

УДК 551.435.126(282.254.43+282.255)

## ФОРМИРОВАНИЕ РЕЧНЫХ ДЕЛЬТ ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДОЕМОВ АРАЛО-КАСПИЙСКОЙ АРИДНОЙ ЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ РЕК ТЕРЕКА, АМУДАРЬИ И ИЛИ)<sup>#</sup>

© 2023 г. В. Н. Коротаев<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

\*E-mail: vlaskor@mail.ru

Поступила в редакцию 15.02.2022 г.

После доработки 20.12.2022 г.

Принята к публикации 14.03.2023 г.

Устьевые геоморфолого-осадочные систем крупных рек, впадающих во внутриконтинентальные моря и озера аридной зоны, прошли длительный эволюционный путь развития, многократно накапливая и перерабатывая аллювиальные отложения в зависимости от положения уровня приемного водоема. Следуя за колебаниями уровня, реки перемещали свои дельты, плейстоценовые реликты которых находят в интервале абсолютных отметок от +50 до –20 м на берегах Каспия, от +50 до 110 м Арала и от +370 до 400 м озера Балхаш.

Арало-Каспийская аридная зона отличается некоторыми особенностями природных факторов, влияющих на процессы дельтообразования: засушливостью климата, формированием речного стока в верховьях рек и отсутствием приточности в нижнем течении, повышенной мутностью речных вод и огромным стоком взвешенных наносов, а также значительным влиянием хозяйственной деятельности человека, связанной с интенсивным орошением сельскохозяйственных угодий. Наиболее распространенным морфогенетическим типом речных дельт на побережьях внутриконтинентальных водоемов аридной зоны являются огромные аллювиальные конусы выноса в виде дельт выдвигания и “сухие внутренние дельты” в виде аллювиальных конусов выноса.

Дельтовым рукавам и нижнем течении рек аридной зоны свойственна большая интенсивность русловых деформаций вследствие слабой устойчивости к размыву мелкопесчаных долинных аллювиально-пролювиальных отложений, больших скоростей течения и высокой насыщенности потока взвешенными наносами. Перенасыщенность речного потока наносами приводит обычно к обмелению русла в половодье и постепенному его повышению над окружающей местностью. Повышение отметок дна и большие скорости устьевого удлинения провоцируют частые прорывы прирусловых валов, изменение направления течения дельтовых рукавов, создание новых узлов разветвлений и формирование *региональных приращенных дельт прорывного типа* (дельтовых лопастей) на периферии старой дельты (субдельт по американской терминологии). Внутри дельтовых систем после прорывов русловых валов (или ограждающих дамб) могут формироваться также *частично наложенные* или *наложенно-приращенные дельты*.

Плохая сохранность древних дельт – следствие интенсивного хозяйственного освоения и высокой динамичности морского края и гидрографической сети речных дельт в условиях огромного стока взвешенных наносов и значительной изменчивости уровня приемного водоема.

**Ключевые слова:** геоморфология устьевых систем, дельта, устьевой конус выноса, колебания уровня приемного водоема, изменение условий увлажнения климата, история формирования дельт аридной зоны

**DOI:** 10.31857/S2949178923030040, **EDN:** WCWFQU

### ВВЕДЕНИЕ

Устья рек на побережьях окраинных морей Мирового океана и внутриконтинентальных во-

доемов (Каспийского и Аральского морей и озера Балхаш) прошли длительный путь развития на фоне многократных изменений положения уровня приемных водоемов. Современная береговая зона всех окраинных морей и открытых океанических побережий земного шара, в том числе и дельтовые берега, были смоделированы в ходе последней, послеледниковой, трансгрессии Мирового океана. Начало создания береговых и устье-

<sup>#</sup> Ссылка для цитирования: Коротаев В.Н. (2023). Формирование речных дельт внутриконтинентальных водоемов Арало-Каспийской аридной зоны (на примере рек Терек, Амударья и Или) // Геоморфология и палеогеография. Т. 54. № 3. С. 3–13. <https://doi.org/10.31857/S2949178923030040>; <https://elibrary.ru/WCWFQU>

вых форм следует отнести к гляциально-эвстатическому регрессивно-трансгрессивному циклу, когда уровень океана сначала понизился примерно до отметок –110 м, а затем быстро поднялся до современного положения. Именно этот период в истории формирования береговой зоны Мирового океана оказал наибольшее влияние на образование и развитие речных дельт (Каплин, 1973; Каплин, Селиванов, 1999).

Для внутриконтинентальных водоемов аридной зоны характерна многократная смена трансгрессивно-регрессивных фаз за небольшие временные промежутки (1–2 тыс. лет). Следы древних дельт на каспийском шельфе были обнаружены в виде клиноморфных аккумулятивных тел ательского ( $Q_{2-3}^{at}$ ) и енотаевского ( $Q_3^{en}$ ) возраста на глубинах 40–25 м (Лохин, Маев, 1990). Достаточно хорошо сохранились дельты, связанные с максимальными пиками раннехвалынской (~50 м Балтийской системы высот [БС]), позднехвалынской (~0 м БС) и новокаспийской (–20 м БС) трансгрессиями Каспийского моря. Принципиальные различия в колебаниях уровня приемных водоемов требуют отдельного рассмотрения механизма формирования речных дельт, стратиграфии дельтовых отложений, эволюции устьевых областей и динамики гидрографической сети рек, расположенных на побережьях Мирового океана и внутриконтинентальных водоемов (Коротаев, 2012).

В Арало-Каспийской аридной зоне расположены различные морфогенетические типы речных дельт: выдвигания на открытом взморье (Волга, Терек, Кура, Урал, Амударья, Сырдарья, Или, Каратал, Лепсы) и так называемые “сухие внутренние дельты” – аллювиальные конусы выноса горных рек, теряющих сток в среднеазиатских песках (Мургаб, Зеравшан, Чу, Талас и др.). Наибольший интерес вызывают огромные многоорукавные дельты выдвигания (например, Терек, Амударья, Или), на примере которых попытаемся исследовать специфику процессов дельтообразования и историю формирования.

Процессы дельтообразования в устьях рек подчиняются *внутренним* гидравлическим и балансовым закономерностям, физические основы которых универсальны и в целом сходны в разных природных условиях. В то же время устьевые процессы протекают под сильным влиянием *внешних* факторов – природных условий речных бассейнов и приемных водоемов, и их естественных и антропогенных изменений. При всем многообразии природных факторов, влияющих на процессы дельтообразования (исходный рельеф взморья, тектоника, многолетняя мерзлота, воздействие моря, закрепляющая роль растительности, ледовые явления, гидротехнические мероприятия и др.), ведущую роль в характере и интенсивности

дельтообразования играет величина стока наносов реки. Именно она определяет скорость выдвигания русел в море, интенсивность активизации и отмирания дельтовых рукавов, перераспределение стока между ними, динамику гидрографической сети и ее морского края в целом. Чем больше сток наносов реки и ее мутность, тем выше и интенсивность всех дельтоформирующих процессов. Сток наносов определяет и тип развития дельты: медленный, эволюционный или быстрый, скачкообразный, с прорывами русла и полной перестройкой гидрографической сети дельты. Вторым типом развития дельты, как правило, характерен для рек с нагрузкой наносов  $>1 \text{ кг/м}^3$ . Даже число рукавов в дельте зависит от величины стока наносов: чем она больше, тем быстрее возникают новые и отмирают старые дельтовые рукава, а их общее число у рек с большим стоком наносов заметно меньше, чем у других рек.

В зонах степей, полупустынь и пустынь в устьях рек с большим стоком наносов, часто берущих начало в горных и предгорных частях бассейнов, формируются дельты с очень изменчивой гидрографической сетью. Руслу рукавов быстро выдвигаются в море (максимальная скорость устьевого удлинения в прошлом была отмечена в дельтах Амударьи и Хуанхэ – 4 и 10 км/год соответственно). Одновременно с этим происходит повышение дна и водной поверхности рукавов, возрастают перепады отметок между гребнями прирусловых валов и окружающей дельтовой поймой, что создает предпосылки для прорыва русла. В результате таких прорывов происходит образование наложенных (возникающих в пониженных внутренних частях старой дельты) и причлененных (формирующихся на морской периферии старой дельты) частных дельт и их поясов. Такие процессы были типичны (до значительного антропогенного сокращения стока рек или его зарегулирования, крупномасштабных обвалования или канализации рукавов) для дельт Хуанхэ, Амударьи, Терека, Сулака, Или. Прорывы во внутренние части дельты нередко приводили к катастрофическим наводнениям.

От упомянутых выше устьев рек сильно отличается *дельта Волги*, хотя она и расположена в аридной зоне. Современные гидролого-морфологические процессы в дельте Волги несмотря на то, что она расположена в аридной зоне, существенно отличаются от многих рек Арало-Каспийской аридной зоны вследствие малой мутности речных вод и незначительного стока взвешенных наносов. Дельтообразующие процессы здесь мало чем отличаются от аналогичных для умеренной зоны.

Нижняя (приморская) часть новейшей дельты Волги имеет облик *культурно-дельтовой аллювиальной равнины*, сформированной из многочис-

ленных молодых дельтовых конусов выноса. Искусственное углубление баровых бороздин и ограждение их с обеих сторон отвалами грунта, которые постепенно закрепляются растительностью, приводят к обособлению этих участков аванделты от окружающего водного пространства и превращению их в своеобразные продолжения дельтовых водотоков — банки, концентрирующие большую часть стока Волги на устьевом взморье. Водные пространства, разделяющие банки, становятся мелководными заливами — култуками, постепенно заиливающимися и зарастающими водной растительностью.

Наиболее характерными процессами в приморской зоне являются: формирование разветвленной сети мелких водотоков веерной формы, рассредоточение стока магистральных рукавов по ерикам и протокам, массовая аккумуляция речных наносов и выдвигание морского края дельты с образованием выдвигающихся в море кос и осередки устьевых баров. А также избыточная увлажненность, обусловленная близким залеганием грунтовых вод. В пределах современной дельты Волги не происходит формирование наложенных дельт.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве информационной основы исследования использован массив опубликованных гидрологических, гидрографических и геолого-геоморфологических данных, а также результаты экспедиционных работ географического факультета МГУ в низовьях рек бассейнов Каспийского, Аральского морей и озера Балхаш. Методы исследования базируются на применении апробированных приемов геоморфологического картографирования дельтовых равнин, а также современных геоинформационных технологий с использованием разновременных картографических и космических источников.

Геоморфологическое строение речных дельт, подсчеты их площадей и современная динамика изучались на основе анализа, сопоставления и картометрии топографических карт масштаба 1 : 100 000, космических снимков *Landsat-7* и *Google Earth*.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### *Бассейн Каспийского моря*

*Дельта Терека.* Река Терек берет начало на склонах Главного и Бокового хребтов Большого Кавказа у ледника Зилга-Хох на высоте 2713 м. Крупнейшие притоки Малка и Баксан вытекают из-под ледников Эльбруса. Длина реки — 623 км. В горной зоне от истоков до Эльхотовских ворот река формирует порожисто-водопадное русло, а

в пределах Северо-Осетинской равнины Терек превращается в широкопойменную реку. Устьевой участок реки начинается у с. Степное в 165 км от моря и включает дельту с многочисленными рукавами, протоками, озерами, плавнями и каналами.

Средний годовой расход воды в замыкающем створе (с. Степное) равен 297 м<sup>3</sup>/с (9.37 км<sup>3</sup>/год). В многоводные годы сток увеличивался до 13.6, а в маловодные уменьшался до 6.4 км<sup>3</sup>/год. Высокая интенсивность эрозионных процессов на водосборах обуславливает большие значения средней мутности терских вод от 0.2 до 3.19 кг/м<sup>3</sup>. Средний многолетний сток взвешенных наносов составляет в вершине дельты 15.4 млн т/год, максимальный годовой сток наносов — 63.7 млн т/год. Большая мутность рек — одна из причин, приводящих к накоплению отложений в руслах, повышению отметок дна, уменьшению транспортирующей способности рек и способствующих катастрофическим наводнениям в нижнем течении.

Формирование рельефа Терско-Сулакской равнины происходило на фоне многократных плейстоценовых и голоценовых трансгрессий Каспия, далеко прикивавших в область краевого прогиба и его регрессивных стадий, когда формировались обширные дельты. В периоды регрессий морской край дельт смещался далеко в сторону моря. Так, глубокой енотаевской регрессии (около 20 тыс. л. н.) соответствуют реликты древней объединенной дельты рек Волги, Кумы, Терека и Сулака с береговой линией на отметках около –64 м БС. Мангышлакской регрессии (10 тыс. л. н.) соответствует древняя береговая линия на отметках –50 м БС, к которой были приурочены устья рек Терека и Сулака (Леонтьев, 1961).

Дельтовые накопления заполнили некогда громадный залив и создали последовательную систему хазарских, ниже- и верхнехвалыньских и новокаспийских равнин. Формирование дельтовой равнины в настоящее время продолжается лишь в северной и юго-восточной частях Терско-Сулакской дельтовой равнины, в частности в Аграханском заливе и в устьях Аликазгана и Сулака. Поверхности наиболее древних дельтовых равнин претерпели значительные изменения под воздействием позднейших трансгрессий, переработки эоловыми процессами и в современное время — в результате мелиоративных мероприятий. По Г.И. Рычагову (1960), Терско-Сулакская дельтовая равнина сформировалась в основном во время регрессии верхнехвалыньского моря. Последующие, более молодые (новокаспийская, современная) дельты перекрывали своими отложениями древнюю дельтовую поверхность и частично ее перерабатывали (рис. 1).

Согласно И.П. Беляеву (1963) выделяют два основных типа развития дельтовой равнины – регрессивный и трансгрессивный. При развитии дельты по регрессивному типу дельтовые водотоки следуют за отступающим морем. Речной сток концентрируется в немногих крупных рукавах, приводя к отмиранию более малых водотоков. В зависимости от глубины регрессии и величины уклона осушающейся части прибрежной зоны моря в дельтовых рукавах могли преобладать процессы эрозии или аккумуляции. Если уклон осушки был меньше “устойчивого” уклона (состояние динамического равновесия русла, когда не происходит направленных русловых деформаций), то в нижней части русла происходила аккумуляция, регрессивно распространявшаяся вверх по течению (Гидрология устьев рек..., 1993). На дельтовой равнине Терека такие условия возникли при падении уровня моря до отметок –28...–30 м БС, предельного уровня, до которого опускался уровень Каспия в новокаспийское время (Рычагов, 1977).

При развитии дельты по трансгрессивному типу ее нижняя часть затапливалась, а рукава оказывались в подпоре. В это время формировались обширные мелководные водоемы, в которых затем могли сформироваться причлененные частные дельты выполнения, а также в некоторых случаях и наложенные частные дельты. В течение трансгрессивных стадий новокаспийского времени наиболее интенсивно частные дельты образовывались в центральной части дельтовой равнины, в системе рукавов Куру-Терека. В западной и южных частях равнины оставались понижения, которые затапливались во время трансгрессий и где могли сформироваться причлененные и наложенные частные дельты (Леонтьев, Чекалина, 1979).

За последние 500 лет насчитывается семь основных циклов формирования наложенных и причлененных частных дельт. Самой древней, в настоящее время полностью отмершей, является система, образовавшаяся в XV–XVI вв. *Брянско-Суютинскую* лопасть дельты. Вершина ее располагалась у Кизляра, основными водотоками были Кизлярка, Куру-Терек, Большой Березяк, Ачису, Ак-Терек, Илган-Бурун. В XVII в. сформировалась самая старая из ныне существующих *Сулу-Чубутлинская* и отмершая *Куру-Чубутлинская* системы, вершины которых находились у ст. Старогладковской. Отложения этих систем образовали западную и северные части дельтовой равнины.

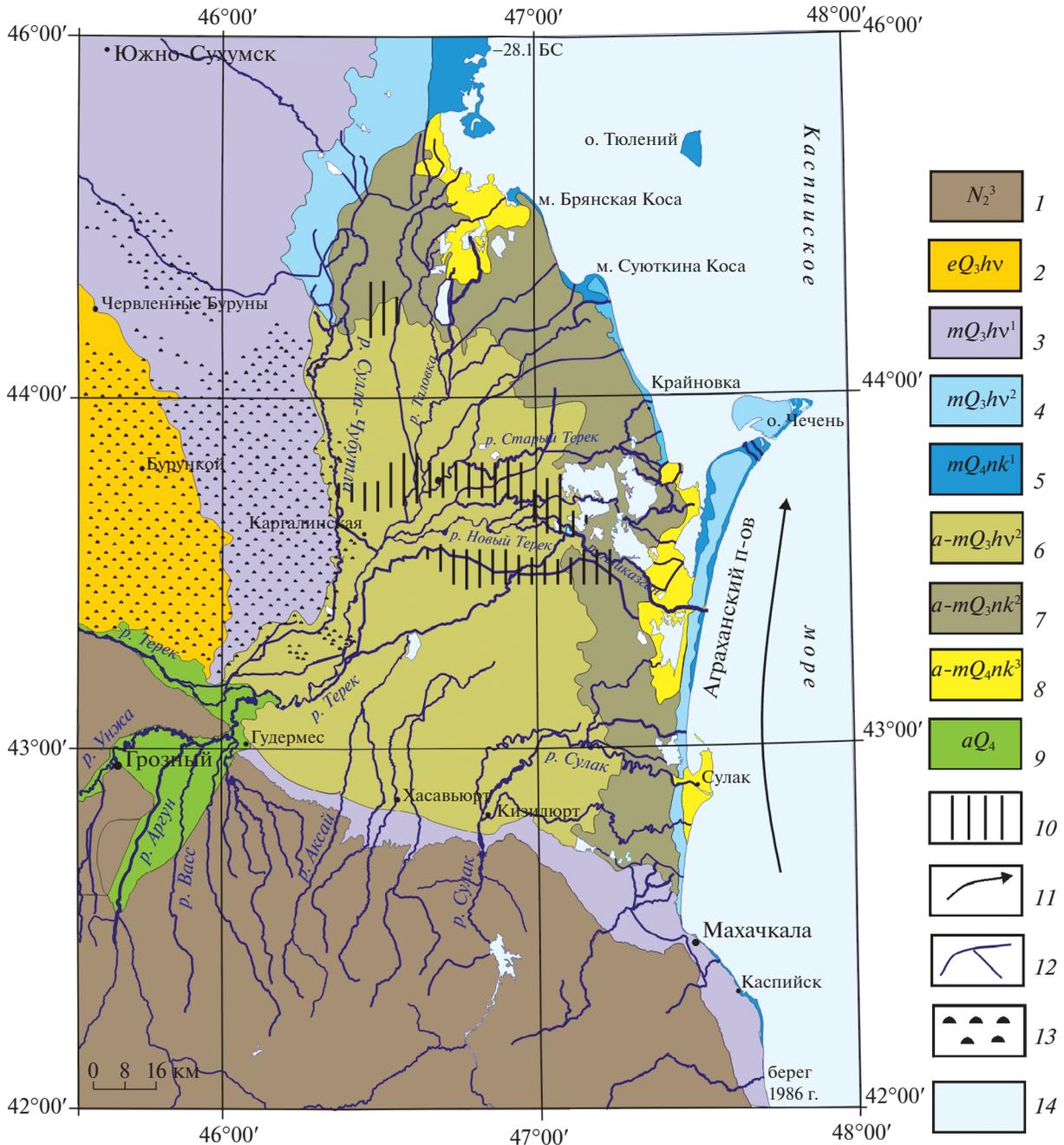
В начале и конце XVIII в. мощные прорывы излучин Терека в районе ст. Старогладковской и выше г. Кизляр привели к появлению новых дельтовых рукавов, впоследствии получивших название Старого Терека и Кордонки. Эти рукава сформировали *Бахтемиро-Крайновско-Староте-*

*речную лопасть* дельты. В 1812 г. образовалась Бороздинская прорва, а в 1914 г., во время катастрофического наводнения, возник Каргалинский прорыв, во время которого было затоплено около 700 км<sup>2</sup> терской равнины. Этот прорыв послужил началом формирования наиболее мощной из существующих новотеречных систем дельтовых водотоков *Аликазганской лопастной дельты выполнения* в Аграханском заливе. К началу XX века в основном были заполнены аллювиально-дельтовыми отложениями понижения в северной части дельтовой равнины Терека. Северные рукава дельты Терека в естественном состоянии не могли конкурировать с новым магистральным рукавом и отмерли. Современная дельта Терека стала практически однорукавной. В настоящее время сток в старые дельтовые рукава поддерживается искусственным путем (Алексеевский и др., 1987).

Новый этап развития дельты Терека совпал со временем сооружения в 1960-е годы искусственной прорези через Аграханский п-ов для спрямления русла Каргалинского прорыва и предупреждения негативных последствий, связанных с выдвиганием дельты Аликазгана (угроза новых прорывов и затопление сельскохозяйственных земель). В январе 1973 г. в результате заторных явлений и повышения уровня воды в русле Главного банка была прорвана перемычка в прорези и воды реки устремились к морю. Громадный сток наносов привел к быстрому формированию “новой” дельты Терека – дельты выдвигания на открытом взморье. За период 1975–1990 гг. площадь новой дельты увеличилась с 1.4 до 3.2 км<sup>2</sup>, а объем конуса выноса – от 3.75 до 8.05 млн м<sup>3</sup> (Байдин и др., 1971; Рычагов, 1977; Реки и озера мира, 2012). Продолжавшийся после 1990 г. подъем уровня Каспия привел в начале XXI в. почти к полному затоплению и разрушению “новой” дельты Терека.

Современный подъем уровня Каспийского моря вызвал повсеместное подтопление низменных участков берега и частичное затопление осушек и глинистых бенчей (с. Новотеречное). Это постепенно приводит к усилению разрушения берега и активизации ранее отмерших береговых уступов. В настоящее время нагонные воды полностью перекрывают сохранившиеся местами участки молодой террасы 1929 г. и непосредственно достигают подошвы уступа размыва, подрезающего новокаспийскую равнину.

Общая площадь Терско-Сулакской дельты с вершиной у ст. Каргалинская (позднешхвалынская, новокаспийская и современная без Аграханской косы) – 10 260 км<sup>2</sup>, в том числе современная дельта – 1890 км<sup>2</sup>.



**Рис. 1.** Геоморфологическая карта дельтовой системы Терека.

1 – эрозионно-денудационный рельеф среднегорий (до 1000 м абс.); 2 – позднечетвертичная эоловая бугристо-грядовая равнина; 3 – хвалынская морская равнина (от 50 до 0 м абс.); 4 – новокаспийская морская равнина (–20 м абс.); 5 – морская современная терраса (–26 м абс.); 6 – хвалынская дельта; 7 – новокаспийская дельта; 8 – современная дельта; 9 – пойменно-террасовый комплекс речных долин; 10 – наложенные дельты; 11 – направление потоков вдоль береговых наносов; 12 – гидрографическая сеть; 13 – бугристые пески; 14 – водные объекты.

**Fig. 1.** Geomorphological map of the Terek delta system.

1 – erosion-denudation relief of the Middle mountains (up to 1000 m abs.); 2 – Late Quaternary colhill-ridge plain; 3 – Khvalyn sea plain (from 50 to 0 m abs.); 4 – New Caspian sea plain (–20 m abs.); 5 – Modern marine terrace (–26 m abs.); 6 – the Khvalyn delta; 7 – the New Caspian delta; 8 – the recent delta; 9 – the floodplain-terrace complex of river valleys; 10 – superimposed deltas; 11 – the direction of longshore drift sediments; 12 – hydrographic network; 13 – hillock sands; 14 – water objects.

*Бассейн Аральского моря*

*Дельта Амударьи.* Река Амударья образуется от слияния Пянджа и Вахша, стекающих со склонов Памира. Длина Амударьи – 1415 км, от истоков

Пянджа – 2540 км. Основная масса речного стока формируется на водосборах Пянджа и Вахша, а также притоков Сурхаба, Кафирнигана и Сурхандарьи. До 1960 г. средний расход воды у г. Кер-

ки составлял 2000 м<sup>3</sup>/с (63 км<sup>3</sup>/год). В настоящее время расход воды существенно уменьшился вследствие увеличения забора воды в Каракумский и Аму-Бухарский каналы, особенно в нижнем течении в меженный период. Расход наносов Амударьи, самый большой среди рек Средней Азии – 6.9 тыс. кг/с у г. Керки. До 1960 г. сток взвешенных наносов составлял 219 млн т/год. Мутность амударьинских вод – 3.3 кг/м<sup>3</sup> (Реки и озера мира, 2012).

Большая часть рек бассейна Амударьи расположена в горах Памира и Памиро-Алая, что определяет их горный или полугорный характер в виде ущельеобразных или порожисто-водопадных русел. Равнинный облик имеют русла рек самой Амударьи и низовий Пянджа, Вахша, Кафирнигана и Сурхандарьи.

В тектоническом отношении на территории, занятой амударьинской дельтовой равниной и вдоль ее границ, расположены несколько морфоструктур, выраженных в рельефе платообразными возвышенностями, пластовыми равнинами с эоловым рельефом, грядовыми останцами и бессточными впадинами. Так, на западной границе амударьинской дельтовой устьевой системы находится неогеновое *плато Устюрт* с высотами от 160–200 м на юго-востоке до 200–370 м в центральной части, приуроченное к крупному прогибу, окруженному приподнятыми структурами кристаллического фундамента. Наиболее характерны для рельефа Устюрта пластовые миоценоплиоценовые равнины, бессточные впадины и чинки. Последние представляют собой почти вертикальные малодоступные уступы высотой от нескольких десятков до 200–300 м (Сваричевская, 1965).

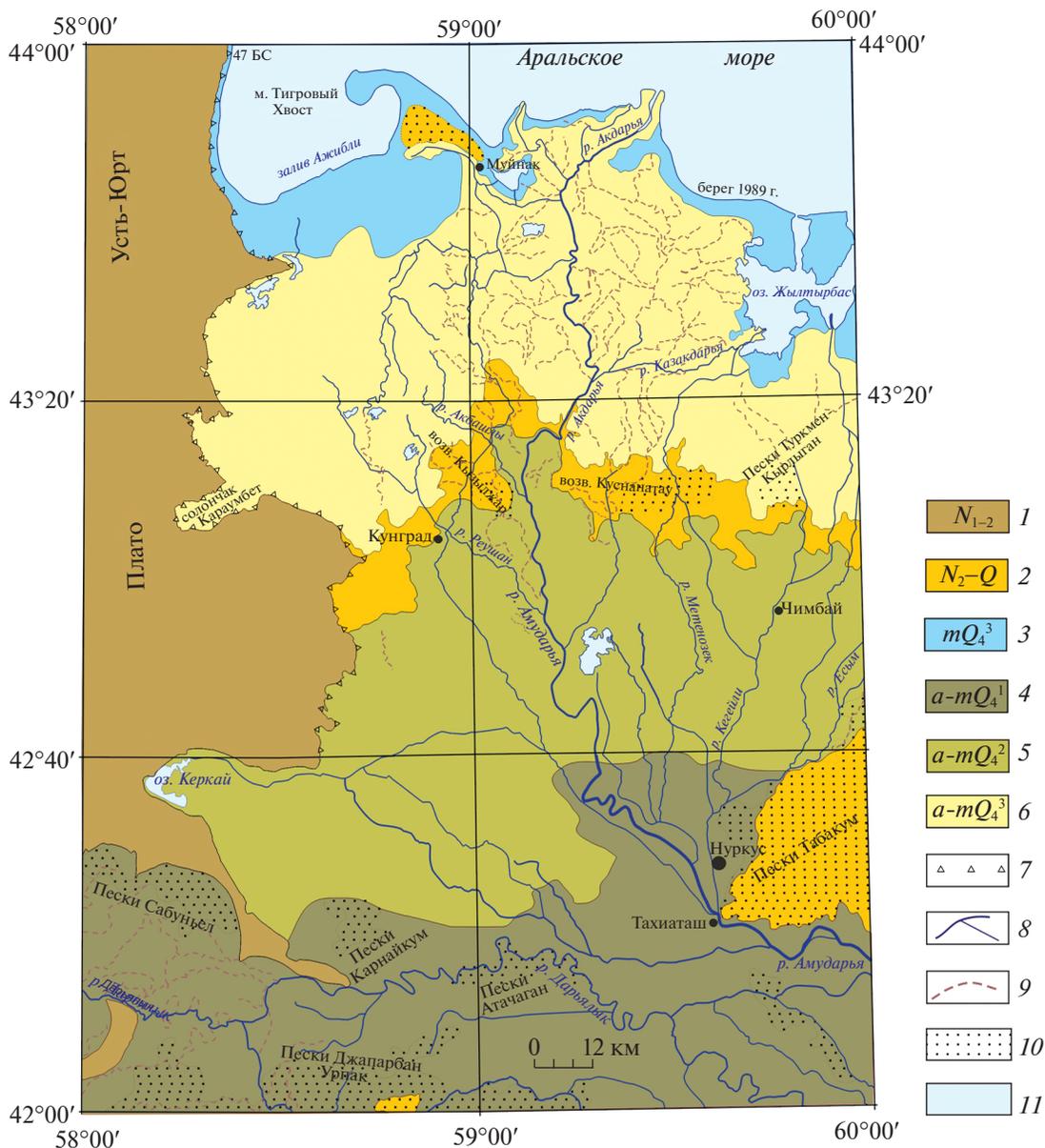
Формирование *Аральской котловины*, впоследствии занятой Аральским морем, связывается с преакчагыльским временем, когда в результате тектонических движений образовался прогиб земной коры. Заполнение котловины, очевидно, началось в апшеронское время слабосолеными водами Каспийского моря и за счет стока тургайских рек. Окончательное наполнение озерного водоема произошло в позднеплейстоценовое время в связи с поворотом Амударьи на север и перестройкой низовьев Сырдарьи (Лымарев, 1967). Происхождение *Хорезмской* и *Сарыкамышской впадин* обусловлено прогибанием шарнира Южноустюртской синклиналильной зоны и с формированием Южнохорезмской синклинали, которые произошли до поворота Амударьи на север.

*Останцовые возвышенности* Бельтау, Куснанау и Кызылжар представляют собой перемычку из неразмытых коренных неогеновых пород, отделяющих Аральскую впадину от Хорезмской. Кроме этих крупных возвышенностей, на дельтовой равнине сохранились небольшие поднятия и

холмы, а также п-ов Тигровый хвост, сложенные позднемиоценовыми железистыми и гипсовыми песчаниками, мелоподобными мергелями и зеленоватыми глинами. Пологие склоны останцовых возвышенностей покрыты грядами подвижных песков.

*Долина реки Амударьи* в равнинной части среднего и нижнего течения (ниже г. Керки) сформирована в условиях свободного развития русловых деформаций среди мелкопесчаных древнеаллювиальных отложений. Речная долина вплоть до дельты периодически сужается встречающимися среди пустыни низкогорными кряжами, сложенными гнейсами, мраморами и гранодиоритами. На участке между городом Чарджоу (ныне Туркменабад) и нас. пунктом Таш-Сака русло Амударьи глубоко врезано в неогеновые отложения Заунгузского и Кизилкумского плато, местами вскрывая палеогеновые и меловые осадки. Долина имеет высокие (40–50 м) крутые обрывистые склоны. Ниже последней теснины, где Амударья прорезает Питнякскую возвышенность в районе селения Туз-Ачак, ширина долины Амударьи резко увеличивается с 10–20 до 40–50 км у городов Ташауз (ныне Дашогуз) и Тахиаташ. Отсюда, очевидно, начинается древняя дельта Амударьи, которая вначале заполняла Сарыкамышскую впадину, а затем повернула на север и впадала в Аральское море (Рогов, 1957).

История формирования амударьинских дельт начинается с момента перехвата сквозной долины Амударьи расположенным еще более низко врезанным руслом небольшой реки бассейна Хорезмского озера. Одряхлевшая от запруживающих ее наносов, Амударья расширила и углубила регрессивный врез и проникла в Южное Приаралье. В настоящее время эта территория имеет очень сложное строение: здесь находятся три дельты Амударьи (Акчадарьинская, Присарыкамышская и Приаральская), а также в Ассакее-Ауданской впадине погребенная Хорезмская дельта, формы озерной аккумуляции в Сарыкамышской впадине и долина Узбоя, сбрасывающая избыточные воды в Каспийское море (Егоров, 1960; Лопатин, 1960; Сваричевская, 1965). Прорвавшаяся в Южное Приаралье Амударья сначала затопила полностью котловину Хорезмского озера, а затем по тектоническому прогибу в раннехвалынское время проникла в Аральскую котловину в виде системы дельтовых рукавов Акчадарьи, дав начало возникновению Аральского моря. В позднехвалынское время амударьинские воды уничтожили перемычку между Хорезмской и Сарыкамышской впадинами и стали поступать в пределы Верхнеузбойского коридора и далее в Каспийское море. Одновременно шло накопление мощной Присарыкамышской дельты в восточной части Сарыкамышской впадины и отмирание гидрографической сети Акчада-



**Рис. 2.** Геоморфологическая карта дельтовой системы Амударьи.

1 – структурно-денудационное неогеновое плато (до 250 м абс.); 2 – останцы эрозионно-денудационных неоген-четвертичных равнин; 3 – морская голоценовая терраса; 4 – сарыкамьшская дельта (древняя); 5 – акдарьинская дельта (старая); 6 – современная дельта (молодая); 7 – обрывы плато; 8 – гидрографическая сеть; 9 – сухие русла; 10 – бугристые пески; 11 – водные объекты.

**Fig. 2.** Geomorphological map of the Amu Darya delta system.

1 – structural-denudation Neogene plateau (up to 250 m abs.); 2 – Farewell rock of erosion-denudation Neogene-Quaternary plains; 3 – marine Holocene terrace; 4 – Sarykamysh delta (ancient); 5 – Akdarya delta (old); 6 – recent delta (young); 7 – plateau cliffs; 8 – hydrographic network; 9 – dry channel rivers; 10 – hillock sands; 11 – water objects.

ры. Голоценовая история амударьинской дельтовой равнины связана, главным образом, с формированием Приаральской дельты и, частично, с обновлением гидрографической сети Сарыкамьшской впадины, куда периодически (особенно с XII по XVI вв.) продолжали поступать воды Амударьи, что отражалось в колебаниях уровня Сарыкамьшского озера (рис. 2).

### Бассейн озера Балхаш

**Дельта Или.** Река Или образуется от слияния рек Текес и Кюнес, берущих начало на склонах хребта Терскей-Ала-Тоо и отрогах хребта Нарат в Тянь-Шане. Длина Или – 1001 км, площадь бассейна – 140 тыс. км<sup>2</sup>. В верхнем течении Или имеет вид горной реки с галечно-валунным руслом и

протекает по узким ущельям и широким котловинам. В среднем течении, ниже Капчигайского водохранилища, Или следует по пустынной Прибалхашской равнине, а в нижнем — в песках Сарысик-Атырау и Таухум в виде песчано-илистых русел, пересекая древние русла реки Жантас. Средний годовой расход воды в устьевом створе — 329 км<sup>3</sup>/с (сток около 10 км<sup>3</sup>/год). Сток наносов Или составляет около 3.3 млн т/год (мутность около 300 г/м<sup>3</sup>) (Реки и озера мира..., 2012). При впадении в западную, наиболее глубоководную часть озера Балхаш, Или сформировала обширную дельту площадью около 12 тыс. км<sup>2</sup>, с рукавами Жидели и Топар.

Впадина, где находится оз. Балхаш, представляет собой обширные предгорные и дельтовые, аллювиально-пролювиальные равнины и озерные террасы. История самого озера, по свидетельству многих исследователей (Сапожников, 1951; Севастьянов и др., 1991; Крылов и др., 2014), начинается с раннего голоцена, когда во время влажного климатического периода сформировался единый древнебалхашский водоем в пределах акваторий озер Балхаш, Сасыкколь, Алаколь и Джаланашколь. Последовавшие затем иссушение и аридизация климата привели к сокращению речного стока и развитию древнебалхашской регрессии, способствовавшей разобщению Балхаша на изолированные водоемы, осолонению вод и осушению значительной территории, где получили широкое развитие процессы золовой переработки песчаных древнебалхашских отложений и образования дюн (8.3–5.6 тыс. л. н.).

В атлантическое время (около 5 тыс. л. н.) благодаря климатическим изменениям увлажненности и тектоническим подвижкам произошла коренная перестройка гидрографической сети в южной части Балхашской низменности. Вследствие увеличения водности река Или пропилила Капчгайское ущелье, спустила Илийское озеро и стала своими водами заполнять наиболее пониженные участки Балхашской котловины. В свою очередь река Лепсы в результате подвижек по Лепсинскому сбросу вернулась в свое древнее русло и стала впадать в оз. Балхаш, способствуя быстрому повышению уровня и увеличению размеров озера больше современных.

Последовавшее в начале суббореала (около 4 тыс. л. н.) истощение горных ледников, аридизация климата и уменьшение водности рек привели к развитию балхашской регрессии, которая в период 2.6–3.5 тыс. л. н. сменилась новобалхашской трансгрессией, уровень которой на 2–3 м превышал современный. Современный период (менее 1000 лет) в истории Балхаша характеризуется многократными колебаниями уровня в пределах 2–3 м, сопровождавшихся периодическими изменениями объема и площади озера.

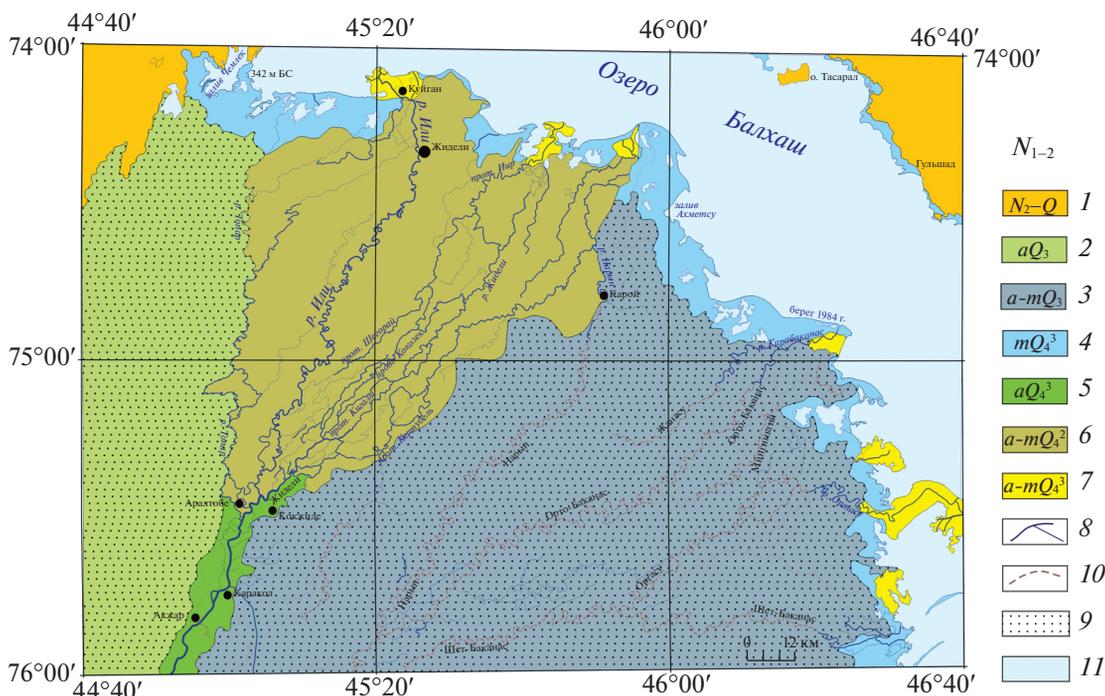
Таким образом, в течение голоцена оз. Балхаш и Балхашская котловина прошли сложный путь развития, во время которого происходили значительные изменения увлажненности климата и водоносности рек, подъемы-снижения уровня и колебания солёности озерных вод. Приозерная равнина, особенно ее южная часть, приобрела вид аллювиально-дельтовой равнины, осложненной многочисленными врезанными сухими руслами бывших дельтовых рукавов (баканасов) и на большей части преобразованной эоловыми процессами в грядово-бугристые пески (рис. 3). Древняя дельта Или располагалась в районе селения Баканас, в 300 км от современного устья и занимала до половины территории пустынь Сарысеик-Атырау и Бестас. Ее дельтовые рукава Шет-Баканас, Орто-Баканас, Нарын и Жанасу впадали в северную, наиболее глубокую часть Балхаша. Современная дельта Или начинается в районе сел. Аралтобе и впадает несколькими рукавами (Жидели, Кигалы и др.) в западную часть озера.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследование рельефа и отложений дельт крупных рек, впадающих во внутриконтинентальные моря и озера Арало-Каспийской аридной зоны, показывает, что реки прошли длительный эволюционный путь, многократно накапливая и перерабатывая аллювиальные отложения в зависимости от положения уровня приемного водоема. Следуя за колебаниями уровня, реки перемещали свои дельты, плейстоценовые реликты которых находят в интервале абсолютных отметок от +50 до –20 м на берегах Каспия, от +50 до 110 м Арала и от +370 до 400 м озера Балхаш.

2. Особенности природных факторов Арало-Каспийской аридной зоны, влияющих на процессы дельтообразования являются: засушливость климата, формирование речного стока в верховьях рек и отсутствие приточности в нижнем течении, повышенная мутность речных вод и огромный сток взвешенных наносов, а также значительное влияние хозяйственной деятельности человека, связанной с интенсивным орошением сельскохозяйственных угодий. Наиболее распространенный морфогенетический тип устьевой геоморфолого-осадочной системы на побережьях внутриконтинентальных водоемов аридной зоны — огромные аллювиальные конусы выноса в виде дельт выдвигания и “сухих внутренних дельт” (аллювиальных конусов рек, теряющих свой сток в азиатских пустынях).

3. Плохая сохранность древних дельт аридной зоны — следствие интенсивного хозяйственного освоения и высокой динамичности морского края и гидрографической сети современных речных дельт в условиях огромного стока взвешен-



**Рис. 3.** Геоморфологическая карта дельтовой системы Или.

1 – структурно-денудационная неоген-четвертичная равнина (до 200 м абс.); 2 – позднеплейстоценовая аллювиальная равнина, переработанная эоловыми процессами; 3 – древняя дельта, переработанная эоловыми процессами; 4 – морская голоценовая терраса; 5 – пойменно-русловой комплекс речных долин; 6 – старая дельта; 7 – молодая дельта; 8 – гидрографическая сеть; 9 – сухие русла; 10 – бугристые пески; 11 – водные объекты.

**Fig. 3.** Geomorphological map of the Ili delta system.

1 – structural-denudation Neogene-Quaternary plain (up to 200 m abs.); 2 – Late Pleistocene alluvial plain, processed by Aeolian processes; 3 – ancient delta, processed by Aeolian processes; 4 – marine Holocene terrace; 5 – floodplain-channel complex of river valleys; 6 – old delta; 7 – young delta; 8 – hydrographic network; 9 – dry channel rivers; 10 – hillock sands; 11 – water objects.

ных наносов и значительной изменчивости уровня приемного водоема.

4. Дельтовым рукавам и нижним течениям рек аридной зоны присуща большая интенсивность русловых деформаций, что определяется слабой устойчивостью к размыву мелкопесчаных долинных аллювиально-пролювиальных отложений, большими скоростями течения и высокой насыщенностью потока наносами. Перенасыщенность речного потока наносами приводит к обмелению русла в половодье и постепенному его повышению над окружающей местностью. Повышение отметок дна и большие скорости устьевого удлинения провоцируют частые прорывы береговых валов, изменение направления течения дельтовых рукавов, создание новых узлов разветвления и формирование *региональных приращенных дельт прорывного типа* (дельтовых лопастей) на периферии старой дельты (субдельт по американской терминологии). Внутри дельтовых систем после прорывов прирусловых валов (или ограждающих дамб) могут формироваться также *частично наложенные* или *наложенно-приращенные дельты*.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по плану темы государственного задания НИЛ эрозии почв и русловых процессов МГУ им. М.В. Ломоносова “Гидрология, морфодинамика и геоэкология эрозионно-русловых систем”.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеевский Н.И., Михайлов В.Н., Сидорчук А.Ю. (1987). Процессы дельтообразования в устьевой области Терека // Водные ресурсы. № 5. С. 123–128.

Байдин С.С., Скриптунов Н.А., Штейман Б.С., Ган Г.Н. (1971). Гидрология устьевых областей Терека и Сулака. М.: Гидрометеиздат. 198 с.

Беляев И.П. (1963). Гидрология дельты Терека. М.: Гидрометеиздат. 208 с.

Гидрология устьев рек Терека и Сулака. (1993) / Под ред. В.Н. Михайлова, А.Н. Косарева. М.: Наука. 160 с.

Егоров В.В. (1960). Формирование дельты Амударьи и возможные изменения ее гидрографической сети // Изучение устьев рек (Тр. Океанограф. комиссии. Т. VI). М.: АН СССР. С. 20–24.

- Каплин П.А. (1973). Новейшая история побережий Мирового океана. М.: Изд-во МГУ. 265 с.
- Каплин П.А., Селиванов А.О. (1999). Изменения уровня морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее, будущее. М.: ГЕОС. 299 с.
- Коротаев В.Н. (2012). Очерки по геоморфологии устьевых и береговых систем. М.: Изд-во МГУ. 540 с.
- Крылов П.С., Нургалеев К., Ясонов П.Г. (2014). Об истории развития озера Балхаш (Казахстан) по сейсмоакустическим данным // Уч. записки Казанского ун-та. Естественные науки. Т. 156. Кн. 1. С. 128–134.
- Леонтьев О.К. (1961). Древние береговые линии четвертичных трансгрессий Каспийского моря // Тр. Ин-та геологии АН Эст. ССР. Вып. VIII. С. 45–62.
- Леонтьев О.К., Чекалина Т.И. (1979). Новокаспийская трансгрессия и перестройка морского края Терской дельты // Комплексные исследования Каспийского моря. М.: Изд-во Моск. ун-та. Вып. 6. С. 3–11.
- Лопатин Г.В. (1960). Особенности формирования дельтовой области Аму-Дарьи // Изучение устьев рек (Тр. Океанограф. комиссии. Т. VI). М.: АН СССР. С. 9–19.
- Лохин М.Ю., Маев Е.Г. (1990). Позднеплейстоценовые дельты на шельфе северной части Среднего Каспия // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. № 3. С. 34–40.
- Лымарев В.И. (1967). Берега Аральского моря – внутреннего водоема аридной зоны. Л.: Наука. 252 с.
- Реки и озера мира (Энциклопедия). (2012) / Гл. ред. В.И. Данилов-Данильян. М.: Энциклопедия. 928 с.
- Рогов М.М. (1957). Гидрология дельты Амударьи. Л.: Гидрометеониздат. 255 с.6.
- Рычагов Г.И. (1960). Возраст дельты Терека // Тр. Океанограф. комиссии АН СССР. Т. VI (Исследования устьев рек). М.: АН СССР. 1960. С. 86–88.
- Рычагов Г.И. (1977). Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во Моск. ун-та. 267 с.
- Сапожников Д.Г. (1951). Современные осадки и геология озера Балхаш. М.: Изд-во АН СССР. 207 с.
- Сваричевская З.А. (1965). Геоморфология Казахстана и Средней Азии. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та. 296 с.
- Севастьянов Д.В., Мамедов Э.Д., Румянцев В.А. (1991). История озер Севан, Иссык-Куль, Балхаш, Зайсан и Арал. Л.: Наука. 304 с.

## FORMATION OF RIVER DELTAS OF INTRA-CONTINENTAL RESERVOIR OF THE ARAL-CASPIAN ARID ZONE (ON THE EXAMPLE OF THE TEREK, AMUDARYA AND ILI RIVERS)<sup>1</sup>

V. N. Korotaev<sup>a,#</sup>

<sup>a</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

<sup>#</sup>E-mail: vlaskor@mail.ru

The study of the geomorphological and sedimentary systems forming at mouth of large rivers flowing into the inland seas and lakes of the arid zone shows that they have passed a long evolutionary path of development, repeatedly accumulating and reworking alluvial deposits depending on the position of the receiving reservoir level. Following the level fluctuations, the rivers moved their deltas, Pleistocene relics of which are found in the range of absolute marks from +50 to –20 m on the shores of the Caspian Sea, from +50 to 110 m of the Aral Sea and from +370 to 400 m of Lake Balkhash.

The Aral-Caspian arid zone is distinguished by following natural factors affecting the processes of delta formation: aridity of the climate, formation of river flow in the upper reaches and lack of inflow in the lower reaches, increased water turbidity and a huge runoff of suspended sediments, as well as significant influence of human economic activity associated with intensive irrigation. The most common morphogenetic type of river deltas on the coasts of intracontinental reservoirs of the arid zone are huge alluvial outflow cones in the form of extension deltas and “dry internal deltas” in the form of alluvial outflow cones.

The delta arms and the lower reaches of the rivers of the arid zone are characterized by a high intensity of channel deformations due to weak resistance to erosion of fine-grained valley alluvial-proluvial deposits, high flow velocities and high saturation of the flow with suspended sediments. The oversaturation of the river flow with sediments usually leads to shallowing of the riverbed in high water and its gradual increase over the surrounding terrain. An increase in the bottom elevation and fast delta progradation provoke frequent breakthroughs of the riverbed shafts, a change in the direction of the flow of delta arms, the creation of new branching nodes and the formation of regional jointed deltas of the breakthrough type (delta blades) on the periphery of the old delta (subdelta according to American terminology). Partially superimposed or superimposed deltas can also form inside delta systems after the breakthroughs of channel shafts (or enclosing dams).

The poor preservation of ancient deltas is noted due to intensive economic development and high dynamics

<sup>1</sup> For citation: Korotaev V.N. (2023). Formation of river deltas of intra-continental reservoir of the Aral-Caspian arid zone (on the example of the Terek, Amudarya and Ili Rivers). *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 54. No. 3. P. 3–13 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2949178923030040>; <https://elibrary.ru/WCWFQU>

of the coast and the hydrographic network of river deltas in conditions of huge runoff of suspended sediments and significant variability of the level of the receiving reservoir.

*Keywords:* river mouth system geomorphology, deltas, alluvial outflow cone, water level fluctuations of the receiving reservoir, change in aridity, delta development in the arid region

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This work was carried out according to the plan of the state assignment of the Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes of the Lomonosov Moscow State University “Hydrology, morphodynamics and geoecology of erosion-channel systems”.

#### REFERENCES

- Alekseevskij N.I., Mikhajlov V.N., Sidorchuk A.Yu. (1987). Protsessy del'toobrazovaniya v ust'evoi oblasti Tereka (Delta formation processes in the mouth area of the Terek). *Vodnye resursy*. No. 5. P. 123–128. (in Russ.)
- Bajdin S.S., Skriptunov N.A., Shtejman B.S., Gan G.N. (1971). *Gidrologiya ust'evykh oblastei Tereka i Sulaka* (Hydrology of the Terek and Sulak mouth areas). M.: Gidrometeoizdat (Publ.). 198 p. (in Russ.)
- Belyaev I.P. (1963). *Gidrologiya del'ty Tereka* (Hydrology of the Terek Delta). M.: Gidrometeoizdat (Publ.). 208 p. (in Russ.)
- Egorov V.V. (1960). Formirovanie del'ty Amudar'i i vozmozhnye izmeneniya ee gidrograficheskoi seti (Formation of the Amu Darya delta and possible changes in its hydrographic network). *Trudy Okeanograf. komissii*. T. VI (Izuchenie ust'ev rek). M.: Acad. Sc. USSR (Publ.). P. 86–88. (in Russ.)
- Gidrologiya ust'ev rek Tereka i Sulaka* (Hydrology of the Terek and Sulak River Mouths). (1993). M.: Nauka (Publ.). 160 p. (in Russ.)
- Kaplin P.A. (1973). *Noveishaya istoriya poberezhii Mirovogo okeana* (Recent history of the coasts of the World Ocean). M.: Moscow State University Publishing House. 265 p. (in Russ.)
- Kaplin P.A., Selivanov A.O. (1999). *Izmeneniya urovnya morei Rossii i razvitie beregov: proshloe, nastoyashchee, budushchee* (Changes in the sea level of Russia and coastal development: past, present, future). M.: GEOS (Publ.). 299 p. (in Russ.)
- Korotaev V.N. (2012). *Ocherki po geomorfologii ust'evykh i beregovykh sistem* (Essays on the geomorphology of mouth and coastal systems). M.: Moscow State University Publishing House. 540 p. (in Russ.)
- Krylov P.S., Nurgaliev K., Asonov P.G. (2014). Ob istorii razvitiya ozera Balhash (Kazakhstan) po seismoakusticheskim dannym (On the history of the development of Lake Balkhash (Kazakhstan) according to seismoacoustic data). *Uchenye zapiski KazSU. Estestvennyye nauki*. T. 156. Kn. 1. P. 128–134. (in Russ.)
- Leont'ev O.K. (1961). Drevnie beregovye linii chetvertichnykh transgressii Kaspiiskogo morya (Ancient coastlines of Quaternary transgressions of the Caspian Sea). *Trudy Institute of Geology Acad. Sc. Est. SSR*. No. VIII. P. 45–62. (in Russ.)
- Leont'ev O.K., Chekalina T.I. (1979). Novokaspiiskaya transgressiya i perestroika morskogo kraja Terskoi del'ty (Novokaspiian transgression and restructuring of the sea area of the Terek Delta). *Kompleksnyye issledovaniya Kaspiiskogo morya*. M.: Moscow State University Publishing House. Vol. 6. P. 3–11. (in Russ.)
- Lokhin M.Yu., Maev E.G. (1990). Pozdnepleistocenovye del'ty na shel'fe severnoi chasti Srednego Kaspiya (Late Pleistocene deltas on the shelf of the northern part of the Middle Caspian). *Vestn. Mosk. Univ. Ser. 5. Geografiya*. No. 3. P. 34–40. (in Russ.)
- Lopatin D.V. (1960). Osobennosti formirovaniya del'tovoi oblasti Amu-Dar'i (Features of the formation of the delta area of the Amu-Darya). *Trudy Okeanograf. komissii. T. VI (Izuchenie ust'ev rek)*. M.: Acad. Sc. USSR (Publ.). P. 9–19. (in Russ.)
- Lymarev V.I. (1967). *Berega Aral'skogo morya – vnutrennego vodoema aridnoi zony* (The shores of the Aral Sea are an internal reservoir of the arid zone). L.: Nauka (Publ.). 252 p. (in Russ.)
- Reki i ozera mira* (Enciklopediya). (2012). M.: Enciklopediya (Publ.). 928 p. (in Russ.)
- Rogov M.M. (1957). *Gidrologiya del'ty Amudar'i* (Hydrology of the Amu-Darya Delta). L.: Gidrometeoizdat (Publ.). 255 p. (in Russ.)
- Rychagov G.I. (1960). Vozrast del'ty Tereka (Age of the Terek Delta). *Trudy Oceanographer. Commission of the USSR Academy of Sciences*. T. VI (Study of river mouths). M.: Acad. Sc. USSR (Publ.). P. 86–88. (in Russ.)
- Rychagov G.I. (1977). *Pleistotsenovaya istoriya Kaspiiskogo morya* (Pleistocene history of the Caspian Sea). Moscow: Publishing House MSU. 267 p. (in Russ.)
- Sapozhnikov D.G. (1951). *Sovremennyye osadki i geologiya ozera Balhash* (Modern sediments and geology of Lake Balkhash). M.: Acad. Sc. USSR (Publ.). 207 p. (in Russ.)
- Sevast'yanov D.V., Mamedov E.D., Rumyancev V.A. (1991). *Istoriya ozer Sevan, Issyk-Kul', Balhash, Zaisan i Aral* (History of lakes Sevan, Issyk-Kul', Balkhash, Zaysan and Aral). L.: Nauka (Publ.). 304 p. (in Russ.)
- Svarichevskaya Z.A. (1965). *Geomorfologiya Kazakhstana i Srednei Azii* (Geomorphology of Kazakhstan and Central Asia). L.: LSU (Publ.). 296 p. (in Russ.)