

ҚР ҰҒА-ның Хабарлары. Геологиялық сериясы. Известия НАН РК.
Серия геологическая. 2009. №5. С. 80–91

УДК 551.351.(262.83)

Н.Н.СЕРГЕЕВ¹, Ж.Ш.ЖАНТАЕВ² Л. В. СЕРГЕЕВА³

МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ РЕГРЕССИИ АРАЛЬСКОГО МОРЯ НА РУБЕЖЕ XX – XXI ВЕКОВ

Арал теніз алабының соңғы 35 жылда (1973–2008) қашықтықтан түсірудің мониторинг қорытындысы мен инженерлі-геологиялық, гидрогеологиялық және геоморфологиялық көрсеткіштері келтірілген.

Приводятся инженерно-геологические, гидрогеологические и геоморфологические данные и результаты мониторинга дистанционных съемок последних 35 лет (1973 – 2008 гг.) бассейна Аральского моря.

The formation and distribution laws and show activity of dangerous geodynamical processes in the Ile Alatau ridge are considered. The estimate of quickly deterioration of ecological conditions in the region is given.

Аральское море это уникальный водоем, расположенный на северо-западе Кызыл-Ординской области и в непосредственной близости с регионом, в котором в настоящее время идет интенсивная добыча углеводородного сырья.

До середины 60-х годов прошлого столетия, т.е. до начала современной регрессии, бессточный и, не имеющий связи с мировым океаном, Аральский водоём по площади своей акватории (67,6 тыс. кв. км) был соизмерим с морями, и занимал второе место в СССР и четвертое место в мире среди внутренних водоемов. В его акватории насчитывалось свыше 300 островов, наиболее крупными из которых были острова Барсакельмес и Возрождения. Абсолютная отметка зеркала воды на тот момент составляла 53 м, наибольшая глубина – 54,5 м, а преобладающие глубины 10-15 м.

Гидрологический и гидрохимический режимы, а так же биологическая продуктивность бессточного моря и в то время в значительной степени определялась стоком двух рек Аму-Дары и Сыр-Дары. Средний водоприток этих рек составлял 56 км³ в год, в том числе Аму-Дары – 42 км³ и Сыр-Дары – 14 км³, минерализация поступающей в Аральское море воды составляла 0,4 и 0,55 г/л соответственно, а соленость – 9,9 г/л. В целом все это обеспечивало благоприятное

влияние на природно-экологические и экономические условия огромного региона, в котором доля добычи пресноводных рыб составляла 11% от всей добычи пресноводных рыб в СССР.

Следует отметить, что наблюдения за положением береговой линии Аральского моря были планомерно начаты еще в 20-х годах XIX века. В XIX веке и начале XX многие исследователи: Эверсман (1823 г.), Мейендарф (1826 г.), Л. Леман (1852 г.), Н. А. Северцов (1860, 1873, 1876 гг.), И. В. Мушкетов (1886 г.), В. Бартольд (1902 г.), Л. С. Берг (1901-1905, 1908 г.), В. Н. Семихатов (1918 г.) уже обращали внимание на неустойчивый уровень Аральского моря. Тогда же было установлено (Л.С. Берг, 1901-1905 гг.), что уровень Арала подвержен месячным, суточным и годовым колебаниям [2]. Как оказалось, первоосновой суточных колебаний были сильные западные ветра, под влиянием которых происходило нагнетание водных масс на равнинное восточное побережье Арала. Месячные колебания уровня Аральского моря происходили преимущественно в результате различного по интенсивности месячного расхода воды в главных реках бассейна, что в целом снижало объем поступающих в акваторию вод. Однако эти причины решающей роли на изменения береговой линии Аральского моря не оказывали.

¹ Казахстан 050061, г. Алматы, ул. Емцова, 26. ТОО АГП «Поисково-съёмочная экспедиция».

² Казахстан 050010, г. Алматы, ул Шевченко, АО «Национальный центр Космических исследований и технологий».

³ Казахстан 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а, ТОО «Институт геологических наук им. К.И. Саппаева».

С 1850 года проводились регулярные наблюдения над колебаниями среднегодового уровня Аральского моря, которые установили, что за 88 лет, т.е. с 1854 по 1942 год амплитуда среднегодовых колебаний составила 326 см. В совокупности с данными по топографии, гидрографии и геологическому строению Аральского бассейна это позволило исследователям [1,9] сделать вывод о том, что всю вторую половину XIX века дно бассейна поднималось, а всю первую половину XX века постепенно опускалось. Об «усыхании» Арала во второй половине XIX века писали многие исследователи: А. Максимов и Н.В. Ханыков (1850 г), Н.А. Северцев (1860 г, 1874-76 гг), А. Бутаков (1853 г) и др. В частности, в 1850 г. Н.В. Ханыков, сравнивая результаты своих исследований с результатами наблюдений геодезиста Муравина (1740-1741 гг.), пришел к выводу, что «береговая линия Арала отступила на 80 с лишним верст» [12]; а позднее Н.А. Северцев (1860 г.) отметил, что очень многие острова, нанесенные А. Бутаковым в 1847 г., успели соединиться с берегом.

В результате последующего опускания за период с 1907 по 1940 гг. полоса пологого песчаного восточного берега шириной от 33 до 40 км оказалась погрузившейся под уровень Аральского моря, а вдоль прибрежной зоны над поверхностью воды поднимались наиболее повышенные участки песчаных гряд (сейфов), создавая густую сеть прибрежных островов. В этот же период согласно топографическим замерам длина береговой линии выросла на 1 118 км, а площадь бассейна – на 1 968 км². Находящийся в устье реки Сыр-Дарья остров Кокарал, который возвышался над уровнем Арала в 1939 г., уже в 1940 г. скрылся под водой, превратившись в отмель.

Однако в конце 40-х годов начинается новое отступление береговой линии, особенно заметное на пологом восточном берегу Аральского моря. Имеющиеся противоречивые данные не позволяют точно установить время начала падения уровня воды. Так, Н.Э. Зейберлих в 1948 г. писал о начавшемся в последние годы понижении уровня Арала, мотивируя это тем, что заливы и лагуны северо-восточного побережья, показанные на картах, составленных в 1943 г., значительно сократились и пересохли [4]. Но в то же время на южных берегах Арала происходила

ингressия морских вод по долинам отмерших рукавов реки Сыр-Дарьи, а именно, по сухому руслу Жана-Дарьи воды Арала продвинулись с 1952 г. по 1956 г. на 22 км. То есть отступление северо-восточной береговой линии Аральского моря компенсировалось одновременным наступлением его на южный берег. Происходило пространственное перемещение акватории Аральского моря к югу, без особых изменений его общей площади. Уровень зеркала воды оставался постоянным и колебался в пределах абсолютной отметки 53 м.

С начала 60-х годов водоприток в Аральское море по рекам Аму-Дарья и Сыр-Дарья, в связи с постоянно растущим увеличением водозабора на хозяйствственные нужды, начинает интенсивно сокращаться. К 1970 году уровень зеркала воды Арала снижается до отметки 51,3 м, а затем начинается его стремительное падение в результате резкого изменения структуры водного баланса Арала, в нарушении которого свою негативную роль сыграл неконтролируемый хозяйственный водозабор. И уже к концу 70-х годов водоприток по двум основным питающим Аральское море водным артериям прекращается полностью [3]. В частности, сначала в 1977 г. перестают поступать воды реки Сыр-Дарьи, а затем, в 1982 г. – и реки Аму-Дарье. К этому времени площадь Аральского моря уже составляла 52,5 тыс. кв. км, а общий объем водной массы Арала уменьшился на 40% (с 1 090 км³ до 680 км³); уровень зеркала воды установленся на абсолютной отметке 46,5 м, а соленость достигла небывалой до этого времени отметки 16,3 г/л. [13]. По имеющимся данным предшественников [5] до начала регрессии 60-х годов вода акватории Аральского моря обладала высокой степенью прозрачности (до 24 м) и ее минерализация колебалась в пределах 9,5-10,5 г/л.

Катастрофическое усыхание Аральского моря, начавшееся в 60-е годы прошлого столетия, продолжается и в настоящее время. В 1987 году акватория Аральского моря разделилась на два изолированных бассейна (рис. 1), получивших названия Большой Арай и Малый Арай. Большой Арай это бывшая глубоководная (южная) часть Аральского моря расположенная преимущественно в пределах Узбекистана и лишь северная его часть принадлежит Казахстану (рис. 2). Малый Арай целиком расположен в Республике Казахстан.

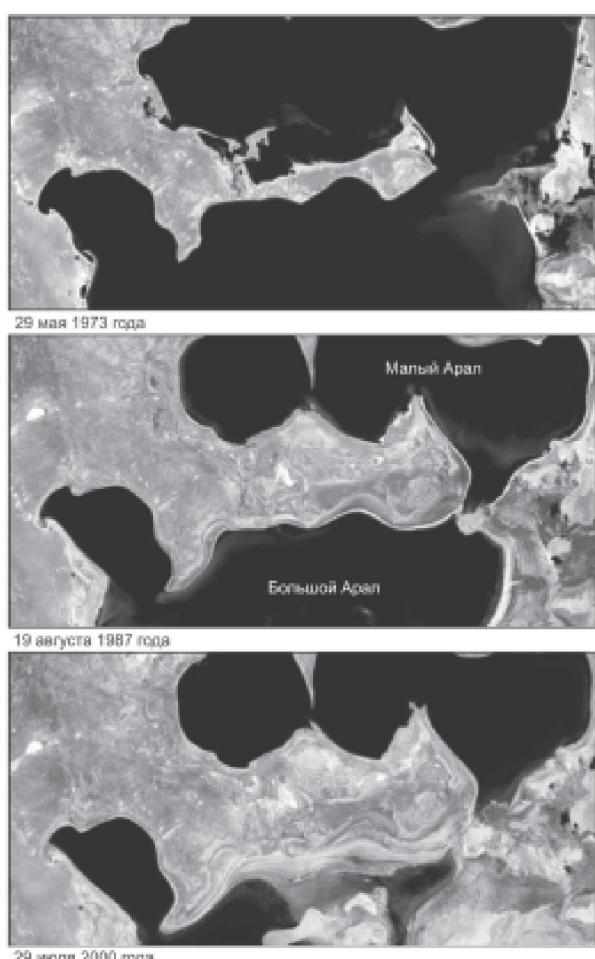


Рис. 1. Разделение Аральского моря на Малый и Большой Арал

лике Казахстан и представляет собой бывшие заливы Аральского моря (Паскевича, Шевченко, Бутакова и Сарышыганак) рис. 2.

Следует отметить, что до 60-х годов, т.е. до начала описываемой регрессии морская вода Арала характеризовалась *сульфатно-хлоридным* типом засоления и имела следующий солевой состав: хлора-34%, сульфатов-31%, натрия-21%, магния-6%, кальция-5%.

В начале XXI века в результате разделения акватории Аральского моря на Большой и Малый Аралы минерализация морской воды уже достигала 39,4-39,8 г/л. (против 16,3 г/л), но тип засоления по-прежнему оставался *сульфатно-хлоридным* [6-8,10].

По результатам опробования воды из акватории Большого Арала в 2006 г. [11] было установлено, что она все также характеризуются *сульфатно-хлоридным* типом засоления, но зна-

чительно возросла её минерализация. По данным опробования она достигла 94,1-100,3 г/л. А солевой состав морских вод выглядел следующим образом: хлора-62%, сульфатов-37%, натрия-66%, магния-32%, кальция-2%. Минерализация воды Малого Арала в заливах Шевченко и Бутакова составила соответственно 17,3 г/л и 36,5 г/л [11]. Существенное различие в величинах минерализации когда-то единого бассейна объясняется возобновившимся водотоком реки Сыр-Дарья. В настоящее время, за счет уменьшения орошаемых площадей на территории Казахстана, водоприток по руслу реки Сыр-Дарья составляет около 4-5 км³ воды в год (до 60-х годов – 14 м³).

По мере отступления береговой линии Аральского моря на осушеннной части морского дна формировались новые элементы современного ландшафта от заболоченного побережья до золовых массивов. Здесь наблюдаются: заболоченные участки, остаточные водоемы, солончаки, «ракушечные мостовые», дефляционные котловины, золовые косы и бугры.

З а б о л а ч и в а н и е отмечается вдоль побережья Аральского моря и его остаточных водоемов. Это труднопроходимая болотистая зона обусловлена пологим рельефом и высоким стоянием грунтовых вод на глубинах от 0,0 до 0,3 м от дневной поверхности. Отложения этих участков ландшафта представлены водонасыщенными и сильно засоленными пластичными песками с высоким содержанием чёрных илов. Водонасыщенность грунтов заболоченных участков меняется в течение года и достигает своего максимума в зимне-весенне время, соответствующее минимуму испарения и притоку талых вод. По мере удаления от береговой линии в сторону суши мощность таких участков постепенно уменьшается, пока не сходит на нет.

О с т а т о ч н ы е в о д о е м ы образуются в понижениях и депрессионных участках бывшего морского дна Аральского моря, которые постоянно или периодически затапливаются или подпитываются морскими водами. Это небольшие по площади (первые сотни м² до нескольких км²) и неглубокие (до 0,8 м) водоемы обычно существуют от нескольких месяцев до одного года. Они постоянно изменяют свои размеры и форму и, как правило, фиксируются только на космоснимках одного года или ближайших двух лет. На более ранних дистанционных наблю-

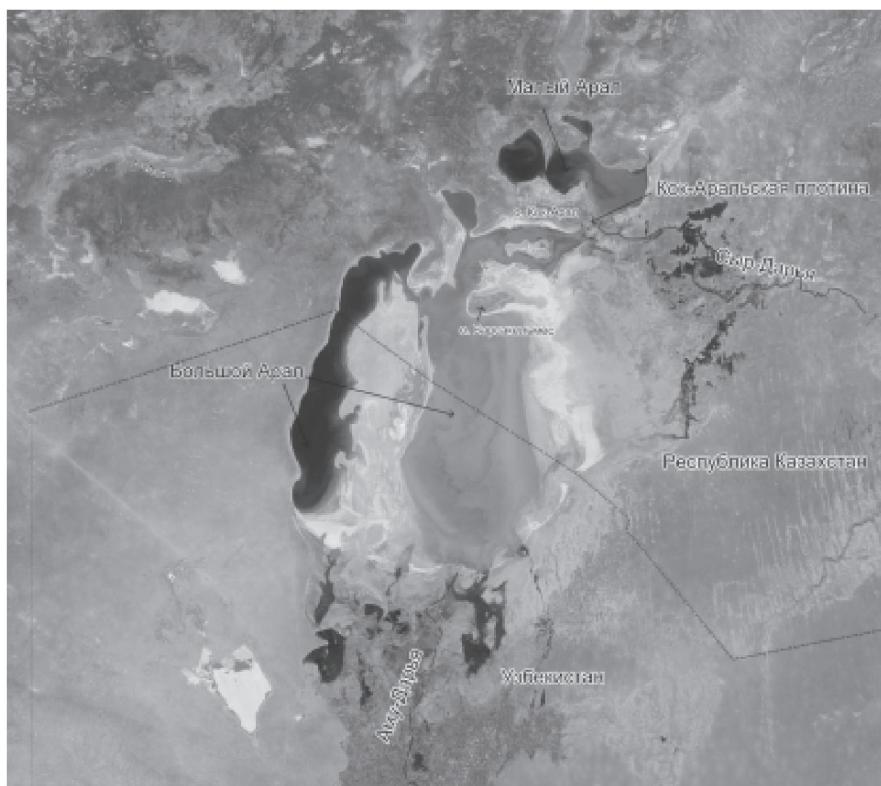


Рис. 2. Аральское море 2002 год, снимок Landsat. Масштаб в 1 см 40 км

дениях они отсутствуют или представлены другими остаточными водоемами. Днища этих водоемов пологие и выполнены песчанистыми илами, которые обладают высокой водопроницаемостью. При малейшем понижении уровня грунтовых вод остаточные водоёмы исчезают. Кратковременность существования большинства остаточных водоемов и высокая водопроницаемость пород слагающих их дно, препятствуют накоплению эвапоритов.

Воды остаточных водоемов по сравнению с водами Большого Арала (100 г/л) обладают сравнительно невысокой минерализацией 34,1-37,5 г/л, что объясняется более пресным составом морских вод в момент их отделения от основной акватории и дальнейшим опреснением за счет притока талой воды во время весеннего снеготаяния. По данным опробования (2004-05гг) вода сульфатно-хлоридная: хлора-55%, сульфатов-44%, натрия-64%, магния-28%, кальция-7% [11].

Солончаки обычно образуются у подножий островов сложенных глинистыми породами (Барсакельмес, Кокарал, Каскакулан и др.). Относительная продолжительность существова-

ния солончаков (до двух лет), что немногим больше по сравнению с остаточными водоемами (в среднем 1 год). Это объясняется тем, что днища солончаков выполнены преимущественно суглинками и глинистыми, а не песчаными, как в остаточных водоемах, илами. До начала катастрофической регрессии, когда уровень зеркала воды отвечал отметке 53 м, остров Барсакельмес возвышался над урезом воды на 50 м. Находясь в зоне денудации, слагающий его глинистый материал в результате плоскостного смыва и ветровой эрозии размывался и транспортировался на дно Аральского моря. При отступлении береговой линии будущие солонцы отшнуровывались от общей морской акватории в изолированные бассейны, а затем в условиях интенсивного испарения исчезали, оставляя после себя отложения эвапоритов сульфатно-хлоридного состава, мощностью первые сантиметры. Например: на космоснимках (2001-2004гг) четко выделяются крупные солонцы севернее и южнее бывшего острова Барсакельмес. Так солонец севернее острова фиксируется на снимках 2001 года в виде остаточного водоёма, в 2002 году – это солончак и в 2004 году он исчезает полностью.

Следует отметить, что современное засоление грунтов бывшего дна Аральского моря и прилегающей к нему части берега наиболее распространенный и характерный на сегодня экзогенный процесс [13]. Устойчивому режиму континентального засоления способствует аридный климат и полого-наклонный рельеф региона, которые приводят к повышенному испарению влаги с водной поверхности остаточных водоёмов, неглубокому залеганию уровня минерализованных грунтовых вод и отсутствию полноценного естественного дренажа рассматриваемой территории. Соли крайне неравномерно распределены в толще грунта. С поверхности значительная часть отложившихся солей выдувается, и неоднократно переносится на различные расстояния по всей прилегающей территории. Однако в замкнутых впадинах, где грунтовые воды подходят достаточно близко, и существует интенсивный капиллярный подток сильно минерализованных вод, поверхностные соли выкристаллизовываются, образуя корки мощностью 3-4 см. В ландшафте такие места представлены солончаками с высоким содержанием гигроскопических солей сульфатно-хлоридного типа. Под внешней белёсой коркой эти солончаки обычно «мокрые», так как удерживают значительное количество влаги даже в сухое время. Под соляной коркой вскрываются чёрные вязкие илы с остатками растительности и створок моллюсков, а ниже они подстилаются водонасыщенными зелёными песками и суглинками [10,11].

«Ракушечные мостовые» образуются после выхода дна Аральского моря в зону эрозии. С одновременным обезвоживанием не литифицированных донных осадков начинаются процессы дефляции, которые выносят его тонко-зернистую фракцию, постепенно выводя на дневную поверхность, заключенные в осадке, более тяжелые створки кардиумов. Бывшее морское дно в этом случае представляет собой совершенно плоскую пологонаклонную ($1-2^\circ$) к западу равнину унылого серого цвета и состоящую из песчаных, суглинисто-песчаных отложений с многочисленными раковинами и фрагментами раковин моллюсков *Cardium edule* L., *C. fluminaris* (Mull.).

Донные осадки обычно имеют неправильную слоистость, выраженную чередованием слоев песчанистого ила, илистого песка и тонких пес-

чаных прослоев преимущественно кварц-полевошпатового состава. Кроме этого среди минеральных новообразований осадков Аральского моря отмечается гидротроилит (в черных и светлых илах), кристаллики гипса, реже пирит, частички самородной серы (очень редко) и наиболее важный из автохтонных минералов - порошкообразный кальцит, повсеместно присутствующий в илистых осадках [7,10]. Содержание последнего может достигать 30% в мелководной восточной части Араля и 11-27% в районах, прилегающих к дельте Сырдарьи, где в осадках содержание полевых шпатов, слюды и темноцветных минералов заметно возрастает. Такая неравномерность распределения алевритисто-аргиллитистого материала осадков, малый удельный вес слагающих их минералов способствует быстрой ветровой эрозии. Кроме этого, катастрофически быстрая регрессия Аральского моря послужила причиной массовой гибели организмов, в связи с чем, почти повсеместно на осушенней части дна можно наблюдать огромное количество раковин и раковинного детрита, а на участках бывших понижений дна створки располагаются сплошным чехлом, образуя «ракушечные мостовые».

Эоловые бугры и косы. Для всей территории бывшего дна Аральского моря, как уже отмечалось выше, характерна дефляция грунтов, которая выражается в выносе с его поверхности песчаных частиц и солей (ветровая эрозия). В результате этого в переходной зоне от морских отложений к собственно эоловым образуется песчаный ландшафт, характеризующийся чередованием эоловых бугров и кос, высотой от 0 до 10 м. Мощность эоловых отложений и граница их развития из-за постоянной ветровой эрозии крайне непостоянна и всё время изменяется. Довольно часто среди эоловых бугров встречаются котловины выдувания (дефляционные депрессии) с обнажающимися в них морскими отложениями (фрагменты «ракушечных мостовых», соляных корок и т.д.). По мере удаления в сторону береговой линии с отметкой 53 м (уровень зеркала воды Аральского моря до начала регрессии) наблюдается увеличение мощности эоловых отложений до 10 м. Здесь уже появляются фитобугры, образующиеся за счёт задержки и накопления песков вокруг кустов тамариска, которые тоже хорошо дешифрируются на космоснимках. Наибольшая мощность эоло-



Рис. 3. Зоны дешифрирования 2005 год

Условные обозначения

- 53— Отметка 53 метра уровня водного зеркала Аральского моря до начала регрессии (1960 г.)
- I — Зона I. Заболоченные участки, остаточные водоёмы, солончаки
- II — Зона II. Морские пески с ракушечными мостовыми
- III — Зона III. «Переходная». Зона интенсивной дефляции и переотложения морских песков, появление растительности
- IV — Зона IV. Зона аккумуляции (накопления) эоловых песков :
- (а) Затопленная часть берега Малого Араля после постройки Кок-Аральской плотины ;
- (б) Осушённая часть Аральского моря ;
- (в) Положение берега до 1960 года ;
- (г) Акватория бассейнов Большого и Малого Араля ;
- Кок-Аральская плотина

вых отложений (до 20 м) отмечена на отмелях у бывших островов Аральского моря (о-в Каскакулан и др.). Здесь в зоне развития незакреплённых песков образуются барханы подковообразной формы, которые постоянно перемещаются.

Таким образом, по мере отступления береговой линии Аральского моря на материалах дистанционных съёмок устанавливается четыре основные зоны современного ландшафта, границы между которыми постоянно видоизменяют-

ся, поступательно перемещаясь к акватории (рис. 3,4). Обнажающееся заболоченное морское дно с остаточными водоёмами и солончаками (зона I) подвергается постепенному обезвоживанию; затем активной денудации с преобладанием дефляции морских осадков и образованием «ракушечных мостовых» (зона II); и далее через «переходную зону» к собственно аккумулятивным эоловым отложениям (зоны III и IV соответственно). Установленные при дешифрировании и полу-



Рис. 4. Зоны дешифрирования 2008 год (условные обозначения на рисунке 3)

чившие определенное геологическое содержание в процессе полевых исследований четыре зоны могут использоваться в качестве реперов для мониторинга происходящей в настоящее время регрессии Аральского моря.

Скорость и последовательность изменений современного ландшафта за последние пять лет на осущенной части дна можно наглядно проанализировать по материалам дистальных съёмок вокруг возведенной Кок-Аральской плотины, наличие которой ускоряет процесс перемещения береговой линии.

После разделения Аральского моря (рисунок 1, 1987 г.) на два практически самостоятельных бассейна скорость регрессии Малого Арала резко возросла. Поэтому были предприняты попытки спасения Малого Арала путем изоляции стока реки Сыр-Дарья от Большого Арала. Построить плотину пытались три раза. В первый раз (нет точной документальной даты) местными силами была построена десятикилометровая дамба, которая очень скоро была размыта накопленными водами. Однако даже непродолжительное существование первой дамбы показало местным

жителям и руководителям области положительный эффект от её строительства. Поэтому местные исполнительные органы и строительные предприятия вновь нашли средства на создание новой дамбы. После её возведения акватория Малого Арала практически быстро приблизилась к максимальной до регрессии Аральского моря отметке – 53 м. В результате увеличения границ водного бассейна резко уменьшилась периодичность и продолжительность пыльных бурь, значительно сократились соляные выносы на ближайшие сельскохозяйственные земли. Рыбопитомниками была почти восстановлена популяция пресноводных рыб (лещ, сазан, аральский осетр), тогда так до этого в солёной воде Малого Арала обитала только камбала Глосса. Но в 1998 году вторую дамбу разрушил шторм. Наконец, в 2005 году была возведена Кок-Аральская плотина (рис. 3), предназначенная для регулирования уровня воды в Малом Арале.

Тело плотины пересекает пролив Берга от южного конца дельты реки Сыр-Дарья до восточной оконечности бывшего острова Кокарал, который по мере развития регрессии стал полу-

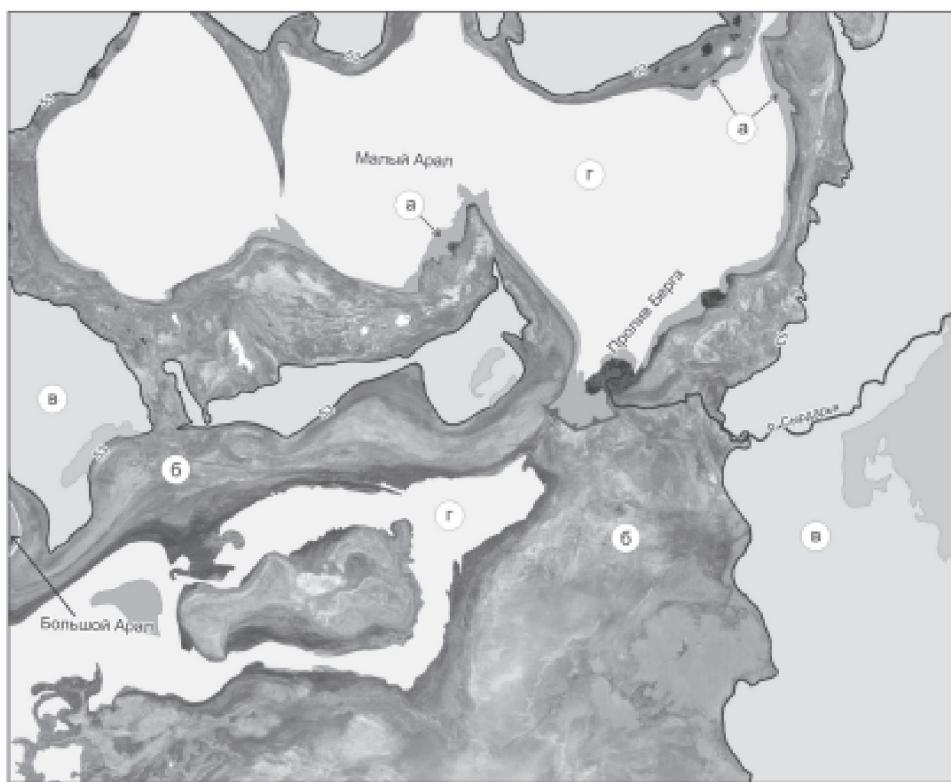


Рис. 5. Динамика бассейнов Арала 2005–2008 годы (условные обозначения на рисунке 3)

островом, а в настоящее время после полного отделения Малого Арала от Большого Арала стал его южным берегом. Длина плотины — 13 034 м, ширина у основания — 300 м вверху — 9 м. Высота гребня плотины - 45,5 м. В тело плотины уложено 3 млн. кубометров грунта.

Учитывая опыт предыдущих неудачных попыток возведения дамбы, в теле плотины построено водопропускное сооружение, по которому, в паводковые сезоны, излишки воды приносимые рекой Сыр-Дарья в Малый Арал сбрасываются в Большой Арал. Пропускная способность шлюза 600 м³/сек. Постройка шлюза позволяет регулировать темпы наполнения Малого Арала и предохраняет плотину от размыва во время штормов.

Заполнение Малого Арала началось 5 августа 2005 года. Уровень воды Малого Арала планировалось поднять до отметки 42,2 метра. Согласно проектным расчетам, площадь Малого Арала должна увеличиться на 360 кв. км, и тогда, как ожидается, вода практически полностью покроет высохшее дно северной части Аральского моря (залив Сарышаганак) и вновь вернет-

ся к городу Аральску, от которого она в своё время ушла на 120 км. Это позволит не только восстановить здесь рыбное хозяйство, но и улучшить экологические условия во всем регионе.

Как показывают материалы дистанционных съёмок к декабрю 2005 г. площадь Малого Арала увеличилась на 217 кв. км, а объем воды - на 3 куб. км (рис. 5). Вода зашла в заливы Бутакова и Сарышаганак, где ее не было два десятка лет. В сентябре 2006 г. абсолютная отметка зеркала воды Малого Арала составляла уже 38 м, а в сентябре 2008 г. – 39,5 м.

Дешифрирование космических снимков (Landsat) и последующие рекогносцировочные обследования выделенных объектов позволили установить масштабы ландшафтных изменений по всем четырем зонам, непосредственно связанных с возведением Кок-Аральской плотины (рисунки 3,4).

К первой зоне (I) отнесены заболоченные участки, остаточные водоёмы, солончаки образованные в результате регрессии Аральского моря. Как отмечалось выше, сложены они, водонасыщенными, интенсивно засоленными пес-

ками и черными илами, а водонасыщенность обусловлена высоким уровнем стояния грунтовых вод.

Как показывает дешифрирование космоснимков линейные параметры первой зоны изменчивы и зависят, как от миграции береговой линии Аральского моря, так и климатических факторов (времени года, ветра). Например: до создания плотины заболоченные участки на побережье Малого Араля, уклон шельфа которого имеет значительную крутизну (до 5°), были представлены узкими от единиц до нескольких сотен метров полосами протяженностью первые десятки километров. Аналогичная зона I вдоль береговой линии Большого Араля имела протяженность более ста километров при ширине первые десятки километров.

Как показали наблюдения, продолжительность существования заболоченных участков первой зоны находится в прямой зависимости от скорости миграции береговой линии. При ускорении процесса регрессии бассейна их площади резко увеличиваются, что наблюдается на северном берегу Большого Араля, однако летнее испарение, появление растительности и начало золовой деятельности, приводит к сокращению заболоченных площадей и изменению вещественного состава слагающих их пород. Так под действием современных экзогенных процессов практически исчезают черные илы. При трансгрессии моря заболоченные участки исчезают. При этом вблизи уреза воды в понижениях пляжной зоны, за счет подпитки могут образовываться новые заболоченные площади, но уже незначительных размеров.

Анализ результатов дешифрирования (рисунок 5) показывает, что с 2005 по 2008 г первая зона (общей площадью 90,15 км²) по побережью Малого Араля практически исчезла, сохранившись, лишь в дельте реки Сыр-Дарья на площади 29,19 км². По побережью Большого Араля, площадь зоны I уменьшилась с 1 105 до 1 066 кв. км. Незначительное уменьшение площади зоны I, обусловлено морфологией морского дна Большого Араля (очень пологое, обеспечивающее высокое стояние уровня грунтовых вод) и большой скорость отступления береговой линии, намного опережающей скорость развития процессов обезвоживания донных осадков.

Вторая зона (II) сложена сухими морскими песками. Это абсолютно безжизненные пространства (лунный пейзаж) лишенные растительности. Поверхность морских песков равномерно покрыта раковинами *Cardium edule* L. В прибрежной части пески засорены остатками детрита (камыш, водоросли) спрессованного в пляжных зонах. Фрагменты таких «пляжей» наблюдаются на осушенном дне, на расстоянии до 1,5 км от настоящего уреза воды. Совершенно плоский рельеф поверхности морских отложений, лишь иногда нарушается впадинами остаточных водоемов и временных русел, которые в течении непродолжительного времени исчезают.

Эта область (по границе зоны II) характеризуется появлением первой растительности, представленная исключительно лебедой, жизнедеятельность которой имеет двойкий характер. С одной стороны корневая система частично закрепляет пески, а с другой способствует ускорению процесса обезвоживания верхнего слоя морских отложений. В дефляционных впадинах поверхность эродируемых морских песков равномерно покрыта раковинами *Cardium edule* L., за счет обнажения раковин из более глубоких горизонтов, происходит их концентрация, и они выселяют днища сплошным ковром.

Общая площадь зоны II в 2005 году составляла 962,2 кв. км, к 2008 году увеличилась практически вдвое и составляет 1 806 кв. км. (рисунки 3,4).

Граница между зонами I и II мигрирует по мере исчезновения составных элементов зоны I (заболоченных участков, остаточных водоемов и солончаков) с одновременным понижением абсолютной отметки уровня зеркала водоёма. На местности эта граница не имеет четко обозначенных контуров, а на снимках, за счет отображения поверхности на глубину, хорошо дешифрируется по фототону.

Третья зона (III). По набору происходящих в ней экзогенных процессов, является «переходной» и расположена примерно на абсолютных отметках 33-45 м. На местности зона III характеризуется появлением более интенсивного растительного покрова: лебеда, полынь, солянки, отдельные кусты тамариска очень редко саксаул. В пониженных участках отмечены значительные площади по дешифрированию (до нескольки-

ких квадратных километров) заросшие редким камышом. Здесь, наряду, с интенсивным выносом песчаного материала одновременно происходит его первичная аккумуляция.

Именно в зоне III начинается интенсивная дефляция донных отложений, в результате чего в атмосферу выносится основная масса пыли и токсичных загрязнителей (Sr). В результате ветровой эрозии на плоской равнине возникают дефляционные депрессии глубиной до 0,5 м, площадь их от первых квадратных метров до 1,5 км². Мелкая и пылеватая фракции выносится за пределы зоны, крупно и среднезернистая фракции образует косицы, мелкие бугры и очень редко бархано-подобные гряды, причем первые ориентированы в широтном направлении, а барханы в меридиональном. Барьера, обуславливающими образования эоловых форм рельефа, являются стебли и корневая система растений. Мощность эоловых отложений возрастает от 0 м у внутренней границы зоны III, до 10 м у её внешней границы. В эоловых песках в значительных количествах присутствуют микро-обломки раковин.

Граница между зонами II и III хорошо выражена не только на снимках, но и на местности. В современном рельефе она представлена сглаженным уступом высотой до 0,5 м. Судя, по характеру песков слагающих этот уступ он представляет собой бывший береговой вал. Зона III или «переходная зона от собственно морских к собственно континентальным отложениям» наиболее статична из всех выделенных. Изменения её контуров связано преимущественно с развитием растительности, вследствие чего она за период 2005-2008 годов практически осталась неизменной. Общая площадь зоны III на 2005 год составляла 3 102 кв. км на 2008 год незначительно уменьшилась до 3 080 кв. км. Уменьшение площади произошло за счет увеличения эоловых массивов четвертой зоны.

К четвертой зоне (IV) отнесены участки, охватывающие на снимках «Landsat» интервал абсолютных отметок 45-53 м, где в настоящее время происходит накопления эолового материала мощностью более 10 м. Большая часть зоны IV расположена вблизи отметки 53 м, т.е. бывшей береговой линии Аральского моря до начала катастрофической регрессии. Реже на отмелях Большого Арала. Зона имеет двухчленное

строение: внутреннюю и внешнюю части, которые отличаются как по фотону, так и в ландшафте.

Внутренняя часть зоны IV прилегает к области первичного накопления эолового материала и представляет собой всхолмленную равнину образованную грядами близко расположенных (иногда вплотную друг другу) фитобугров высотой до 6 м. Граница между внутренней и внешней частью зоны IV на местности фиксируется грядами фитобугров. На космоснимках она примерно совпадает с абсолютной отметкой 35,0 м и хорошо дешифрируется. На вершинах фитобугров чаще всего кусты тамариска, значительно реже саксаул. Межбугровые пространства зарастают лебедой и полынью. Такие участки занимают три четверти общей площади зоны

Внешняя часть зоны IV, в ландшафте представлена абсолютно незакрепленными песками, образующими отдельные барханы и барханные цепи, окаймляющие бывшие острова и отмели Аральского моря.

Пески средне и крупнозернистые, желтовато-серые, уже без фрагментов раковин. Границы эоловых массивов, несмотря на значительную скорость их изменчивости, четко фиксируются на космоснимках и на местности. Скорость накопления и перемешивания эолового материала настолько велика, что растительность не успевает прорастать на дюнах и барханах, в связи, с чем в ландшафте такие эоловые массивы окаймляются кустами тамариска. В последние годы на незакрепленных песках зоны IV производится высадка саксаула.

На местности внешняя граница зоны IV выражена довольно значительным уступом высотой до 10 м., который совпадает примерно с отметкой 53 м. В настоящее время этот уступ интенсивно эродируется талыми водами и ветрами. Согласно данным дешифрирования площадь незакрепленных песков за 2005-2008 годы в результате эоловых процессов выросла на 9 кв. км.

Динамика изменений контуров вышеописанных зон за период 2005 – 2008 г.г. отражена на рисунках 3, 4.

Кроме наблюдений за выше перечисленными зонами современного ландшафта бывшего дна Аральского моря материалы дистанционных съёмок позволяют провести мониторинг измене-

ния береговой линии и площади акватории Большого и Малого Арала, а также прирусловых озер реки Сыр-Дарья и миграции её русла. При использовании крупномасштабных дистанционных съёмок можно проследить изменения в теле плотины, т.е. провести мониторинг её инженерно-геологического состояния (возможные протечки, конуса промачивания грунта и т.д.). Наблюдение за изменениями открытых водных пространств особенно осложненных гидротехническими сооружениями имеет важнейшее значение и особых пояснений не требует.

Динамика заполнения Малого Арала в 2005–2008 г.г. приведена на рисунке 5. Как видно на снимках площадь Малого Арала после возведения Кок-Аральской плотины только в пределах снимка увеличилась на 251 км² с 2 692 до 2 943 км².

В заключении можно сказать, что в результате отступления береговой линии к настоящему времени осушена огромная территория, с которой выносится и продолжает выноситься солепылевой материал в прилегающие районы. По данным космосъёмок шлейфы таких выносов прослеживаются на сотни километров.

Одной из основных причин сложной экологической обстановки в Приаралье явилось крупномасштабное антропогенное вмешательство. Повсеместное расширение площадей под орошение в долинах рек Сыр-Дарья и Аму-Дарья, а естественное увеличение численности населения сопровождалось не только изъятием воды и нарушением гидрологического режима рек, но и засолением плодородных земель, а так же внесением в окружающую среду большого количества химических веществ. Регрессия Аральского моря вызвала ряд негативных последствий. Прежде всего, исчезли дельтовые озера и тростниковые плавни, а иссушение территории привело к формированию обширных солончаковых пустошей, ставших поставщиками солей и пыли в атмосферу. Большая часть территории региона используется в качестве естественных кормовых угодий. Пастбища подвержены значительным нагрузкам и процессам антропогенного опустынивания, что приводит к их деградации, уничтожению растительного покрова и формированию незакрепленных, перевиваемых песков.

В последние годы в результате «усыхания» Арала, отмечается заметное изменение и кли-

матических условий Приаралья. Ранее Аральское море выступало в роли своеобразного регулятора, смягчая холодные ветры, приходившие осенью и зимой из Сибири и, уменьшая, словно огромный кондиционер, силу жары в летние месяцы. Со значительным уменьшением акватории Аральского моря и, как следствие, ужесточением климата лето в регионе стало более сухим и коротким, зимы – длинными и холодными. Вегетативный сезон сократился до 170 дней. Продуктивность пастбищ уменьшилась наполовину, а гибель пойменной растительности снизила промысловую продуктивность поймы реки Сыр-Дарьи в 10 раз.

Последствия Аральской катастрофы уже давно вышли за рамки региона и Республики Казахстан. С высохшей акватории моря ежегодно, разносятся свыше 100 тысяч тонн соли и тоннодисперсной пыли с примесями различных химикатов и ядов, пагубно влияя на все живое. Эффект загрязнения усиливается тем, что Арал расположен на пути мощного воздушного течения западного направления, способствующего выносу аэрозолей в высокие слои атмосферы. Следы солевых потоков прослеживаются по всей Европе и даже в Северном Ледовитом океане.

Мониторинг динамики регрессии Аральского моря и опустынивания прилегающей территории при сохранении настоящего тренда приводит к печальному прогнозу полного исчезновения моря к 2015-2017 году. В результате возможно образование новой пустыни «Арал-кум», которая станет продолжением пустынь Каракумы и Кызылкумы.

Следует отметить, что вектор направления осушения морского дна, как показали данные дешифрирования и полевых наблюдений имеет западную ориентировку, в этом же направлении происходит процесс уплотнения осадков и их биологизация (движение растительного покрова). Господствующее направление ветров, под действием которых происходит наиболее эффективная дефляция осушенного дна, отвечает западным румбам, т.е. происходит в обратном направлении. В результате этих противоположно направленных процессов состояние геологической среды наблюдаемого ландшафта постоянно изменяется, в связи с этим, выше изложенное описание его элементов следует воспринимать как фрагмент, соответствующий моменту изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аленцин В. Д. Сообщение о поднятии в Арало-Каспийской стране и о причинах поворота рек Аму и Сыра // Тр. СПб общества естествоиспытателей, VII, 1876г.
2. Берг Л. С. Аральское море // Изв. Русского географического общества, т V, научные результаты Аральской экспедиции, вып. 9, 1908г.
3. Викторов С. В. Ландшафтные индикаторы гидрогеологических и инженерно-геологических условий в районах орошения и обводнения пустынь, М. 1976, 412с.
4. Зейберлих Н. Э. Сводная гидрогеологическая карта северо-западной части листа L-41, масштаб 1:1 000 000, Алма-Ата, 1948 г., РГФ.
5. Кесь А. С. О древних и современной трансгрессии Аральского моря // Тр. Ин-та географии АН СССР, т. LXXIX, вып. 23, 1960г. (17)
6. Мукуршин С. А. Сергеев Н. Н. «Специализированная комплексная эколого-инженерно-геологическая съемка с геологической съемкой осущеной части листов L-41-VII, L-41-XIV, XX м-ба 1:200 000 (Северное и Северо-восточное Приаралье) // Отчет ОАО «Алматыгидрогеология», Алматы. 2001 г. РГФ.
7. Мукуршин С. А. Сергеев Н. Н. «Специализированная комплексная эколого-гидрогеологическая съемка с геологической съемкой осущеной части листов L-41-XXVI, L-41-XXXII м-ба 1:200 000 (Юго-Восточное Приаралье) // Отчет ОАО «Алматыгидрогеология», Алматы. 2003 г. РГФ.
8. Сармудаева М. Х. Отчет по инженерно-геологической съемке с гидрогеологическим доизучением масштаба 1:200 000 листов L-40-XVII, XVIII, XXIV, L-41-XIII на площади 13 500 кв. км (Приаралье). Алматы 2001 г.
9. Северцов Н. А. О результатах физико-географических наблюдений в Арало-Каспийских степях // Изв. Русского географического общества, т XI, вып. 3, 1876г.
10. Сергеев Н. Н. Гидрогеологическая съемка с инженерно-геологическими, геэкологическими исследованиями и картографированием масштаба 1:200 000 листов L-41-III, VIII, IX (Приаралье) // Отчет ТОО «Namys», Алматы, 2002г. РГФ.
11. Сергеев Н. Н. Комплексная геологическая, гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка масштаба 1:200 000 с геэкологическими исследованиями листов L-41-XIX, XXV, XXXI на площади 8 441 кв. км. (Приаралье) // Отчет ТОО АГП «ПСЭ», Алматы, 2006, РГФ.
12. Ханыков Н. В. Поездка из Орса в Хиву и обратно, совершенная в 1740-1741 гг. поручиком Гладышевым и геодезистом Муравиным // Изв. Русского географического общества, вып. 4, 1851г.
13. Хрусталев Ю. П., Резников С. А., Туровский Д. С. Литология и геохимия донных осадков Аральского моря. Ростов-на-Дону 1977 г.