

А.Г. Валеев^{1,*} , Н.Б. Зинабдин² ,Ж.М. Шарапханова¹ , А.Д. Абитбаева¹ ¹Институт географии и водной безопасности, Казахстан, г. Алматы²Евразийский Национальный Университет имени Л.Н. Гумилева, Казахстан, г. Астана

*e-mail: adiletv@gmail.com

СОВРЕМЕННОЕ РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЕ СЕВЕРНОГО ПРИАРАЛЬЯ В УСЛОВИЯХ РЕГРЕССИИ МОРЯ

Целью исследования является определить преобладающие типы процессов рельефообразования Северного Приаралья в условиях регрессии моря и воздействия аридного климата.

Методика исследования объединяет полевые наблюдения, интерпретацию данных ДЗЗ, цифровой фотограмметрический анализ аэрофотоснимков и обработку данных в ГИС. Была использована комбинация инструментальных геоморфологических полевых исследований, с использованием беспилотного летательного аппарата, тахеометра, дальномера и GPS координирование.

В результате исследования создана карта современного земельного покрова исследуемого участка Северного Приаралья. Выделены 13 типов покрова: пустоши (неиспользуемые земли), земли занятые населенными пунктами, пашни, водно-болотные угодья, травы, степь с редкой растительностью, водная поверхность, осушенное дно Аральского моря, закрепленные пески, подвижные пески, соры и такыры. Отсутствие растительности на делювиально-пролювиальных выносах, склонах денудационного уступа, свидетельствуют об активных гравитационных процессах и ветровой эрозии. В Северном Приаралье выявлены несколько сел, подверженных неблагоприятному воздействию подвижных песков, это Косаман, Акеспе, Акбасты, Боген и др. В селах Акеспе и Акбасты подвижными песками засыпаются жилые дома и хозяйственные помещения местных жителей. Относительные высоты между основанием и гребнем бархана, в среднем составляет 2 метра. Площадь развития подвижных песков в с. Акеспе составляет 1,68 км², в с. Акбасты около 1,62 км². Высчитаны величины коэффициента нагрузки условного скота на пастбища на территории исследования, где высокий коэффициент отмечается в с. Акбасты.

Характер происходящих рельефообразующих процессов указывает на усиление в регионе воздействия аридности климата и антропогенного влияния в результате регрессии моря. На первый план выходят эколого-геоморфологические проблемы, влияющие на здоровье человека и качество жизни местных жителей, возникшие в результате нерационального землепользования, хрупких пустынных экосистем вблизи населенных пунктов. С учетом полученных результатов становится актуальной разработка и внедрение мероприятий рационального природопользования в условиях адаптации окружающей среды и жизнедеятельности человека к усиливающимся процессам аридизации климата и его последствий.

Ключевые слова: Северное Приаралье, аридизация климата, рельефообразующие процессы, регрессия моря.

А.Г. Валеев^{1,*}, Н.Б. Зинабдин², Ж.М. Шарапханова¹, А.Д. Абитбаева¹¹География және су қауіпсіздігі институты, Қазақстан, Алматы қ.²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық Ұлттық Университеті, Қазақстан, Астана қ.

*e-mail: adiletv@gmail.com

Теңіз регрессиясы жағдайында солтүстік Арал маңы аймағындағы заманауи бедердің қалыптасуы

Мақалада теңіз регрессиясы кезеңіндегі Солтүстік Арал маңының заманауи жер бедерін қалыптастырушы үдерістер мен олардың қалыптасу факторлары қарастырылған. Зерттеудің мақсаты теңіз регрессиясы жағдайында Солтүстік Арал маңының заманауи жер бедерін қалыптастырушы үдерістердің басым типтерін және аридтік климаттың ықпалын анықтау болып табылады.

Зерттеудің әдістемесі далалық зерттеу жұмыстарын, ЖҚЗ деректерін интерпретациялау, аэрофотосуреттерді сандық фотограмметриялық талдау және деректерді ГАЗ-де өңдеу жұмыстарын біріктіреді. Ұшқышсыз ұшатын аппарат, тахеометр, қашықтық өлшегіш және GPS құралдарын пайдалану арқылы аспаптық геоморфологиялық далалық зерттеу жұмыстары жүргізілді.

Зерттеу нәтижесінде Солтүстік Арал маңының зерттелген үлескісінің қазіргі жер жамылғысының картасы жасалды. Жамылғының 13 типі бөлінді: бос жерлер (пайдаланылмайтын жерлер), елді мекен жерлері, егістіктер, сулы-батпақты жерлер, шөптер, өсімдіктер сирек өскен далалар, су айдындары, Арал теңізінің құрғаған түбі, бекіген құмдар, жылжымалы құмдар, сорлар мен тақырлар. Делювийлік-пролювийлік ысырындыларда, денудациялық кертпештің беткейлерінде өсімдік жамылғысының болмауы гравитациялық үдерістердің және жел эрозиясының қарқындылығын айғақтайды. Солтүстік Арал маңында жылжымалы құмдардың жағымсыз ықпалына ұшыраған елді мекендер анықталды, олар Қосаман, Ақеспе, Ақбасты, Бөген және басқа да ауылдар. Ақеспе және Ақбасты ауылдарында жергілікті халықтың тұрғын үйлері мен шаруашылық үй-жайларын жылжымалы құмдар басып жатыр. Шағылдың негізі мен қырқасының арасындағы салыстырмалы биіктік орташа 2 м-ді құрайды. Жылжымалы құмдардың даму ауданы Ақеспе ауылында 1,68 км², Ақбасты ауылында шамамен 1,62 км². Зерттеу аумағындағы жайылымға шартты мал басы жүктемесінің коэффициенті есептелді, жоғары коэффициент Ақбасты ауылында байқалады.

Аймақта жүріп жатқан жер бедерін қалыптастырушы үдерістердің сипаты теңіз регрессиясының нәтижесінде аридтік климаттың және антропогендік ықпалдың артуын айқандайды. Әлбетте, елді мекендер маңындағы осал шөл экожүйелерін, жер ресурстарын ұтымсыз пайдалану нәтижесінде қалыптасқан, жергілікті халықтың денсаулығы мен өмір сүру сапасына ықпал ететін экологиялық-геоморфологиялық мәселелер алдыңғы орынға шығады. Алынған нәтижелерді есепке ала отырып, қарқынды климаттың аридтену үдерісі мен оның салдарына қоршаған ортаны және халықтың тіршілік әрекетін бейімдеу жағдайында табиғатты ұтымды пайдалану шараларын әзірлеу және ендіру жұмыстары өзекті болып отыр.

Түйін сөздер: Солтүстік Арал маңы, климаттың аридтелуі, бедер қалыптастырушы үдерістер, теңіз регрессиясы.

A.G. Valeev^{1,*}, N.B. Zinabdin², Zh.M. Sharapkhanova¹, A.D. Abitbayeva¹

¹Institute of Geography and Water Security, Kazakhstan, Almaty

²Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Kazakhstan, Astana

*e-mail: adiletv@gmail.com

Modern relief formation of the northern Aral region under the conditions of the sea regression

The article examines the modern processes of relief formation in the Northern Aral Sea during the period of sea regression and the factors of their formation. The study aims to determine the predominant types of relief formation processes under the conditions of sea regression and the impact of an arid climate.

The research methodology combines field observations, interpretation of remote sensing data, digital photogrammetric analysis of aerial photographs, and data processing in GIS.

As a result of the study, a map of the modern land cover of the studied area of the Northern Aral Sea region was created. 13 types of cover were identified: wastelands (unused lands), lands occupied by settlements, arable land, wetlands, grasses, steppe with sparse vegetation, water surface, drained bottom of the Aral Sea, fixed sands, shifting sands, saline, and takyrs. The absence of vegetation indicates active gravitational processes and wind erosion. Several villages have been identified that are subject to the adverse effects of mobile sands; these are Kosaman, Akеспе, Akbasty, Bogen, etc. In the villages of Akеспе and Akbasty, residential houses and household premises of residents are covered with mobile sands. The relative height between the base and the crest of the dune, on average, is 2 meters. The development area of shifting sands in Akеспе village is 1.68 km², and in the village of Akbasty is about 1.62 km². The values of the load factor of conditional cattle on pastures in the study area, where a high coefficient is noted in the village of Akbasty, are calculated. The development and implementation of environmental management measures in the conditions of adaptation of the environment and human activity to the increasing processes of climate aridization and its consequences become relevant.

Key words: Northern Prearalie, climate aridization, relief-forming processes, sea regression.

Введение

Исследованию Арала посвящены труды многих ученых на протяжении более 100 лет. Многим ученым посчастливилось увидеть полноводный Арал, изучать его с позиции озера-моря. Физико-географические явления исследовали Л.С. Берг (Берг, 1908: 15-50), первые геоморфологическую характеристику берегов Арала описал Л.С. Берг (Берг, 1902:1-5), изучением закономерностей развития и рельефообразования берегов занимался А. И. Бутаков (Бутаков, 1872: 1), определил основные факторы формирования берегов в аридных условиях и районировал берега Арала с учетом ландшафтно-зональных особенностей В.И. Лымарев (Лымарев, 1967: 16-30).

Однако, начиная с 1960 года уровень Аральского моря начал падать в связи с расширением орошаемого земледелия в бассейнах рек Амударья и Сырдарья (Micklin, 2007: 49-53). При этом уровень упал на 23 м, площадь водного зеркала сократилась на 74 %, объем воды уменьшился на 90%, что привело к различным негативным последствиям, в том числе изменению климата вокруг бывшей береговой линии (Micklin, 2007: 53). Рельеф бывшего дна Аральского моря в настоящий период развивается под воздействием доминирующего аридного климата, повысилась среднегодовая температура (Micklin, 2014: 16), осадки сократились в несколько раз до 150-200 мм, испаряемость повысилась до 1700 мм в год (Алтаева, 2015: 1-3). В связи с чем, активизировалось воздействие эоловых процессов на рельеф дна бывшего водоема, проявляющийся в эрозии горных пород, переносе осадочного материала, корразии и т.д.

Целью исследования является определение преобладающих типов рельефообразования Северного Приаралья в условиях регрессии моря и воздействия аридного климата; анализ современной морфоскульптуры рельефа на ключевых участках в контексте выявления интенсивности рельефообразования.

Концептуальные аспекты исследования основываются на учениях климатической и аридной геоморфологии А.П. Дедкова, В.П. Чичагова, И.П. Герасимова и др. (Дедков, 1976: 4-5, Чичагов, 2011: 19, Герасимов, 1967: 155-160). Ученые сходятся во мнении, что чередование фаз развития рельефа зависит как от тектонических, так и климатических условий, при этом в создании морфоструктур и морфоскульптур,

значительная роль принадлежит экзогенным процессам, характер и интенсивность которых во многом определены климатом (Дедков, 1976: 4-5). В.П. Чичаговым в 1990 г. были обозначены основные темы и направления аридной геоморфологии для изучения аридной морфоскульптуры Центральной и Средней Азии, в том числе для изучения проблем антропогенного опустынивания и активизации рельефообразующих процессов в связи с осушением дна Аральского моря. Следуя фундаментальным учениям, были обозначены теоретические рамки исследования: при изучении морфоструктур и морфоскульптур, должен использоваться климато-геоморфологический анализ, с учетом аспектов аридной геоморфологии (Чичагов, 2011: 20).

Исследование динамики современного рельефа Северного Приаралья в условиях регрессии Аральского моря проводилось эпизодически. Большинство исследований затрагивают актуальные вопросы по гидрологии рек и озер Аральского бассейна, динамики акватории моря, экологии и т.д. Тогда как территория Северного Приаралья является ценным хозяйственным регионом с наличием пастбищ, пресной воды, инфраструктуры, а также обладает уникальным природным потенциалом биологического и рельефного разнообразия, геотермальными источниками на осушенном дне моря. Катастрофические изменения окружающей среды, усиление аридного климата приводит к процессам эволюции и адаптации живой и неживой природы. Регрессия Аральского моря и усиление аридного климата способствуют проявлению процессов выветривания, выноса солей в атмосферу, сокращению водного стока, обнажению дна моря, сокращению биоразнообразия и др. [Бекнияз, 2010: 77-80, Кипшакпаев, 2010: 219-220]. Поэтому, изучение динамики современного рельефа территории имеет важное значение для понимания современных факторов рельефообразования и будущих преобразований в рельефе Северного Приаралья, являющегося основным компонентом в состоянии окружающей среды территории исследования.

Следует отметить, что после сокращения Аральского моря усилилась континентальность климата, активизировались некоторые опасные процессы рельефообразования под воздействием природных и антропогенных факторов. Для понимания изменений окружающей среды

необходимо знание различных факторов и процессов рельефообразования (Rao, 2002: 51-54). Усиление антропогенных факторов в проявлении и развитии опасных рельефообразующих процессов, среди которых можно выделить развитие подвижных песков за счет перевыпаса и последующей деградации растительности, развитие дефляции, выветривания, эрозии и развития пыльных бурь.

Тесная связь прослеживается между рельефом и другими компонентами земельного покрова, получившая отражение на космических снимках (Rao, 2002: 51-54). Их дешифрирование, классификация и интерпретация проводится

с помощью различных степеней корреляции в структуре распределения. Например, схема подвижных песков/населенных пунктов/линейных типов – дорог, очевидно, имеет сильную корреляцию между землепользованием и рельефом. Кокаральская дамба послужила развитию водно-болотной растительности с северной стороны, образовавшей соответствующий тип землепользования.

Область исследования включает территорию Северного Приаралья, по которой проведены маршрутные полевые исследования. На севере граница проходит в районе с. Косаман, на западе и юге по с. Куланды, на западе с. Боген (рисунок 1).

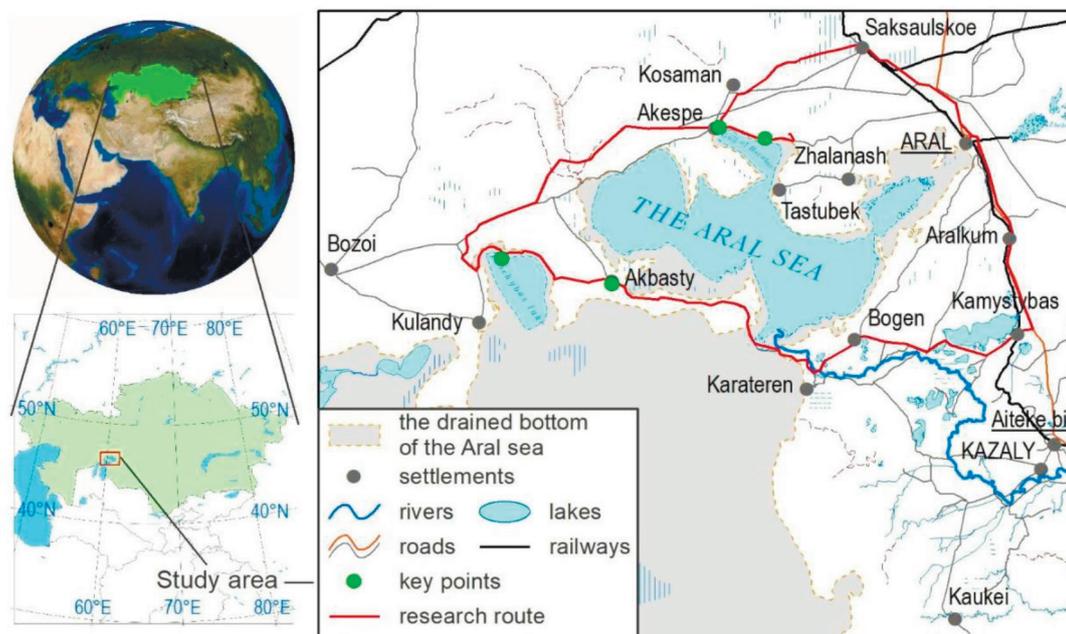


Рисунок 1 – Обзорная схема расположения исследуемого участка

Материалы и методы

В качестве исходных данных, для изучения динамики современного рельефа Северного Приаралья в период регрессии моря, применялись топографические карты и космические снимки, по которым можно извлечь первоочередные сведения о земной поверхности. Основным исходным материалом в исследовании послужил пакет аэрофотоснимков, полученных с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в ходе полевого исследования. Для оценки современного состояния и картографирования

рельефа, наряду с вышеуказанными сведениями, были использованы также данные из научных публикации (Micklin, 2007: 59-60, Yang, 2020: 1-5).

Наилучшие характеристики пространственной информации о земной поверхности, находящейся в открытом доступе, на сегодняшний день имеют спутники Landsat 8 и Sentinel-2. Для решения задач настоящего исследования были использованы снимки со спутника Sentinel-2A (семейство спутников Европейского космического агентства, созданное в рамках проекта глобального мониторинга окружающей

среды и безопасности Copernicus), полученные с портала Earth Explorer Геологической службы США (US Geological Survey) – <https://earthexplorer.usgs.gov> и находящиеся в свободном доступе. В пользу выбора данных спутника Sentinel-2A, оснащенных оптико-электронным мультиспектральным сенсором, выполняющим съемку в 13 спектральных каналах, запущенной 23 июня 2015 г. (Kaplan, 2017: 2-4), послужила высокая частота съемки (периодичность съемки – 10 дней), большой пространственный охват (ширина полосы съемки – 290 км) и достаточно детальное пространственное разрешение (10 м в пикселе) (Egema, 2016: 2-5) необходимых для проведения большинства исследовательских и мониторинговых работ.

Для аэрофотосъемки был использован БПЛА Phantom 4 и программное обеспечение Pix4Dcapture для Android. По сравнению с другими, более дорогими технологиями дистанционного зондирования, серия DJI Phantom обеспечивает компромисс между стоимостью, качеством датчиков, функциональностью и мобильностью (Peppra, 2019:1-2). Квадрокоптер DJI Phantom 4 давно зарекомендовал себя на рынке гражданских беспилотников. Это небольшой беспилотный летательный аппарат, весит около 1,4 кг и может летать на одном заряде до 28 минут. Его характерной особенностью является высокая стабильность работы, небольшая цена, камера 12 мегапикселей с трехосевым гиросtabilизирующим подвесом (Захлебин, 2018: 2). Для ориентации в пространстве БПЛА Phantom 4 использует до 24 навигационных спутников системы ГЛОНАСС/GPS, что обеспечивает высокую точность позиционирования, быстрое подключение и полный контроль за полетом.

Обработка полученных снимков и классификация земельного покрова проводилась в программном комплексе ENVI 5.2, геоинформационное картографирование – в ArcGIS 10.8, обработка материалов аэрофотосъемки – в программном обеспечении Agisoft Photoscan.

При решении поставленных задач применялись методы полевых исследований, геоинформационного картографирования и дистанционного зондирования с применением БПЛА. С учетом большой площади территории исследования, приоритет отдавался дистанционным методам.

Используемая методология состояла из трех этапов.

На *первом этапе*, для получения обзорных данных современных условий рельефа, была проведена классификация земельного покрова с использованием космических Sentinel-2A. С помощью ряда последовательных этапов – цифровой обработки выбранных изображений, и загрузки изображений, предварительной обработки, классификации с использованием известных обучающих выборок, последующей обработки классификации (Degife, 2018: 5-6) – получена карта современного земельного покрова исследуемой территории. Цифровой анализ позволяет быстрее и удобнее идентифицировать и разграничить земельный покров и виды землепользования. Различные виды земельного покрова имеют уникальную сигнатуру, формы рельефа, тон, текстуру, размер, дренаж, уклон, землепользование и др. (Rao, 2002: 3-5).

Их дешифрирование, классификация и интерпретация проводилась с помощью различных степеней корреляции в структуре распределения. Например, анализ схем подвижных песков/населенных пунктов/линейных объектов показал достаточно четкую корреляцию между землепользованием и рельефом.

На *втором этапе* были проведены полевые геоморфологические исследования, в том числе проведена съемка с БПЛА с целью крупномасштабного картографирования ключевых участков для изучения динамики современного рельефа Северного Приаралья в период регрессии моря и построения цифровых моделей рельефа с помощью простой методологии фотограмметрической съемки. Результаты использованы для получения поперечных профилей бывшей береговой зоны для изучения динамики современного рельефа Северного Приаралья в период регрессии моря.

Технология аэрофотосъемки БПЛА состояла из следующих трех этапов:

- подготовительные работы (изучение местности, подлежащей фотографированию, подготовка карт, проектирование маршрутов полета и расчет элементов фотосъемки);
- выполнение аэрофотосъемки на местности;
- камеральные работы (фотограмметрическая обработка снимков, создание ортофотоплана, карты высот и получение поперечных профилей рельефа).

Перед взлетом БПЛА было загружено полетное задание с помощью, предварительно установленной на мобильное устройство, программного обеспечения Ctrl+DJI и Pix4Dcapture

ге, в котором были прописаны основные детали полета (рисунок 2):

- задана площадь исследуемого участка;
- маршрут следования БПЛА;

- процент перекрытия фото был выбран 80%;
- скорость полета по маршруту 5 м/с;
- угол наклона камеры 90°;
- высота полета – 80 м.

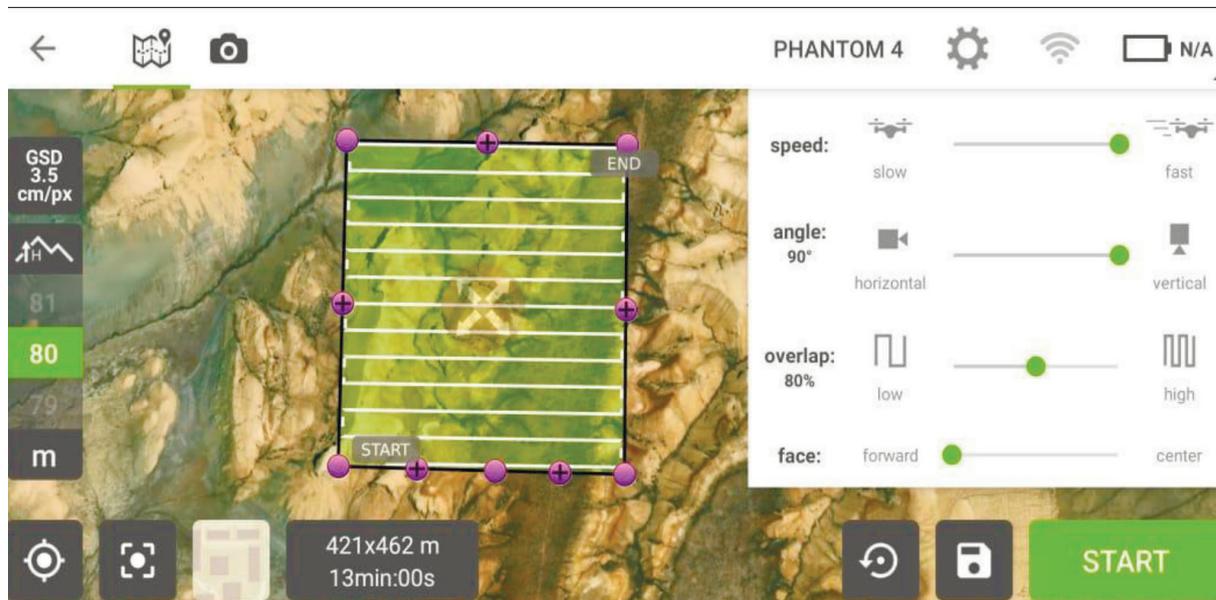


Рисунок 2 – Запуск аэрофотосъемки в условиях полевой работы средствами БПЛА DJI PHANTOM 4

Взлет производился непосредственно над ключевым участком для получения аэрофотографического материала. Время, необходимое для выполнения одной аэрофотосъемки составило около 2 часов, что включало настройку БПЛА, развертывание наземных целей управления, GPS-съемку и время полета и фотосъемки.

Важной задачей исследования этого этапа являлась обработка полученных материалов аэрофотосъемки с БПЛА в ГИС-среде. Полученный в результате выполнения аэрофотосъемки массив данных подвергся фотограмметрической обработке с помощью автоматизированного программного обеспечения Agisoft PhotoScan. В качестве исходных данных были использованы цифровые растровые изображения, координаты центров фотографирования, материалы калибровки оптической системы камеры.

Общий рабочий процесс обработки является схожим и состоит из нескольких фундаментальных шагов, таких как выравнивание фотографий (рисунок 3), создание плотного облака точек, сетки и цифровой поверхности и, наконец, создание ортофотоплана. Координаты центров фотографирования представлены в глобальной геоцентрической координатной системе отсчета WGS-84.

В результате, после выполнения операций с массивом изображений в программе Agisoft PhotoScan -добавление и выравнивание фотографий, построение плотного облака точек, постройка модели, постройка текстуры, карты высот – был получен ортофотоплан и карта высот ключевых участков в формате geotiff (рисунок 3), пространственным разрешением 3 и 12 см, соответственно.

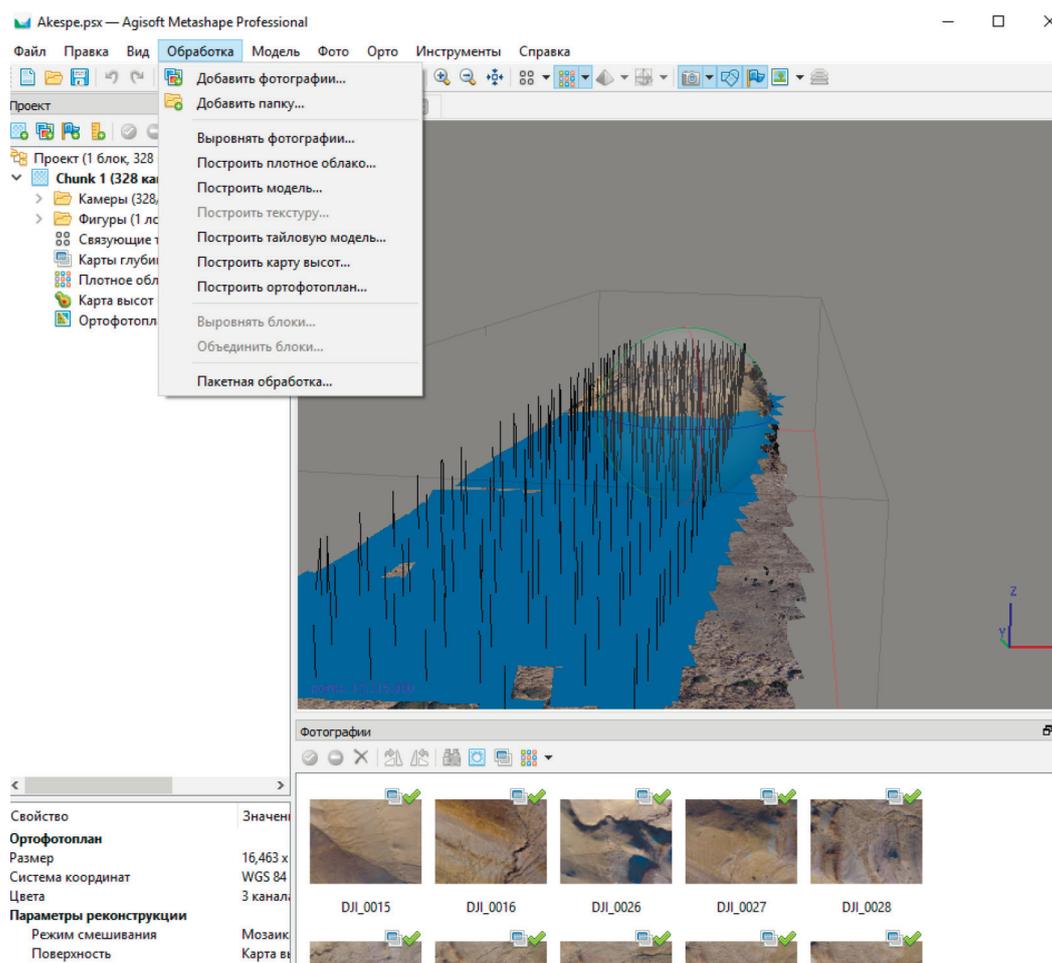


Рисунок 3 – Процесс обработки аэрофотоснимков в программном обеспечении Agisoft PhotoScan

На *третьем этапе*, полученные данные (карта земельного покрова, ортофотоплан и карта высот) были проанализированы в среде ГИС с использованием программного обеспечения ArcGIS версии 10.8 для оценки морфологических изменений. Геоморфологическое исследование территории Северного Приаралья путем интерпретации космических снимков Sentinel 2 A, в сочетании с анализом ортофотоплана высокого разрешения, полученного с БПЛА, и, подробными полевыми исследованиями, проведенными в августе 2021 года, позволили анализировать динамику современного рельефа Северного Приаралья в период регрессии моря.

Применение методов дешифрирования данных аэрофотосъемки с БПЛА в сочетании с использованием данных дистанционного зондирования Земли среднего пространственного разрешения (Sentinel-2), материалов полевых исследований и имеющихся литературных дан-

ных послужили основой максимально объективно и в достаточно короткие сроки создать геоморфологическую карту, описать и характеризовать его геоморфологическую структуру.

Результаты и обсуждение

Происходящие изменения природной среды обсохшего дна Арала настолько динамичны, что, за относительно короткое время, здесь наблюдается интенсивная трансформация рельефа, режима грунтовых вод, почвенно-растительного покрова, что в естественных условиях других пустынь Туранской равнины не отмечается (Курбаниязов, 2017: 102). Как можно заметить, непосредственно Арал ограничивают столово-останцовая равнина Северного Приаралья, Туранская низменность и плато Устирт, в пределах которых находятся соответствующие участки побережий Арала. Местами, в береговой зоне

широко развиты оползни, а также формы рельефа, созданные выветриванием и суффозионно-карстовыми процессами (Лымарев, 1967:80-82). На рассматриваемой территории развиты денудационный, эрозионно-денудационный, аккумулятивный и абразионно-аккумулятивный типы рельефа (Акиянова, 2016: 14, Слюсарев, 1974:35-42).

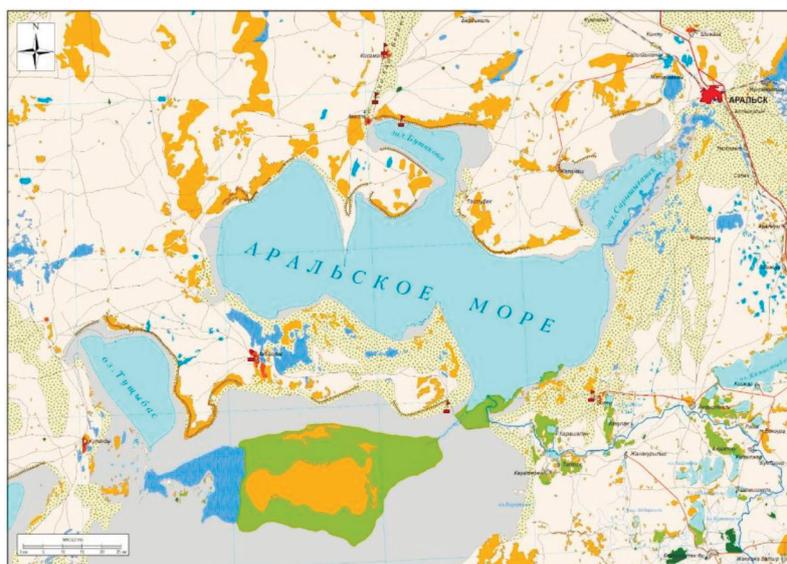
Климат района резко континентальный, характерный для внутриматериковых пустынь. Зима сравнительно холодная, но короткая. Средняя температура января $-13,5$ градусов, а минимальная -36 градусов. Снежный покров не превышает 70-90 мм. Лето жаркое, засушливое, с резко пониженной относительной влажностью (19%). Средняя температура июля составляет $+26$ градусов, а в отдельные дни она поднимается до $+42$ градусов. Для района характерны частые и сильные ветры (20 м/сек) преимущественно северо-восточного направления, летом вызывающие пыльные бури и штормы, а зимой сдувающие снеговой покров. Средняя годовая скорость ветра превышает 4 м/сек. Годовая сумма осадков не велика (от 91 до 118 мм) и неравномерно распределена по сезонам: намечаются два максимума – в апреле и октябре. Испарение с открытой водной поверхности в 13 раз превышает сумму атмосферных осадков (Слюсарев, 1974:4).

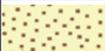
В настоящем исследовании использовались полевые исследования, архивные материалы и данные ДДЗ, проанализированы современная

динамика рельефа, определены ее тренды и общие направления ее развития и особенности, в условиях регрессии моря. Аральское море не оказывало существенного смягчающего влияния на резко континентальный климат Северного Приаралья (Слюсарев, 1974:4). При этом, по данным исследования Бекнияз Б.К., сокращение Аральского моря вызвало изменения климатических параметров (температурный и ветровой режим) в прибрежной зоне (Бекнияз, 2010: 60-62).

Создана карта современного земельного покрова исследуемого участка Северного Приаралья (рисунок 4). Выделены всего 13 типов покрова, включающие пустоши (неиспользуемые земли), земли занятые населенными пунктами, пашни, водно-болотные угодья, травы, степь с редкой растительностью, водная поверхность, осушенное дно Аральского моря, закрепленные пески, подвижные пески, ссоры и такыры. Также на карте показаны ключевые точки полевых исследований и отвесные денудационные уступы в пределах побережья Аральского моря и оз. Туцубас. Площади типов земельного покрова приведены в таблице рисунка 4.

Анализ классификации типов земельного покрова позволил выявить происходящие современные изменения в рельефе в условиях настоящей регрессии Аральского моря. Среди них следует отметить образование зоны современной осушки, занимающей более 6000 км², исследуемой территории.



На карте	Типы	Площадь в км ²	На карте	Типы	Площадь в км ²
	Пустоши (Bare Area)	2 541,5		Осушка	6040,6
	Пашни	123,5		Пески	5 132,6
	ВБУ	954,5		Подвижные пески	26,3
	Трава (Grass)	1,0		Соры	800,2
	Степи, ред. раст	17 988,4		Такыры	118,3
	Водные	4 093,8		Нас. пун.	67,78
Общая			37 888,9		

 Уступы

Рисунок 4 – Современное состояние земельного покрова Северного Приаралья

Прежде всего, осушенное дно являются уникальным объектом в контексте образования и развития молодой пустыни аридной зоны. Ей свойственны рельефообразующие процессы, характерные пустыням – это эоловые процессы, формирование рельефа песчаных пустынь (Курбаниязов, 2017: 70), а также развитие значительного выноса пыле-солевых частиц ветрами (Тлеумуратова, 2015: 1-2).

Наблюдается увеличение площади соров и такыров, а также образование водно-болотных угодий в районе Кокаральской плотины и вдоль направления течения сбрасываемых излишек вод Малого Арала в сторону оз. Тущыбас. Для более

детального изучения, очевидно, недостаточно использование только дистанционных данных. Поэтому были использованы карты земельного покрова с обозначением ключевых точек для проведения полевых мониторинговых исследований. Для изучения гравитационных склоновых процессов выбрали 2 участка, первый, расположенный на северном денудационно-аккумулятивном побережье залива Бутакова (рисунок 5), и второй на северном денудационно-аккумулятивном побережье оз. Тущыбас (рисунок 6). Для изучения развития процессов подвижных песков были выделены два участка – первый с. Акеспе (рисунок 7) и второй с. Акбасты (рисунок 8) (таблица 1).

Таблица 1 – Данные аэрофотосъемки ключевых участков

№	Ключевой участок	Дата съемки	Высота полета, м	Количество фото, шт
1	Бывшее побережье залива Бутакова	23.08.21	100	328
2	Северное побережье оз. Тущыбас	25.08.21	50	623
3	с. Акеспе	24.08.21	60	978
4	с. Акбасты	26.08.21	90	493
Всего				2 422

В 6 км восточнее от горячего источника Акеспе провели аэрофотосъемку от поверхности берегового уступа до современного уреза воды. Максимальное превышение 227 м абс. высоты, относительные высоты достигают 50-70 метров (рисунок 5). Береговой уступ сложен из осадочных пород, найдены палеонтологические образцы зуба акулы, окаменелые раковины. Абразионный берег протягивается вдоль залива Бутакова. На абразионных уступах на всем протяжении развиты делювиальные выносы, хорошо прослеживаются конусы выноса одной литологии по цвету породы уступа и с аккумулярованным у подножия уступа. Развиты рытвины, эрозионные врезы, овраги, образованные временными водотоками. Форма склонов абразионных уступов переформиро-

валась в пологий склон, особенно в местах выноса материала. На высоких уступах видна складчатость, отличающаяся по цвету отложений. Абразионные уступы, возвышенности подвержены выветриванию. В результате ветровой эрозии, уступ на всем протяжении, представляет неповторимые формы рельефа, своеобразные уникальные морфоскульптуры. В период регрессии, усиление аридности климата, преимущественно, воздействует на формирование современного рельефа бывшего побережья, в том числе, на выполаживание (выравнивание) берегового уступа. Отсутствие растительности на делювиально-пролювиальных выносах и склонах денудационного уступа свидетельствуют об активных гравитационных процессах и ветровой эрозии.

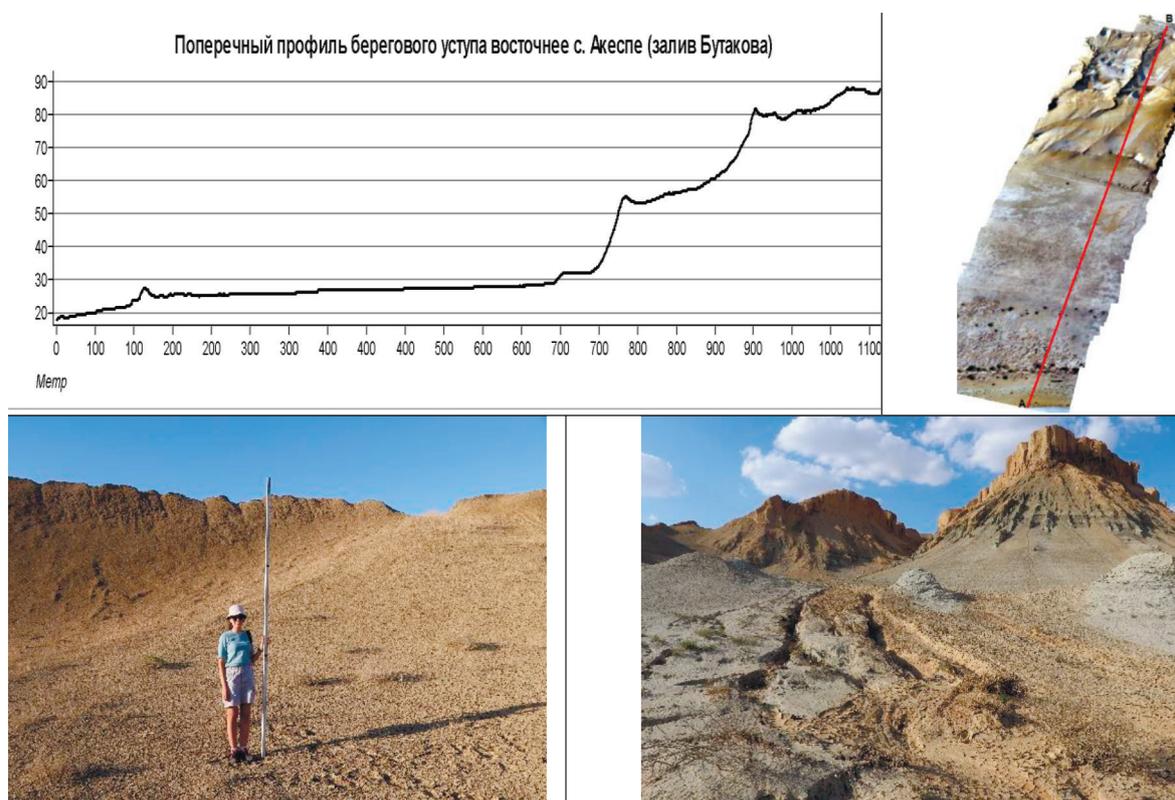


Рисунок 5 – Поперечный профиль северного берегового денудационного уступа залива Бутакова

Озеро Тущыбас. Аэрофотосъемку проводили в северо-западной части побережья, относительные высоты рельефа на расстоянии 500 м от уреза воды достигает 60 метров (рисунок 6). Озеро высыхает, образовалась полоса осушки шириной 100-150 м (ил, черная грязь), чуть повыше – высохшее в предыдущие годы – дно

озера шириной 200-300 м, представленная солами, солончаками, покрытые тонким слоем соли, растительность отсутствует. Далее, к береговому уступу примыкает равнина, образовавшаяся после сокращения Арала, покрытая растительностью. Выше уступов расположена бывшая терраса, покрытая древесно-кустарниковой растительностью.

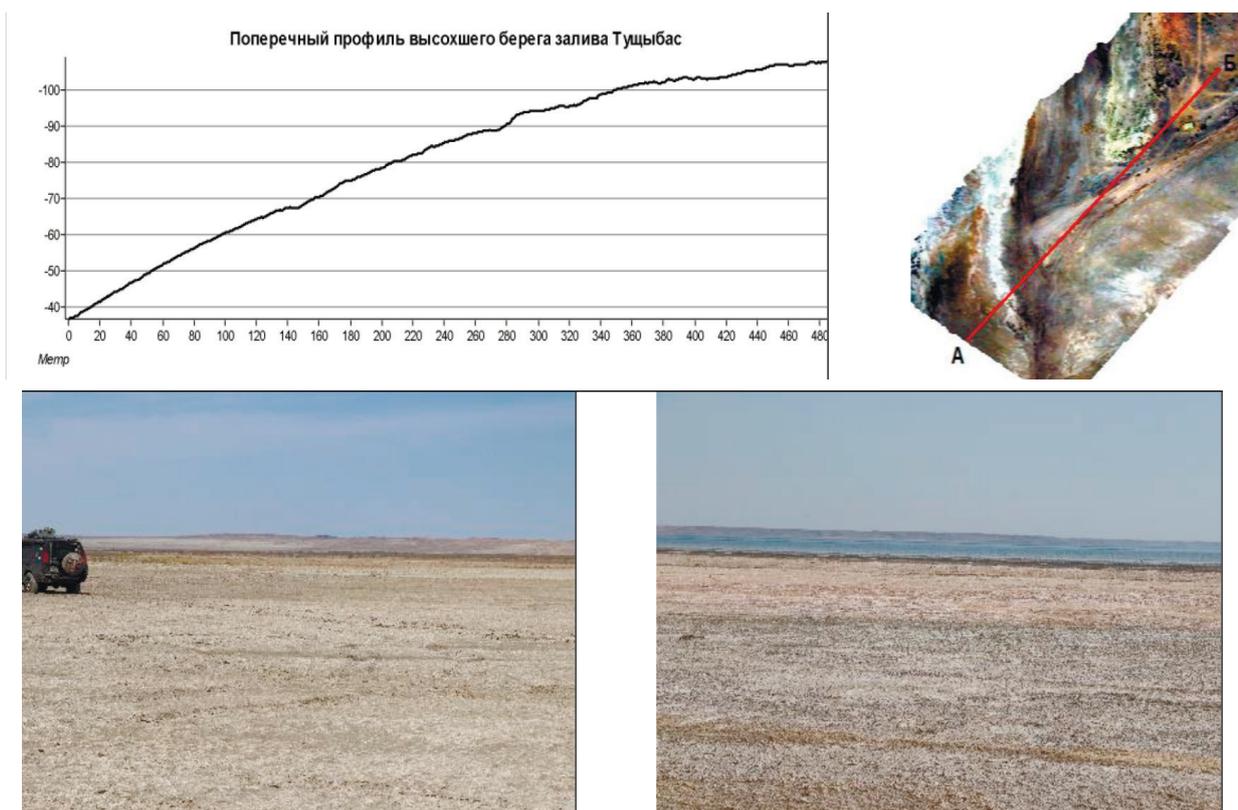


Рисунок 6 – Поперечный профиль северного берегового денудационного уступа оз. Тущыбас

После сокращения Аральского моря, усилилась нагрузка на, близ расположенные к населенным пунктам, пастбища в пределах Северного Приаралья. Это связано с изменением хозяйственной деятельности местных жителей. В период существования моря жители занимались промысловым рыболовством. В настоящее время основной деятельностью населенных пунктов исследуемой территории является отгонное животноводство. Очевидно, несоблюдение пастбищных нагрузок на песчаных массивах привели сначала к деградации растительности, а

потом, под действием ветра, началось развитие подвижных песков вблизи населенных пунктов. В Северном Приаралье отмечают несколько сел, подверженных неблагоприятному воздействию подвижных песков на земли населенных пунктов, это Косаман, Акеспе, Акбасты, Боген и др. В полевых исследованиях нами обследованы села Акеспе (рисунок 7) и Акбасты (рисунок 8). Имеющиеся доступные статистические данные по домашнему животноводству, позволили рассчитать коэффициент пастбищной нагрузки (Казахстанское рук. по упр..., 2004: 20).

Таблица 2 – Расчет коэффициента пастбищной нагрузки в пределах сел Акбасты и Акеспе (в условных единицах, у.е.)

Населенный пункт	Год	Площадь пастбищных угодий, га	Крупный рогатый скот, в у.е.	Мелко-рогатый скот, в у.е.	Лошади, в у.е.	Верблюды, в у.е.	Общее количество скота, в у.е.	Коэффициент нагрузки условного скота на пастбища (поголове/площадь пастбища)	Уровень деградации пастбищ
Акбас-ты	2017	6530	524	620	1791	1853	4788	0,73	средний
	2018		563	1060	1819	2049	5491	0,84	средний
	2019		497	648	1841	2172	5158	0,79	средний
	2020		459	592	1844	3044	5939	0,91	средний
	2021		531	994	2193	3207	6925	1,06	высокий
Акеспе	2017	3809	211	679	298	363	1551	0,41	низкий
	2018		207	305	356	370	1238	0,33	низкий
	2019		177	291	401	395	1264	0,33	низкий
	2020		186	358	530	402	1476	0,39	низкий
	2021		188	356	560	504	1608	0,42	низкий

Эоловые процессы являются основными в преобразовании рельефа высохшего дна моря. Интенсивное их развитие обусловлено, прежде всего, частыми и сильными ветрами преимущественно северных и близких к ним румбов, свойственных данному региону. При скорости ветра 4 м/с и более незакрепленные пески приходят в движение. Ветер расчленил и усложняет исходную поверхность обсохшего дна моря, формируя положительные (барханы) и отрицательные формы эолового рельефа,

и перемещает пески на большое расстояние (Курбаниязов, 2017: 70).

В обоих населенных пунктах подвижными песками засыпаются жилые дома и хозяйственные помещения местных жителей. При сильных ветрах очень часты пыльные бури. Как видно по продольным профилям из цифровой модели рельефа, относительные высоты между основанием и гребнем бархана, в среднем, составляют 2 метра. Площадь развития подвижных песков в с. Акеспе составляет 1,68 км², в с. Акбасты – около 1,62 км².

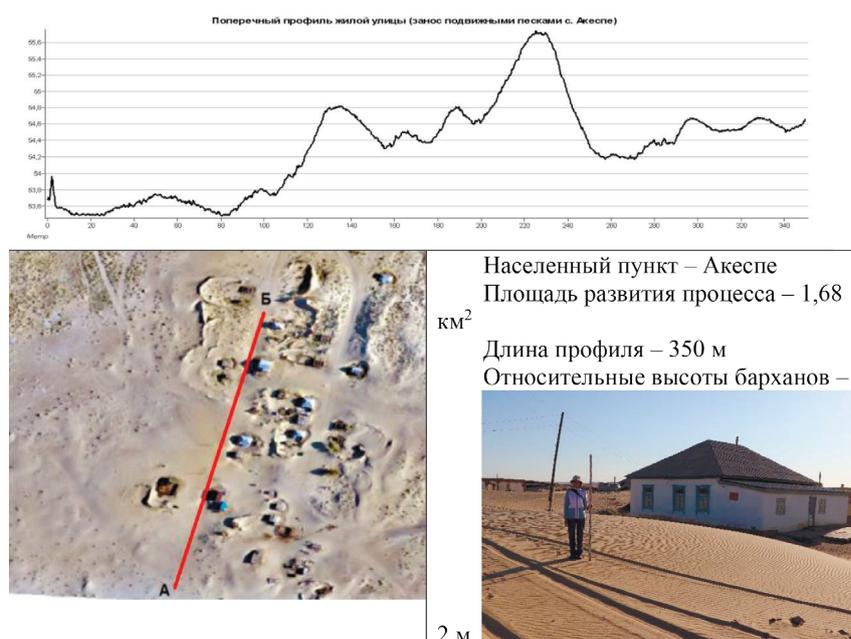
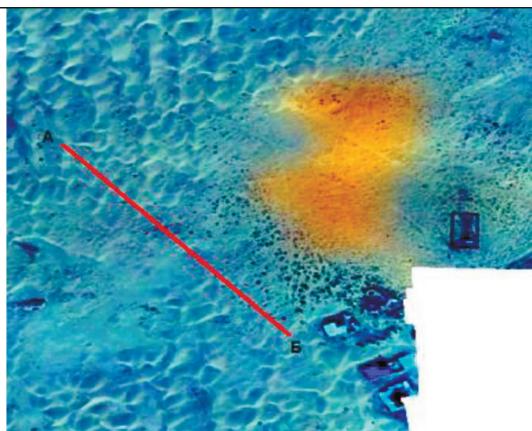


Рисунок 7 – Неблагоприятное воздействие на территорию с. Акеспе эоловых процессов (подвижные пески)



Населенный пункт – Акбасты
 Площадь развития процесса – 1,62 км²
 Длина профиля – 270 м
 Относительные высоты барханов – 2 м.



Рисунок 8 – Неблагоприятное воздействие на территорию с. Акбасты эоловых процессов (подвижные пески)

Усиление роли ветра в рельефообразовании, в результате антропогенного воздействия, привело к образованию молодых аридных пустынь Северного Приаралья. Ключевая роль в современном рельефообразовании Северного Приаралья принадлежит климато-геоморфологическим факторам, при этом тектонические аспекты структурной геоморфологии на настоящем этапе развития не активны. Характер и динамика рельефообразующих процессов исследуемой территории указывают на усиление в регионе воздействия аридности климата и хозяйственной деятельности человека. Очевидно,

на первый план выходят эколого-геоморфологические проблемы, влияющие на здоровье человека и качество жизни местных жителей, возникшие в результате нерационального землепользования хрупких пустынных экосистем вблизи населенных пунктов (таблица 3). Решение задач смягчения воздействия подвижных песков, требует проведение дополнительных прикладных исследований. На повестку выходит необходимость мониторинга региональных климатических изменений для исследования и прогнозирования проявлений экстремальных процессов аридного рельефообразования.

Таблица 3 – Концептуальная рамка исследования рельефной среды Северного Приаралья

Морфоструктура аридных равнин	Морфоскульптура	Объекты исследования	Ведущий процесс	Антропогенные преобразования
Туранская плита	Денудационный рельеф побережья	с. Акеспе (залив Бутакова), побережье	Выветривание, склоновая эрозия, засоление	Сокращение площадь водного зеркала Аральского моря
		Оз. Тущыбас, побережье		
	Пески	с. Акеспе	Эоловый	Подвижные пески
		с. Акбасты		Подвижные пески

Результаты исследования подтверждают основные выводы ученых о происходящих изменениях в природной среде. В частности, регрессия моря обусловила изменения климатических характеристик прилегающих районов (Micklin, 2014: 433-435), усиление антропогенного воздействия на природу территории исследования обусловило изменение в развитии и активности эоловых процессов (Новоточина, 1996: 9-10), вызвало активизацию природных аридных рельефообразующих процессов, усилило опустынивание (Искаков, 2006: 222-223).

Формирование песчаных барханов с относительно высокими 2 метра в черте селитебных территорий являются наглядными индикаторами последствий понижения уровня моря, проявления процессов опустынивания, а также нерационального сельскохозяйственного землепользования местными жителями. Фактор подвижных песков стал причиной трехкратного переселения с. Акеспе, однако до сих пор не решены и не предложены рациональные подходы в землепользовании, с учетом происходящих изменений окружающей среды. Стоит отметить, что происходящие процесс местным населением не рассматривается как негативно критические, люди продолжают заниматься традиционным животноводством, при этом увеличивая общее поголовье. По словам старожил, ранее, когда существовало море, местное население прибрежных населенных пунктов, в основном, занимались рыболовством. После отступления моря, преобладающим видом деятельности сельских жителей стало отгонное животноводство. В результате одной из причин развития подвижных песков стало несоблюдение пастбищной нагрузки на землях вновь формируемых пустынных экосистем, что представляет собой опасность не только в плане снижения запасов пастбищных кормов, это

ведет к исчезновению наиболее чувствительных к выпасу видов растений, уничтожению их местообитаний и обеднению биоразнообразия, т.е. к опустыниванию пастбищ (Темирбаева, 2017: 48-51).

Бывшие абразионные уступы в результате изменения климатических параметров (Micklin, 2014: 405-407), подвержены ветровому, температурному выветриванию, эрозионному расчленению, а также склоновым процессам.

Ограничениями исследования были отсутствие исторических данных – космоснимков высокого разрешения, статданных о количестве населения, количестве домашних животных, а также о деятельности промыслового рыболовства для подтверждения результатов количественными данными. Однако, сказанное не снижает актуальность и репрезентативность полученных результатов.

Заключение

В исследовании использованы комбинация геоморфологических полевых исследований, данных ДЗЗ и беспилотных летательных аппаратов. Используемая методология объединяла полевые наблюдения, интерпретацию данных ДЗЗ, цифровой фотограмметрический анализ аэрофотоснимков и обработку данных в ГИС.

Изучены гравитационные склоновые процессы на 2 участках, расположенных на денудационно-аккумулятивных участках побережья залива Бутакова и оз. Тущыбас. Развитие процессов подвижных песков изучены в пределах с. Акеспе и Акбасты. Отсутствие растительности на делювиально-пролювиальных выносах, склонах денудационного уступа, свидетельствуют об активных гравитационных процессах и ветровой эрозии. Эоловые рельефообразующие процессы оказывают существенное воздействие

на становление и развитие земной поверхности осушенного дна Аральского моря. Наблюдается активное антропогенное воздействие у населенных пунктах, расположенных на бывшем морском побережье. Особо следует отметить активизацию эоловых процессов у населенных пунктов Акеспе и Акбасты.

Наступление песков происходит в результате неумеренного выпаса скота (особенно мелкого рогатого скота), заготовки кустарниково-древесной растительности для отопления, бессистемной прокладки грунтовых дорог у населенных пунктов. Для защиты населенных пунктов от наступления подвижных песков необходимо проведение комплекса научно обоснованных мероприятий.

Благодарность

Эта работа была проведена при поддержке проекта «Ecosystems, Society and Economics of the Region of Aral (ESERA)», действующий при поддержке Казахстанско-Немецкого университета. Особую благодарность выражаем координатору проекта Китапбаеву Алмасу, Алие Танкибаевой за полезные предложения и помощь в редактировании данной статьи, а также сотрудникам Барсакельмесского государственного природного заповедника и Международного фонда спасения Арала за значительную помощь при полевых исследованиях.

Литература

- Degife A.W., Zabel F., Mauser W. "Assessing land use and land cover changes and agricultural farmland expansions in Gambella Region, Ethiopia, using Landsat 5 and Sentinel 2a multispectral data." *Heliyon*, Volume 4, № 11 (2018).
- Erena M. and etc. "Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle for precision agriculture." *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume 41 (2016): P. 809.
- Kaplan G., Avdan U. "MAPPING AND MONITORING WETLANDS USING SENTINEL-2 SA^{TEL}LITE IMAGERY". *ISPRS Annals of Photogrammetry Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, Volume 4 (2017).
- Micklin P. "The Aral Sea disaster" *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, Volume 35, (2007): P. 47-72.
- Peppas M.V. and etc. "Photogrammetric assessment and comparison of DJI Phantom 4 pro and phantom 4 RTK small unmanned aircraft systems." *ISPRS Geospatial Week*, 2019.
- Rao D.P. "Remote sensing application in geomorphology." *Tropical ecology*, Volume 43, № 1 (2002): P. 49-59.
- The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great Lake: P. Micklin, N. Aladin, I. Plotnikov. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2014.
- Yang X., Wang N., He J., Hua T., Qie Y. *Changes in area and water volume of the Aral Sea in the arid Central Asia over the period of 1960-2018 and their causes*. Catena: 2020.
- Акиянова Ф.Ж., Зинабдин Н.Б. Рельеф. Атлас функционального зонирования Аральского района Кызылординской области. Астана (2016): 60 с.
- Алтаева Б.Ж., Мукашева Б.Г., Касымбекова Б.К., Киянбекова Ж.К. "Ключевые Слова: Приаралье, Аральское Море, Климат, Экологическая Катастрофа, Температура." 2015: С.16-24.
- Бекнияз Б.К. "Эколого-геоморфологические условия Казахстанского Приаралья." Дисс. на соиск. ученой степени канд. географ, наук. Алматы (2010):136 с.
- Берг Л.С. "Аральское море. Опыт физико-географической монографии." *Известия Турк. отд. РГО*, Т. 5, Вып. 9 (1908): 580 с.
- Берг Л.С. "К Морфологии берегов Аральского моря." *Ежегодн. геол. и минерал. России*, Т. 5, Вып. 6-7 (1902).
- Бутаков А.И. "Берега Аральского моря. (Геологические заметки)". *Туркестанские ведомости*, №48-50, Ташкент (1872).
- Герасимов И.П., Мещеряков Ю.А. Рельеф Земли (Морфоструктура и морфоскульптура). М., «Наука», 1967. С.330.
- Дедков А.П. "Теоретические Аспекты Современных Климато-Геоморфологических Представлений." *Геоморфология*, №4 (1976): С. 3-11.
- Захлебин А.С. "Верховой осмотр линий электропередач с использованием БПЛА вертолетного типа DJI PHANTOM 4." *Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание*, (2018): С. 122-124.
- Искаков Н.А., Медеу А.Р., Бекниязов Б. К. "Экологическое состояние регионов" Гл. 5. Окружающая среда и экология. Республика Казахстан. Т. 3. Алматы (2006): С. 321-442.
- Казахстанское руководство по управлению фермерскими хозяйствами (финансово-экономические аспекты). 2-е издание. Астана (2004).
- Кипшакпаев Н. и др. Восстановление Экологической Системы в Дельте Сырдарии и Северной Части Аральского Моря. 2010.
- Курбаниязов А.К. Эволюция ландшафтов и обсохшего дна Аральского моря, 2017.
- Лымарев В.И. Берега Аральского Моря-Внутреннего Водоема Аридной Зоны. (1967): 250 с.

Новоточина М.В. “Современный эоловый морфогенез песчаных массивов Большие, Малые Барсуки и Приаральские Каракумы.” Автореферат дисс. на соиск. ученой степени канд. географ, наук. Алматы (1996): 23 с.

Слюсарев А.Н. “Геологическая карта СССР, масштаба 1:200 000.” Объяснительная записка. Серия Тургайская, Лист L-41-XIII. М. (1974): 64 с.

Темирбаева Р.К., Акиянова Ф.Ж., Карынбаев А.К., Оспанбаев Ж.О., Егембердиева К.Б., Будникова Т.И., Шарапханова Ж.М. Стратегия и План действий по устойчивому землепользованию Арало-Сырдарьинской проектной территории. Астана (2017): 116 с.

Тлеумуратова Б.С., Мамбетуллаева С.М., Мустафаева Р. “Моделирование выноса солей с обсохшего дна Аральского моря и его последствий.” В сб.: Эффективные исследования современности. Сборник научных работ X Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, октябрь 2015). М.: ЕНО (2015): 242 с.

Чичагов В.П. “Аридная Геоморфология, Ее Смысл и Содержание.” Экология и адаптивно-ландшафтное землепользование, №2(23) (2011.): С. 19-28.

References

“Aral’skoe more. Opyt fiziko-geograficheskoy monografii [The Aral Sea. The experience of a physical and geographical monograph].” Izvestiya Turkestan Department of the Russian Geographical Society, Vol. 5, Issue 9 (1908): 580 – (In Russian).

Akijanov F.Zh., Zinabdin N.B. Rel’ef. Atlas funktsional’nogo zonirovaniya Aral’skogo rajona Kyzylordinskoj oblasti [Atlas of functional zoning of the Aral district of the Kyzylorda region]. Astana (2016): 60 – (In Russian).

Altaeva B.Zh., Mukasheva B.G., Kasymbekova B.K., Kijanbekova Zh.K. “Kljuchevye Slova: Priaral’e, Aral’skoe More, Klimat, Jekologicheskaja Katastrofa, Temperatura [Keywords: Aral Sea, Aral Sea, Climate, Ecological Catastrophe, Temperature].” 2015: 16-24 – (In Russian).

Beknijaz B.K. “Jekologo-geomorfologicheskie uslovija Kazahstanskogo Priaral’ja [Ecological and geomorphological conditions of the Kazakhstan Aral Sea region].” Dissertation for the degree of Candidate of Geographer, Sciences. Almaty (2010):136 p. – (In Russian).

Berg L.S. “K Morfologii beregov Aral’skogo morja [On the Morphology of the shores of the Aral Sea].” Annual. geol. and a mineral. Russia, Vol. 5, Issue 6-7 (1902) – (In Russian).

Butakov A.I. “Berega Aral’skogo morja. (Geologicheskie zametki) [The shores of the Aral Sea. (Geological notes)].” Turkestan Gazette, No. 48-50, Tashkent (1872) – (In Russian).

Chichagov V.P. “Aridnaja Geomorfologija, Ee Smysl i Soderzhanie [Arid Geomorphology, Its Meaning and Content].” Ecology and adaptive landscape land use, №2(23) (2011.): pp. 19-28 – (In Russian).

Dedkov A.P. “Teoreticheskie Aspekty Sovremennyh Klimato-Geomorfologicheskikh Predstavlenij [Theoretical Aspects Of Modern Climatic And Geomorphological Concepts].” Geomorphology, No. 4 (1976): pp. 3-11 – (In Russian).

Degife A.W., Zabel F., Mauser W. “Assessing land use and land cover changes and agricultural farmland expansions in Gambella Region, Ethiopia, using Landsat 5 and Sentinel 2a multispectral data.” Heliyon, Volume 4, № 11 (2018).

Erena M. and etc. “Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle for precision agriculture.” The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume 41 (2016): P. 809.

Gerasimov I.P., Meshcheryakov YU.A. Relyef mestnosti (Morfostruktura i morfoskop’tura) [Land relief (morphostructure and morphosculpture)]. М., “Наука”, 1967:330 – (In Russian).

Iskakov N.A., Medeu A.R., Beknijazov B. K. “Jekologicheskoe sostojanie regionov [Ecological state of the regions].” Chapter 5. Environment and ecology. The Republic of Kazakhstan. Vol. 3. Almaty (2006): pp. 321-442 – (In Russian).

Kaplan G., Avdan U. “MAPPING AND MONITORING WETLANDS USING SENTINEL-2 SA^{TEL}-LITE IMAGERY”. ISPRS Annals of Photogrammetry Remote Sensing & Spatial Information Sciences, Volume 4 (2017).

Kazahstanskoe rukovodstvo po upravleniju fermerskimi hozjajstvami (finansovo-jekonomicheskie aspekty) [Kazakhstan Manual on Farm Management (financial and economic aspects)]. 2nd edition, Astana (2004) – (In Russian).

Kipshakpaev N. i dr. Vosstanovlenie Jekologicheskoy Sistemy v Del’te Syrdarii i Severnoj Chasti Aral’skogo Morja [Restoration of the Ecological System in the Syrdarya Delta and the Northern Part of the Aral Sea]. 2010 – (In Russian).

Kurbanijazov A.K. Jevoljucija landshaftov i obsohshego dna Aral’skogo morja [Evolution of landscapes and the dried-up bottom of the Aral Sea], 2017 – (In Russian).

Lymarev V.I. Berega Aral’skogo Morja-Vnutrennego Vodoema Aridnoj Zony [The Shores Of The Aral Sea-An Internal Reservoir Of The Arid Zone]. (1967): 250 – (In Russian).

Micklin P. “The Aral Sea disaster” Annu. Rev. Earth Planet. Sci., Volume 35, (2007): P. 47-72.

Novotochina M.V. “Sovremennyy jeolovyy morfogenez peschanyh massivov Bol’shie, Malye Barsuki i Priaral’skie Karakumy [Modern Aeolian morphogenesis of Large, Small Badgers and Aral Karakum sand massifs].” Dissertation for the degree of Candidate of Geographer, Sciences. Almaty (1996): 23 p. – (In Russian).

Peppas M.V. and etc. “Photogrammetric assessment and comparison of DJI Phantom 4 pro and phantom 4 RTK small unmanned aircraft systems.” ISPRS Geospatial Week, 2019.

Rao D.P. “Remote sensing application in geomorphology.” Tropical ecology, Volume 43, № 1 (2002): P. 49-59.

Sljusarev A.N. “Geologicheskaja karta SSSR, masshtaba 1:200 000 [Geological map of the USSR, scale 1:200 000].” Explanatory note. Turgayskaya series, Sheet L-41-XIII. М. (1974): 64 p. – (In Russian).

Temirbaeva R.K., Akijanova F.Zh., Karynbaev A.K., Ospanbaev Zh.O., Egemberdieva K.B., Budnikova T.I., Sharaphanova Zh.M. Strategija i Plan dejstvij po ustojchivomu zemlepol'zovaniju Aralo-Syrdar'inskoj proektnoj territorii [Strategy and Action Plan for Sustainable Land Use of the Aral-Syrdarya Project Area]. Astana (2017): 116 – (In Russian).

The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great Lake: P. Micklin, N. Aladin, I. Plotnikov. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2014.

Tleumuratova B.S., Mambetullaeva S.M., Mustafaeva R. "Modelirovanie vynosa solej s obsohshego dna Aral'skogo morja i ego posledstvij [Modeling of salt removal from the dried bottom of the Aral Sea and its consequences]." In the collection: Effective Studies of modernity. Collection of scientific papers of the X International Scientific Conference of the Eurasian Scientific Association (Moscow, October 2015). Moscow: (2015): 242 p. – (In Russian).

Yang X., Wang N., He J., Hua T., Qie Y. Changes in area and water volume of the Aral Sea in the arid Central Asia over the period of 1960-2018 and their causes. Catena: 2020.

Zahlebin A.S. "Verhovoij osmotr linij jelektroperedach s ispol'zovaniem BPLA vertoletnogo tipa DJI PHANTOM 4 [Riding inspection of power lines using a helicopter-type UAV DJI PHANTOM 4]." Optoelectronic devices and devices in image recognition, image processing and symbolic information systems. Recognition, (2018): pp. 122-124 – (In Russian).