водоносный комплекс альб-сенонских отложений ($K_{1al}-K_{2cm}$).

Помимо водоносных горизонтов также распространены водоупорные эоценовые и олигоценовые отложения тасаранской и чеганской свит (P_{2ts} и P_{3cg}), а также водопроницаемые, но практически безводные олигоценовые отложения.

Залегающие в основании разреза нижнемеловые (аптские и неокомские) и юрские отложения обводнены, но содержат подземные воды высокой минерализации и в настоящее время практического применения не нашли.

Водоносный горизонт современных морских отложений (mQ_{IV}) занимает высохшую часть озерной котловины и является первым от поверхности. Почвенный слой зоны аэрации представлен приморскими почвами, солончаковыми среднесуглинистыми с навейным

песчаным чехлом, солонцеватыми легкоглинистыми, супесчаными и песчаными, а также солончаками приморскими песчаными, супесчаными и солончаками корково-пухлыми суглинистыми, нередко наваянными песчаным чехлом.

Водовмещающими отложениями являются мелко- и тонкозернистые пески, нередко алевритистые, реже алевриты. Содержание глинистых частиц не превышает 10%. По минералогическому составу пески кварцево-полевошпатовые, реже кварцевые. Картировочными скважинами не вскрыт полный разрез морского водоносного горизонта, по литературным источникам, мощность водонасыщенной толщи варьирует в пределах от <1–3 м до 7–8 м. Подстиляется водоносный горизонт глинисто-мергелистой толщей палеогена.

Подземные воды безнапорные, уровни залегают на глубине 1,2–5,2 м, составляя в среднем 2,74 м. Наибольшие значения глубины до воды составляют 3,8–5,2 в восточной части территории исследований ОДАМ, меньшие значения – 1,2–2,2 м приурочены к западной части, в прибрежной зоне Большого Арала.

Абсолютные отметки уровня безнапорных вод изменяются от 29,7 м до 40,7 м, при перепаде высот до 11,0 м. Основное направление потока безнапорных вод с востока на запад в сторону Большого Арала. Уклоны уровенной поверхности подземных вод изменяются по профилям картировочных скважин в пределах 0,00006–0,00027, составляя в среднем 0,00015.

Водообильность отложений незначительная. По литературным источникам, дебиты скважин колеблются в пределах 0,1–0,5 л/с при понижениях соответственно 0,8–2,9 м. Удельные дебиты в основном в пределах 0,1–0,15 л/с.

Подземные воды морского горизонта ОДАМ по степени минерализации относятся в основном к сильносолевым (35–50 г/л) и слабым рассолам (50–150 г/л) с величиной минерализации в пределах 37,6–104,6 г/л, при среднем значении 65,4 г/л. Значения сухого остатка изменяются от 35,4 г/л до 95,5 г/л, при среднем – 62,8 г/л (таблица 4.7). В юго-западной четверти территории вскрыты подземные воды с минерализацией 80–100 г/л, Воды с минерализацией менее 40 г/л встречены в северо-западной части. Величина минерализации воды с глубиной несколько понижается, рассолы содержанием солей более 100 г/л залегают на глубине до 2,0 м.

Воды очень жесткие с величиной общей и карбонатной жесткости, соответственно, в пределах 115,0–345,0 мг-экв/л и 4,5–15,1 мг/экв/л. Реакция воды нейтральная, значения pH составляют 7,63–7,95.

В макрокомпонентом составе подземных вод преобладают катионы натрия, анионы хлора и сульфатов. При повышении минерализации воды увеличивается содержание отдельных макрокомпонентов. По химическому составу воды хлоридно-сульфатные натриевые, реже натриево-магниевые, II-го гидрохимического типа (по О.А. Алекину). Сводная формула химического состава имеет вид:

$$M_{37.6-104.5} \frac{Cl\ 52 - 75\ SO_4\ 25 - 46\ HCO_3\ 1 - 3}{Na\ 73 - 84\ Mg\ 10 - 24\ Ca\ 1 - 6\ K\ 1 - 2} \quad pH\ 7.6 - 7.95$$

Среди микрокомпонентов в подземных водах морского горизонта выявлены биогенные элементы (аммоний, нитриты и нитраты, железо двух- и трехвалентное, кремний) и фтор. Содержание микрокомпонентов изменяется в пределах, мг/л: аммоний – <0,05–8,5; нитриты – <0,2; нитраты – 0,05–2,0; железо двухвалентное – 0,05–3,8; железо трехвалентное – 0,05–2,0; диоксид кремния – 4,1–35,7 и фтор – 0,06–5,78.

Питание подземных вод осуществляется за счет атмосферных осадков, выпадающих на площади распространения водоносного горизонта, а также регионального подтока подземных вод четвертичных отложений с восточного побережья. Разгрузка происходит в основном за счет испарения, ввиду неглубокого залегания уровня подземных вод и высокой испаряемости, а также за счет оттока в сторону сохранившейся части Аральского моря (Большой Арал).

Слабая расчлененность местности, плоский рельеф, повышенное содержание мелких частиц (алевритов) в водовмещающих отложениях способствовали формированию застойного режима содержащихся в них безнапорных подземных вод. Процессы континентального засоления обусловили их высокую минерализацию и практическую непригодность для использования в хозяйственных целях.

Водоносный комплекс верхнетурон-сенонских отложений распространен на всей территории исследований. Водовмещающие образования представлены песчано-глинистой толщей морского и континентального происхождения. Общая мощность пород комплекса изменяется от 20–40 до 260 м, а эффективная – от 10–20 до 200–220 м. Вскрыт двумя гидрогеологическими скважинами, ранее пробуренными на островах Барсакельмес и Каскакулан (рисунок 4.8).

Подземные воды напорные. Уровни устанавливаются на уровне земной поверхности до 13,5 м выше. Водообильность водоносного комплекса характеризуется дебитами скважин 6,0–11,1 л/с при понижении уровня на 12,0–21,0 м. Удельные дебиты составляют 0,5 л/с.

По степени минерализации напорные воды умеренно солоноватые (3–5 г/л) с величиной минерализации 3,5–4,5 г/л. Химический состав воды хлоридно-сульфатный натриевый, II-го гидрохимического типа.

Питание подземных вод комплекса осуществляется за пределами территории исследований, на участках выхода на поверхность меловых отложений и подтока воды с горных сооружений. Движение подземных вод происходит с востока на запад в сторону котловины Арала.

Воды с минерализацией до 5 г/л представляют интерес для водопоя скота и хозяйственно-бытовых нужд сельских населенных пунктов.

Водоносный комплекс альб-сеноманских отложений ($K_{1al}-K_{2cm}$) распространен на территории исследований повсеместно и залегает ниже верхнетурон-сенонского водоносного комплекса. В контуре ОДАМ не вскрыт и характеризуется по литературным источникам.

Водовмещающие породы представлены переслаиванием глин, алевролитов, разнородных песчаников и песков. Эффективная мощность отложений комплекса изменяется от 40 до 120 м.

Водоносный комплекс характеризуется высокими напорами. Почти повсеместно скважины дают самоизлив. Водообильность комплекса достаточно высокая. Дебиты скважин составляют 8–19 л/с при понижениях на 14,8–20,5 м. Удельные дебиты составляют 0,6–0,8 л/с.

По степени минерализации подземные воды комплекса солоноватые (5–10 г/л). По химическому составу воды хлоридно-сульфатные натриевые.

Солоноватые подземные воды представляют интерес для водопоя скота и хозяйственно-бытовых нужд сельских населенных пунктов.

В целом, для территории ОДАМ характерно наличие двух основных гидрогеологических этажей, разделенных региональным глинистым палеогеновым водоупором. В верхнем гидрогеологическом этаже развиты преимущественно безнапорные поровые подземные воды современных морских отложений. Нижний этаж содержит в основном напорные порово-пластовые воды меловых отложений.

На формирование безнапорных вод оказывают влияние количественные и качественные показатели воды, поступающей в водоносные горизонты, рельеф местности, засоленность и гранулометрический состав водовмещающих отложений, глубина уровня. Высокая минерализация безнапорных вод и слабая водообильность водовмещающих отложений определяют практическую непригодность для использования в хозяйственных целях.

Напорные пластовые воды имеют иные условия формирования. Основная область питания приурочена к горам Букантау и Тамдытау, основная разгрузка происходит в котловину Арала. Наиболее перспективными для практического освоения являются водоносные комплексы меловых отложений.

5. ПОЧВЕННЫЕ ДАННЫЕ

5.1. Типы почв. Составление почвенной карты

Почвенный покров Аральского района Кызылординской области соответствует подзонам бурых и серо-бурых пустынных почв и их разновидностям. Слабая расчлененность территории и засоленность почвообразующих пород обуславливают преобладание комплексности в почвенном покрове и участие в его структуре зональных и азональных пустынных почв различной степени засоленности. Среди азональных почв, в комплексах и сочетаниях, широкое распространение получили песчаные, такыровидные почвы, различного генезиса солончаки [48].

Обнаженное морское дно представлено почвогрунтами различного механического состава: примерно 80% занято отложениями тяжелых грунтов, которые сильно засолены (сумма солей этих почв обычно превышает 3% и достигает иногда до 14% и имеют неблагоприятный режим аэрации). Остальную площадь занимают грунты легкой литологии – от подвижных барханных песков до песчаных и супесчаных равнин, быстро опресняющихся и имеющих более благоприятные лесорастительные условия. Поэтому многие исследователи считали, что под лесомелиорацию следует отводить только песчаные и супесчаные равнины. Для закрепления подвижных барханных песков методами фитомелиорации необходима предварительная фиксация поверхности рельефа [49, 50].

Почвы обсохшего дна на восточном побережье Аральского моря в пределах 43–48 м абсолютной высоты являются сравнительно молодыми (по началу формирования). В зависимости от времени выхода на дневную поверхность и понижения уровня грунтовых вод в почвах побережья наблюдаются процессы миграции солей и солонцеобразования [51].

Вдоль коренного берега на обсохшем дне располагаются песчаные массивы, они занимают наиболее значительные площади в районе Токпана–Узынкаира. Пески мелко барханные и средне-грядово-бугристые как заросшие, так и лишенные растительности. В межбарханных понижениях засоление почв остается достаточно значительным. Песчаные массивы являются источником выноса песка и мелкозема [52].

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 и эоловый генезис.

Первоначально морское дно видоизменяется в связи с происходящими процессами: происходят обнажение авандельты, высыхание остаточных озер с образованием рапы, запесочивание, передвижение песчаных 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 68 почвенных разрезов. Отобрано 308 образцов почв. 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 водорастворимых солей, а также гипса и карбонатов. Лабораторные анализы были выполнены лабораторией КазНИИ почвоведения и агрохимии имени У.У. Успанова.

Плоский характер рельефа обсохшего дна, создающий фактически бессточность территории, близкое залегание грунтовых вод, капиллярная способность грунтов, интенсивное испарение способствовали засолению территории 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) [7].

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 [7].

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 [7].

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 [7].

Почвообразовательный процесс начинается с момента обнажения морского дна.

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) [7].

Высыхание Аральского моря привело к образованию нового почвенного покрова на обнажившемся дне. Исследование новообразованной суши очень важно, так как она является источником пыльных бурь и переноса солей на большие расстояния. В целом почвенный покров сформировался в результате замещения чрезмерно заболоченных (солончаков), расположенных в виде полосы вдоль моря, гидроморфными и полугидроморфными, полуавтоморфными и автоморфными почвами. Обсыхающее морское дно имеет сложный литологический и морфологический состав. Территория обнаженного морского дна характеризуется различными гидрологическими условиями. Глубина грунтовых вод

колеблется от 1,5 до 10 м. При отступе берега водонапорные подземные воды подходят к поверхности.

Ровный рельеф осушенного дна и, как следствие, почти бессточная территория и близкий уровень грунтовых вод способствовали интенсивному засолению почв. Поэтому большая часть обнаженного морского дна покрыта солончаками.

Полевые изыскания проводилась согласно «Инструкции по проведению крупномасштабных почвенных изысканий земель Республики Казахстан». Алматы, 1995г.

Для каждого типа почв установлены координаты местоположения разреза, положение в рельефе, растительность, степень трансформации. Описание морфологических признаков почвенного профиля проведено до глубины залегания почвообразующей породы с характеристикой генетических горизонтов по следующим параметрам: окраска, влажность, сложение, структура, механический состав, новообразования и включения. Отбор почвенных образцов для химического анализа произведен из выделенных горизонтов. Образцы передаются в аккредитованную лабораторию, где химический анализ проводится по стандартным методикам.

Полевые изыскания и картографирование почв складываются из следующих элементов работ:

- общего маршрутного знакомства с территорией;
- полевого изучения почв, заложения и описания почвенных разрезов с предварительным определением (названием) почв;
- взятия почвенных образцов для последующих исследований;
- выделения почвенных контуров (полевого картографирования почв).

В ходе полевых изысканий всего заложено 68 разрезов на заранее намеченной местности с охватом всех элементов рельефа с подтвержденной фотофиксацией с геоданными и GPS навигатором. Произведено морфологическое описание разрезов (окраска, мех/состав, характер вскипания от 10% соляной кислоты, плотность, структура и т.д.), отобраны образцы почв из всех генетических горизонтов профиля. Отобраны всего 348 почвенных образцов и сданы в лабораторию. Составлена ведомость заказов для производство химических анализов почв.

При изучении почвенного покрова на территории казахстанской части ОДАМ выделены следующие виды почв (рисунок 5.1):

- пустынные солонцевато-солончаковые;
- солонцы бурые пустынные;
- приморские примитивные засоленные;
- приморские солончаковые с навеванным песчаным чехлом;
- солончаки приморские;
- солончаки типичные (автоморфные);
- солончаки гидроморфные отакиривающиеся;
- пески равнинные в различной степени закрепленные;
- пески бугристые в различной степени закрепленные.

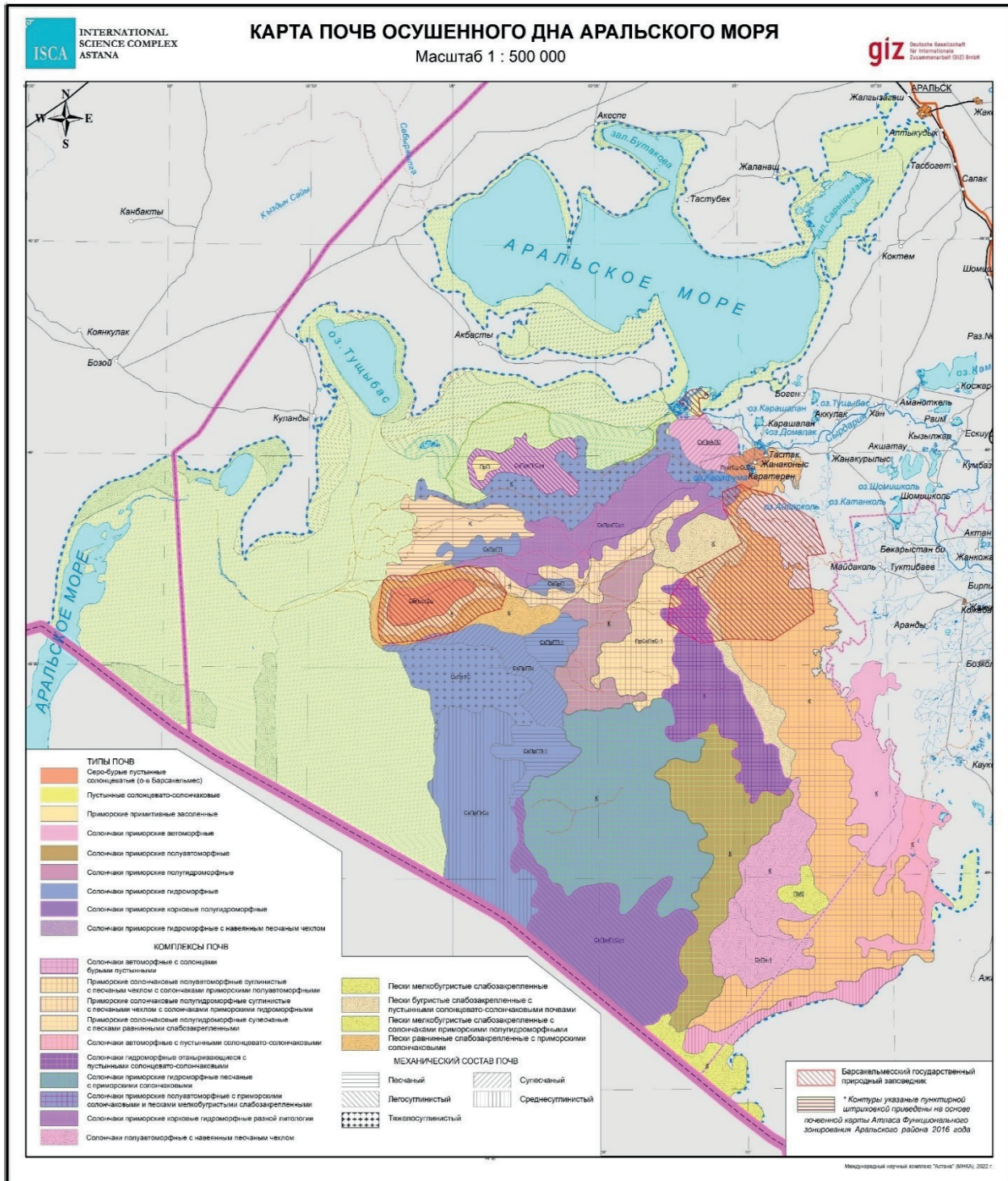


Рисунок 5.1. Карта почв ОДАМ

Пустынные солонцевато-солончаковые почвы выделены в северо-восточной части обследуемой территории. Сформировались в понижениях бугристых слабо закрепленных песков. Поверхность почв перекрыта песчаным чехлом. Глубина залегания грунтовой воды 5,2 метра. Почвенный разрез №12 на рисунке 5.2.



Рисунок 5.2. Почвенный разрез №12

Межбугристая поверхность, микроповышения. Саксауловое редколесье. Вскипание от соляной кислоты с поверхности. Поверхность почвы рыхлая, навейна песком. На поверхности редкие обломки раковин моллюсков.

Верхний горизонт – навейанный песок, светло-серого цвета, свежий, бесструктурный, рыхлый с редкими мелкими корнями, встречаются обломки раковин моллюсков, вскипает бурно, переход ясный;

Горизонт В1 бурого цвета, свежий, слоистый, суглинистый со ржавыми прослойками, уплотненный, мелкие корешки, бурно вскипает, редкие включения раковин моллюсков, переход ясный;

Ниже залегает горизонт В2 темновато-бурого цвета, более увлажненный, среднесуглинистый, сильно ожелезнен, слоисто-плитчатый, плотный, трещиноватый, редкие включения раковин моллюсков, перегнившие растительные остатки, вскипает бурно, переход постепенный.

Горизонт ВС бурого цвета со ржавыми пятнами, тяжелосуглинистый, плотный, увлажнен, вязкий, крупно глыбистый, вскипает бурно, корней не обнаружено.

Глубже залегает различного чередующиеся (суглинок–супесь) литогенного состава донные отложения. Присутствие в профиле ржавых прослоек – это показатель смены анаэробных и аэробных условий почвообразования.

В навейном песком слое гумус не обнаружен, в супесчаных разновидностях (разрезы 1, 12, 13) гумус составляет от 0,26 до 0,64%. В солонцеватом горизонте снижается до 0,11–0,45%.

Валовые формы азота в верхнем слое от 0,028 до 0,084%, которые также в горизонте В1 снижены от 0,028 до 0,056%. Валовый фосфор составляет от 0,15 до 0,20%.

Почвы характеризуются изначально высокой карбонатностью всего профиля. Его значения по профилю меняется от 6,05 до 8,57%. Величина рН почвенной суспензии имеет щелочную реакцию и колеблется в пределах от 8,06 до 9,73.

Почвы солонцеватые. Содержание поглощенного натрия от суммы поглощенных оснований составляет от 6,9 до 50,7%.

В поверхностном горизонте легкорастворимые соли составляют от 0,157 до 0,675%. Тип засоления сульфатный и хлоридно-сульфатный. Степень засоления от слабой до сильной. Высокое их содержание обнаруживаются в ниже залегающих горизонтах – от 1,386 до 2,975%, здесь тип засоления от хлоридно-сульфатного переходит в хлоридный, иногда «с участием соды», что объясняется процессами рассоления профиля и миграцией хлоридов фильтрационными водами. По мере того, как почва обсыхает, накопление солей не происходит. По гранулометрическому составу характеризуются почвы супесчаные. В солонцеватом горизонте наблюдается накопление фракции крупной пыли.

Солонцы автоморфные формируются в условиях глубокого залегания уровня грунтовых вод (не менее 6–7м), которые не принимают участия в формировании этих почв. Подстилающие и почвообразующие породы засолены и залегают близко к поверхности.

Повышенное содержание натрия в солонцах создает неблагоприятные водно-физические свойства почв, в результате чего растительный покров на солонцах угнетен, разрежен; растительность покрывает поверхность почвы на 20–40%.

В пустынной зоне на солонцах развиваются чисто кокпековые и биюргуновые ассоциации, на засоленных солонцах к этой растительности добавляются солянки.

Характерными особенностями солонцов являются: меньшая, чем у зональных почв, обеспеченность питательными веществами. Запас гумуса также меньше, содержание его быстро убывает с глубиной.

Солонцы бурой зоны в основном много натриевые и средне натриевые.

Солонцы бурые пустынные распространены в пустынной зоне бурых и серо-бурых почв. Формируются по микропонижениям повышенных террас, склонов, сопков, увалов.

Растительный покров однородный, состоит из биюргуна или кокпека, встречаются чисто черно полынные ассоциации. Разреженная травянистость, проективное покрытие почвы до 30%.

По мощности надсолонцового горизонта солонцы подразделяются на корковые (мощность горизонта А 0–5 см); мелкие (6–10 см); средние (11–18 см); глубокие (19–23см).

Солонцы бурые высоко засолены, профиль их четко дифференцирован на горизонты.

Горизонт А, светло-серого цвета, чешуевато-слоевой или ноздреватой структуры.

Солонцовый горизонт В1 – выделяется резко, темно-бурый цвет, плотный, ореховой или глыбистой структуры.

Горизонт В2 уплотнен, глыбистой или комковато-глыбистой структуры, как правило, с видимыми скоплениями солей и карбонатов. Нижние горизонты сильно засолены.

Характерной особенностью пустынных солонцов является несколько высокая гумусность горизонта В1 по сравнению с над солонцовым горизонтом. Содержание гумуса горизонта А очень низкое – 0,6–0,9%, в горизонте В1 оно возрастает до 0,8–1,3%. Емкость поглощения в солонцовом горизонте варьирует в пределах 19–25 мг-экз/100 г почвы, в составе которой обменный натрий составляет 11–40%, чаще всего 25–40%, т.е. по содержанию натрия преобладают солонцы среднанатриевые. По глубине залегания солевого горизонта распространены преимущественно солончаковые роды; засоление наблюдается сразу же под горизонтом В1; тип засоления в основном хлоридно-сульфатный, реже – сульфатно-хлоридный, иногда принимает участие сода. Вскипание обнаруживается с поверхности; все солонцы карбонатные.

В приморских почвах в зависимости от времени выхода на дневную поверхность и понижения уровня грунтовых вод наблюдаются процессы миграции солей и солонцеобразование. На поверхности почвы выделяется супесчаная солевая корочка, под которой наблюдается слабо прокрашенный гумусовый горизонт непрочно комковатой структуры. Глубже следует переходный горизонт ВС, в котором выражено уплотнение и солонцеватая структура.

В песчаных и супесчаных разновидностях приморских почв солонцеватость морфологически не выражена. В профиле почв повсеместно присутствуют ржавые пятна, как показатель анаэробных и аэробных условий почвообразования. Нередко наблюдается слоистость отложений разных периодов и погребенные неперегнившие растительные остатки.

Приморские примитивные засоленные выделяются в самой северной части обследуемой территории. Почвенный разрез №9 на рисунке 5.3.



Рисунок 5.3. Почвенный разрез №9

Рельеф – слабонаклонная приморская равнина с мелкобугристыми песками. Поверхность рыхлая, усыпана ракушками. Вскипание от 10%-ной соляной кислоты бурное с поверхности.

На поверхности слоем 0,5 см слабая корочка с битыми ракушками белесовато-серого цвета;

0,5–4 см рыхлый, свежий, палево-серый песок, бесструктурный, вскипание бурное, единичные мелкие корешки, битые и целые ракушки;

4–20 см, серовато-бурый песок, бесструктурный, увлажнен, слабо уплотнённый, редкие корешки, вскипание бурное, раковин моллюсков мало;

20–61 см, сизовато-серый, супесчаный, бесструктурный, более уплотнен, увлажнен, ржавые пятна, единичные корешки, вскипание бурное, редкие битые ракушки;

61–100 см, красновато-бурый, супесчаный, влажный, бесструктурный, уплотненный, сильно ожежен с раковинами моллюсков, вскипание бурное.

В верхних песчаных горизонтах (разрезы 9, 18) содержание гумуса до 0,26%. Запасы валовых форм азота от 0,028 до 0,042%. Почвы карбонатные.

Содержание углекислоты по профилю меняется от 4,45 до 15,89%. Реакция почвенного раствора сильнощелочная, значения рН от 8,47 до 9,51.

Солонцеватость в песчаных почвах отсутствует, поглощенный натрий составляет всего 1,8% от суммы поглощенных оснований.

С поверхности почвы не засолены. Глубже 30 см появляется хлоридно-сульфатное засоление. Сумма солей составляют от 0,395 до 0,508%. Степень засоления средняя.

Гранулометрический состав песчаный. До 93% мелкозема составляет песчаные фракции. С глубиной гранулометрический состав переходит в супесчаный.

Разрез *приморских солончаковых почв с навейным песчаным чехлом* указан №44 (рисунок 5.4).



Рисунок 5.4. Почвенный разрез №44

Рельеф – приморская плоская равнина. Саксауловое редколесье с солянками. Поверхность почвы сухая, рыхлая с корочкой, навеяна песком. Битые и целые ракушки моллюсков. Вскипание с поверхности.

0–16 см, палево-серый рыхлый свежий песок с множеством ракушечников, бесструктурный, с поверхности слабая корочка (0,5 см), вскипание бурное, корней мало, переход резкий по плотности и мех/составу;

16–56 см, красновато-бурого цвета тяжелый суглинок, увлажнен, слоисто-пластинчатый, плотный с редкими корнями, ракушек мало, сильно ожелезнен, вскипает бурно, переход постепенный;

56–117 см, буроватый с железнением, влажный, среднесуглинистый, слоисто-пластинчатый, плотный, редкие целые раковины моллюсков, единичные корни, вскипание бурное, переход постепенный;

117–137 см, темновато-серый слабо ожелезнен, тяжелосуглинистый, влажный, слоисто-пластинчатый, плотный, корней нет, редкие обломки ракушек, вскипание бурное, переход ясный по цвету;

137–160 см, желтовато-бурый, ожелезнен, влажный, слоисто-пластинчатый, суглинок опесчаненный, корней нет, вскипает бурно, редкие обломки раковин моллюсков.

По лабораторным данным (разрезы 28, 29, 36, 37, 44, 45, 51, 54, 78) в верхнем навеянном песком слое содержание гумуса составляют от 0,03 до 0,15%; в песчаных разновидностях от 0,26 до 0,34%; в супесчаных – от 0,42 до 0,68%. В ниже залегающем горизонте его величина изменяется от 0,07 до 0,34%.

В соответствии с гумусом содержание общего азота колеблется от 0,014 до 0,056%. Валовые формы фосфора составляют от 0,068 до 0,176%.

Почвы карбонатные, содержание углекислоты в профиле этих почв меняется в очень широких пределах: от 1,24 до 15,7%.

Реакция почвенной среды по профилю меняется от щелочной к сильнощелочной или наоборот, значения pH от 8,43 до 9,42.

В солончаковых почвах солонцеватость могут отсутствовать или проявляться в разной степени. Содержание поглощенного натрия от 1,4 до 23,2% от суммы поглощенных оснований.

В навеянном песком слое легкорастворимые соли отсутствуют или отмечается слабое сульфатное засоление. В супесчаных и песчаных разновидностях засоление с поверхности. Сумма солей от 0,188 до 0,659%. Тип засоления преимущественно хлоридно-сульфатный, реже сульфатный. Степень засоления от слабой до сильной степени. Со второго горизонта концентрация солей увеличиваются до 0,883–1,640%. Тип засоления смешанный. Глубже сульфатный и хлоридно-сульфатный типы засоления переходит в хлоридно-сульфатный или хлоридный, иногда «с участием соды». Меньше солей в песчаных разновидностях. Чем тяжелее почва, тем больше концентрация солей.

По гранулометрическому составу характеризуемые почвы имеют широкий спектр от глин до песка.

Основная часть осушки занята солончаками. Специфические условия почвообразования, предопределили выделение здесь особого подтипа солончаков – *приморских солончаков*.

Эволюция солончаков проходит этапы: избыточно гидроморфные почвы (марши) → умеренно гидроморфные солончаки → полугидроморфные солончаки → полуавтоморфные солончаки → автоморфные солончаки.

По мере опускания грунтовых вод гидроморфные и полугидроморфные солончаки трансформируются в полуавтоморфные и автоморфные.

На последних стадиях развития почв, 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.

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, происходит дальнейшее преобразование почвенного покрова, формируются разновидности солончаков.

По глубине залегание грунтовых вод солончаки приморские подразделяются на:

- умеренно-гидроморфные с залеганием до 2 м;
- полугидроморфные – 2–3 м;
- полуавтоморфные – 3–5 м;
- и автоморфные – глубже 5 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.

Солончаки умеренно-гидроморфные с близкими грунтовыми водами (разрезы 25, 31, 41, 46, 48, 49, 53, 55, 56, 57) приурочены к западным и центральным частям обследуемой территории. Уровни грунтовых вод по створу от нулевой отметки изменяются от 1,2 до 2,0 метров.

Для характеристики умеренно-гидроморфных солончаков приводится морфологическое описание разреза №49 (рисунок 5.5).



Рисунок 5.5. Почвенный разрез №49

Рельеф плоская равнина, обширное понижение. Растительность отсутствует. Поверхность почвы рыхлая, покрыта сплошной непрочной солевой коркой. Имеется битые и целые раковины моллюсков. На поверхности видны следы ветровой эрозии. Материнская порода морского генезиса. Гранулометрический состав гидроморфных солончаков имеет широкий спектр от тяжелых суглинков до песков.

0–2 см, светло-серая непрочная солевая корка, вспученная, крупнопористая;

2–10 см, светло-серый, свежий, песчаный с кристаллами солей, рыхлый, бесструктурный с раковинами моллюсков, корней нет, блестит на солнце, вскипание бурное, переход ясный по плотности;

10–37 см, буроватый, супесчаный с прослойками глин, влажный, глыбистый, плотный, корней нет, ожелезнен слабо, редкие раковины моллюсков, вскипание бурное, переход ясный по цвету;

37–60 см, сизовато-серый, супесчаный с прослойками глин, сырой, плотный, глыбистый, вязкий, ожелезнен слабо, корней нет, редкие раковины моллюсков, вскипает бурно, переход ясный по цвету гранулометрическому составу;

60–92 см, сизовато-серый, песчаный, сырой, плотный, включения с большим количеством раковин, ожелезнен, глыбистый, корней нет, вскипание бурное, переход резкий по цвету и по плотности;

92–110 см, красновато-бурый песок, бесструктурный, уплотнен, ожелезнен, раковин моллюсков не обнаруживается, вскипание бурное.

По всему почвенному горизонту отмечается ржавые окисные цвета, пятна и белый налет, раздробленные ракушки. Все это свидетельствуют о морском генезисе породы.

По гранулометрическому составу профиль гидроморфных солончаков разной литологии: от тяжелых суглинков до песков.

В зависимости от гранулометрического состава в верхнем горизонте солончаки гидроморфные содержат от 0,04 до 0,3% гумуса. Во втором горизонте в распределении гумуса нет четкой закономерности, т.е. изменение гумуса происходит как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения: содержание гумуса варьирует от 0,07 до 1,06%.

Распределение общего азота имеет такую же тенденцию: запасы общего азота от 0,07 до 0,056%. Отношение C:N узкое (6,1–6,8), что характерно, для пустынного типа почвообразования, где преобладают процессы минерализации органического вещества.

Валовые формы фосфора от 0,04 до 0,16%.

Распределение CO₂ карбонатов по профилю неравномерное и изменяется очень широко – от 1,58 до 15,71%.

Реакция почвенного раствора по всему профилю сильнощелочная, величина pH от 8,91 до 9,73.

Почвы имеют смешанный тип засоления. Поверхностный горизонт с хлоридно-сульфатным «с участием соды» типом засоления книзу переходит в сульфатно-хлоридное или хлоридное засоление, что объясняется процессом рассоления профиля и миграцией хлоридов с фильтрационными водами. По степени засоления очень сильнозасоленные. Максимальное содержание солей находится в поверхностном горизонте с тяжелым гранулометрическим составом – 32,892–35,867% (разрезы 42, 43), величина которых резко падает по профилю по мере изменения гранулометрического состава. Верхний горизонт легкосуглинистых солончаков содержат 8,033–8,134%; в песчаных сумма токсичных солей составляют от 1,545 до 5,432%, иногда до 16,001%. Распределение солей по профилю более-менее равномерное.

Почти во всех разрезах гидроморфных солончаков с поверхности или по профилю в составе солей присутствует сода, что губительно действует на рост и развития растений.

Солончаки полугидроморфные формируются при залегании минерализованных грунтовых вод в пределах 2–3 метров.

Для характеристики полугидроморфных солончаков приводится морфологическое описание разреза № 15 (рисунок 5.6).



Рисунок 5.6. Почвенный разрез №15

Рельеф приморская равнина. Обширное плоское понижение. Растительность отсутствует. Поверхность почвы сухая, покрыта солевой коркой. Битые раковины моллюсков. Местами видны следы ветровой эрозии. Материнская порода морского происхождения.

0–3 см, светло-серый, свежий, рыхлый, сверху мощностью 0,5 см пористая непрочная сухая солевая корка, супесчаный, вскипает бурно, раковин моллюсков мало, корней нет, переход ясный по плотности;

3–25 см, сероватый, супесчаный, влажный, уплотненный, комковатый, вскипание бурное, корней нет, единичные обломки раковин, ожелезнение слабое, переход ясный по цвету;

25–36 см, темно-серый с сизоватой прослойкой, супесчаный, влажный, уплотненный, комковатый, вскипание бурное, включения обломки раковин, слабо ожелезнен, корней нет, переход ясный по цвету;

36–95 см, сизовато-серый, влажный, суглинистый, глыбисто-комковатый, включения битые раковины моллюсков, вскипает бурно, корней нет, переход ясный по цвету;

95–120 см, зеленоватый, супесчаный с глинистой прослойкой, влажный, плотный, слабо ожелезнен, корней нет, вскипает бурно.

Как видно из описания, по гранулометрическому составу почвы слоистые с чередованием супесчаных, суглинистых и глинистых горизонтов.

По данным лабораторных анализов в поверхностном горизонте (разрезы 5, 6, 11, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 23, 24, 26, 27, 30, 38, 39, 40, 47, 66, 67, 68, 69, 70, 80) песчаных разновидностей гумус не обнаружен или его содержание незначительно, до 0,15–0,19%; в супесчаных составляет от 0,19 до 0,72%; в суглинистых от 0,37 до 0,80%. В ниже залегающем горизонте в зависимости от гранулометрического состава содержание гумуса меняется от нуля до 0,83%.

В распределении валового азота не всегда соблюдается прямая зависимость от гумуса: в этих горизонтах валовые формы азота составляют от 0,014 до 0,084%.

Валовые формы фосфора от 0,04 до 0,188%.

Вскипание от 10%-ной соляной кислоты бурное с поверхности. Значения CO₂ карбонатов по профилю изменяется очень широко: от 2,37% до 20,39%.

Реакция почвенного раствора сильнощелочная, величина pH от 8,70 до 9,85.

Профиль почв очень сильно засолен. Максимальное содержание легкорастворимых солей отмечается в поверхностном слое – от 0,966 до 9,666%, в корке до 12,755%, которые с глубиной снижается резко или постепенно. Тип засоления с поверхности сульфатный, хлоридно-сульфатный, сульфатно-хлоридный и хлоридный. Во всех случаях в составе солей присутствуют сода. Тип засоления смешанный.

В полугидроморфных солончаках промывной водный режим меняется на выпотной.

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

На поверхности последних образуется очень слабая песчано-солевая корочка, которая легко разрушается ветром. Поверхность почвы покрывается плоскими очагами дефляции. Эти солончаки являются активными прощелками солей, выносимых за пределами территории.

Растительность представлена различными ассоциациями: карабараково-гребенчиковой, гребенчиковой, солеросами, и открытой поверхностью без растительности.

Солончаки полуавтоморфные формируются при залегании минерализованных грунтовых вод в пределах 3–5 метров.

Полуавтоморфные солончаки выделены в самой северной части обследуемой территории. Представлены в основном, корковыми и корково-пухлыми разновидностями.

Рельеф – плоская слабоприподнятая равнина. Растительность представлена сарсазаном, проективное покрытие 20–30%. На поверхности почвы прочная корка с ракушечниками. Вскипание с поверхности. Почвенный разрез №17 на рисунке 5.7.



Рисунок 5.7. Почвенный разрез №7

0–2 см, прочная корка, серого цвета, сухая, супесчаный, слоисто-пористый, вскипание бурное;

2–5 см, светло-серый, увлажнен, рыхлый, супесчаный, редкие корни, обломки раковин моллюсков, вскипание бурное, переход ясный по плотности;

5–25 см, темновато-серый, влажный, среднесуглинистый, уплотненный, комковатый, редкие корни, обломки раковин, вскипание бурное, переход резкий по гранулометрическому составу;

25–59 см, охристый, влажный, бесструктурный, песчаный, уплотненный, обилие битых обломков раковин моллюсков, сильно ожелезнен, вскипает бурно, переход резкий по цвету;

59–100 см, сизоватый со ржавыми пятнами, влажный, тяжелосуглинистый, плотный, глыбистый, корней нет, вскипает бурно

В корке или корково-пухлом (разрезы 7, 8, 10) супесчаном горизонте гумус составляет 0,57%; В ниже залегающих суглинистых горизонтах содержание гумуса меняется от 0,34 до 0,72%. Соответственно содержанию гумуса запасы валового азота варьируют от 0,042 до 0,07%. Отношение C:N узкое, что характерно для пустынных почв.

Валовые формы фосфора до 0,10%.

Почвы высоко карбонатные. По профилю содержание CO₂ карбонатов меняется от 3,2 до 18,44%.

Реакция почвенной среды резкощелочная, величина pH от 9,0 до 9,87.

Весь профиль почв очень сильно засолен. В верхнем слое сумма токсичных солей составляют от 1,563 до 2,521%. Тип засоления с поверхности сульфатный и хлоридно-сульфатный «с участием соды». Вниз по профилю тип засоления смешанный. Концентрация солей увеличивается.

По гранулометрическому составу солончаки полуавтоморфные супесчаные. Профиль почв слоистый с чередованием суглинистых, супесчаных и песчаных горизонтов.

Солончаки приурочены к самым низким и наименее дренированным поверхностям. Это прибрежные полосы засоленных озер, рек, морей, речные долины, западины и котловины на древних, речных и современных морских террасах, днищах периодически высыхающих озер. Все эти формы рельефа служат очагами местного соле сбора и в настоящее время.

Кроме того, они могут встречаться на эродированных склонах возвышенностей, где приурочены к выходам: на поверхность древних засоленных пород, или к высоким водоразделам, сложенным засоленными глинами, где грунтовые воды залегают глубже 6 м и поверхностные слои почвы давно утратили с ними связь. Во всех остальных случаях – это места с высоким уровнем сильноминерализованных грунтовых вод, с преобладанием восходящих токов и с засоленными породами тяжелого механического состава.

В преобладающем большинстве случаев растительный покров почв очень небогатый и представлен в основном галофитами с проективным покрытием поверхности почвы около 20%, а остальная поверхность покрыта белыми налетами солей в виде хрупкой корочки.

Солончаки типичные (автоморфные) пустынной зоны выделены в юго-восточной части, у береговой линии бывшего Аральского моря в комплексе с солонцами бурыми пустынными.

Приурочены они к засоленным террасам рек и озер, замкнутым бессточным межсопочным понижениям и другим отрицательным элементам рельефа, располагаясь, чаще всего, по микроповышениям. Формируются они на засоленных породах с близким залеганием сильноминерализованных грунтовых вод (2–6 м) от поверхности, уровень которых периодически меняется в зависимости от сезонов года. Такое залегание их способствует выносу солей к поверхности почвы, режим их непромывной и восходящие токи при сильном испарении приводят к засолению почвенной толщи и образованию тонкой соляной корочки на поверхности.

Растительный покров представлен солевыносливыми видами. В основном это куртины галофитов: сарсазана, лебеды бородавчатой, кермека, камфоросмы, кокпека и однолетних солянок. Здесь же часто встречаются сведа, карабарак, тамариск, поташник. Проективное покрытие почвы в таких группировках невелико, а корневая система дает мало биомассы в почву, и большая часть поверхности открыта, представляя собой растрескивающуюся солевую корку, а в некоторых случаях, где поверхность отакиривается.

Расчленение профиля солончаков бурых типичных на горизонты очень слабое, что связано с высокой концентрацией солей в почве и весьма неблагоприятными условиями накопления и разложения органических веществ. На поверхности почвы образована не большой мощности корочка (0,5–1 см), под которой идет очень рыхлый, наполненный кристаллами солей горизонт мощностью 5–10 см, где прослеживается очень слабое содержание гумуса (светло-серый оттенок в цвете этого горизонта).

Ниже этого горизонта, в зависимости от глубины залегания почвообразующей породы, могут выделяться еще несколько слоев различного мех состава, цвета, сложения, в толще которых ясно прослеживаются соли в виде легких прожилок, крапинок, гнезд. Нередко в конце первого метра наблюдаются ржавые и сизоватые пятна, свидетельствующие о периодическом избыточном грунтовом увлажнении. Вскипание от соляной кислоты наблюдается очень бурное с поверхности, хотя видимых скоплений карбонатов не обнаруживается.

По содержанию гумуса солончаки типичные относятся в основном к низкообеспеченным почвам: содержание его в верхнем слое не превышает 1,3%, снижаясь с глубиной иногда очень резко до 0,5–0,6%. Соответственно гумусу они слабо обеспечены валовыми формами фосфора и азота.

Солончаки типичные принадлежат, чаще всего, к типу хлоридно-сульфатных и сульфатно-хлоридных, хотя могут встречаться и другие типы засоления. По профилю и в породе эти типы могут чередоваться или изменяться. Содержание солей в верхнем, подкорковом рыхлом горизонте колеблется в пределах 1,6–4,7% плотного остатка. Верхняя корочка почти всегда содержит солей меньше, чем нижеследующие слои.

По механическому составу характеризуются солончаки встречаются от песчаных до глинистых.

Солончаки гидроморфные отакиривающиеся – разновидности солончаков выделяются в самой юго-восточной части обследуемой территории.

Выделены по понижениям и древним ложбинам стока. Почвообразующими породами служат засоленные глины и суглинки.

Минерализованные грунтовые воды находятся неглубоко от поверхности (0,5–3 м). Их уровень заметно колеблется по сезонам года и в условиях выпотного режима они обуславливают засоление поверхностных почвенных горизонтов.

Солончаки гидроморфные формируются в условиях выпотного режима, при котором капиллярная кайма, восходящая от слабоминерализованных грунтовых вод, залегающих на глубине до 3 м, достигает дневной поверхности.

Поверхностные горизонты солончаков, при снижении уровня грунтовых вод и отрыве капиллярной каймы от поверхности, засоляются даже в условиях скудных осадков пустынной зоны (содержание солей снижается в образующемся корковом горизонте на 50–60%).

В составе растительности доминируют луговые галофитные группировки, иногда с тамариксом, в которых принимают участие, кермек Гмелина, разреженный угнетенный тростник, полынь солончаковая, ирисы, петросимония толстолистная, чий блестящий, камфоросма марсельская, верблюжья колючка, солянки.

В морфологическом строении наблюдается ясная дифференциация профиля на генетические горизонты; гумусовый горизонт окрашен в серые тона, с поверхности наблюдается образование глинистой корки с округлыми крупными пузырьковыми порами. Отмечается ослабевание оглеения, на что указывает светло-бурая, местами тускловатая окраска ожелезненных зон.

В верхнем горизонте А содержание гумуса до 1,0–1,7%, но эти величины в горизонте В резко сокращаются (в два-три раза), а далее по профилю уменьшение гумуса происходит постепенно.

Вскипание проявляется бурно с поверхности.

В емкости поглощения среди поглощенных катионов обнаруживается довольно высокое содержание натрия (более 30%).

Максимум солей сосредоточен в поверхностном горизонте, вглубь профиля их количество заметно уменьшается. Засоление чаще всего хлоридно-сульфатное, реже – сульфатно-хлоридное и хлоридное; плотный остаток в верхнем слое составляет 1,8–5,8%; в породе тип засоления может меняться, величина плотного остатка понижаться (0,7–2,3%).

Пески имеют бугристый, равнинный или реже кучевой рельеф. Процессы почвообразования здесь выражены слабо, почвенные генетические горизонты слабо развиты, сложение рыхлое, содержание гумуса незначительное, легкорастворимые соли и карбонаты промыты на значительную глубину.

Массивы *песков равнинных в разной степени закрепленные* выделены в западной части обследуемой территории в комплексе с приморскими солончаковыми почвами (контур 10).

Растительный покров состоит из эфемеров и песчаных видов: еркек, кияк, качим метельчатый и др.

Профиль равнинных песков очень слабо дифференцированы на горизонты. Гумусовый горизонт выделяется нечетко, сложение профиля рыхлое, отсутствуют заметно выраженные карбонатно-иллювиальные горизонты.

Пески равнинные, гумусность очень слабая, содержание гумуса в первом горизонте не превышает 0,4%, преимущественно не засолены, без карбонатные.

Пески бугристые, закрепленные в разной степени образованы, главным образом, в результате переведения древнеаллювиальных песчаных отложений, либо при развитии речных и морских отложений. Для рельефа грядово-бугристых песков характерно чередование бугров и гряд высотой от 1–3 до 3–7 м, ориентированных по направлению господствующих ветров с котловинами и выравненными пространствами (рисунок 5.8).

В растительном покрове преобладают эфемеры, полукустарники и кустарники: терескен, жузгун, эфедра, а также распространены саксаульники (саксаул черный и белый). Пески закрепленные почти не подвержены развеванию.

Профиль почв слабо дифференцирован, выделение гумусового горизонта затруднено. Почвы отличаются рыхлым сложением и отсутствием иллювиальных горизонтов.

Содержание гумуса в верхней части профиля 0,2–0,4%, запас питательных веществ незначителен. По содержанию карбонатов эти почвы различны: наряду с без карбонатными широко распространены пески со значительным их содержанием (от 1 до 5% CO₂ и более).

Грядово-бугристые пески в большинстве случаев не содержат значительного количества солей, гипс проявляется иногда глубже полуметрового или метрового слоя.



Рисунок 5.8. Пески бугристые

Таким образом, сформировавшиеся на обсохшем дне Аральского моря почвы преимущественно с низким содержанием гумуса: содержание общей и водорастворимой формы гумусовых веществ выше в корке и подкорковом слое, ниже в остальных почвенных горизонтах. Максимальное накопление солей на обсохшем дне моря наблюдается в профиле приморского и корково-пухлого солончака. Основной тип химизма засоления почвенного профиля: по анионам хлоридно-сульфатный; по катионам магниевое-кальциево-натриевый. Литогенная основа представлена мелкозернистыми желтовато-серыми песками с прослоями засоленных супесей, суглинков и глин с редким включением раковин моллюсков.

5.2. Состав водорастворимых солей

Засоление почвы зависит от содержания солей в грунтовых водах и породе, количества атмосферных осадков, испарения и физических свойств почвы.

Почвообразовательные процессы исследуемой территории способствовали накоплению в почве легкорастворимых солей.

В пустынной зоне условия благоприятны для образования сульфатов, хлоридов натрия, гипса. Иногда возможно образование соды и формирования почв с содовым типом засоления.

В засоленных почвах присутствует значительное количество солей. Однако в зависимости от состава солей почвы могут обладать разной степени засоленности, что обусловлено неравноценной токсичностью для растений различных легкорастворимых солей.

Отрицательное воздействие на рост и развитие растений на засоленных почвах оказывает не только количественное содержание легкорастворимых солей, но и их качественный состав, т.е. соотношение в почве различных ионов.

Засоленные почвы подразделяются по составу анионов (хлоридные, сульфатные, карбонатные) и катионов (натриевые, магниевые, кальциевые). В засоленных почвах распространены три группы солей: слаборастворимые (карбонаты кальция и магния), среднерастворимые (сульфаты кальция) и легкорастворимые (хлориды и нитраты кальция, магния, натрия и калия, сульфаты натрия и магния, карбонаты натрия). Среди солей есть совершенно нетоксичные, слабо токсичные и токсичные соли. Но установить степень токсичности солей очень трудно.

Дело в том, что не все растения страдают в равной мере от одной и той же соли. Тем не менее есть некоторая закономерность в токсичном действии солей на растения. И если условно принять за единицу степень токсичности сернокислого натрия (Na_2SO_4), то относительная степень токсичности солей будет равняться для двууглекислой соды – 3, сернокислого и хлористого магния (MgSO_4 , MgCl_2) – 3–5, хлористого натрия (NaCl) – 5–6 и углекислого натрия (Na_2CO_3) – 10. Иными словами, наименее токсичной солью является сернокислый натрий, а наиболее — углекислый натрий. Высокая степень токсичности углекислого натрия объясняется тем, что эта соль, разлагаясь, дает едкий натрий (NaOH), который особенно сильно действует на растение. Поэтому на засоленных почвах преобладание углекислых солей натрия (сода) наиболее токсично сказывается на растениях. Однако при наличии в почве углекислоты (CO_2), которая выделяется корнями и освобождается при разложении органических веществ, карбонат натрия переходит в менее токсичную соль - бикарбонат натрия. Менее токсичное действие на растения оказывают также хлористые и сернокислые соли, причем хлористые соли являются более токсичными.

Степень засоления почвы установлена по сумме легкорастворимых солей и содержанию ионов, определяющих тип засоления.

6. ОПИСАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

6.1. Условия формирования растительного покрова

Резкое снижение уровня воды в Аральском море с 1961 года привело к образованию новой суши на площади более 1 млн. га в пределах Республики Казахстан. Основными экологическими последствиями усыхания моря стали аридизация климата, иссушение и опустынивание долины и дельты Сырдарьи, интенсивное засоление почв, изменение уровня грунтовых вод, снижение продуктивности пастбищ. Более 70% осушенного дна моря составляют солончаки. Соль и пыль, выносимые с высохшего дна Арала, представляют опасность для здоровья местного населения. Многолетние исследования показали, что темпы естественного зарастания низкие, особенно медленно формируется растительность на полосе осушенного дна моря. Стадия однолетних солянок, семена которых приносятся морем, недолговечна, 2–3 года, после чего наступает «пауза» в зарастании [53].

Климат района исследований резко континентальный. По данным метеостанции «Аральское море» максимальные и минимальные значения температуры воздуха составляют $+43^{\circ}\text{C}$ и минус 42°C соответственно. Безморозный период со среднесуточной температурой $+5^{\circ}\text{C}$ продолжается 200–220 дней. Годовое количество осадков (по данным за 1998–2002 гг.) колеблется от 96,7 до 143 мм, в среднем 127,5 мм. Среднегодовая температура воздуха $+9,3^{\circ}\text{C}$. Засушливый период нередко длится с мая по октябрь. Активная ветровая деятельность продолжается в течение всего года. Среднемесячная скорость ветра составляет более 4 м/с, максимальная колеблется от 15 до 28 м/с. В среднем 20 дней в месяц дуют ветры более 10 м/с. Ветровой режим характеризуется преобладанием ветров северо-восточных направлений. В летний период усиливается роль ветров западных румбов, особенно в дельте Сырдарьи [54].

На процессы зарастания растительностью песчаных отложений, подверженных эоловому переносу, влияют: скорость и направление ветра, форма песчаных образований, местоположение существующих семенных баз и т.д.

Наблюдения за состоянием растительности и проведение геоботанических описаний проводились весной с 24 апреля 20 мая 2022 года на 93 точках. Это период, когда многие растения еще не вступили на начальную стадию вегетации, кроме некоторых видов. В связи с этим таксономическую принадлежность сухих остатков многих видов растений не удалось определить. Геоботаническое описание растительных сообществ проводилось согласно методике в пределах 100 м². Все точки наблюдений расположены в приморской равнине ОДАМ.

При анализе космических снимков получены показатели NDVI с космического аппарата Sentinel-2 за май 2022 года и за сентябрь 2021 года на территорию ОДАМ (рисунки 6.1 и 6.2). Для расчёта NDVI использовались 8 (ближний инфракрасный – NIR) и 4 (красный – RED) каналы, имеющие пространственное разрешение 10 м² на пиксель. NDVI является одним из самых распространённых индексов для решения различных задач оценки состояния растительного покрова и его динамики. Индекс принимает значения от 0,1 для разреженного растительного покрова пустынь до 0,9 для густых широколиственных и хвойно широколиственных лесов.

Водный режим точек наблюдений обусловлен грунтовым и атмосферным увлажнением. Поверхность почвы повсеместно усыпана ракушками в разной степени, что характерно для осушенного дна Аральского моря (рисунок 6.3а), местами наблюдается такыровидная трещиноватость поверхности почвы (рисунок 6.3б). Также встречаются солончаки корковые и пухлые (рисунок 6.3в) без растительности и участки, где доминирует лебеда Пратова (*Atriplex pratovii*). На некоторых лебедовых сообществах, состоящих из сухих прошлогодних остатков растений проективное покрытие почвы растениями, достигает 70% (рисунок 6.3г).

Формирование небольших участков песчаного плаща в естественных условиях способствует появлению лебеды Пратова – вида начальных стадий первичной сукцессии. Лебеда Пратова готовит условия для внедрения других видов, последовательно сменяющих друг друга в направлении к зональной растительности. Завершающей стадией смены будут черносаксаульники [55].

На территории исследования имеются 10 участков саксауловых насаждений (*Haloxylon ammodendron*) 3–10 (15)-летнего возраста, которые постепенно распространяются самосевом и на другие участки.

На территории исследования из галофитных кустарников наиболее распространенным видом является сарсазан шишковатый (*Halocnemum strobilaceum*) меньшее распространение имеет соляноколосник Беланжеровский, карабарак (*Halostachys belangeriana*), изредка встречается поташник каспийский (*Calidium casrica*). Гребенщики, тамариксы (*Tamarix elongate*, *T. ramosissima*, *T. hispida*) и другие вышеперечисленные кустарники способствуют образованию фитогенных бугров, где происходит зарастание пустошей травянистыми растениями: солеросом европейским (*Salicornia europea*), лебедой Пратова (*Atriplex pratovii*), видами сведы (*Suaeda*), климакоптерой аральской (*Climacoptera aralensis*), солянкой натронной (*Salsola nitraria*), бассией иссополистной (*Bassia hyssopifolia*), солянкой австрийской (*Salsola australis*), стригозеллой завитой (*Strigosella circinata*), крестовника Ноя (*Senecio noeanus*) и др.

Местами встречаются сообщества лебеды Пратова, занимающие значительные площади, которые по почвенно-экологическим условиям являются подходящими территориями для проведения лесомелиоративных мероприятий (рисунок 6.3г).

Резкое снижение уровня воды в Аральском море с 1961 года привело к образованию новой суши на площади более 1 млн. га в пределах Республики Казахстан. Основными экологическими последствиями усыхания моря стали аридизация климата, иссушение и опустынивание долины и дельты Сырдарьи, интенсивное засоление почв, изменение уровня грунтовых вод, снижение продуктивности пастбищ. Более 70% осушенного дна моря составляют солончаки. Соль и пыль, выносимые с высохшего дна Арала, представляют опасность для здоровья местного населения. Многолетние исследования показали, что темпы естественного зарастания низкие, особенно медленно формируется растительность на полосе осушенного дна моря. Стадия однолетних солянок, семена которых приносятся морем, недолговечна, 2–3 года, после чего наступает «пауза» в зарастании [53].

На долгие годы территории оставались без растительности, являясь источниками выноса солей, песка и пыли. Существуют неоспоримые признаки изменения климатических условий, особенно бури и ветры с увеличивающейся частотой и силой, которые приводят к экологической дестабилизации региона. Основными источниками выноса соли являются пухлые и частично корковые солончаки. Развитие абсолютных пустошей связано с неблагоприятными почвенно-грунтовыми условиями и отсутствием семенных банков многолетних видов растений.

По ботанико-географическому районированию территория относится к Северотуранской провинции Западно-Северотуранской подпровинции Ирано-Туранской подобласти.

В Северном Приаралье ведущую роль в растительном покрове играют серополынные и белоземельнополынные (*Artemisia semiarida*, *A. terrae-albae*) пустыни, местами в комплексе с чернополынниками, биюргунниками и однолетнесолянковыми сообществами (*Artemisia pauciflora*, *Anabasis salsa*, *Salsola* spp., *Climacoptera* spp.). Псаммофитные пустыни на бугристых слабозакрепленных песках представлены псаммофитнокустарниковыми (*Calligonum aphyllum*, *Ammodendron bifolium*, *Astragalus brachypus*) и псаммофитнополынными (*Artemisia arenaria*, *A. quinqueloba*, *A. santolina*, *A. tomentella*) сообществами. Для маломощных песков характерны черносаксаульники (*Haloxylon ammodendron*) [48]. Для осушенного дна Аральского моря (ОДАМ) характерно распространение солончаковых пустошей без

растительности или с единичными группировками однолетних солянок (*Climacoptera aralensis*, *Petrosimonia triandra*, *Bassia hyssopifolia*) и галофитных кустарников (*Tamarix spp.*, *Halostachys belangeriana*, *Nitraria schoberi*) [52].

Флора ОДАМ насчитывает 368 видов сосудистых растений, относящихся к 43 семействам и 178 родам. К ведущим семействам относятся: *Amaranthaceae* (*Chenopodiaceae*), *Asteraceae*, *Polygonaceae*, *Brassicaceae*, *Roaceae*. Наиболее крупнороды: *Calligonum* (35 видов), *Artemisia* (14), *Salsola* (13), *Atriplex* (12), *Astragalus* (11), *Tamarix* (10), *Suaeda* (9), *Climacoptera* (5) и *Corispermum* (5) [56].

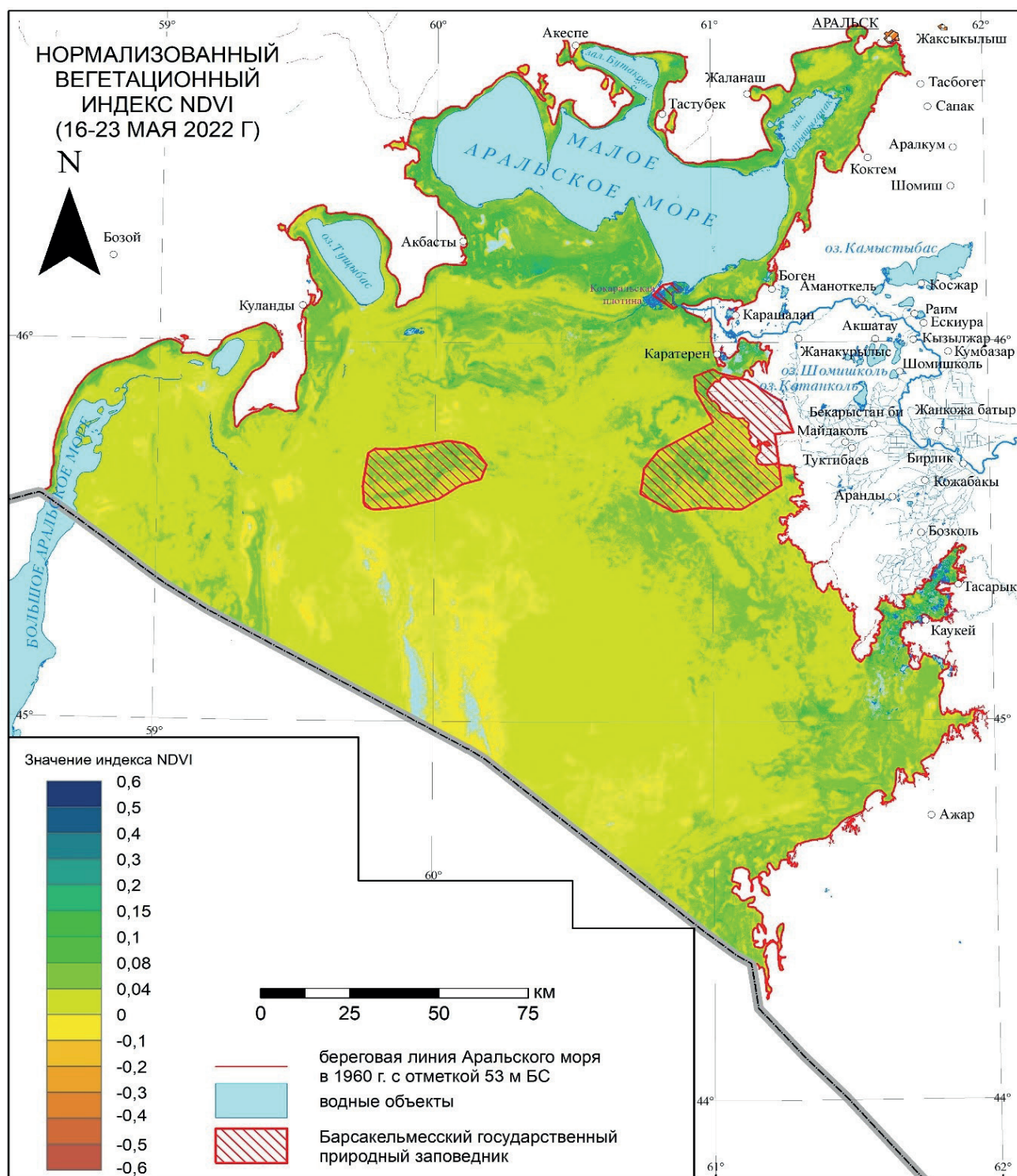


Рисунок 6.1. Нормализованный вегетационный индекс по ДДЗ Sentinel-2 – май 2022 г.

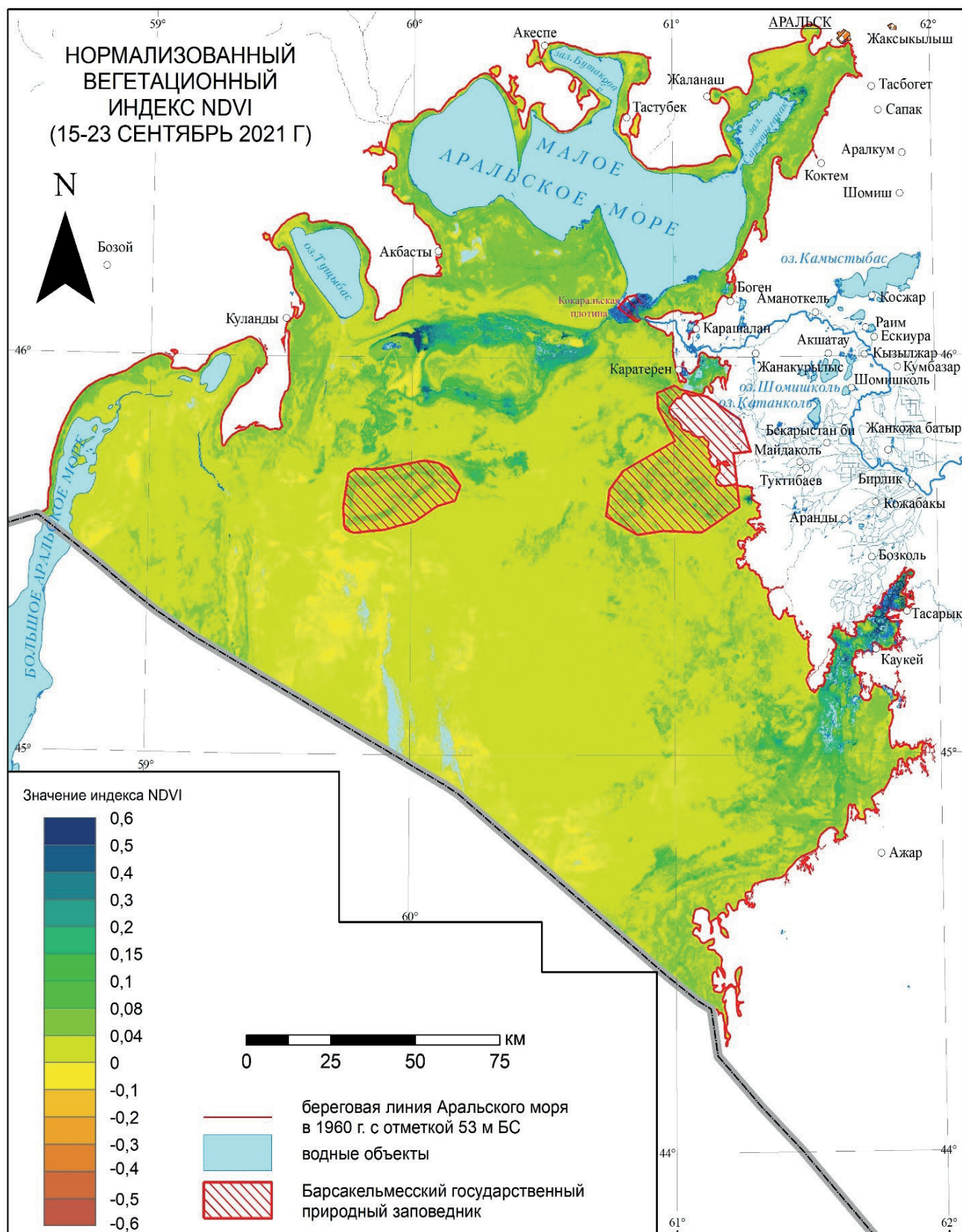


Рисунок 6.2. Нормализованный вегетационный индекс по ДДЗ Sentinel-2) сентябрь 2021 г.)



а)



б)



в)



г)

Рисунок 6.3. Состояние поверхности почвы:
а) наличие ракушек, б) такыровидная трещиноватость,
в) солончаки корково-пухлые, г) лебедовое сообщество

6.2. Проведение фитомелиоративных мероприятий

Изучение возможностей и лесомелиоративное освоение.

Задача фитомелиорации ОДАМ встала перед учеными и лесоустроителями уже на начальных этапах отступления Аральского моря. В середине 1980-х годов были разработаны рекомендации, предложены основные методы фитомелиорации и ассортимент фитомелиорантов [49, 57, 58]. Первые результаты были получены на слабозасоленных песках юго-восточного побережья (Босай). Из испытанных 19 видов растений, хорошая приживаемость была отмечена у саксаула черного и белого, гребенщика щетинистоволового и Гогенаккера, периодический полив слабо минерализованными водами оказывал благотворное влияние на приживаемость посадочного материала. Исследователи, проводившие первые испытания, считали, что целесообразно осваивать только песчаные и супесчаные равнины, а засоленные глинистые и суглинистые почвы, солончаки непригодны для фитомелиорации и требуют мероприятия по коренной мелиорации. Масштабы осушения и обнажения огромных площадей разной литологии, вынос соли, песка и пыли потребовали проведения фитомелиоративных мероприятий на всех типах почвогрунтов, включая солончаки и приморские почвы тяжелого механического состава.

В 1985 году в Каракалпакстане был создан опорный пункт СредазНИИЛХ [59]. Первоочередной задачей было разработать и внедрить методы фитомелиорации обсохшего дна Аральского моря. Цель – предотвращение отрицательных экологических последствий проблемы Арала и формирование пустынных искусственных пастбищ путем фитомелиорации [60]. В ходе проведенных экспериментов удалось выяснить, что одним из путей снижения отрицательных последствий осушения моря является создание на освободившейся от воды части дна защитных насаждений из крупных кустарников. Они будут тормозить вынос песка, пыли и частично солей, а в дальнейшем смогут в определенной мере компенсировать потерю пастбищ в Приаралье. В связи с сокращениями по государственному бюджету институтом УзНИИЛХ совместно с Каракалпакским опорным пунктом и со специалистами Академии наук Каракалпакстана в небольших объемах продолжают эксперименты по лесомелиорации осушенного морского дна. За последние 15–20 лет на основе разработанной рекомендации института СредазНИИЛХ [61], лесоводами Каракалпакстана проведены лесомелиоративные работы на осушенной части Аральского моря. По данным Управления лесного хозяйства республики порядка 225478 гектаров. Кроме лесоводов Каракалпакстана принимают активное участие по проведению лесомелиоративных мероприятий и международные организации: МФСА – около 10 тыс. га и Германское техническое сотрудничество (German Technical Cooperation) – около 30 тыс. га [62].

Работы по созданию лесных насаждений с закреплением подвижных песков на высохшем дне Аральского моря в пределах территории Казахстана ведутся с 1995 г. С 2000 года к этой работе подключились международные организации, в частности Германское общество по техническому сотрудничеству (GIZ), МФСА, Всемирный банк, Глобальный Экологический Фонд (GEF), Экологический фонд Японии, Посольство Японии и др. [7].

В период с 2018 по 2020 г. Комитетом лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан совместно с корейской Лесной службой Республики Корея и Фондом сохранения биоразнообразия Казахстана было высажено 5 млн. саженцев саксаула на площади 13,3 тыс. га в пересыхающей подошве Аральского моря. Работа реализована в рамках проекта «фито-лесомелиорация сухостоя Аральского моря в Кызылординской области» и профинансирована Корейской Лесной службой в размере 1,7 млн.

В связи с этим, начиная с 1980 г., песчаные и соляные бури сокращаются путем посадки саксаульных деревьев на территории ОДАМ. Ежегодно лесными хозяйствами Кызылординской области на площади 10 тыс. га высаживается саксаул, в том числе 6,5 тыс. га на территории осушенного дна. В Казалинском лесопитомнике для лесомелиоративных

работ на осушенном дне Аральского моря по переходу от посева к посеву саксаульных насаждений выращиваются и готовятся саженцы саксаула. Питомник площадью 32 га способен выращивать более 4 миллионов саженцев саксаула в год. С 1980 по 2020 года на высохшем дне Аральского моря высажено более 190 тыс. га саксаульного леса.

Учитывая, что в пределах казахстанской территории осушенного дна Аральского моря древесная и кустарниковая растительность занимает не более 15-20% площади осушки, а процесс естественного самозарастания значительно отстает от темпов образования новой суши перед учеными КазНИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации была поставлена цель изучить возможность лесомелиоративного освоения образовавшейся суши восточного побережья с целью снижения дефляционных процессов и соле-пылевых выбросов в атмосферу. Прежде чем приступить к исследованиям и закладке опытных объектов были проанализированы имеющиеся сведения о природной обстановке, сложившейся на обнаженном дне, проанализирован собственный опыт лесомелиоративных работ в пустынном регионе Приаралья по закреплению подвижных песков и созданию защитных насаждений на пустынных почвогрунтах. С этой целью в 1985 г. была организована экспедиционная поездка сотрудников института и специалистов лесного хозяйства Кызылординской области на осушенное дно Аральского моря и в Приаральский регион. Полученные сведения позволили всю поверхность бывшего морского дна объединить по лесорастительным условиям в две крупные группы: все типы подвижных песков, на которых создание защитных насаждений без дорогостоящих мероприятий по предварительной фиксации песчаного рельефа невозможно и равнинные донные отложения различной литологии, где облесение возможно без фиксации рельефа. Дальнейшее изучение лесорастительных условий позволило на равнинных донных отложениях выделить три типа групп лесорастительных условий (рисунок 6.4.).

В первую группу – хорошие лесорастительные условия – входят равнины с песчаными и супесчаными отложениями. Физико-механические показатели этих почв характеризуются однородным песчаным составом по всему профилю. Максимальное содержание легкорастворимых солей в почвогрунте до верхнего уровня грунтовых вод не должно превышать 0,8%, в т.ч. ионов хлора не более 0,3%. Грунтовые воды должны находиться на глубине 1,5–2,0 м и иметь степень минерализации до 45 г/л. Площади с грунтами легкого механического состава относятся к перспективным для создания лесных культур и защитных насаждений.

Во вторую группу – удовлетворительные лесорастительные условия – входят равнинные донные отложения с навейным песчаным чехлом (приморские почвы). Физико-механические показатели: до 30 см связанный песок, дальше по глубине суглинистые почвы. Максимальное содержание солей до 2,2%, в т.ч. ионов хлора не более 0,8% до верхнего уровня грунтовых вод. Последний должен залегать на уровне 1,8–2,0 м и иметь минерализацию до 50 г/л.

В третью группу – условно лесопригодные почвы – входят равнины с донными отложениями тяжелой литологии (корковые солончаки на приморских почвах и приморские солончаки). Максимальное содержание солей не более 2,3%, в т.ч. ионов хлора 0,9% в почвогрунте до верхнего уровня грунтовых вод, минерализация которых не должна превышать 60 г/л и глубиной 1,8–2,3 м. Одновременно с изучением лесорастительных условий был проанализирован и обобщен опыт облесения пустынь Казахстана и Средней Азии [63].

С целью снижения отрицательного влияния процесса усыхания и ускорения зарастивания донных отложений первые производственные посадки и посевы саксаула на казахстанской части ОДАМ были начаты в 1988 г. Сотрудниками КазНИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации была разработана технология [64]. К 1994 г. было создано 54 тыс. га лесных насаждений. В 1995 г. работы по облесению были прекращены [65]. Лесомелиоративные работы продолжились с 2002 г. На посев и посадку саксаула выделялись бюджетные средства, а также гранты международных фондов (МФСА, GTZ/CCD, японских экологических организаций). В рамках проекта ГЭФ «Сохранение лесов и увеличение

лесистости территории Республики Казахстан» работы по лесомелиорации ОДАМ проводились в 2008–2014 гг., было создано около 56,5 тыс. га насаждений. Приживаемость насаждений варьировала от 5 до 40%. Эффективность лесомелиорации зависела от правильности выбора участков, качества посадочного и посевного материала, соблюдения технологии, погодных условий.

Главными факторами, определяющими приживаемость саженцев, оказались суммарный эффект влияния токсичных ионов, определяющий степень засоления почв и общее количество токсичных солей, и гранулометрический состав корнеобитаемых горизонтов. Применение мелиоративных методов способствовало увеличению числа прижившихся растений в 2–6 раз. Посадка саженцев сарсазана и тамарикса на полосе осушки 70-х годов оказалась неэффективной, приживаемость не превышала 14% [66].

Мониторинг саксауловых насаждений. Одним из способов решения проблемы опустынивания Аральского региона является фитомелиорация (лесомелиорация). Защитные лесонасаждения положительно влияют на экологическое состояние окружающей среды. Во-первых, они сдерживают движение песков, сокращают выдувание соли и пыли с обсохшего дна моря. С целью решения данной проблемы создавались и создаются защитные лесонасаждения. В качестве защитных лесонасаждений на ОДАМ используется саксаул черный (*Haloxylon aphyllum*).

В сентябре 2015 г. осуществлен обследование состояния саксауловых насаждений 3–10(15)-летнего возраста на 10 участках. Для каждого участка проведены лесотаксационные измерения саксаула черного: возраст, численность, средняя высота, средняя площадь кроны, средний диаметр корневой шейки, наличие самосева; определялись общее проективное покрытие растительности, видовой состав сообщества, обилие по шкале Друде [67, 68].

Мониторинг лесопосадок на ОДАМ показал разное состояние саксауловых насаждений и эффективность лесомелиорации. Численность саксаула варьировала от 75 до 1400 экз./га, сохранность – от 22 до 90 (100)%. Средняя высота колебалась от 63 до 231 см; средняя площадь кроны – от 0,3 до 7 м²; среднее проективное покрытие саксаула в насаждениях – от 3 до 40%. Численность разновозрастных сеянцев в междурядьях варьировала от 1400 до 52000 экз./га. В некоторых саксаульниках сформировался фитогенный рельеф 20–40 см высотой, тем самым происходит аккумуляция песка и сдерживание его переноса. Территории лесопосадок на казахстанской части ОДАМ представлены на рисунке 6.5.

Обследованные учетные участки вышли на дневную поверхность в разные сроки: 1 – 2000 г., 2 (3) – 1990 г., 4 – 1987 г., 5 – 1988 г., 6 – 1986 г., 7 – 1988 г., 8 – 1995 г., 9 – 1986 г., 10 – 1985 г. Период континентального развития участков варьирует от 15 до 30 лет. За это время территории стали относительно лесопригодны, т.к. поверхностные горизонты рассолились. Естественный растительный покров является показателем экологических условий и благоприятности для проведения лесомелиорации. Индикатор наиболее благоприятных условий – лебеда Пратова (*Atriplex pratovii*). Поселение солянки натронной (*Salsola nitraria*) и бассии иссополистной (*Bassia hyssopifolia*) также показатели подходящих условий. Виды климакоптеры (*Climacoptera aralensis*, *C. ferganica*, *C. lanata*) индицируют рассоление поверхностного горизонта, но близкое залегание засоленных почвенных горизонтов, что может отразиться на приживаемости саксаула. По этим принципам были рекомендованы 12 участков. Предложено освоение лесомелиоративными мероприятиями сектора ОДАМ, расположенного между кластерными участками Барсакельмесского природного заповедника – «Каскакулан» и «Барсакельмес» [69].

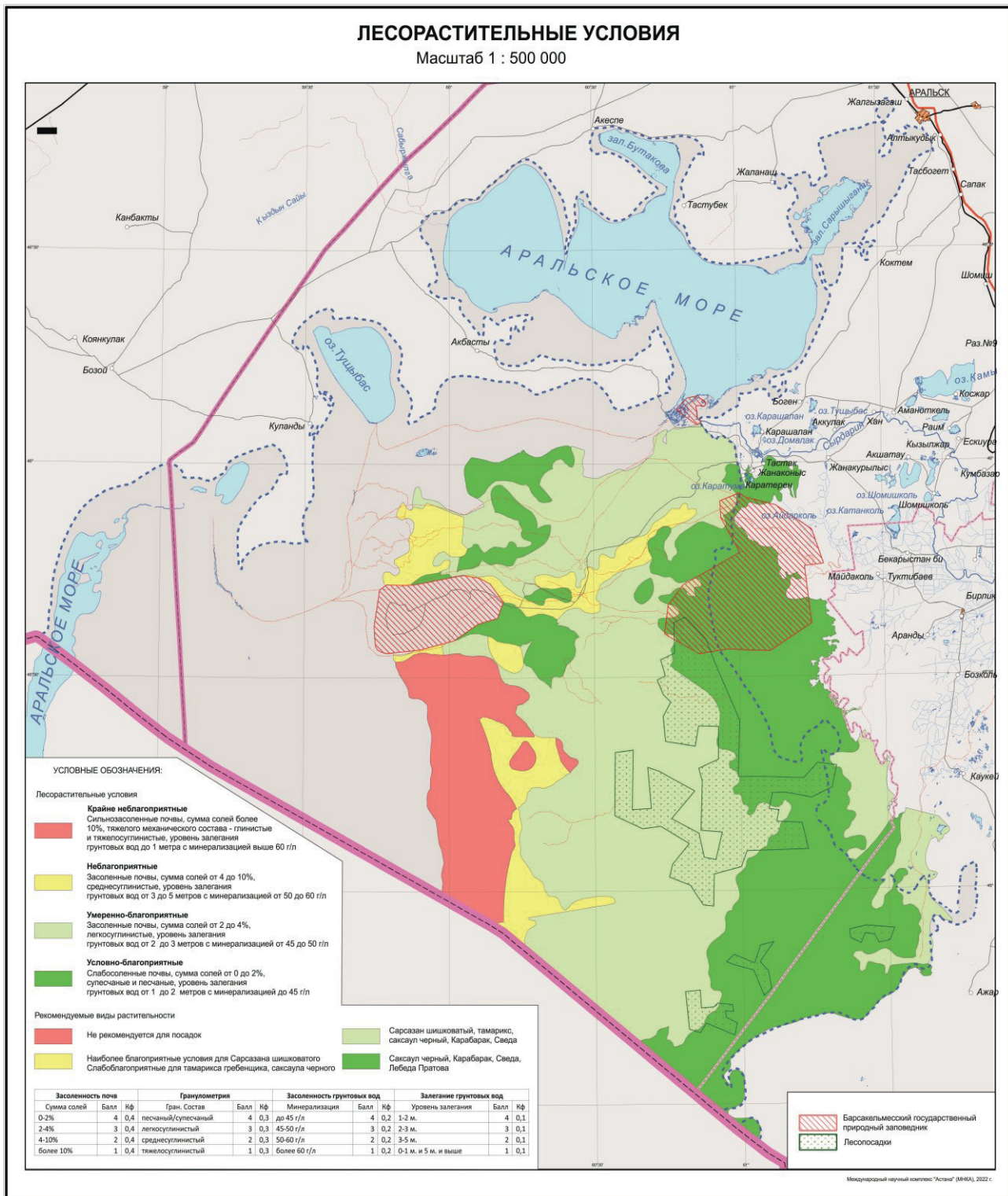


Рисунок 6.4. Лесорастительные условия ОДАМ

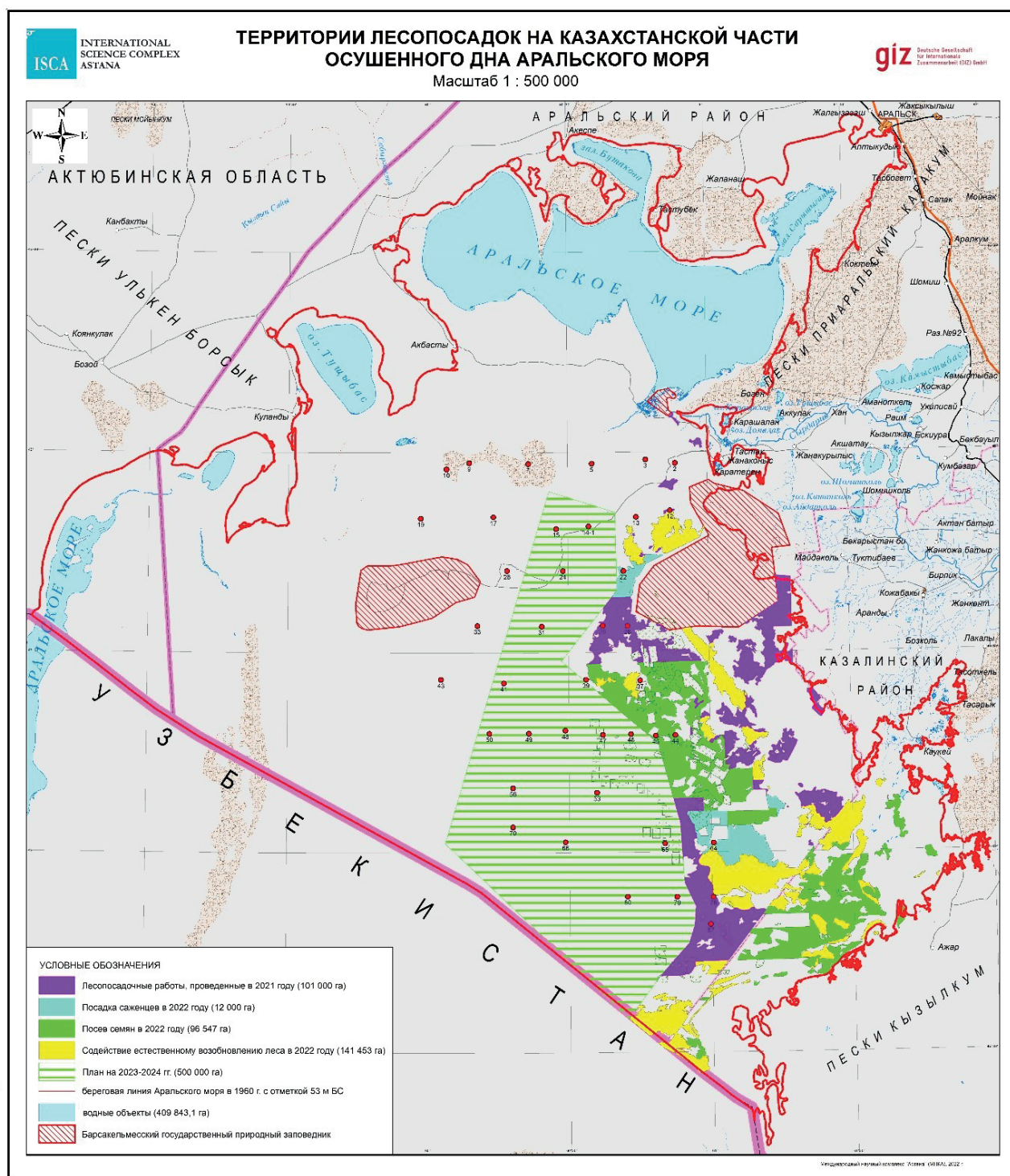


Рисунок 6.5. Территории лесопосадок на казахстанской части ОДАМ

6.3. Полевые исследования растительности

Методика исследования

В задачи ботанических исследований по определению состояния растительного покрова в весенний период входило определение видового состава и структуры растительных сообществ, оценка их современного состояния и выявление факторов, определяющих их трансформацию. Геоботаническое обследование растительности было выполнено на 93 точках, с целью выявления наиболее благоприятных участков для лесомелиорации.

Описание растительных сообществ проводилось параллельно с почвенными исследованиями на каждой точке. На точках производилось геоботаническое описание растительных сообществ, результаты которых заносились в специальные бланки. В названиях растительных сообществ доминанты были указаны на первом месте, а субдоминанты и сопутствующие виды в соответствующем порядке.

Полевое изучение растительности проводилось методом детально-маршрутного обследования с фиксированием координат точек описания прибором GPS. Некоторые точки не были посещены или перенесены ввиду их недоступности.

При изучении растительного покрова территории обследования использовались традиционные и современные методы геоботанических исследований [70–73].

Геоботаническое описание растительных сообществ проводится на предварительно установленных точках проектной территории в пределах 100 м², результаты которых вносятся в специально разработанные бланки описания. В бланках кроме стандартных показателей, характеризующих условия формирования растительности, отмечаются нарушения, признаки аномального развития, типы антропогенной нарушенности и примечания.

Все геоботанические описания пронумерованы и включают:

- географическое положение;
- название объекта;
- точка;
- номер описания;
- дата наблюдения;
- координаты (E/N);
- ландшафт;
- рельеф;
- почвы;
- водный режим;
- общее проективное покрытие, %;
- отмершая растительность, %;
- средняя высота кустарникового яруса, см;
- средняя высота травянистого яруса, см;
- название сообщества;
- доминанты;
- нарушения;
- признаки аномального развития;
- степень трансформации растительности;
- примечания, где указываются особые признаки, характеризующие локальные изменения растительного покрова.
- список видов;
- фитоценотическая роль видов;
- высота растений;
- обилие видов по шкале Друде;
- распределение видов;

- фенофаза (отмечаются следующие вегетационные фазы – вегетации, бутонизации, цветения, плодоношения и заканчивающие фазы развития, отмирающие и уже отмершие сухие растения);
- жизненность по пятибалльной шкале.

Для определения видов растений используются книги «Флора Казахстана», «Иллюстрированный определитель растений и Плантариум» [71–73].

Для оценки степени трансформации растительности обычно используется 3 балльная шкала, в которой выделяются следующие степени (градации) нарушенности:

- *фоновая и слабо нарушенная растительность*. В фоновых сообществах незначительное уменьшение (до 5%) сопутствующих видов, наблюдается небольшое изменение проективного покрытия. Появление в составе фоновых сообществ единичных синантропных видов. Изменения растительного покрова на уровне флуктуаций. В составе контуров не более 5% антропогенно производных сообществ;

- *умеренно (средне) нарушенная растительность*. В фоновых сообществах состав сопутствующих видов изменен на 10–30%. Образование разреженных группировок синантропных видов наряду с фоновыми сообществами в составе конкретного контура. Изменение экологического статуса видов, возрастание значения синантропных видов. Значительное изменение проективного покрытия: возрастание проективного покрытия на 10–25% при внедрении и разрастании синантропных видов в составе фоновых сообществ, или уменьшение проективного покрытия фоновых сообществ на 5–10% без внедрения синантропных видов. Повреждения растительного покрова носят локальный характер;

- *сильно нарушенная растительность*. В фоновых сообществах исчезновение большинства сопутствующих видов до 40–60%. В составе растительных сообществ конкретного контура значительное внедрение и разрастание более 50% синантропных группировок.

Результаты обследования

Наблюдения за состоянием объектов растительного мира и средой их произрастания проводились на заранее обозначенных точках сектора ОДАМ, расположенного между кластерными участками Барсакельмесского природного заповедника – «Каскакулан» и «Барсакельмес» в период с 23 апреля 9 мая 2022 года на 93 точках.

Характеристика растительных сообществ каждой точки с указанием даты, ландшафта, рельефа, общего проективного покрытия почвы растениями (ОПП) и общего количества видов в каждом сообществе приведены в таблице 1, где эта таблица, в 12.3.1 не приведены никакие результаты обследования, где также были указана предварительная приуроченность растительных сообществ к почвам, которые будут уточнены после проведения лабораторных исследований почвенных образцов.

Краткая характеристика основных видов растений

Саксаул черный (Haloxylon aphyllum) – засухоустойчивое и солеустойчивое пустынное дерево высотой до 7 м. Относится к соленакапливающим галофитам (эугалофитам). Высота растения меняется в зависимости от условий местообитания. При глубоком залегании грунтовых вод образует форму кустарника высотой 1,5–3 м, на почвах с близкими грунтовыми водами имеет древовидную форму. Произрастает на разных типах почв от такырных до песчаных, но лучшее развитие получает на супесчаных и суглинистых разновидностях почв с относительно близкими грунтовыми водами (от 4 до 10 м). Цветет в апреле-мае. Опыление происходит с помощью ветра. Семена созревают в октябре-ноябре. Лабораторная всхожесть свежесобранных семян очень высокая – 92–94% Грунтовая всхожесть низкая, от 5 до 12%, но при правильной агротехнике она возрастает до 28%. Теряет всхожесть в течение полугода. Наиболее перспективен подзимний посев. Это обеспечивает естественную стратификацию семян. Семена сохраняют высокую всхожесть в 1–2% растворе NaCl. В первый год вегетации сеянец достигает высоты 30–35 (50) см. Корень углубляется на 120–150 см, в горизонтальном направлении – на 80–100 см. На щебнистой и гипсированной почве корни растут медленнее.

На осушенном дне Арала может произрастать в широких по экологической амплитуде условиях – при уровне грунтовых вод от 1 до 3 м и ниже на почвах разной литологии: в песках, супесях, суглинках, глинах и засолении поверхностных горизонтов от 0,2 и свыше 7%. Доминирует при засолении горизонта 0–10 см от 0,2 до 4% и уровне грунтовых вод 1–2 м на суглинках и глинах и 1–1,5 – на песках и супесях.

Тамарикс, гребенщик (Tamarix elongate, T. ramosissima, T. hispida) – солеустойчивый, засухоустойчивый и светолюбивый кустарник высотой 1,5–2,5 м. Относится к солевывделяющим галофитам (криногалофитам), у которых избыток соли выделяется через солевывводящие железки. Опыление происходит с помощью насекомых, реже ветром. Взрослые растения могут выносить засоление до 40% и сильную минерализацию грунтовых вод. Всходы и молодые особи выдерживают не более 0,5% солей в корнеобитаемых горизонтах почв. Корневая система может достигать до глубины 7–8 м. От главного корня на глубине 15–50 см отрастают боковые. Корневые системы тесно связаны с грунтовыми водами. По мере снижения грунтовых вод корни могут углубляться за ними. При засыпании кустарников песком образуются придаточные корни, отходящие от стебля и заменяющие собой корневую систему. Цветут тамариск с весны по осень. После опыления образуются коробочки с мелкими семенами (вес 1000 семян менее 1 г). На влажной почве семена прорастают в течение 2–3 дней. Семена сохраняют всхожесть в течение нескольких месяцев. В природе тамарикс размножается семенами, а также при помощи пневной, корневой поросли, укоренение ветвей, в искусственных условиях – с помощью черенков. Предпочитают близкие (1,5–3,5 м) грунтовые воды.

Сарсазан шишковатый (Halocnemum strobilaceum) – солеустойчивый полукустарник высотой от 30–40 до 50–70 см. Относится к эугалофитам. Образует куртины более 1 м в диаметре. Семена образуются в результате самоопыления или с помощью ветра. Размножается семенами и вегетативно. Семенное возобновление происходит на влажных и мокрых солончаках с капиллярной каймой у поверхности почвы. Всхожесть семян составляет 80–90%. В первый год проростки развивают главный корень на глубину 30 см с боковыми разветвлениями 10–12 см длины и стебель 5–10 см высоты. У взрослых особей корень достигает глубины 0,5 м, а боковые и придаточные корни при длине 1,5–3 м развивают вертикальные тяжи до 2–1,5 м и разветвляются в зоне капиллярной каймы. Цветение происходит на 2–3 год жизни. В возрасте 8–12 лет особи семенного происхождения отмирают. При понижении уровня грунтовых вод ниже 3 м растение перестает плодоносить, а ниже 4–5 м – отмирают. Сарсазан выдерживает засоление почвы выше 50% и минерализации грунтовой воды свыше 100 г/л. Размножается сеянцами и укорененными черенками.

На осушенном дне Арала может произрастать при уровне грунтовых вод от 0,5 до 3 м и ниже, засолении от 0,2 до 7% и выше на почвогрунтах разного мехсостава: песках, супесях, суглинках и глинах. Доминирует при засолении поверхностных горизонтов от 1 до 7% и уровне грунтовых вод 0,5–1,5 м на суглинках и глинах и 0,5–1 м – на песках и супесях.

Солерос европейский (Salicornia europaea) – однолетник, Солерос европейский представляет собой однолетнее травянистое голое зеленое растение, высота которого будет колебаться в промежутке между десяти и тридцати пяти сантиметрами. Стебель этого растения является членистым и почти всегда он будет прямостоячим, он наделен супротивными голыми и членистыми ветвями, а иногда такой стебель может быть краснеющим. Надземная часть содержит алкалоиды, дубильные вещества, антоцианы. Используется как потогонное, слабительное, улучшающее пищеварение, противовоспалительное, мочегонное, противочинготное, инсектицидное, овощное сырье применяется в народной медицине.

Тростник обыкновенный (Phragmites australis) – корневищный злак высотой от 2,5 до 9 м, средняя высота около 2 м. В молодом возрасте тростник содержит много сахаров, и в это время лошади, крупный рогатый скот поедают его весьма охотно. Хуже поедают его овцы, козы и верблюды. Однако еще до выбрасывания метелки он становится настолько грубым, что

скот на пастбищах поедает его неохотно. Причина – сильное огрубение и резкое увеличение в тростнике непереваримых веществ. Встречается повсеместно. Как лекарственное сырье содержит витамины группы В, РР, Н, антоцианы, углеводы, алкалоиды, тритерпеноиды, фенольные соединения, гетероциклические кислородсодержащие соединения, флаваноиды, применяется в экспериментальной, восточной и народной медицине. Жаропонижающее, диуретическое, желчегонное, противорвотное, детоксикационное, потогонное, бактерицидное, витаминное.

Лебеда Прадова (Atriplex pratovii) Однолетняя трава с растопырено-ветвистым от самого основания стеблем 10–80 см высотой, серебристо – серая от мучнистого налета. Листья многочисленные, очередные, удлинненно-треугольные, расширенные в нижней части. Цветки однополые, с 5 тычинками, пестичные без околоцветника, собранные в плотные клубочки. Общее соцветие имеет форму колоса, в котором выделяются ромбические прицветники. Семена относительно крупные, до 4 мм длиной, окрашенные в различные оттенки коричневого и светло – бурого цвета.

Цветет в июле – августе, плодоносит в сентябре – октябре. Растет на приморских солончаках и песках, а также супесчаных и суглинистых почвах различной степени засоления. Узколокальный эндемик побережья Аральского моря в пределах Казахстана и Узбекистана. Кормовое растение

Занесен в Красную книгу Казахстана как сокращающийся в численности вид. Индикатор осушки Аральского моря и снижения уровня поверхностных грунтовых вод. Отличается нестабильной численностью. На начальных стадиях осушки Аральского моря отмечалось широкое распространение вида, но дальнейшее отступление моря привело к сокращению зарослей. Охраняется на территории Барсакельмесского заповедника.

Соляноколосник Беланжеровский, карабapak (Halostachys belangeriana) - монотипный род семейства Амарантовые. Мелкий и средний кустарник. Галофит. Распространён на Кавказе, в Средней и Центральной Азии. Растёт как кустарник до высоты и ширины 1–3 метров. Стебли прямостоящие и сильно разветвлённые, старые стебли в основном голые. Молодые стебли сине-зелёные, мясистые, членистые. Супротивные листья мясистые, голые, согнуты к основанию и охватывают стебель (образуя таким образом узлы), с короткими треугольными чешуйчатыми листовыми пластинками.

Соцветия состоят из многочисленных супротивных боковых цилиндрических шипов 15–30×2–5 мм, на членистых цветоножках. Группы из трех обоеполых цветков сидят в пазухах ромбических или квадратных прицветников. Противоположные прицветники не связаны друг с другом. Яйцевидной формы с уменьшением к основанию обратно пирамидальный околоцветник состоит из трех сросшихся листочков околоцветника. Есть одна тычинка, выступающая из цветка. Овальная завязь имеет два рыльца. Фаза цветения и плодоношения длится с июля по ноябрь. Плод прикрыт мясистым, несколько завышенным, трехглавым, блестящим околоцветником. Околоплодник пленочный. Прямостоящее семя является продолговатым и красно-коричневым, содержащим полукруглый эмбрион и обильный эндосперм (питательные вещества).

Сведа заостренная (Suaeda acuminata) – Однолетнее растение 10–75 см высотой, голое, прямое, с косо вверх направленными ветками, часто с красноватым стеблем. Как кормовое растения для скота особой ценности не имеет. Встречается: на солончаках

Сведа простертая – (Suaeda prostrata) – Однолетнее растение 10–75 см высоты, голое, б. ч. прямое, с косо вверх направленными ветвями, часто с красноватым стеблем. Встречается на засоленных почвах. Надземная часть содержит сапонины стероидные, алкалоиды. Используется как слабительное, противодиабетическое сырье. Применяется в народной медицине. Как кормовое растения для скота особой ценности не имеет.

7. ЗОНЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

Экологический риск рассматривается в целом в трактовке Н.Ф. Реймерса, как количественная и/или качественная оценка экологической опасности неблагоприятного воздействия на окружающую среду [74], т.е. вероятность наступления неблагоприятных (преднамеренных или случайных, постепенных и/или катастрофических) последствий любых антропогенных изменений природных объектов и факторов.

Некоторые исследователи уточняют [75], что экологический риск подразумевает заблаговременно оцениваемые вероятность и степень опасности возникновения при том или ином вмешательстве в природную среду таких нарушений, которые могут быть неблагоприятными для дальнейшего функционирования и существования экосистем как непосредственно в зоне антропогенного воздействия, так и за ее пределами.

Геоэкологические риски представляют, по мнению многих исследователей, частный вариант экологических рисков. По сути, это проявление возможных опасностей и ущербов медико-биологического, экономического и социального характера, исходящих от геологической составляющей окружающей среды.

Одним из действенных инструментов является анализ риска, или риск-анализ, который позволяет определить источники экологического риска, потенциальные аварии и катастрофы, последовательность развития событий, величину риска и последствий, пути предотвращения аварий и смягчения последствий.

Схему риск-анализа можно последовательно разложить на следующие этапы:

- идентификация риска: определение возможных опасностей и ущербов;
- выявление источников риска: очаги соле-пылепереноса;
- определение факторов риска: природные (климат, пыльные бури, опустынивание)

Антропогенные (выпас скота);

- определение реципиентов риска: природные системы осушенного дна Аральского моря;
- выбор методов оценки риска: картографический, экспертный;
- управление риском: разработка рекомендаций по снижению экологического риска и предотвращения последствий рискованных ситуаций.

Картографические методы анализа геоэкологических рисков позволяют создавать математико-картографические модели, отражающих динамику или взаимосвязи процессов и явлений, находить оптимальные решения по предотвращению рисков, осуществлять визуализацию данных, полученных количественными методами риск-анализа, экспертными оценками либо качественными «древями отказов». Более того, использование картографического обеспечения в риск-анализе позволяет не только составлять инвентаризационные и оценочные карты рисков, моделировать происходящие процессы, но и разрабатывать прогнозы развития ситуации, давать рекомендации на основе этих прогнозов, разрабатывать нормативные документы, оптимизирующие производственную деятельность.

В настоящее время не существует единых принципов составления экологических карт. На экологических картах должна отражаться степень отклонения состояния природных и природно-техногенных систем от естественного или нормативного состояния, иными словами, это устойчивость геологической среды или стабильность геосистем.

Основным содержанием экологических карт должна быть острота и сущность экологических проблем в пределах конкретных территориальных единиц. Задача экологических карт — содействие решению этих проблем путем отражения на них оценки состояния природных и природно-техногенных систем в условиях различных техногенных нагрузок. По своей совокупности нескольких частных оценок состояния геосистем экологические карты относятся к категории интегральных карт. Экологические карты помимо

оценочных характеристик отражают взаимодействие человека с окружающей природной средой. Поэтому данный класс картографических материалов так же может быть и оценочным.

Экологические карты – карты постоянно изменяемых во времени и пространстве характеристик. Данный класс карт должен постоянно актуализироваться и подкрепляться новой информацией об изменениях экологических условий.

Для создания векторной версии карты необходима база данных, их актуализация, интеграция с аэрокосмической информацией, использования данных GPS, использование возможностей ArcGIS 10.8, ENVI 5.2, Agisoft PhotoScan, SNAP.

Информационное обеспечение геоинформационного подхода к реализации геоэкологического картографирования включают атрибутивные информационные данные тематических и топографических карт (векторных и растровых), актуальные аэро- и космические снимки, результаты наземных исследований, фондовые материалы, результаты обработки лабораторных данных.

Современная трансформация природной среды в Приаралье, имеющая региональный и глобальный масштабы, оценивается нами как антропогенно обусловленный процесс аридизации. Особенностью этого процесса является то, что пусковым механизмом выступил человек. 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 рассматривалась 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.

В этих условиях зонирование экологического риска казахстанской части осушенного дна Аральского моря проводилось на основе комплексного подхода, с учетом основных факторов, влияющих на лесорастительные условия и фитомелиорацию осушенного дна.

Основными источниками экологического риска для целей лесомелиорации осушенного дна Аральского моря явились:

- климатические опасности (опасность ухудшения условий влагообеспеченности вегетационного периода; опасность увеличения частоты и продолжительности пыльных бурь, суховеев);
- опасность маловодья (резких понижений/сезонных изменений уровней и площадей поверхностных водных объектов, опасность увеличения периодов маловодных лет);
- опасность повышения минерализации и понижения уровня залегания грунтовых вод;
- опасность увеличения засоленности и снижения плодородия почв;
- опасность деградации растительности, заболеваемости растений;
- опасность повышения степени опустынивания территории.

Для каждого из указанных экологических рисков была сделана оценка и составлены карты, отражающие основные количественные параметры и показатели уровня риска. Риск оценивался по 3 или 5 уровням, от низкого, среднего до высокого (переходные – выше среднего и ниже среднего уровни).

Оценка климатического риска оценивалась по 2 наиболее важным показателям, влияющим на лесорастительные условия и проведение фитомелиорации – опасность ухудшения условий влагообеспеченности вегетационного периода; опасность увеличения частоты и продолжительности пыльных бурь, суховеев. При оценке и картографировании климатического риска применен принцип приоритизации этих показателей. В связи с тем, что показатель влагообеспеченности вегетационного периода является комплексным показателем, учитывающим сумму осадков за холодный и теплый периоды, а также сумму температур

периода активной вегетации (май–август), ему присвоен коэффициент приоритизации 0,7. Второму показателю – опасности увеличения частоты и продолжительности пыльных бурь, суховеев, в связи с проведенной оценкой снижения их частоты и продолжительности, присвоен коэффициент 0,3. На основе применения методов геоинформационного картографирования проведено слияние контуров указанных карт и получена синтетическая карта климатического риска (рисунок 7.1). На карте показаны территории с высоким, средним и низким риском развития указанных опасных климатических явлений. На основе описанного подхода созданы синтетические карты для всех основных природных опасностей, влияющих на лесорастительные условия.

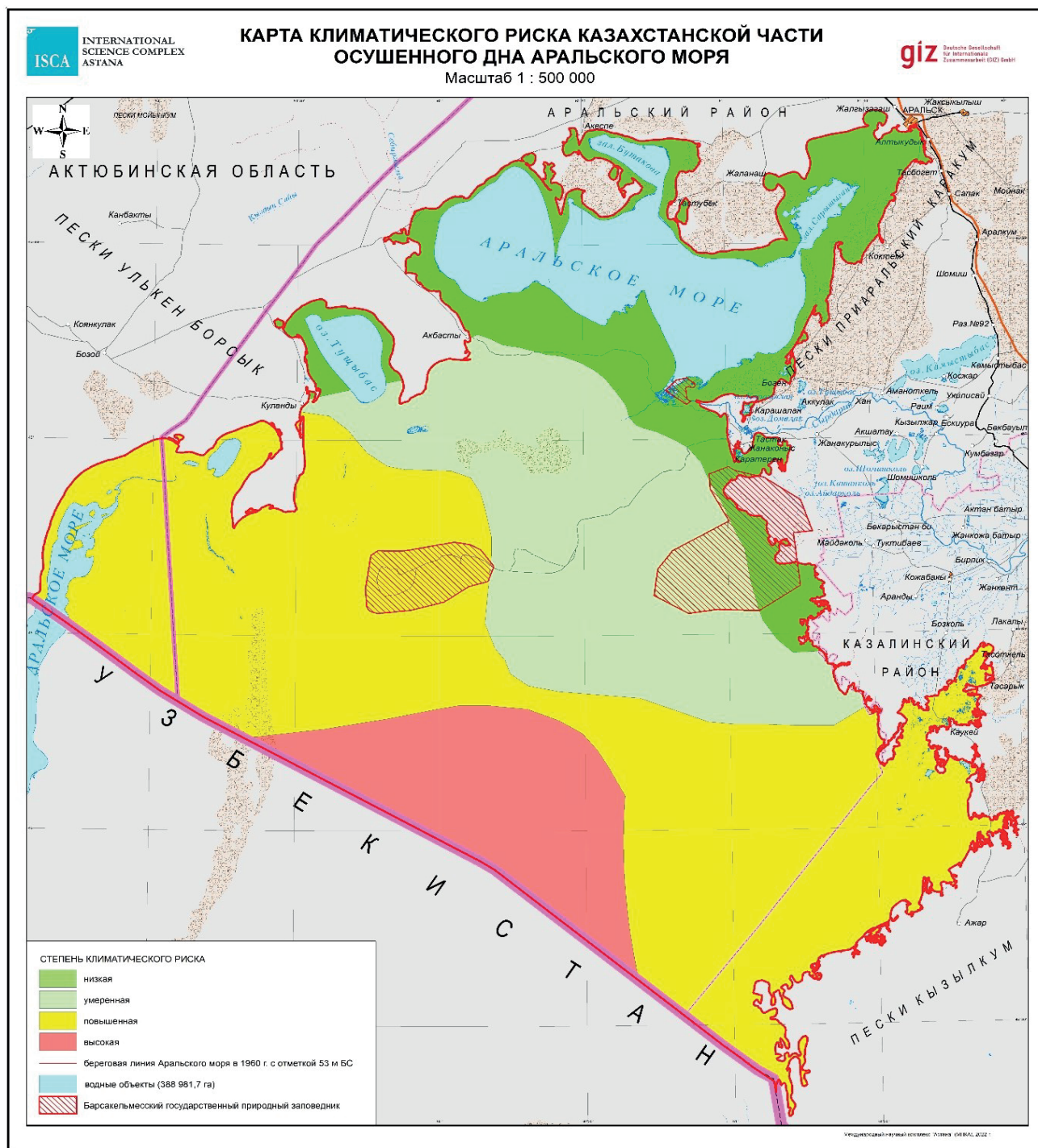


Рисунок 7.1. Карта климатического риска ОДАМ

Рассмотрев и оценив основные риски для фитомелиорации ОДАМ, была составлена комплексная интегральная карта зонирования экологического риска казахстанской части осушенного дна Аральского моря в масштабе 1:500000 (рисунок 7.2). При ее создании из серии оценочных карт риска также был применён коэффициент приоритетизации, основанный на экспертном анализе.

Количественные и качественные показатели позволили ранжировать территорию ОДАМ по четырем зонам а: низкого, умеренного, повышенного и высокого экологического риск (рисунок 7.2). Каждая зона характеризуется качественными и количественными параметрами по 11 показателям, кроме того, вычислены их точные площади распространения (таблица 8.1).

Таблица 8.1. Зоны экологического риска

№	Наименование	Площадь, га
1.	Зона низкого экологического риска	675 020
2.	Зона умеренного экологического риска	754 997,4
3.	Зона повышенного экологического риска	330 443
4.	Зона высокого экологического риска	1 306 599

Определяющая специфическая особенность ГИС состоит в том, что основой этой базы данных являются не только исходные материалы в виде базовых карт, аэро- и космических фотоснимков, и табличных данных полевых изысканий, но и результаты их тематической обработки, т.е. специализированные карты, составляемые по данным дешифрирования материалов дистанционного зондирования и полевых работ.

Поскольку эти карты по направленности и содержанию являются оценочными и содержат в структуре качественные и количественные оценочные показатели, то они могут являться объективной информационной основой для разработки комплексной карты зонирования экологического риска и разработки управленческих решений.

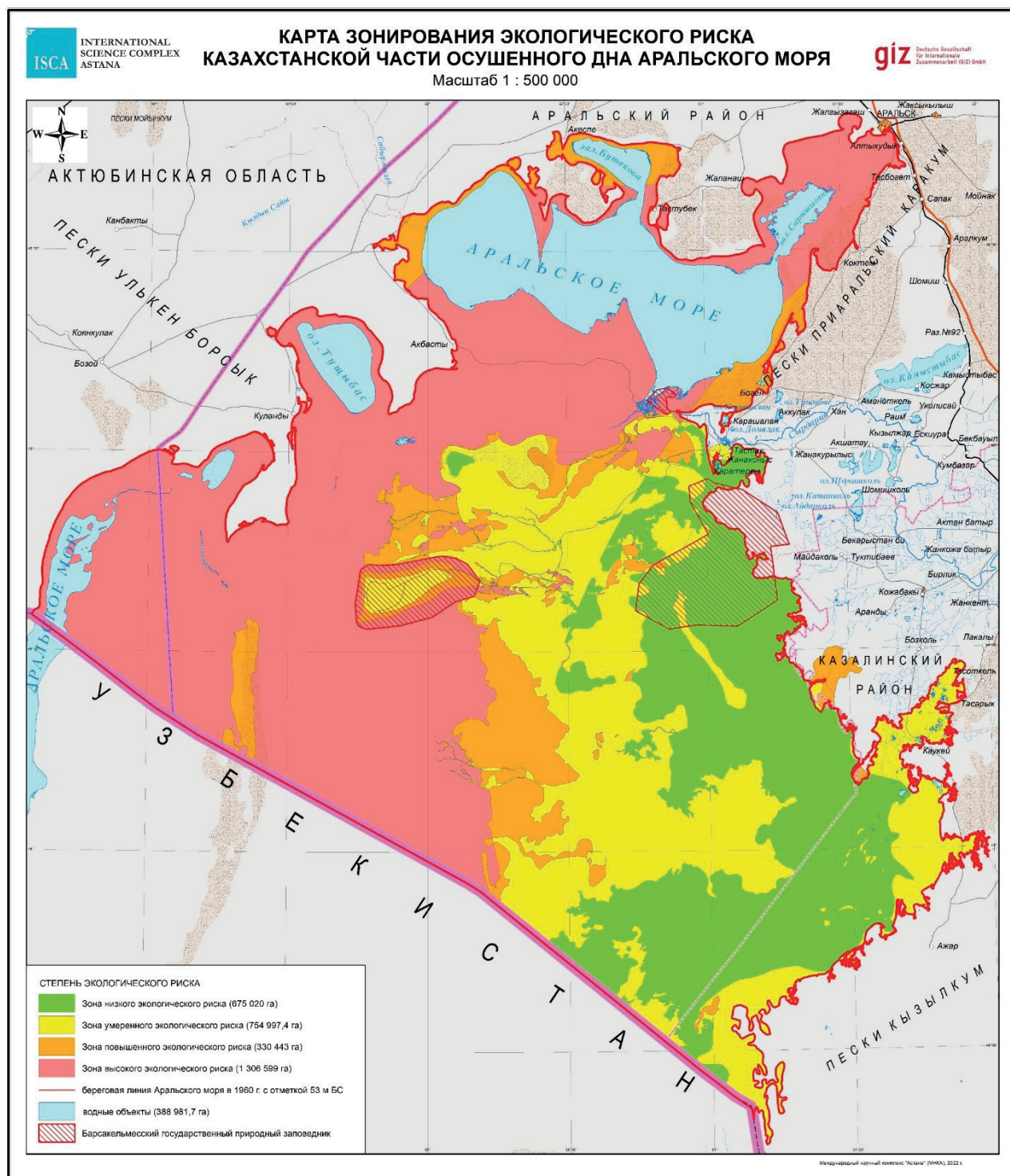


Рисунок 7.2. Карта зон экологического риска ОДАМ

Описание легенды:

1. Зона низкого экологического риска (практически отсутствует), присвоена классам:

- солончаки маршевые без растительности или с сообществами солероса;
- мокрые приморские солончаки без растительности, иногда с единичными экземплярами солероса и сарзана;
- соровые солончаки замкнутых понижений;
- луга на аллювиальных равнинах (тростниковые, разнотравно-злаковые) на аллювиально-луговых, болотно-луговых и лугово-болотных почвах;

- кустарниковые заросли (галофитные: тамарикс, карабарак);
- кустарниково-саксауловые (пустынные леса/искусственные насаждения).

Приморские и соровые солончаки в первые годы отступления моря (3–6 лет) не представляют опасности, так как глубина залегания грунтовых вод колеблется от 0,1 до 1,5 метров, на поверхности формируется тонкая соленая корка 1–3 см, которая разрушается на протяжении порядка десяти лет. В течение этого периода эта территория практически не подвержена ветровому воздействию. Соровые 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. Зона умеренного экологического риска:

- водная поверхность в дельте;
- мелководья, иногда с тростником;
- бугристые, бугристо-грядовые закрепленные с эфемерово-попынно кустарниковыми сообществами;
- опустынивающиеся гидроморфные злаково-галофитноразнотравные 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. Зона повышенного экологического риска:

- корково-пухлые и корковые без растительности, иногда с единичными экземплярами кустарников (карабарак, гребенщик);
- бугристые и бугристо-грядовые без растительности и слабо закрепленные;
- опустынивающиеся кустарниковые.

Корково-пухлые солончаки 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. Бугристо-грядовые и бугристые пески слабо закрепленные и без растительности ежегодно пере углубляются на 3–5 см. 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. Зона высокого экологического риска:

- солончаки с навейным песчаным чехлом с разреженными сообществами лебеды и селена;
- равнинные (с ракушей) без растительности или с разреженными кустарниками (саксаул, гребенщик);
- дюнные без растительности;
- мелкобугристые (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 соле-пыле переноса. Значительная часть территории развивается в автоморфном режиме.

8. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДАЛЬНЕЙШЕМУ МОНИТОРИНГУ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ И УСТОЙЧИВОГО ОБЛЕСЕНИЯ ОСУШЕННОГО ДНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ

8.1. Рекомендации по облесению территорий осушенного дна Аральского моря по четырем зонам экологического риска

В условиях интенсивного опустынивания и большого дефицита пресной воды, фитомелиорация является надежным и экологически чистым средством уменьшения интенсивности дефляции и эолового переноса засоленной пыли, повышения фитопродуктивности осушенной части дна Аральского моря [7].

Для улучшения экологической обстановки обсохшего дна Аральского моря необходимы:

- дальнейшая фитомелиорация и защита имеющейся растительности.
- рациональное использование вод самоизливающихся скважин для лесных хозяйств, для развития лесопитомников, на некоторых участках развитие отгонного животноводства и др.
- развитие оазисного лесоразведения путем бурения 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 региона, для изучения уровневых и гидрохимических режимов подземных вод также 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.

Исследования засоленных почв разной литологии показали, что главными факторами, определяющими приживаемость саженцев, являются: суммарный эффект влияния токсичных ионов, определяющий степень засоления почв и общее количество токсичных солей, и гранулометрический состав корнеобитаемых горизонтов.

Результаты расчета легкорастворимых солей показали, что примитивные приморские засоленные песчаные (контур 9) почвы в 0–30 см слое легкорастворимых солей не содержат. В слое 0–50 см сумма токсичных солей составляет 0,214%. Тип засоления сульфатный. Весь профиль почв песчаный. Уровень грунтовых вод находится на глубине 2,5–3,0 м. Такие участки могут обладать благоприятными лесорастительными условиями для саксаула и гребенщика.

Контур 24 и 27 (разрезы 64, 78, 87), можно отнести к категории – удовлетворительные лесорастительные условия. Участки с приморскими солончаковыми почвами (разрез 78) являются умеренно благоприятными условиями, т.к. среднее содержание токсичных солей в слое 0–30 см составляют 0,272%; в слое 0–50 см – 0,283%. Тип засоления хлоридно-сульфатный. В солончаках приморских сумма солей в слое 0–30 см от 1,666 до 2,570%; в слое 0–50 см составляют от 1,440 до 2,210%. Тип засоления хлоридный.

В контуре 29, участки с приморскими солончаковыми почвами являются хорошими лесорастительными условиями для саксаула и гребенщика. Среднее содержание токсичных солей в слое 0–30 см в пределах 0,807–0,820%, в слое 0–50 см от 0,853 до 1,017%. Тип засоления хлоридно-сульфатный. В профиле приморских солончаков среднее содержание токсичных солей в слое 0–30 см варьирует от 1,40 до 2,949%; в слое 0–50 см от 2,038 до 3,144%

(за исключением разрезов 48, 66, 70). Эти участки соответствуют к категории - удовлетворительные лесорастительные условия.

Остальные участки из-за чрезмерно высокого содержания токсичных солей по всему профилю не пригодны к лесомелиоративным мероприятиям.

Учитывая результаты проведенных исследований, касающиеся оценки современных условий природной среды ОДАМ и оценки экологических рисков, рассмотрен следующий комплекс рекомендаций:

- повышение продуктивности высоко солевых- магниевых почв и водных ресурсов за счет внесения в почву удобрений на основе кальция;
- оптимальное использование удобрений, особенно азотных, для смягчения неблагоприятных последствий засоления почвы;
- мульчирование борозд в условиях засоления для уменьшения испарения и накопления солей в корневой зоне;
- рассоление засоленных почв с помощью галофитных видов растений;
- использование определенных пород деревьев в качестве биологических насосов для снижения повышенного уровня грунтовых вод;
- создание многоцелевых пород деревьев и кустарников для получения биомассы для возобновляемых источников энергии.

Зона низкого экологического риска расположена 4 крупными районами: в северной части, вдоль побережья Малого Арала, на востоке в заповедной зоне, в юго-восточной части ОДАМ и в центральной части, вокруг заповедника Барсакельмес и далее вытягиваясь в сторону восточной границы ОДАМ.

Низкий экологический риск присвоен классам:

- солончаки маршевые без растительности или с сообществами солероса;
- мокрые приморские солончаки без растительности, иногда с единичными экземплярами солероса и сарсазана;
- соровые солончаки замкнутых понижений;
- луга на аллювиальных равнинах (тростниковые, разнотравно-злаковые) на аллювиально-луговых, болотно-луговых и лугово-болотных почвах;
- кустарниковые заросли (галофитные: тамарикс, карабарах);
- кустарниково-саксауловые (пустынные леса/искусственные насаждения).

Рекомендации:

- создание коридора из самозарастающей растительности и лесопосадок для объединения двух заповедных частей на территории ОДАМ, тем самым ограничить вынос солей с южной стороны Казахстанской части осушенного дна Аральского моря и создав экологический коридор для местной фауны;
- активная лесопосадка – осуществление лесопосадок в строгом соответствии с районированием территории по устойчивости зональных лесопосадок, уход за ними и фито контроль, разработать и организовать порядок выбора места и сроков новых посадок, отработать методику изысканий под них (почвы, гидрогеология, ландшафт), определить сроки и виды посадок или посевов;
- мониторинг приживаемости и самозарастания – выявления причин плохой приживаемости, необходимо проанализировать способ посадок, посевов, качество семян и т.д. с одновременной динамикой изменения ландшафтов, исследовать и сопоставить время посевов с гидрогеологическими и почвенными условиями местности;
- организация питомников;
- увеличение площади лесопосадок в районах развития грунтовых вод аллювиально-дельтового происхождения.

Зона умеренного экологического риска расположена вдоль границы осушенного дна Аральского моря практически по всей длине, кроме южной, второй участок зоны умеренного экологического риска находится в центральной части.

Описание:

- водная поверхность в дельте;
- мелководья, иногда с тростником;
- данные классы характеризуются низким экологическим риском, 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;
- бугристые, бугристо-грядовые закрепленные с эфемерово-пыльно кустарниковыми сообществами;
- опустынивающиеся гидроморфные злаково-галофитноразнотравные с кустарниками.

Рекомендации:

- ДЗЗ Мониторинг процесса опустынивания. Составление ежемесячных карт на основе NDVI с применением космических снимков высокого разрешения;
- проведение почвенных, растительных исследований в западной части зоны;
- активная лесопосадка с мониторингом в восточной части;
- развитие экотуризма/создание экомаршрутов;
- увеличение площади лесопосадок в районах развития грунтовых вод аллювиально-дельтового происхождения.

Зона повышенного экологического риска расположена в центральной части между двумя частями заповедной зоны, а также тремя островками в южной части Казахстана.

Описание: корково-пухлые и корковые без растительности (иногда с единичными экземплярами кустарников как карабрак и гребенщик), бугристые и бугристо-грядовые без растительности и слабо закрепленные, опустынивающиеся кустарниковые.

Рекомендации:

- проведение климатических наблюдений, в том числе по пыльным бурям;
- ДЗЗ мониторинг процесса опустынивания. Составление ежемесячных карт на основе NDVI с применением космических снимков высокого разрешения;
- изучение и мониторинг зоны повышенного экологического риска в части почв, глубины и качества подземных вод;
- создание мониторинговой сети фоновых растений и лесопосадок;
- возможное оазисное орошение с применением бурения.

Зона высокого экологического риска расположена в центральной и увеличивается на юг и небольшими пятнами на границе, разделяющей Кызылординскую область и Улытаускую область.

Описание:

- солончаки с навейным песчаным чехлом с разреженными сообществами лебеды и селена;
- равнинные (с ракушей) без растительности или с разреженными кустарниками (саксаул, гребенщик);
- дюнные без растительности;
- мелкобугристые (слабо закрепленные) с разреженными сообществами полыни, кустарников и посевами селена.

Рекомендации:

- ДЗЗ Мониторинг процесса опустынивания. Составление ежемесячных карт на основе NDVI с применением космических снимков высокого разрешения;
- изучение и мониторинг зоны высокого экологического риска в части почв, глубины и качества подземных вод;
- создание мониторинговой сети фоновых растений и лесопосадок;
- дистанционное зондирование сезонного изменения водных объектов.

8.2. Рекомендации по мониторингу климата

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 [7].

На территории казахстанской части осушенного дна Аральского моря работающих метеостанций нет. Метеостанция на бывшем острове Барсакельмес была закрыта. Установленная в 2020 г. по совместному казахстанско-китайскому проекту метеостанция с пескоуловителями, расположенная западнее с. Каратерен, занесена подвижными песками (рис 1). В окрестностях находятся 4 Метеостанции: Арал Тенизи, Куланды, Казалы, Каукалы.

Для создания оптимальной сети мониторинга за климатическими параметрами, в том числе за пылевыми бурями необходимо:

- восстановить метеостанцию на острове Барсакельмес;
- проведение очистных работ на автоматической метеостанции, установленной в 2020 году/возможно пере дислоцирование;
- установить еще одну автоматическую метеостанцию на территории ОДАМ;
- мониторинг с использованием данных ДЗЗ на предмет соле- песко- переноса;
- использование обновляемые базы глобальных данных по климату, водным объектам.

8.3. Рекомендации по мониторингу почвенного покрова

На лесорастительные условия оказывают влияние особенности подстилающих пород и мощность скоплений золых 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 [7].

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 [7].

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 [7].

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 [7].

На исследуемой территории 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 [7].

На отдельных участках проведена почвенная съемка. В рамках данного проекта отобранные 221 почвенных образцов по 9-ти субширотным профилям по центральной и восточной части ОДАМ, составлена карта почв 1:500 000 масштаба.

Отсутствуют мониторинговые площадки. Высокая динамика изменчивости верхних горизонтов почв и мощности навейного песчаного чехла.

Для мониторинга почвенного покрова необходимо:

- определение участков для создания мониторинговых площадок по профилю охватывающим все виды почв;
- составление почвенных карт более крупного масштаба на наиболее пригодных участках для лесорастительности;
- мониторинг с использованием данных ДЗЗ;
- использование вегетационных индексов для определения отдельных параметров почв.

8.4. Рекомендации по мониторингу подземных вод

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 [7].

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, саксаул 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 [7].

Для мониторинга подземных вод необходимо:

- продолжить изучение подземных вод на территории ОДАМ за счет создания сети мониторинговых (режимных скважин) скважин, наблюдением за уровнем, минерализацией и химическим составом грунтовых вод.
- провести инвентаризацию всех имеющихся скважин на воду с разделением их на пригодные для пастбищного водоснабжения и полива и на основе этого организовать обустройство скважин и целевое их использование на определенные нужды;
- разработать программу обводнения пастбищ на ОДАМ за счет использования подземных вод верхнемеловых отложений, организовать обустройство скважин и целевое их использование на определенные нужды;
- изучить возможность лесовосстановления на ОДАМ с использованием для полива грунтовых вод, сброшенных с Казалинского массивов орошения, организовать обустройство скважин и целевое их использование на определенные нужды.

В рамках данной исследовательской работы изучены и проанализированы основные элементы экосистем казахстанской части осушенного дна Аральского моря. Проанализированы и составлены: климатические карты, карта почв, гидрогеологическая карта, карта вегетационных индексов, карта экологических рисков.

Основываясь на выводах данного исследования, предлагаем следующие рекомендации:

- проведение систематического полевого обследования территории для дополнения и валидации данных дистанционного мониторинга по изучению и актуализации почвенного покрова, растительности, климатических данных, а также мониторинг подземных вод;
- создание растительного коридора для соединения двух заповедных частей в целях снижения соле-пыле выноса с наиболее опасных с точки зрения экологических рисков зон;
- создание лесных питомников на наиболее пригодных участках;
- мониторинг существующих посадок на приживаемость и наличие болезней;
- проведение мониторинга ДЗЗ с помощью космических снимков среднего (Landsat, Sentinel) и высокого разрешения;
- создание сети постоянных маршрутов для научного и экологического туризма и мониторинга;

- проведение археологических исследований в районе мавзолея «Кердери» в целях повышения туристической привлекательности региона;
- создание геоинформационного портала казахстанской части осушенного дна Аральского моря с нанесением всех собранных и созданных картографических (геопространственных данных) и аналитических материалов с целью повышения научного потенциала территории исследования.

9. ВЫВОДЫ

Исследования по проведению комплексной исследовательской оценки природных и экологических критериев казахстанской части осушенного дна Аральского моря выполнены в полном объеме, согласно пунктам технического задания.

Краткие выводы по задачам:

1) Созданы 24 цифровые карты следующих климатических характеристик осушенного дна: температура воздуха, осадки, ветер, суховеи, влажность воздуха, засуха, пыльные бури, тепло и влагообеспеченность вегетационного периода, эвапотранспирация, а также долгосрочный прогноз изменения климата исследуемой территории;

2) Для сбора достоверных данных, необходимых для обучения/валидации различных анализов дистанционного зондирования в рамках проекта проведены комплексные полевые исследования осушенного дна Аральского моря;

3) Составлена карта почв и наиболее распространенных грунтообразующих почв на осушенном дне с проведением полевых исследований и отбором проб для качественного анализа в цифровом формате;

4) Составлена гидрогеологическая карта с определением близлежащих участков грунтовых вод и с полевыми исследованиями глубины и качества грунтовых вод в цифровом формате;

5) Полевые данные о площадях, глубине и качестве подземных вод, предоставленные внешними подрядчиками, интегрированы в гидрогеологическую карту в цифровом формате;

6) На основе прошлых и прогнозируемых данных создана карта зон экологического риска в цифровом формате;

7) На основе проведенных исследований в консорциуме с проектной командой GIZ, проведена разработка рекомендаций по дальнейшему мониторингу природных систем, по будущим мероприятиям по облесению осушенного дна (например, расширение существующих национальных парков или заповедников и их буферных зон, потенциальное будущее развитие - облесение, экотуризм, рекреационное и коммерческое рыболовство, создание питомников, охрана природы);

8) Составлен отчет, включающий описание созданных цифровых карт и проведенных полевых работ, включая метаданные для дальнейшего внедрения в ГИС-платформы (на электронных носителях);

9) Проведен семинар по представлению результатов для заинтересованных сторон (правительственных организаций, природоохранных и лесохозяйственных организаций как на местном, так и на международном уровне).

Наиболее важные результаты проекта:

Картографический метод является наиболее существенным при оценке экологического состояния отдельных районов, хозяйств и т.д. Следует особо отметить, что в зависимости от поставленной задачи можно получить информацию, как на локальный участок, так и на большие территории. Для составления серии карт, проведенные маршрутные исследования за состоянием экосистем ОДАМ дополняются материалами имеющихся литературных, фондовых источников и тематических карт. Сбор и анализ космических снимков, схем различных коммуникаций, особенно сравнительный их анализ, даст дополнительный материал не только для составления картографических произведений, но и может быть использован для прогнозных проработок.

Существуют неоспоримые признаки изменения климатических условий (особенно бури и ветры с увеличивающейся частотой и силой), а также то, что соли и пыль, которые разносятся ветром, наносят ощутимый вред окружающей среде в районах, прилегающих к Аральскому морю. Ежегодно в воздух с осушенного дна Аральского моря выносятся более

100 млн. тонн соли, пыли и песка. Основными источниками выноса соли являются пухлые и частично корковые солончаки. Эти площади лишены растительности, и довольно часто можно видеть, как на них образуются язвы дефляции.

Выявлено, что основу растительного покрова высоко динамичных и вновь заселяемых местообитаний составляют галофитно кустарниковые сообщества, однолетние и многолетние солянки и представители семейства лебедовых. Роль галофитов многопланова, а однолетние солянковые сообщества являются наиболее уязвимыми к любым внешним воздействиям. Видовой состав однолетне солянковых сообществ могут меняться ежегодно, в зависимости от метеоусловий года и других внешних воздействий. Считается, что наиболее подходящими для лесомелиоративных мероприятий местообитаниями являются участки, заселенные лебедой Пратова. Общеизвестно, что в пустынях Казахстана большое значение уделяется саксаулу, как наиболее успешной лесной культуре, которая широко применяется для создания защитных лесонасаждений вдоль автомобильных и железных дорог, на пастбищах, на осушенном дне Аральского моря. Саксаул способен закреплять песок своими корневыми системами, особенно горизонтальными корнями, которые могут достигать длины до 9 м. Они прочно удерживают растения в почве и усваивают атмосферные осадки. Скрепление песчаных частиц горизонтальными корнями способствует аккумуляции песка и формированию фитогенных бугров от 2 до 5 м высотой. На территории ОДАМ имеются саксауловые насаждения, лесомелиоративные мероприятия были начаты с периода отступления Аральского моря. В настоящее время имеются участки, где саксаул распространяется путем самосева.

Обширные площади территории исследования заняты солончаковыми пустошами, которые являются очагами соле-пыле переноса. На заселяющихся галофитными кустарниками, тамариксом и саксаулом местообитаниях образуются фитогенные бугры, где происходит аккумуляция песка и сдерживание его переноса. По мнению местных исследователей, природные условия местности стремительно меняются за короткие интервалы времени.

Исследование растительности требует самой актуальной и объективной информации, одним из основных источников получения которой в настоящее время являются системы дистанционного зондирования. Дистанционные изображения отличаются высокой детальностью, способностью одновременного охвата обширных территорий, возможностью регулярных повторяющихся наблюдений и изучения труднодоступных территорий. Для исследования были подобраны шесть многозональных изображений на территорию Кольчугинского района Владимирской области 2014 года, полученные с космического спутника Landsat 8 OLI 24 января, 29 марта, 9 мая, 12 июля, 20 августа, 21 сентября. Для достоверной интерпретации дистанционных материалов использовались как литературные и картографические источники, так и собственные полевые наблюдения, и фоновые материалы.

В процессе сбора и измерений залегания грунтовых вод и почвенного разреза проведены работы по определению точной информации широты, долготы и абсолютные отметки с помощью GNSS приёмника Spectra Geospatial SP60. По причине отдаленности от зоны покрытия ближайшей базовой станции и интернет-связи, было принято решения использования дифференциального сервиса поправок CenterPoint RTX, которая доступно только на территориях находящиеся за пределами бывшей береговой линий Аральского моря. На участках ОДАМ использованы спутниковые измерения в режиме «Статика». Суть данного режима заключается использования неподвижного приемника продолжительный период времени для записи сырых данных со спутников. Далее было выполнена постобработка данных и получены достаточно точные координаты и абсолютные отметки высот. В результате съемки было получены координаты 30 ключевых участков.

Также проведена аэрофотосъемка участков с многовинтового БПЛА DJI Phantom 4 Multispectral. Данный летательный аппарат имеет 1 RGB камеру и 5 мультиспектральные камеры покрывающие полосы Blue, Green, Red, Red Edge и ближнего инфракрасного

диапазона – все на 2MP с глобальным затвором, на 3-осевом стабилизированном карданном подвесе. Спектральный датчик солнечного света, встроенный в верхнюю часть БПЛА, предоставляет возможность улавливания солнечного излучения, что обеспечивает точными данными при сборе в разное время суток. Все вышеуказанные инструменты позволяют получить информацию для анализа состояния растительного покрова исследуемой территории. В период полевых работ были реализованы 15 полетов и 2906 RGB снимков и 12130 снимков разных спектральных диапазонов. Собранные материалы были обработаны в программном продукте Agisoft PhotoScan.

10. Список использованной литературы

1. Болат Б., Таисия Б. Особенности ландшафтного устройства осушенного дна Аральского моря // *European Journal of Technical and Natural Sciences. East West Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH*, 2017. № 1. P. 11–15.
2. Будникова Т.И. Формирование ландшафтов осушенной части дна аральского моря и прилегающих территорий: PhD Thesis. ашхабад, 1987.
3. Stulina G., Sektimenko V. The change in soil cover on the exposed bed of the Aral Sea // *Journal of Marine Systems. Elsevier*, 2004. Vol. 47, № 1–4. P. 121–125.
4. Саттаров Д.С., Сектименко В.Е., Попов В.Г. Состояние почвенного покрова Приаралья в связи с усыханием Аральского моря // *Почвоведение*. 1991. № 10. P. 5.
5. Закон Республики Казахстан “О социальной защите граждан, пострадавших вследствие экологического бедствия в Приаралье”: 1468–XII.
6. Micklin P. The Aral sea disaster // *Annu. Rev. Earth Planet. Sci. Annual Reviews*, 2007. Vol. 35. P. 47–72.
7. 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 - Поиск в Google [Electronic resource].
8. Indoitu R. et al. Dust emission and environmental changes in the dried bottom of the Aral Sea // *Aeolian Research. Elsevier*, 2015. Vol. 17. P. 101–115.
9. Мелешко В.П. et al. Климат России в XXI веке. Часть 1. Новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности его расчета // *Метеорология и гидрология. Федеральное государственное бюджетное учреждение Научно-исследовательский ...*, 2008. № 6. P. 5–19.
10. Катцов В.М., Мелешко В.П. Сравнительный анализ моделей общей циркуляции атмосферы и океана, используемых для оценок будущих изменений климата // *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. Федеральное государственное бюджетное учреждение "Российская академия наук"*, 2004. Vol. 40, № 6. P. 723–736.
11. Meinshausen M. et al. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300 // *Climatic change. Springer*, 2011. Vol. 109, № 1. P. 213–241.
12. Hawkins E., Sutton R. The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions // *Bulletin of the American Meteorological Society. American Meteorological Society*, 2009. Vol. 90, № 8. P. 1095–1108.
13. Lo C.P., Yeung A.K.W. Concepts and Techniques of Geographic Information Systems Prentice Hall of India Private Limited // New Delhi–110001 India. 2004. P. 13.
14. Корчагин А.А., Лавренко Е.М. Полевая геоботаника. Т. 1-5 // М.: Оникс. – 2012, Лавренко Е.М. Полевая геоботаника – Рипол Классик, 2013
15. Флора Казахстана / Под ред. Н. В. Павлова. – Алма-Ата: Изд-во АН Казахской ССР, 1956. – Т. 1. – 354 с.; 1958. – Т.2. – 292 с.; 1960. – Т. 3. – 460 с.; 1961. – Т. 4. – 548 с.; 1961. – Т. 5. – 515 с.; 1963. – Т. 6. – 465 с.; 1964. – Т. 7. – 497 с.; 1965. – Т.8. – 447 с.; 1966. – Т. 9. – 640 с.

16. Иллюстрированный определитель растений Казахстана / Под ред. В.П. Голоскокова. – Алма-Ата: Изд-во «Наука» Казахской ССР. – 1969. – Т. 1. – 644 с.; – 1972. – Т. 2. – 572 с. 17. Плантариум: открытый онлайн атлас-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран. – 2007- 2020. – <http://www.plantarium.ru>
17. Campbell J.B., Wynne R.H. Introduction to remote sensing. Guilford Press, 2011.
18. Schowengerdt R.A. Remote sensing: models and methods for image processing. Elsevier, 2006
19. Козодеров В.В., Кондранин Т.В., Шалаев В.С. Методы оценки состояния почвенно-растительного покрова по данным оптических систем дистанционного аэрокосмического зондирования. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего ..., 2008.
20. Грингоф И.Г., Клещенко А.Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД", 2011.
21. Lopez R.D., Frohn R.C. Remote sensing for landscape ecology: New metric indicators. CRC Press, 2017.
22. Theiler J.P., Gisler G. Contiguity-enhanced k-means clustering algorithm for unsupervised multispectral image segmentation // Algorithms, devices, and systems for optical information processing. SPIE, 1997. Vol. 3159. P. 108–118.
23. Мищенко З.А. Агроклиматология: учебник. ОДЕКУ, 2006.
24. Байшоланов С. Способ оценки влагообеспеченности вегетационного периода: pat. 5280 USA. Нур-Султан, 2020.
25. Байшоланов С.С. et al. Агроклиматические ресурсы Северного Казахстана // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. Федеральное государственное бюджетное учреждение Гидрометеорологический ..., 2018. № 1. P. 168–184.
26. Байшоланов С.С. et al. Агроклиматические особенности вегетационного периода в Акмолинской области // Гидрометеорология и экология. Республиканское государственное предприятие на правах хозяйственной ..., 2016. № 2 (81). P. 27–36.
27. Байшоланов С.С. Модель расчёта оросительной нормы сельскохозяйственных культур на основе метеорологических данных // Гидрометеорология и экология. Республиканское государственное предприятие на правах хозяйственной ..., 2020. № 2 (97). P. 165–177.
28. Байшоланов С.С., Муканов Е.Н. Оценка влияния изменения климата на оросительную норму сельскохозяйственных культур в Алматинской области Республики Казахстан // Труды Главной геофизической обсерватории им. АИ Воейкова. Федеральное государственное бюджетное учреждение "Главная геофизическая ..., 2020. № 597. P. 104–117.
29. Сарсенбаев М.Х., Калдарбекова Ж.М. Испаряемость, ее определение и распределение по ландшафтным зонам Казахстана // Гидрометеорология и экология. Республиканское государственное предприятие на правах хозяйственной ..., 2014. № 3 (74). P. 105–113.
30. Дмитриева Л.И. Оценка временной изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур /Методическое указание/ -Одесса: ОГМИ, 1985. -19 с. 1985. P. 19.

31. Пасечнюк Л.Е., Сенников В.А. Агроклиматическая оценка суховеев и продуктивность яровой пшеницы // Л.: Гидрометеиздат. 1983.
32. Зоидзе Е.К., Сухарева В.В. Методические указания по составлению «Научно-прикладного справочника по агроклиматическим ресурсам», серия 2, ч. 4 «Засушливые явления на территории СССР» // Зоидзе ЕК, Сухарева ВВ-Обнинск: Ротопринт. 1991.
33. Веселов В.В., Паничкин В.Ю. Геоинформационно-математическое моделирование гидрогеологических условий Восточного Приаралья. Алматы: ТОО «Комплекс», 2004. – 428 с.
34. Климентов П.П., Кононов В.М. Методика гидрогеологических исследований. М.: Высш. шк., 1989. - 448 с.
35. О.Е. Семенов Введение в экспериментальную метеорологию и климатологию песчаных бурь. 2-е издание, М: Физматкнига, 2020.-448 с
36. Indoitu, R., et al., 2015. Dust emission and environmental changes in the dried bottom of the Aral Sea. Aeolian Res. 17, 101–115
37. Wei Wang, Alim Samat, Jilili Abuduwaili, Yongxiao Ge, Philippe De Maeyer, Tim Van de Voorde, Temporal characterization of sand and dust storm activity and its climatic and terrestrial drivers in the Aral Sea region. Atmospheric Research, Volume 275, 2022, 106242, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106242>
38. Qu, J.J.; Hao, X.; Kafatos, M.; Wang, L. Asian dust storm monitoring combining terra and aqua MODIS SRB measurements. IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. 2006, 3, 484–486
39. Шиварёва С.П., Ли В.И., Ивкина Н.И. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Алматы, 2012. Vol. IX. 456 p.
40. Амиргалиев Н.А., Келинбаева Р.Ж. Малое Аральское море. Распределение солёности воды. Нур-Султан, 2019.
41. <https://www.theia-land.fr/en/product/water-levels-of-rivers-and-lakes-hydroweb/>
42. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Том IX Внутренние и окраинные водоемы Казахстана (Арал, Балхаш, Каспий) Книга 1», Алматы 2012 г, стр. 346
43. Смоляр В.А., Буров Б.В. Водные ресурсы Казахстана. Гылым. Алматы, 2002. 595 p.
44. Гл. ред. Ужкенов Б.С. Гидрогеологическая карта Казахстана. М 1:1 000 000. Алматы, 2003.
- 45 Климентов П.П., Кононов В.М. Методика гидрогеологических исследований. М.: Высш. шк., 1989. - 448 с.
46. Плотников Н.И., Вартанян Г.В., Бондаренко С.С. Основы гидрогеологии. Методы гидрогеологических исследований Новосибирск. Новосибирск, 1984.
- 47 Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. ОСТ 41-05-263-86. М.: ВСЕГИНГЕО. 1986. – 9 с.
- 48 Ерохина О.Г., Зинабдин Н.Б. Почвы: карта. Атлас функционального зонирования Аральского района Кызылординской области. Астана: ТОО “Институт географии,” 2016.

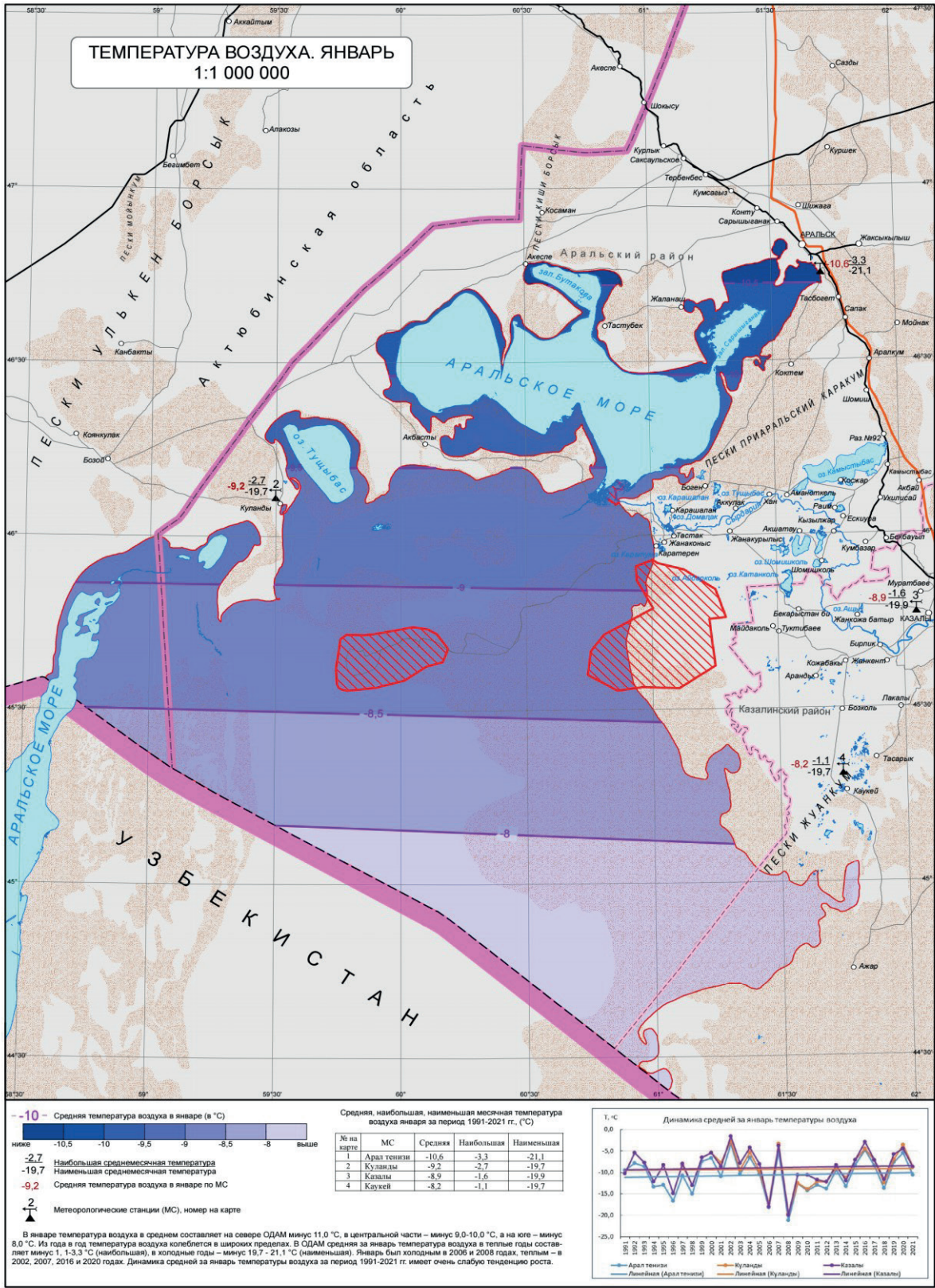
49. Курочкина Л.Я., Макулбекова Г.Б. К вопросу о фитомелиорации осушающихся побережий Арала // Проблемы освоения пустынь. 1984. № 4. Р. 61–71.
50. Кокшарова Н.Е. Методы создания защитных насаждений на донных отложениях побережья Арала // Тр. Среднеазиатского НИИ лесного хозяйства. 1986. Vol. 24. Р. 65–74.
51. Димеева Л.А., Пермитина В.Н. Влияние физико-химических свойств засоленных почв на результаты фитомелиорации осушенного дна Аральского моря // Аридные экосистемы. Общество с ограниченной ответственностью Товарищество научных изданий КМК, 2006. Vol. 12, № 29. Р. 82–93.
52. Салмуханбетова Ж.К. et al. Состояние саксауловых насаждений казахстанской части Приаралья. 2021.
53. Курочкина Л.Я. Ботанические исследования в бассейне Аральского моря // Проблемы освоения пустынь. 1979. № 3. Р. 9–17.
54. Гельдыева Г.В. et al. Ландшафтное обеспечение схемы борьбы с опустыниванием долины реки Сырдарья // Алматы: Аркас. 2004. Р. 235.
55. Димеева Л.А. Закономерности первичных сукцессий Аральского побережья // Аридные экосистемы. Общество с ограниченной ответственностью Товарищество научных изданий КМК, 2007. Vol. 13, № 33–34. Р. 89–100.
56. Dimeyeva L.A., Breckle S.-W., Wucherer W. Flora of the Aralkum // Aralkum-a Man-Made Desert. Springer, 2012. Р. 109–126.
57. Курочкина Л.Я. et al. Растительность осушенного дна Аральского моря // Состояние акватории и осушенного дна Аральского моря. Алма-Ата. 1983. Р. 91–128.
58. Димеева Л.А. Флора и растительность побережий и осушенного дна Аральского моря // Дисс. канд. наук. Алма-Ата. 1990.
59. Новицкий З.Б. Пастбищезащитные лесные полосы в пустыне // Овцеводство. 1984. № 9.
60. Кокшарова Н.Е. О лесомелиорации осушаемого дна Аральского моря // Проблемы освоения пустынь. 1985. № 5.
61. Новицкий З.Б. Создание защитных насаждений в пустынной зоне (конспект лекции). Пушино, 1986.
62. Духовный В.А. et al. Комплексные дистанционные и наземные исследования осушенного дна Аральского моря // Ташкент: НИЦ МКВК. 2008.
63. Муканов Б.М., Каверин В.С. Научное обеспечение по созданию лесных насаждений на землях осушенного дна Аральского моря // Защитное лесоразведение в Российской Федерации: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Всероссийского научно-исследовательского института агролесомелиорации. 2011. Р. 75–79.
64. Каверин В.С. et al. Временные рекомендации по ассортименту пород и технологии создания мелиоративных насаждений по осушенному дну Аральского моря (Казахстанская часть). 1994. Р. 16.

65. Муканов Б.М., Каверин В.С. Облесение пустыни «Аралкум»—важное мероприятие экологического оздоровления Приаралья // Сохранение биоразнообразия и перспективы устойчивого развития Приаралья и Барсакельмесского заповедника: матер. междунар. науч.-практ конф. —Арал. 2014. Р. 123–124.
66. Димеева Л.А. Опыт экспериментальной фитомелиорации засоленных пустынь Аральского побережья // Земледелие и агрохимия. Р. 28–31.
67. Байзаков С.Б. et al. Лесные культуры в Казахстане // Алматы: Агроуниверситет. — 2007.—Кн. 2007. Vol. 1. Р. 320.
68. Быков Б.А. Геоботаника. А. А.: Наука, 1978.
69. Димеева Л.А., Бекнияз Б.К., Алимбетова З.Ж. Мониторинг саксауловых насаждений на осушенном дне Аральского моря // Материалы X всероссийской научной конференции с международным участием. 2017. Р. 4–7.
70. Лавренко Е.М. Полевая геоботаника. Рипол Классик, 2013.
71. Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование. М, 1997.
72. Корчагин А.А., Лавренко Е.М. Полевая геоботаника. Т. 1-5 // М.: Оникс. 2012.
73. Курочкина Л.Я. Мониторинг и картографирование деградации растительных формаций в экосистемах аридного Приаралья // Аридные экосистемы. Общество с ограниченной ответственностью Товарищество научных изданий КМК, 2015. Vol. 21, № 4 (65). Р. 5–21.
74. Реймерс Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник. Мысль, 1990.
75. Малашевич Е.В. Краткий словарь-справочник по охране природы. Ураджай, 1987.

11. ПРИЛОЖЕНИЯ

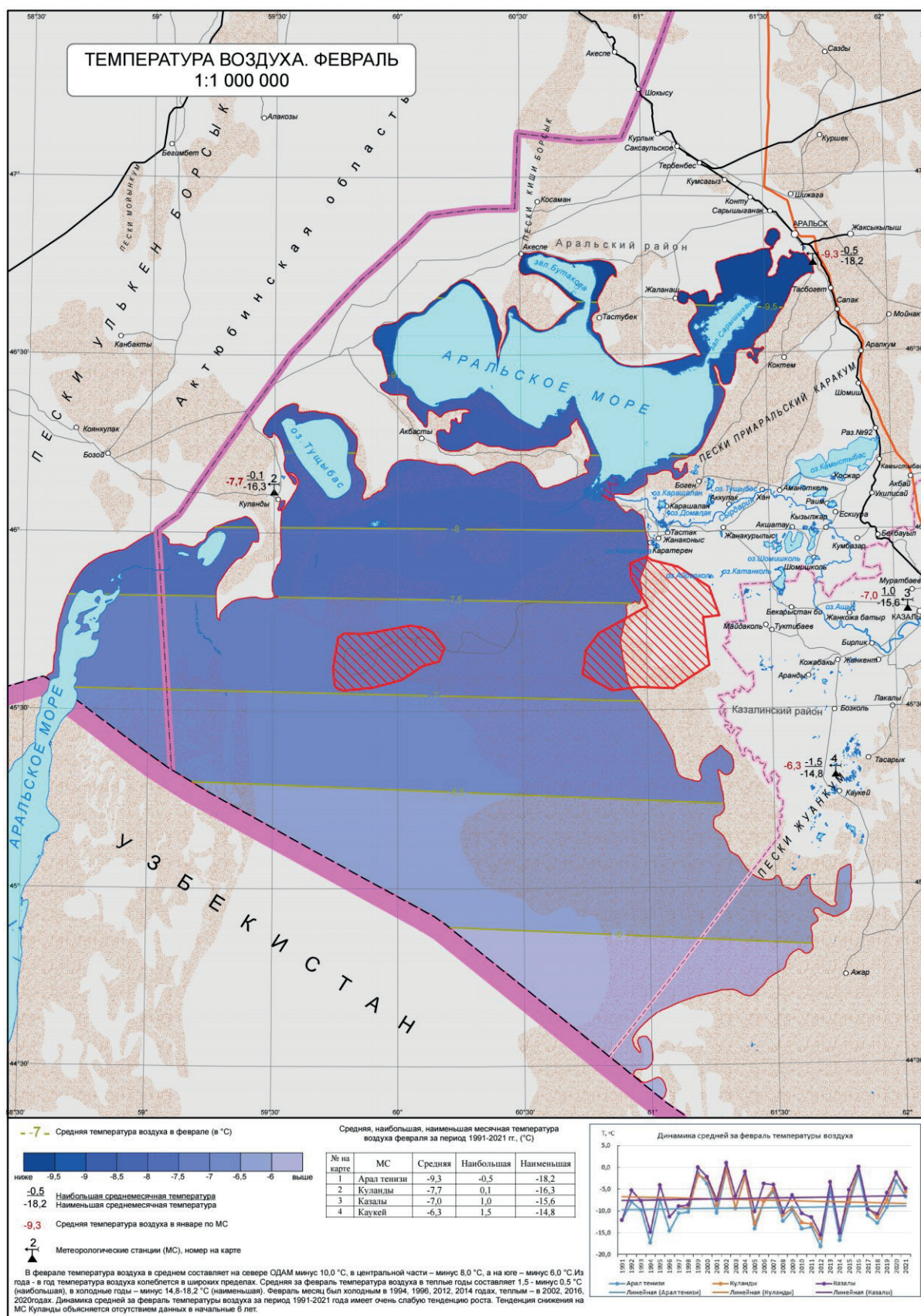
Приложение 1.

Карта средней за январь температуры воздуха

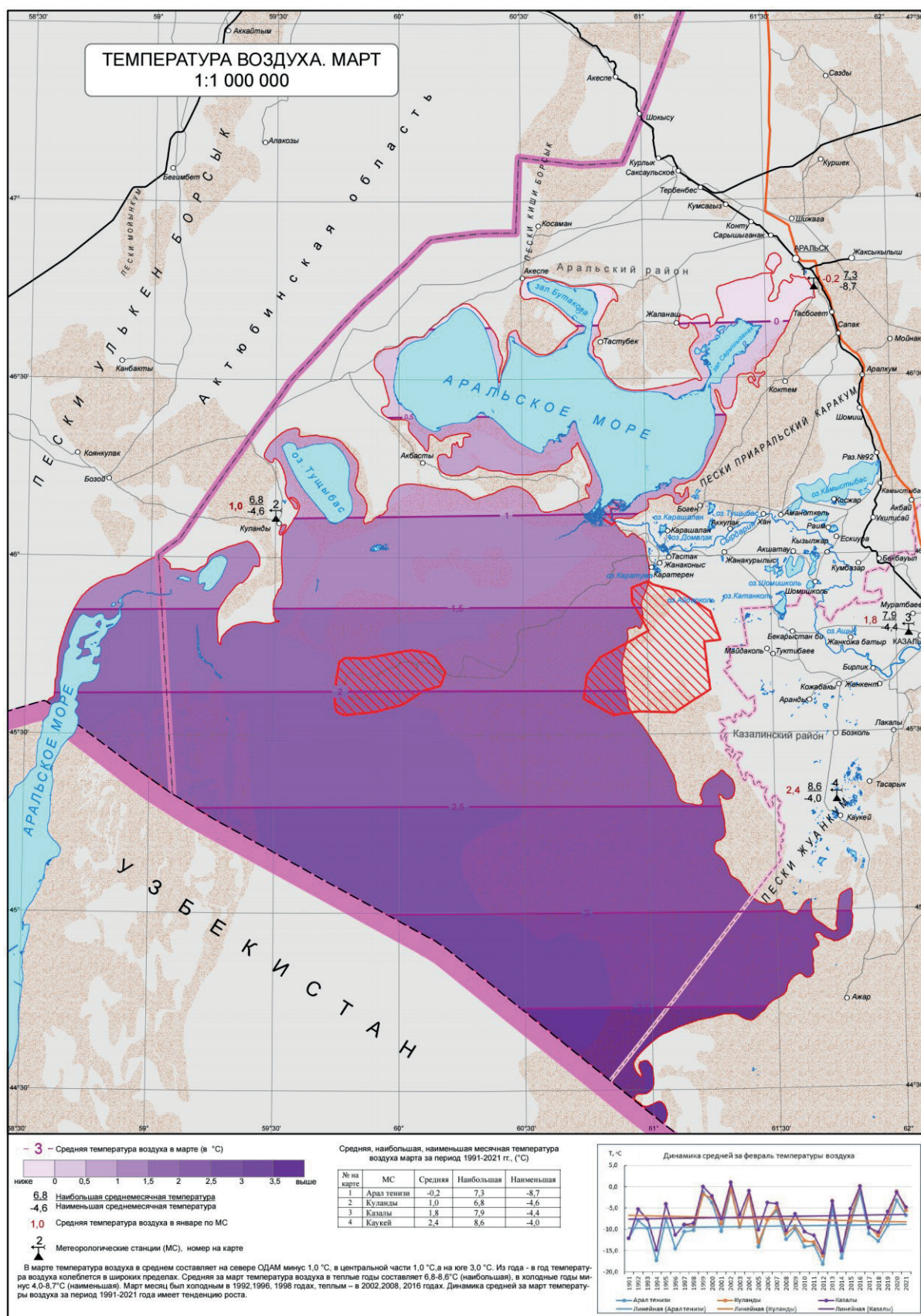


Приложение 2.

Карта средней за февраль температуры воздуха

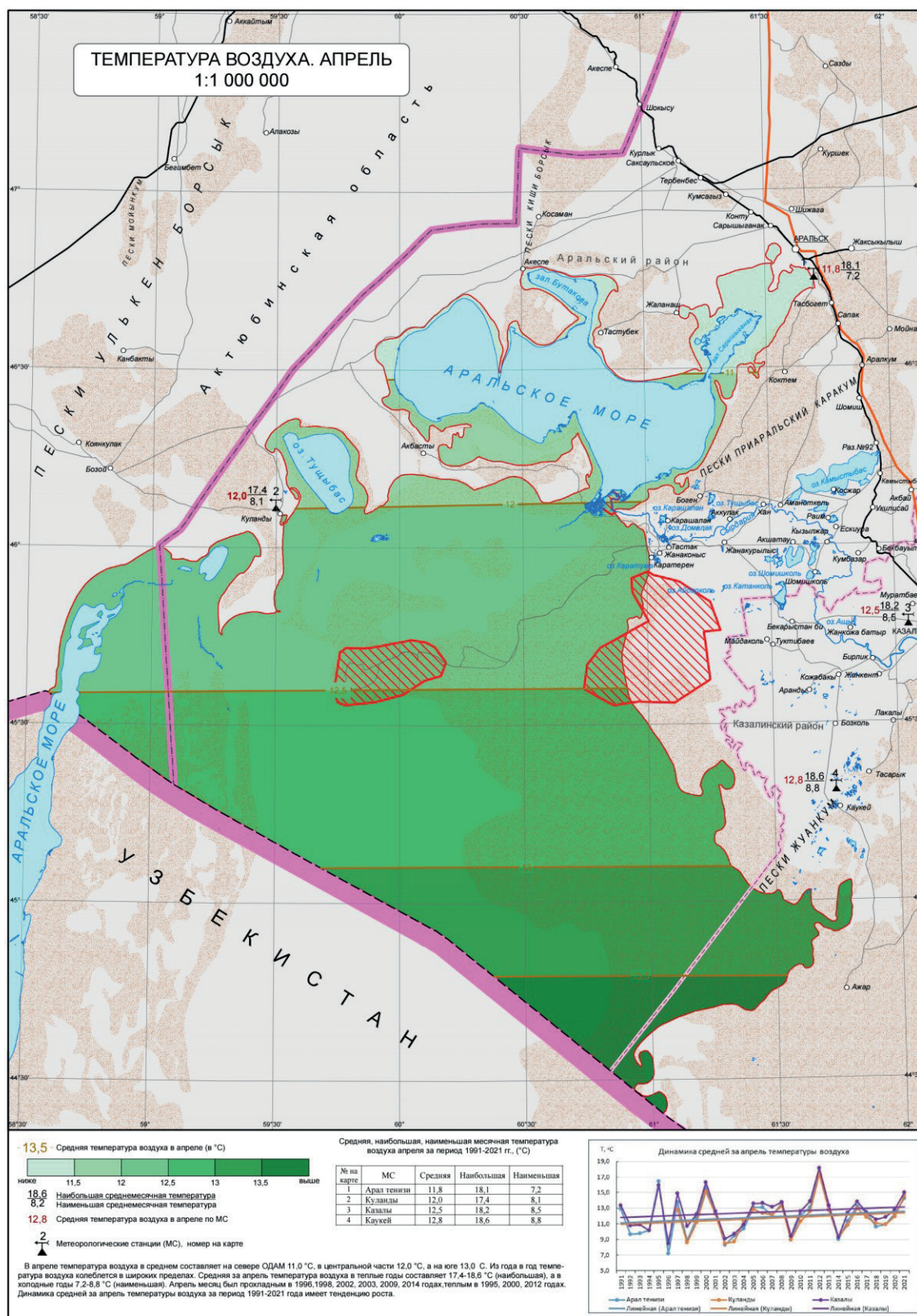


Карта средней за март температуры воздуха

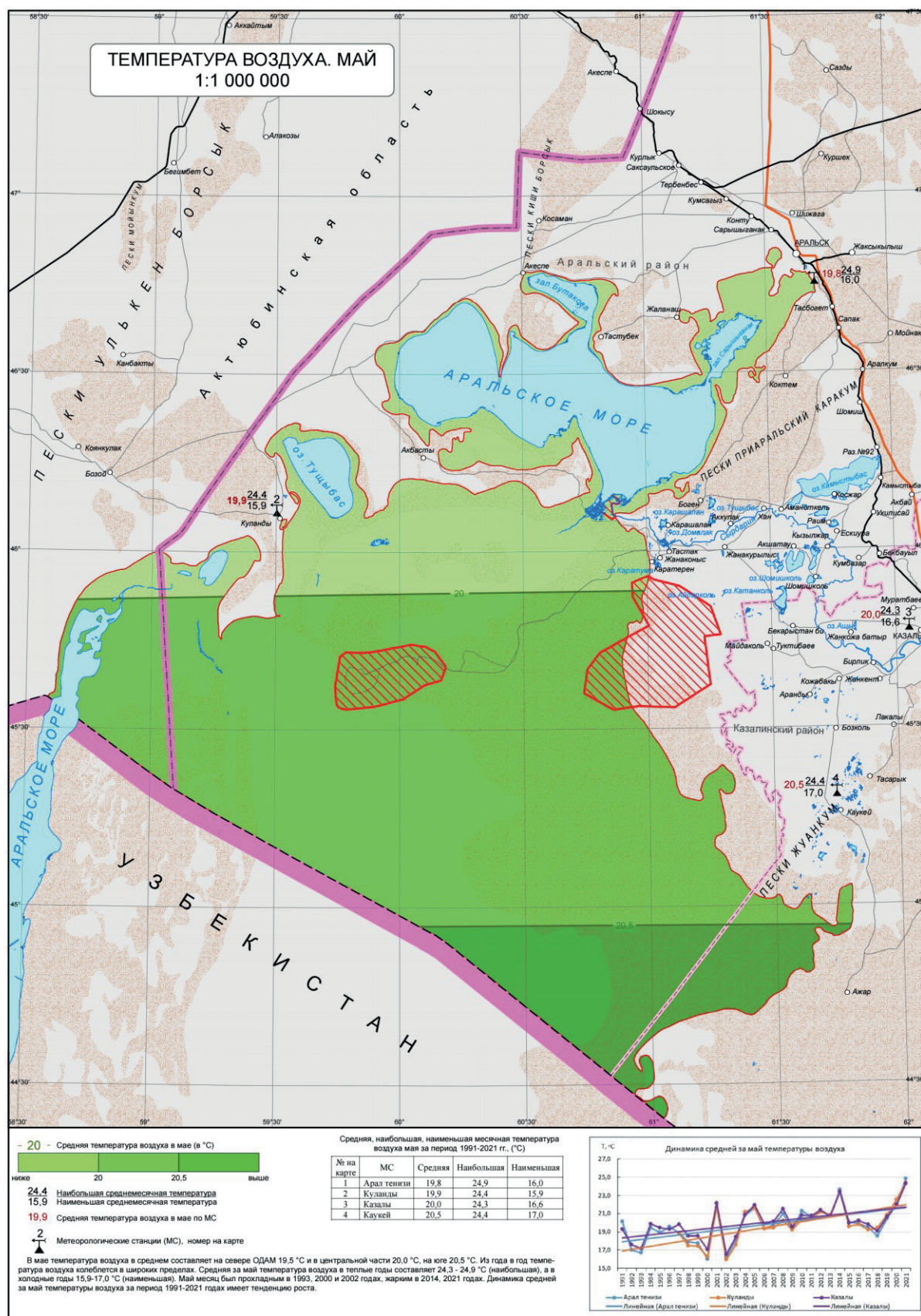


Приложение 4.

Карта средней за апрель температуры воздуха

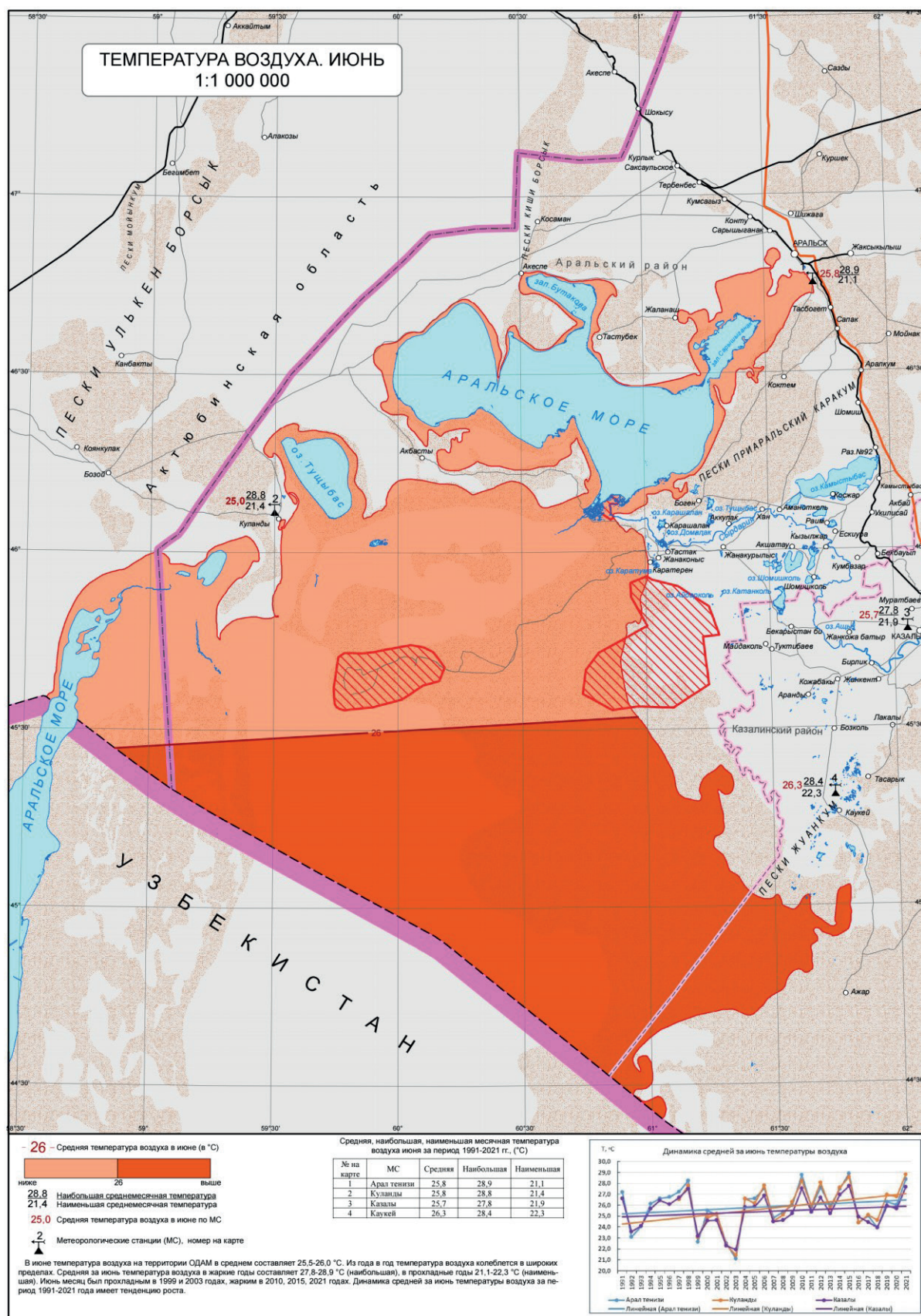


Карта средней за май температуры воздуха

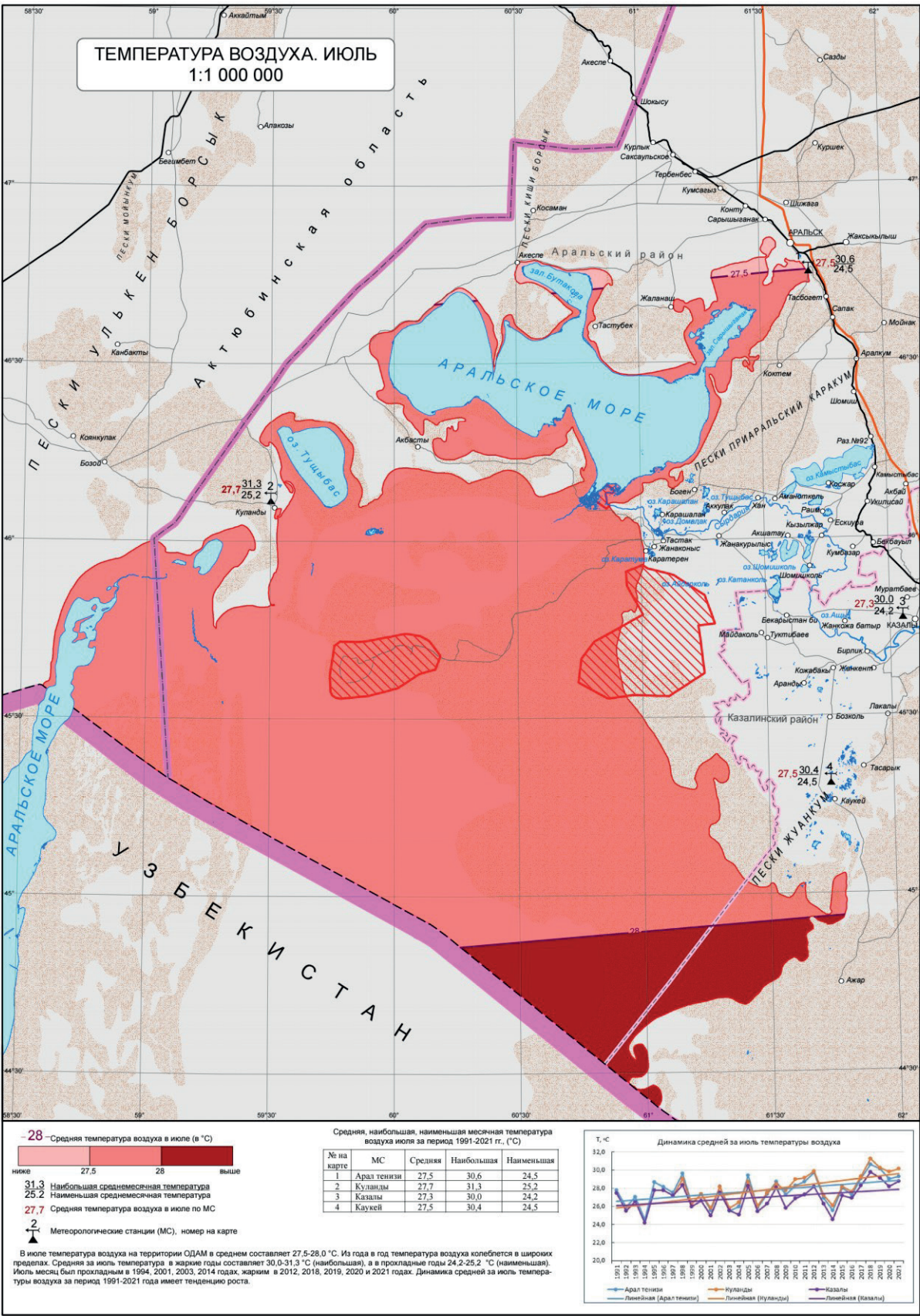


Приложение 6.

Карта средней за июнь температуры воздуха

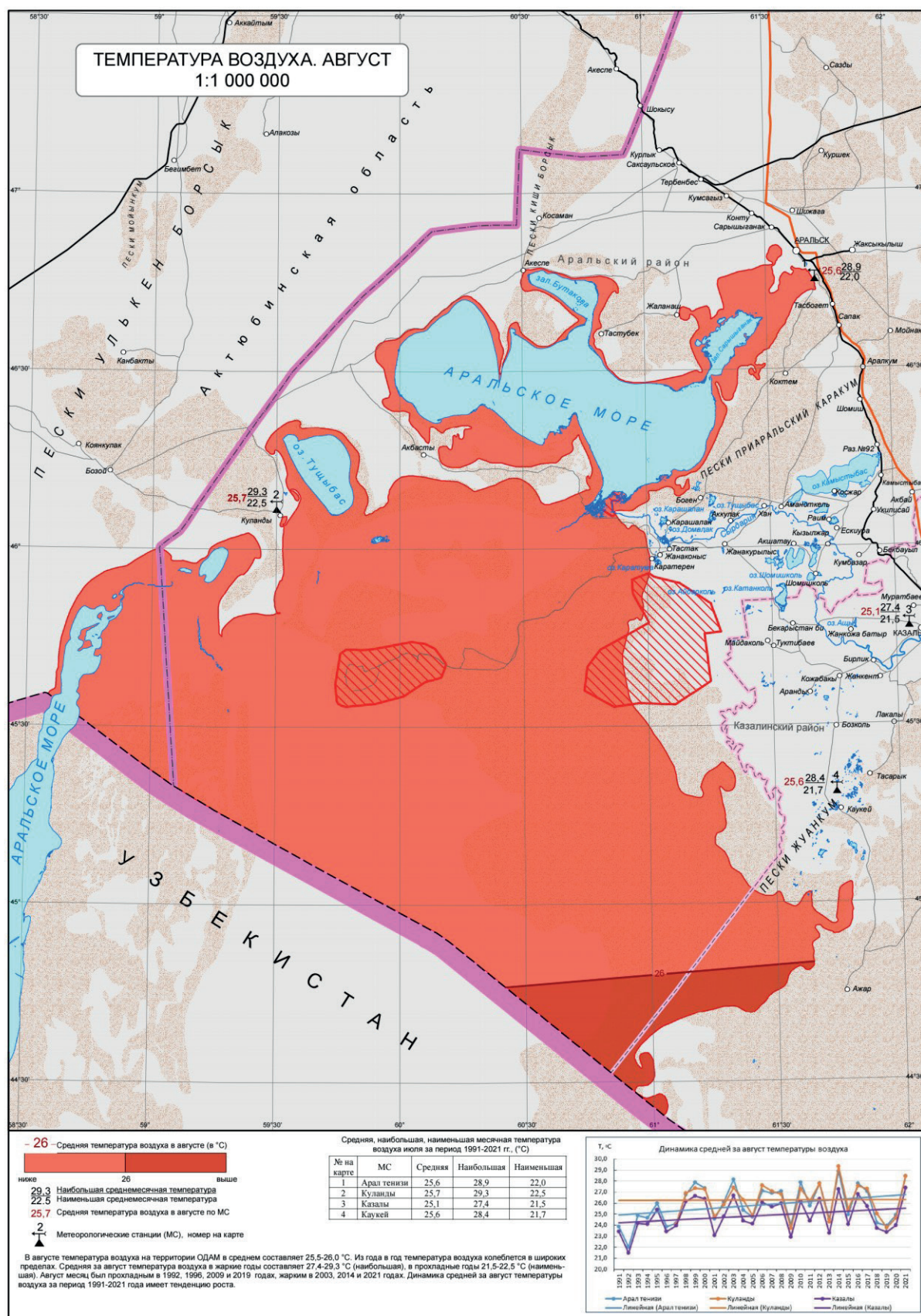


Карта средней за июль температуры воздуха

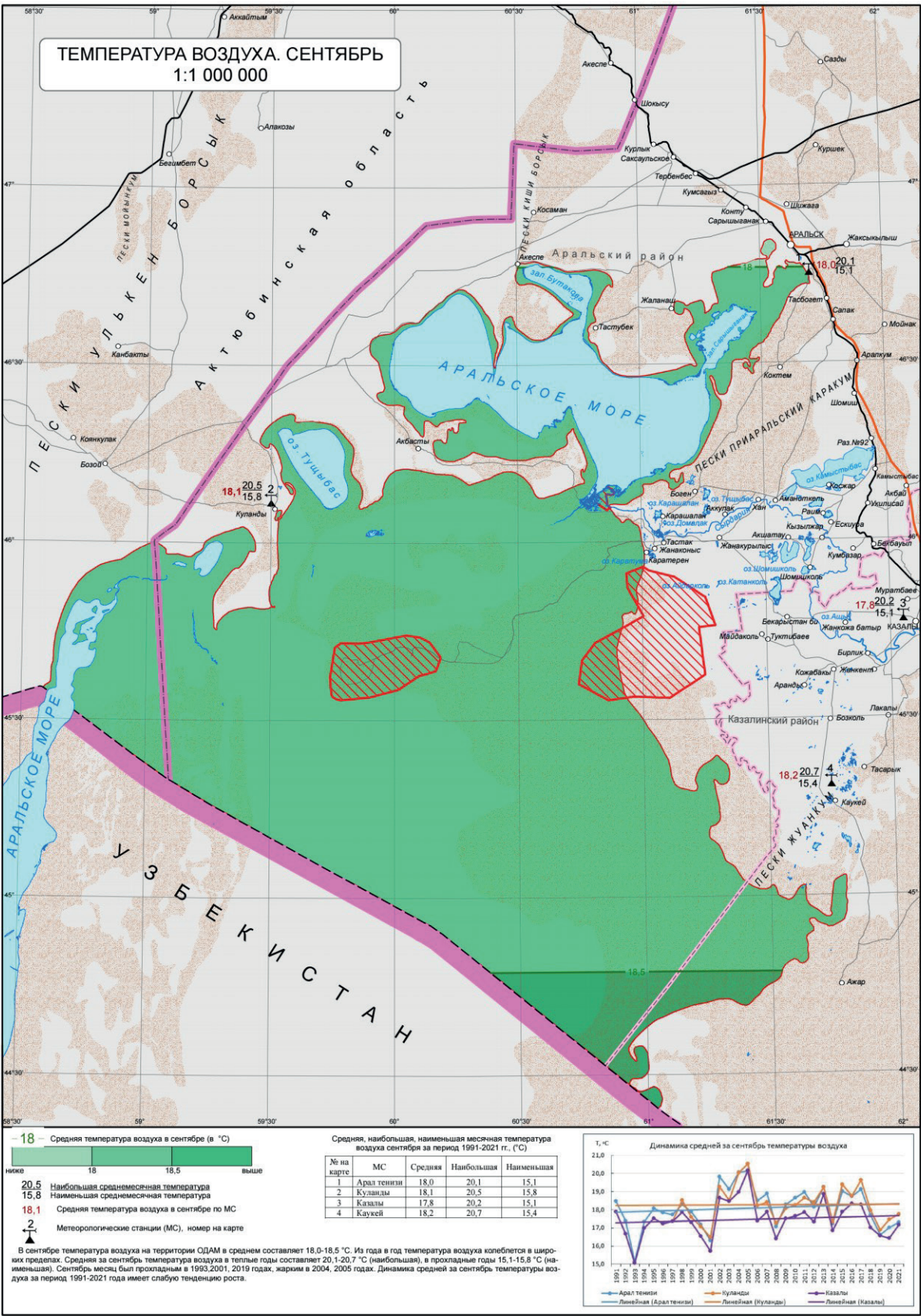


Приложение 8.

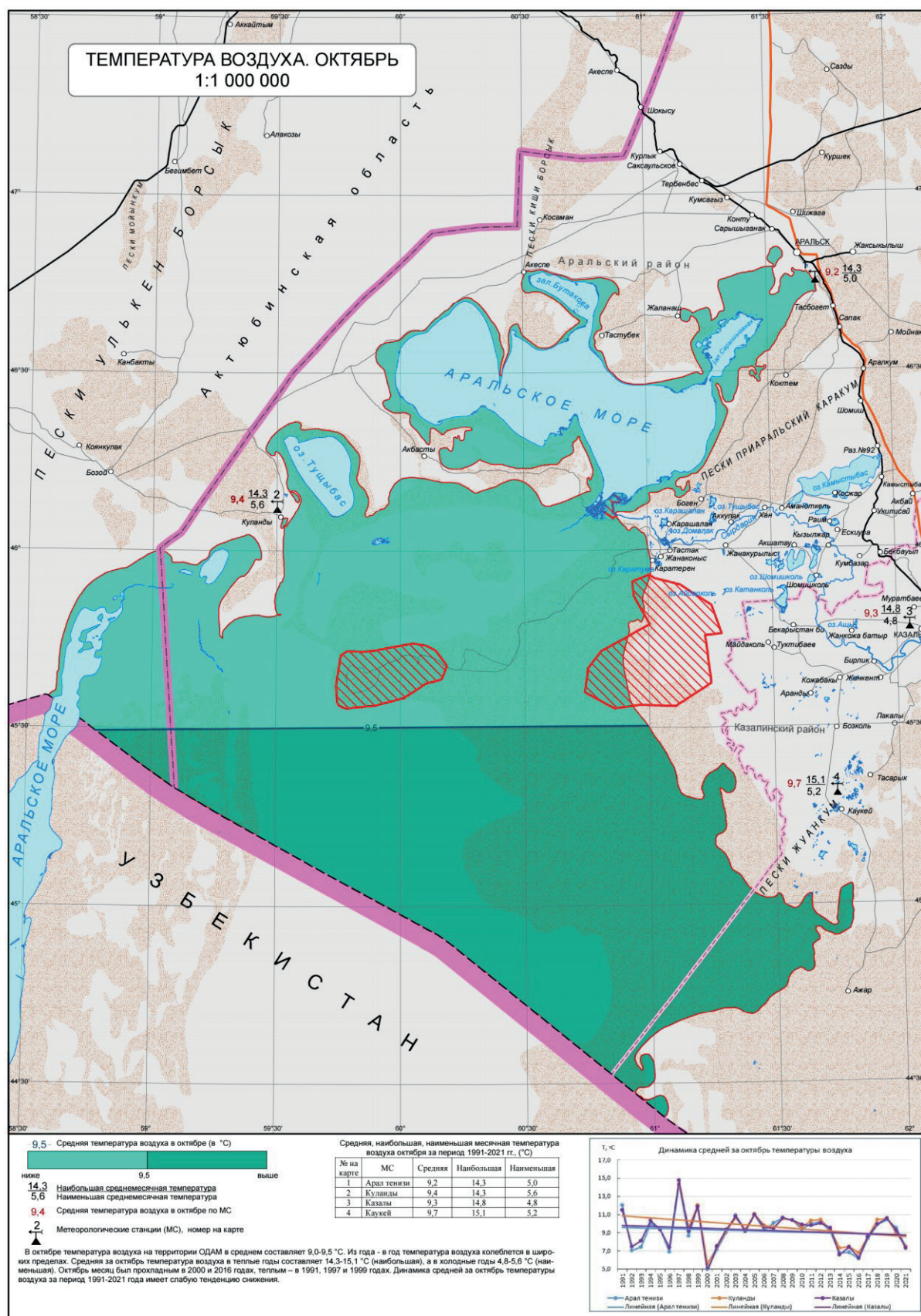
Карта средней за август температуры воздуха



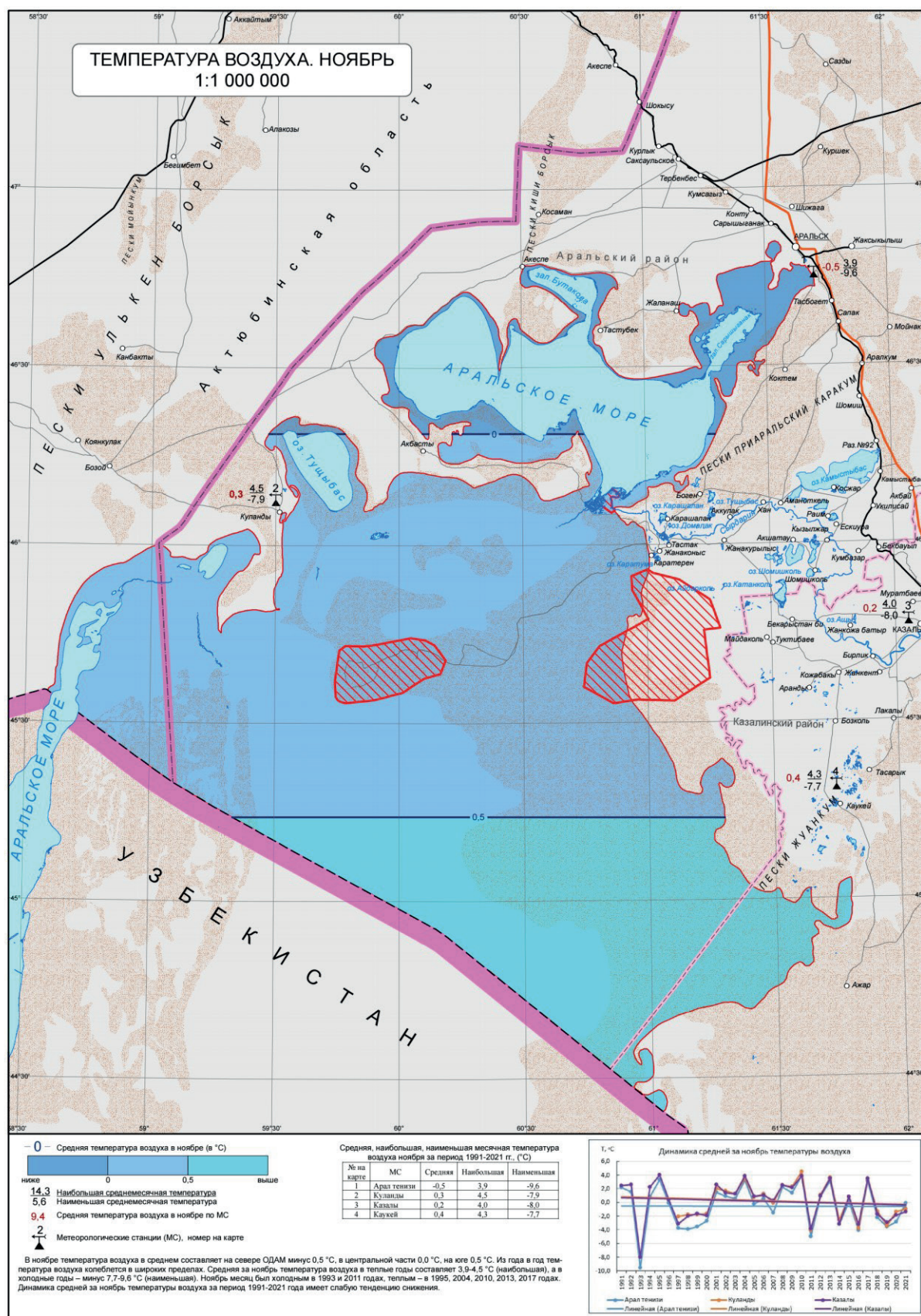
Карта средней за сентябрь температуры воздуха



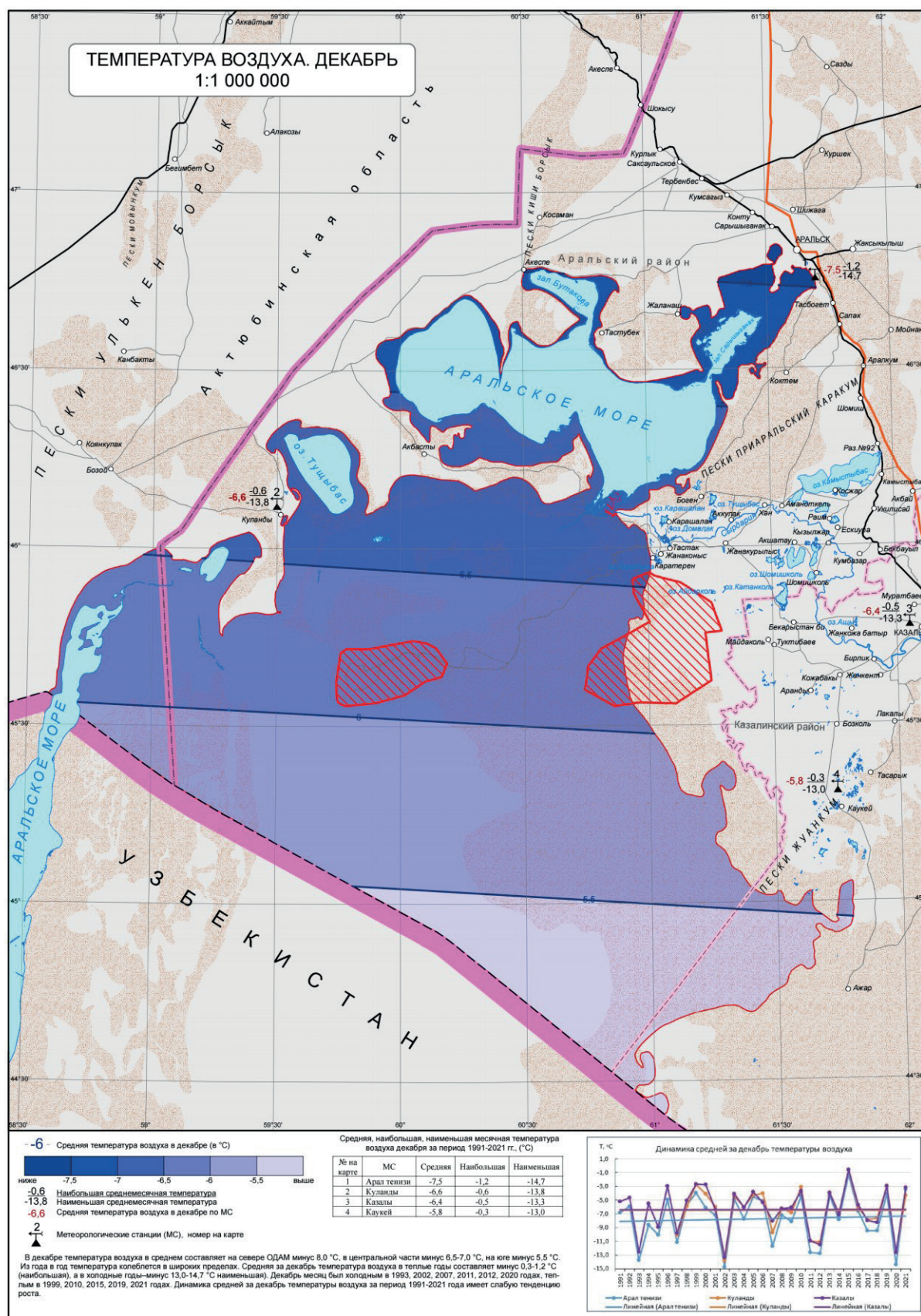
Карта средней за март октябрь воздуха



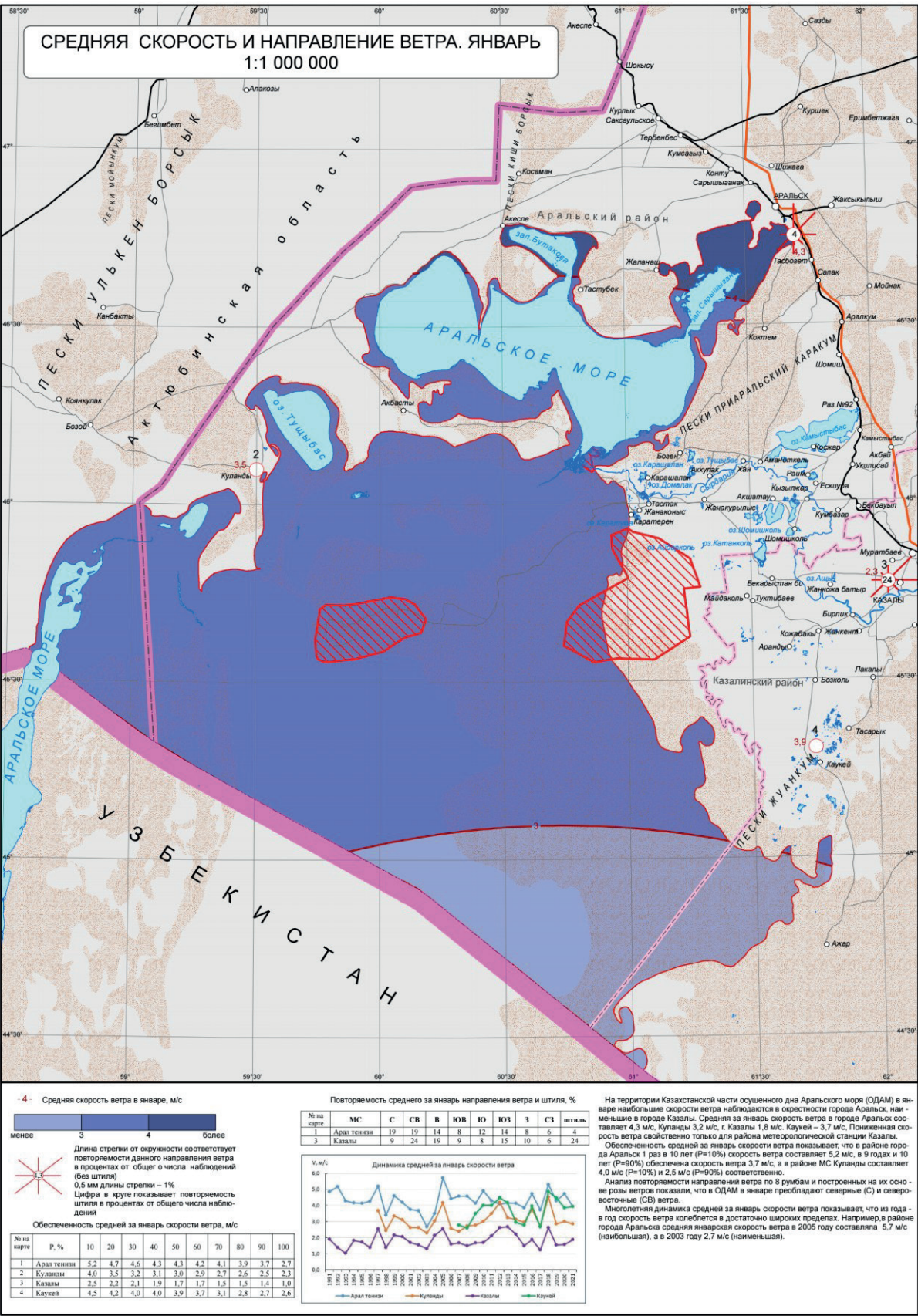
Карта средней за ноябрь температуры воздуха



Карта средней за декабрь температуры воздуха

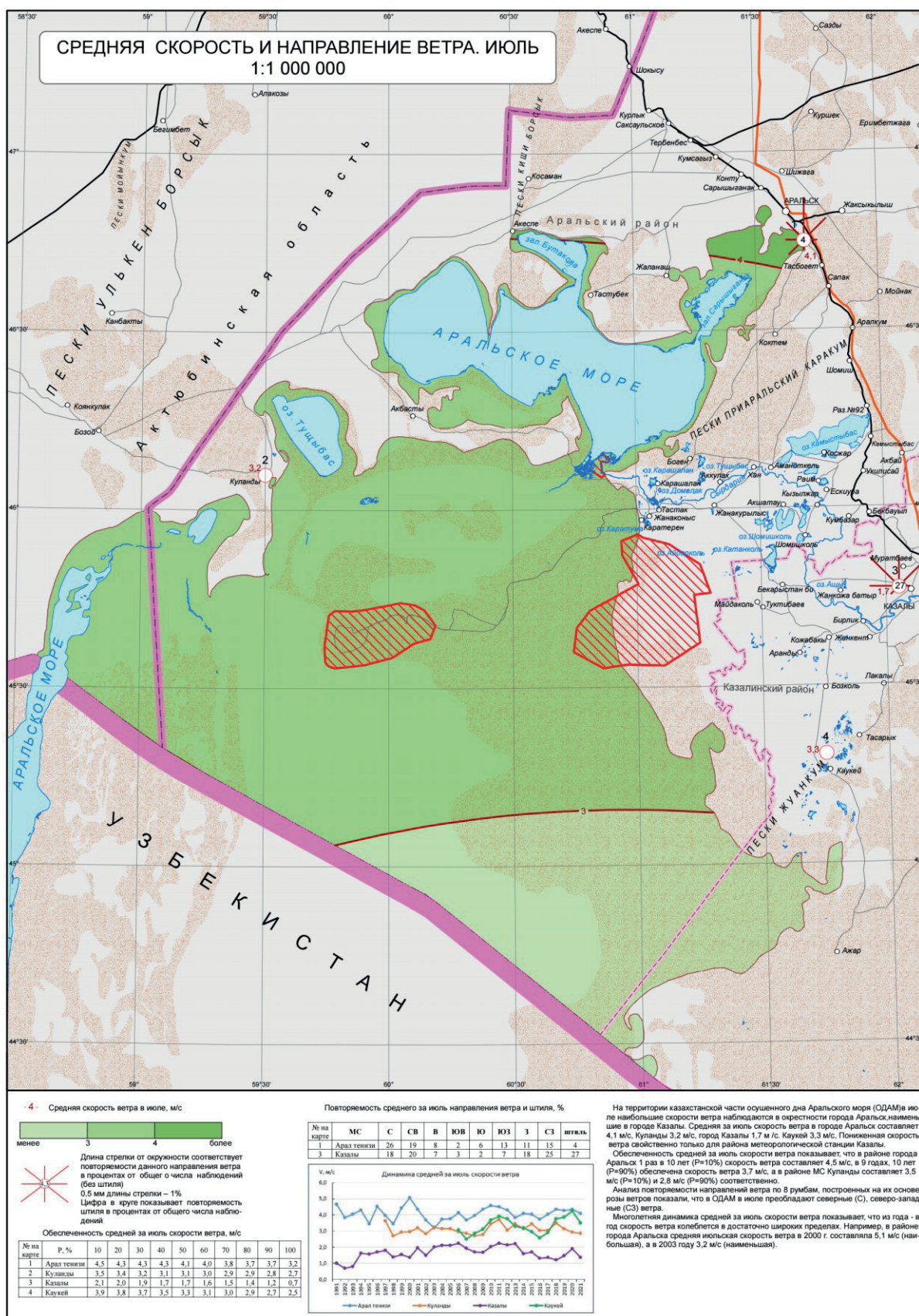


Карта средней за январь скорости и направления ветра



Приложение 14.

Карта средней за июль скорости и направления ветра



Приложение 15.

**Космические снимки Sentinel-2,
использованные в подготовительном этапе**

№	Идентификационный номер снимка	Дата получения	Номер гранул
1.	L1C_T40TFR_A032664_20210923T065625	2021/09/23	T40TFR
2.	L1C_T40TFS_A032664_20210923T065625	2021/09/23	T40TFS
3.	L1C_T40TGQ_A032664_20210923T065625	2021/09/23	T40TGQ
4.	L1C_T40TGR_A032664_20210923T065625	2021/09/23	T40TGR
5.	L1C_T40TGS_A032664_20210923T065625	2021/09/23	T40TGS
6.	L1C_T41TLK_A023641_20210915T064747	2021/09/15	T41TLK
7.	L1C_T41TLL_A023641_20210915T064747	2021/09/15	T41TLL
8.	L1C_T41TLM_A032664_20210923T065625	2021/09/23	T41TLM

Приложение 16.

Характеристики почв и растительности ключевых участков

№	№ раз-реза	Рельеф, почвы	Растительность	Абсолютная высота, м	Координаты
1.	1	Приморская солончаковая супесчаная		39,68	45°58'11,186"N 60°59'11,159"E
2.	2	Приморская солончаковая супесчаная		33,30	45°58'21,825"N 60°53'9,621"E
3.	3	Равнина. Приморская солончаковая среднесуглинистая с такыровидными трещинами, на поверхности имеются ракушки.	Карабараково-тамариковое сообщество, кусты в основном сухие, у растений идет частичная вегетация. Общее проективное покрытие почвы растениями – 15-20%. Высота кустов 50-60 см. Количество кустов на трансекте 100 м ² – 29 особей.	35,81	45°58'54,268"N 60°46'46,679"E
4.	4	Равнина. Солончак приморский тяжелосуглинистый	Единичные кусты карабарака. Высота карабарака 50-60 см. Есть вегетирующие ювенильные особи, высота которых составляет 20-30 см.	37,38	45°58'18,044"N 60°41'17,002"E
5.	5	Равнина. Приморская солончаковая среднесуглинистая. На поверхности почвы имеются ракушки, наблюдается такыровидная трещиноватость (рисунок 1а, 1б).	Сухой прошлогодний травостой занимает 25% поверхности почвы. Имеются редкие сухие ветки тамариска. Общее проективное покрытие почвы растениями с учетом сухих остатков растений разреженного солеросово-карабаракового сообщества с микроценозами сухого тростника 30%. Частично вегетирует карабарак, высотой 15-30 см. Высота сухого солероса 10-15 см. По мере отдаление от точки встречаются солеросово-сведовые с карабараксом микроценозы с микрогруппировками тростника. Средняя высота травостоя 10-25 см, высота сухого тростника 50-100 см.	40,38	45°58'20,417"N 60°35'11,580"E
6.	6	Равнина. Солончак приморский супесчаный. На поверхности почвы имеются ракушки, слабо выражена такыровидная трещиноватость.	Солеросово-сведовые с тростником и тамариксом (рисунок 2а). Вегетирующих растений нет, растительность состоит из остатков прошлогодней ветоши. ОПП – 20-25%. Высота сухого тростника 100-120 см., тамариска – 80-120 см. Имеются следы пожара с обугленными остатками тамариска.	31,31	45°58'27,005"N 60°26'57,534"E

7.	7	Солончак приморский супесчаный. На поверхности почвы имеются ракушки, наблюдается такыровидная трещиноватость.	Изреженное сарсазановое сообщество частично вегетирует (рисунок 26), ОПП – 10-15 см.	29,42	45°58'19,880"N 60°21'32,191"E
8.	8	Равнина. Солончак приморский супесчаный. Поверхность почвы усеяна ракушками.	Присутствуют редкие сухие остатки прошлогодних солянок (климакоптера, сведа, солерос), встречаются единичные кусты сарсазана, растения не вегетируют (рисунок 2г).	29,56	45°58'27,502"N 60°15'23,411"E
9.	9	Слабоволнистая равнина. Приморские песчаные почвы. Поверхность почвы усеяна ракушками.	Вегетирующих видов растений нет. ОПП – 30-35%. Имеются норы грузынов. Растительность состоит из мозаично распространенных микроценозов: 1. Кустарниково-карелининово-эremosпартоновое (курчавка, тамарикс, рисунок 2в). 2. Карелининово-курчавковое с тростником 3. Микрогруппировки тростника с кермеком. Растительность состоит из прошлогодних сухих остатков растений, вегетирующих видов нет.	26,38	45°58'30,126"N 60°8'52,850"E
10.	10	Равнина. Солончак приморский супесчаный	Поверхность почвы усеяна ракушками, встречается редкая ветوشь солероса.	23,60	45°57'33,595"N 60°3'55,555"E
11.	11	Равнина. Приморская солончаковая супесчаная.	Посадки саксаула (японский проект)	37,32	45°50'56,965"N 60°40'27,088"E
12.	12	Равнина. Приморские солонцеватые песчаные. По понижениям имеются ракушки.	Саксауловое редколесье с травяным покровом и редким тамариксом и жузгуном. Общее покрытие почвы растениями 30-35%. Количество разновозрастного саксаула на трансекте 10x10м ² – 20 особей. Проектное покрытие распространенных преимущественно по понижениям микроценозов (), которые местами достигают 40-50% общего проективного покрытия. У саксаула начало вегетации, много подроста саксаула, высота которых колеблется в пределах 20-50 см. Встречаются также ювенильные особи. Саксаул распространен по всем элементам рельефа. Средняя высота саксаула колеблется в пределах 150-230 см. Кусты тамарикса образуют фитогенные бугры, но вегетируют только частично.	43,06	45°51'16,124"N 60°51'58,025"E

13.	13	Равнина. Приморские солонцеватые супесчаные.	Карабараково-солянково-разнотравное сообщество, ОПП с учетом сухих остатков растений составляет 30%. Высота карабарака 100-170 см, высота сухих солянок 20-25 см, отрастающее разнотравье (стригозелла, крестовник, лебеда) высотой 3-5 см, начинают заселять пространства между кустами карабарака. Vegetирует только стригозелла завитая и лебеда Пратова (рисунок 4а, 4б).	35,91	45°50'18,571"N 60°44'39,552"E
14.	14	Слабоволнистая равнина с фитогенными буграми. Приморские солонцеватые супесчаные, поверхность почвы усеяна ракушками.	Участки без растительности составляют 80%. Сухостой трав из лебеды, солянок, изреженных кустов сарсазана и тамариска составляют 20%. Высота сухих кустов сарсазана и тамариска колеблется в пределах 20-40 см. Встречаются сухие лебедово-солянковые (солерос, сведа) сообщества, расположенные по микропонижениям ценозы тростника и микрогруппировки климакоптеры образуют мозаичность растительного покрова. Высота лебедово-солянкового сухого травостоя 20-40 см. Высота микрогруппировок сухого тростника 60-100 см. Vegetация наблюдается только у микрогруппировок климакоптеры, причем, идет только стадия начала отрастания. Имеются фитогенные бугры различной высоты.	27,21	45°50'26,837"N 60°36'58,594"E
15.	14/1	Равнина. Приморские солонцеватые супесчаные	Изреженные популяции лебеды Пратова с редким солеросом. Периферийная часть посадок саксаула нынешнего года.	27,66	45°48'56,549"N 60°34'27,404"E
16.	15	Солончак корково-пухлый суглинистый	Имеются единичные сухие кусты карабарака. В прилегающей территории по бывшему береговому валу имеются редкие кусты не вегетирующих тамариска солероса и сведы.	29,35	45°48'33,980"N 60°27'30,251"E
17.	16	Равнина. Солончак приморский супесчаный	Мозаичное распространение микрогруппировок солянок, полыни, тростника и тамариска. ОПП – 10-25%. Вегетирующих видов растений нет.	28,50	45°50'16,602"N 60°21'27,702"E
18.	17	Солончак приморский супесчаный. Имеются норы грызунов.	Мозаичная смена остатков солянковой ветоши и солончаков без растительности. ОПП растительной ветоши – 10-30% Встречаются единичные сухие кусты тамариска.	26,67	45°50'22,315"N 60°14'1,216"E
19.	18	Равнина. Приморские	По понижениям между навесными песчаными бугорками имеются ракушки. В составе лебедово-	30,80	45°50'27,427"N 60°6'29,678"E

		навеянные песчаным чехлом.	солянкового сообщества нет вегетирующих видов, кроме ювенильных особей климактеры и стригозеллы (рисунок 3а), ОПП – 30%, высота – 10-25 см. По повышенным элементам нанорельефа встечаются микрогруппировки сухой редкой триостницы высотой 20-30 см.		
20.	19	Равнина. Солончак приморский супесчаный, поверхность почвы усеяна ракушками, имеются норы землероев.	ОПП сарсазаново-лебедового местами с тамариксом сообщества составляет – 10-20%, идет частичная вегетация сарсазана. Участок состоит из преимущественно оголенных участков без растительности. Высота сарсазана 20-60 см, сухих остатков лебеда 30-60 см. встречаются также редкие фитогенные бугры тамарикса.	33,15	45°50'10,687"N 59°58'24,935"E
21.	20	Равнина. Приморские солонцеватые супесчаные с навеянным песчаным чехлом.	Доминантом сарсазаново-лебедовое сообщество является сарсазан шишковатый, который наравне с карабараксом и тамариксом способствует образованию фитогенных бугров (рисунок 3а, 3б). Между буграми встречаются изреженные сухие остатки лебеда. Встречаются как старые сухие, так и молодые особи сарсазана, вегетирующие частично. ОПП – 10- 20%. Высота сарсазана 10-30 см, лебеда сухой – 20-40 см. Вдоль сухого русла имеются фитогенные бугры сарсазана.	35,15	45°50'8,484"N 59°55'20,003"E
22.	21	Равнина. Приморские солончаковые с навеянным песчаным чехлом	с редкой солянковой растительностью	43,22	45°42'7,888"N 60°47'55,183"E
23.	22	Равнина. Приморские с навеянным песчаным чехлом	без растительности	37,73	45°42'13,604"N 60°41'49,924"E
24.	23	Равнина. Приморские солончаковые с навеянным песчаным чехлом	без растительности	36,81	45°42'19,123"N 60°35'24,371"E
25.	24	Равнина. Приморские солончаковые с навеянным песчаным чехлом	без растительности	34,49	45°42'17,348"N 60°28'52,961"E
26.	25	Равнина. Приморские солончаковые с	ОПП мозаично распространенного лебедового сообщества колеблется в пределах 20-50%. Травостой состоит	32,43	45°42'11,815"N 60°23'26,664"E

		навеянным песчаным чехлом	их сухих прошлогодних остатков лебеда.		
27.	26	Равнина. Приморские солончаковые с навеянным песчаным чехлом	Карабараковое сообщество, ОПП 35-40%. Высота кустов карабарака достигают 50 см, расстояние между кустами карабарака от 1 до 4 м. Растения частично вегетируют.	32,45	45°42'18,760"N 60°16'53,620"E
28.	27	Пустошь. Солончак приморский супесчаный	Имеются не вегетирующие редкие кусты сарсазана.	27,05	45°45'6,577"N 60°7'42,730"E
29.	28	Равнина. Приморские солончаковые с навеянным песчаным чехлом	Изреженное сарсазановое сообщество с ОПП 20%. Высота кустарников 20-50 см, растения частично вегетируют.	37,92	45°33'59,584"N 60°42'36,504"E
30.	29	Равнина. Приморские солонцевато- солончаковые с навеянным песчаным чехлом.	Разнотравно-саксаулово-карабараковое сообщество, ОПП 40-60%. Высота кустов карабарака достигают 50 см, высота саксаула – до 2 м. травяной покров состоит из стригозеллы и лебеда, изредка примешиваются солерос и сведа, все вегетирует только стригозелла.	36,72	45°34'3,684"N 60°37'19,715"E
31.	30	Равнина. Приморские солончаковые с навеянным песчаным чехлом.	Карабараковое сообщество, ОПП 35-40%. Высота кустов карабарака достигают 50 см, расстояние между кустами карабарака от 1 до 4 м. Растения частично вегетируют.	34,70	45°34'14,797"N 60°32'16,537"E
32.	31	Равнина. Приморские солончаковые с навеянным песчаным чехлом	с редкими фитогенными буграми с соляноколосником	31,23	45°33'57,766"N 60°24'18,490"E
33.	32	Равнина. Приморские солончаковые с навеянным песчаным чехлом	без растительности	30,55	45°34'4,847"N 60°16'59,923"E
34.	33	Равнина. Приморские солончаковые с навеянным песчаным чехлом	без растительности	19,90	45°34'5,113"N 60°10'32,462"E
35.	35	Равнина. Солончак корково-пухлый песчаный	без растительности	28,93	45°34'9,761"N 59°57'42,710"E
36.	36	Равнина. Приморские солонцевато- солончаковые супесчаные	без растительности	38,55	45°34'56,194"N 59°50'12,653"E

37.	37	Слабоволнистая равнина с фитогенными буграми. Приморские солончаковые с навесным песчаным чехлом	Сарсазаново-солянково-разнотравное с кустарниками сообщество. Общее проективное покрытие почвы растениями составляет 20-25%, местами встречаются голые участки. Сарсазан образующий фитогенные бугры, частично вегетирует. Солянки, высота которых колеблется в пределах 10-30 см, представлены сухими солянкой Паульсена, солеросом, климакоптерой, гораниновией, высотой 5-15 см. Группа разнотравья представлена стригозеллой и лебедой Пратова. Встречаются редкие кусты саксаула и курчавки, которые вегетируют частично, также встречаются фитогенными бугры с сарсазаном. По микропонижениям распространены лебедово-солянковые сообщества, которые образуют комплекс с сарсазанниками, они занимают микроповышения нанорельефа. Наблюдается наличие ювенильных особей лебеды, которые образуют микрогруппировки. Имеются участки без растительности, занимающие около 30% территории, что характерно для солончаковых пустынь.	47,52	45°25'48,083"N 60°45'12,931"E
38.	38	Слабоволнистая равнина. Приморские солонцевато-солончаковые с навесным песчаным чехлом. Поверхность усеяна ракушками, имеются норы грызунов.	По микропонижениям распространены лебедово-солянковые сообщества, которые образуют комплекс с редкими кустами сарсазана, которые занимают микроповышения нанорельефа. Наблюдается наличие ювенильных особей лебеды, которые образуют микрогруппировки. Имеются участки без растительности, занимающие около 30% территории, что характерно для пустынных территории.	44,88	45°25'54,048"N 60°41'24,101"E
39.	39	Равнина. Приморские солонцеватые легкоглинистые	Лебедово-сведовый с сарсазаном сухой травостой, ОПП – 20-25%, высота колеблется в пределах 20-50 см. вегетирующих видов нет. Около 70% территории лишены растительного покрова.	29,04	45°25'57,353"N 60°33'40,712"E
40.	40	Равнина. Приморские навесные песчаным чехлом	без растительности	29,04	45°25'57,356"N 60°24'52,182"E
41.	41	Равнина. Солончак приморский песчаный, имеются ракушки. Идет	Имеются не вегетирующие редкие кусты сарсазана. Расстояние между кустами, образующими фитогенные бугры составляет от 2 до 12 м. Высота	31,13	45°25'28,679"N 60°16'9,926"E

		процесс образования песчаного плаща.	фитогенных бугров от 15 до 30 см без учета сарсазана.		
42.	42	Равнина. Солончак приморский песчаный. Очаги солепылепереноса	без растительности	29,36	45°26'1,828"N 60°10'8,137"E
43.	43	Равнина. Солончак приморский супесчаный. Очаги солепылепереноса	без растительности	29,43	45°26'1,309"N 60°2'46,226"E
44.	44	Слабоволнистая равнина. Приморские навеянные песчаным чехлом. За счет навеяния песков наблюдается бугорчатость и волнистость рельефа.	Саксауловое редколесье с солянковой растительностью и с редким сарсазаном. Имеются ювенильные особи стригозеллы и лебеды. Общее проективное покрытие почвы растениями 25-30%. Саксаульник разновозрастной, имеются ракушки преимущественно по пониженным элементам нанорельефа. По микроповышениям встречаются норы землероев. Количество кустов саксаула на трансекте 100м2 14 особей высотой 70-130 см, молодых особей, высотой 15-20 см – 11, некоторые особи саксаула достигают 200-250 см.	42,77	45°17'34,696"N 60°52'37,020"E
45.	45	Слабонаклонная равнина. Приморские навеянные песчаным чехлом, поверхность усеяна ракушками, имеются много нор землероев.	Лебедево-солянковое с стригозеллой сообщество (солерос, солянка Паульсена). Общее проективное покрытие почвы растениями 15-25% Высота сухого травостоя лебеды и солянки – 30-50 см, солероса – 15-20 см.	35,26	45°17'30,012"N 60°48'28,184"E
46.	46	Равнина. Приморские навеянные песчаным чехлом.	без растительности, изредка встречаются кусты саксаула, высотой 15-30 см, имеются ракушки.	35,03	45°17'46,730"N 60°43'9,624"E
47.	47	Равнина. Приморские навеянные песчаным чехлом	с очень редкими кустами саксаула. Имеются ракушки. Под кроной саксаулов имеются навеянные песчаные бугры, под пологими саксаулов других растений нет. Ветки саксаулов обгрызены грызунами	42,41	45°17'40,189"N 60°37'12,367"E
48.	48	Слабоволнистая равнина. Приморские солончаковатые навеянные песчаным чехлом	без растительности	34,54	45°18'20,279"N 60°29'12,001"E
49.	49	Корково- солончаковая равнина. Приморские	без растительности	40,39	45°17'54,589"N 60°21'27,072"E

		солончаки, навеянные песчаным чехлом			
50.	50	Корково- солончаковая равнина. Приморские солончаки песчаные	с темными участками без растительности.	37,81	45°17'55,536"N 60°13'2,442"E
51.	53	Слабоволнистая равнина. Приморские солончаковые навеянные песчаным чехлом	без растительности	40,42	45°9'0,367"N 60°35'51,137"E
52.	54	Слабоволнистая равнина. Приморские солончаковые песчаные	без растительности		45°9'41,956"N 60°28'45,606"E
53.	55	Слабоволнистая равнина. Солончак приморский навеянный песком	без растительности	32,43	45°9'43,031"N 60°23'26,279"E
54.	56	Слабоволнистая равнина. Солончак приморский навеянный песком	без растительности	26,76	45°9'45,504"N 60°18'1,955"E
55.	57	Слабоволнистая равнина. Солончак приморский супесчаный	без растительности	24,71	45°9'33,282"N 60°11'2,846"E
56.	64	Слабоволнистая равнина. Приморские навеянные песчаным чехлом	без растительности	46,61	45°1'22,674"N 61°0'27,140"E
57.	65	Слабоволнистая равнина. Приморские навеянные песчаным чехлом	с единичными кустарниками (сарсазан, тамарикс) и солеросом	28,98	45°1'19,236"N 60°50'11,454"E
58.	66	Слабоволнистая равнина. Солончак приморский среднесуглинистый	с редким саксаулом	36,56	45°1'32,934"N 60°42'17,100"E
59.	67	Слабоволнистая равнина. Солончак приморский навеянный песком	с единичными кустами сарсазана	36,36	45°2'25,022"N 60°35'32,867"E
60.	68	Слабоволнистая равнина. Солончак	с редкой лебедой	28,44	45°1'37,042"N 60°29'7,296"E

		приморский навеянный песком			
61.	69	Слабоволнистая равнина. Солончак приморский навеянный песком	без растительности.	31,04	45°1'37,783"N 60°22'49,400"E
62.	70	Слабоволнистая равнина. Солончак приморский навеянный песком	без растительности.		45°3'54,065"N 60°18'0,544"E
63.	78	Слабоволнистая равнина. Приморская солончаковая навеянный песком	редкие бугры сарсазана	39,07	44°53'15,565"N 61°0'16,038"E
64.	79	Солончак приморский навеянный песчаным чехлом		38,41	44°53'19,244"N 60°52'38,500"E
65.	80	Слабоволнистая равнина. Солончак приморский супесчаный	с редкими кустами карабарака и сарсазана. ОПП – 10-15%. Имеются фитогенные бугры различной высоты.	34,41	44°53'24,234"N 60°42'10,991"E
66.	87	Слабоволнистая равнина. Солончак приморский навеянный песком	с единичными кустами карабарака		44°49'10,782"N 60°59'39,275"E

Приложение 17.

Средства измерений почвенных образцов

№	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Specord 210 PLUS	223F1426/1199	№ ВА-11-19-0557 от 09.06.2022 г.	09.06.2023г.
2.	Иономер лабораторный тип И-160 МИ	0451	№ ВА09-19-2439 от 27.06.2022 г.	27.06.2023г.
3.	Пламенный фотометр Тип FLAPHO-4	779792/6/Н	№ ВА-11-19-0558 от 09.06.2022 г.	09.06.2023г.
4.	Весы электронные AR 2140	1227250240	№ ВА-02-02-2070 от 28.07.2021 г.	28.07.2022 г.
5.	Весы электронные ScoutProSPS202 F	7132211897	№ ВА-02-02-2075 от 28.07.2021 г.	28.07.2022 г.

Приложение 18.

Виды и методы анализа почвенных образцов

№	Виды и методы анализов	Кол-во
1.	Гумус по Тюрину, СТ РК 3477-2019	102
2.	Азот валовой по Кьелдалю (ГОСТ 26107-84)	102
3.	Фосфор валовый (ГОСТ 26261-84)	60
4.	Механический состав по Качинскому (ГОСТ 12536-79)	308
5.	Гигроскопическая влага по Качинскому (ГОСТ 12536-79)	308
6.	Водная вытяжка полная (ГОСТы 26423-85; 26428-85)	276
7.	Карбонаты (CO ₂) газоволлюметрический	276
8.	pH потенциометрический (ГОСТ 26423-85)	276
9.	Поглощенные основания Ca, Mg. по методу Аринушкина	93
10.	Поглощенные Na и K, по методу Каратаева и Маметова	93

Список исполнителей и состав экспедиции

Список исполнителей проекта:

№	ФИО	Должность
1.	Ф.Ж. Акиянова	Научный руководитель, д.г.н., профессор
2.	Н.Б. Зинабдин	Ответственный исполнитель, руководитель центра ГИС и ДЗЗ
3.	С.С. Байшоланов	Руководитель отдела климатологии, к.г.н.
4.	Б.К. Бекнияз	Эксперт по экологии и опустыниванию, к.г.н.
5.	Е.Ж. Муртазин	Эксперт по гидрогеологии, к.г.-м.н.
6.	К. Усен	Эксперт по геоботанике, д.б.н.
7.	О.Е. Семенов	Эксперт по пыльным бурям, к.т.н.
8.	Г. К. Сатекеев	Эксперт по почвам и ООПТ
9.	Е. Ю. Смирнова	Эксперт по прогнозу климата
10.	М. А. Муздыбаев	Эксперт по гидрологии
11.	Е.М. Каракулов	Научный сотрудник, эксперт по ДЗЗ
12.	А.Д. Нажбиев	Научный сотрудник, эксперт по экологии и ГИС
13.	Ж.Е. Мусагалиева	Научный сотрудник, эксперт по ДЗЗ
14.	А.М. Аталихова	Научный сотрудник, эксперт по экологии
15.	А.Н. Кабдешев	Научный сотрудник, эксперт по ГИС
16.	Ж. Дюсенов	Научный сотрудник, эксперт по ГИС
17.	С.Р. Исайнов	Юридическое сопровождение
18.	Р.М. Шахманова	Финансовое сопровождение

Состав экспедиции:

№	ФИО	Должность
1.	Акиянова Ф.Ж.	руководитель экспедиции, геоморфолог
2.	Зинабдин Н.Б.	Географ, ГИС
3.	Каракулов Е.М.	геодезист-картограф, GNSS, БПЛА
4.	Нажбиев А.Д.	эколог, картограф
5.	Мусагалиева Ж.Е.	картограф, GNSS, БПЛА
6.	Капар У.	геоботаник
7.	Бекнияз Б.К.	гидрогеолог
8.	Сатекев Г.	почвовед
9.	Канаев Б.	почвовед
10.	Бердібек А.	почвовед
11.	Рахметов И.	гидрогеолог
12.	Итемен Н.	гидрогеолог
13.	Кунжанов Б.	водитель
14.	Алдоңғаров Н.	водитель
15.	Түйішев Ә.	водитель



Состав экспедиции



Уточнение маршрута в базовом лагере



Временный лагерь вблизи одного из крайних ключевых участков



Бурение и опробование картировочной скважины № 14 глубиной 3,1 м



Бурение и опробование картировочной скважины № 12 глубиной 5,2 м

