

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 556.54:551.468.6

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СКАЧКООБРАЗНОГО РАЗВИТИЯ ДЕЛЬТ¹

© 2021 г. М. В. Михайлова*

Институт водных проблем РАН, Москва, 119333 Россия

**e-mail: mv.mikhailova@gmail.com*

Поступила в редакцию 29.03.2021 г.

После доработки 29.03.2021 г.

Принята к публикации 24.05.2021 г.

Рассмотрены закономерности редкого типа дельтоформирования – скачкообразного, с прорывами и полной перестройкой гидрографической сети дельты. Выявлены физические предпосылки подобного типа развития дельт, предложена новая схема развития процесса, новое подразделение его на этапы. Приведены примеры.

Ключевые слова: река, дельта, скачкообразный тип дельтоформирования, сток наносов.

DOI: 10.31857/S0321059621060122

Речные дельты – часть устьевых областей рек, одни из самых изменчивых и экологически уязвимых географических объектов на Земле. Дельты представляют собой низменность, прорезанную густой сетью водотоков и водоемов. Они обладают большими водными, земельными, биологическими и другими природными ресурсами, широко используются отраслями хозяйства и требуют пристального наблюдения и изучения.

В гидрологии устьев рек [9] выделены два типа дельтоформирования. Первый – медленный, эволюционный. В этом случае дельта либо целиком, либо в устьях крупных рукавов постепенно выдвигается в море. При этом происходит перераспределение стока воды и наносов между рукавами. Поэтому дельтовые выступы у каждого рукава выдвигаются с разной интенсивностью. Второй тип дельтоформирования – скачкообразный – более редкий. Дельта изменяется очень быстро. Процесс дельтоформирования сопровождается прорывами прирусловых валов или защитных дамб, сильными (иногда катастрофическими) наводнениями и полной перестройкой гидрографической сети дельты. При этом формируется новая дельтовая лопасть, а старая отмирает.

Впервые такой процесс был описан для дельты Миссисипи в [20]. Позже дополнительный анализ ее изменения был проведен в [8, 18]. Скачкообразное развитие дельты Хуанхэ было рассмотрено китайскими специалистами (обзор литературы в [11], позже – в [7, 17]). В СССР впервые

скачкообразный тип дельтообразования описан М.М. Роговым в дельте Амударьи [13], аналогичный процесс в дельте Или – в работах [6, 15, 16]. Процессы скачкообразного развития дельты Терека подробно рассмотрены в [1, 3, 14], Сулака – [3, 4, 14].

У большинства перечисленных дельт скачкообразные процессы формирования с прорывами закончились. Причины этого, во-первых, – в уменьшении стока наносов рек после сооружения водохранилищ, во-вторых, – в крупномасштабных защитных мероприятиях в самих дельтах (капитальное обвалование и сооружение специальных каналов для сброса в море части стока воды в большое половодье). В настоящее время скачкообразные процессы с прорывами возможны (хотя это маловероятно) лишь в дельтах Терек и Хуанхэ.

Тем не менее исследование закономерностей таких процессов в дельтах не потеряло актуальности и представляет интерес с палеогеографической точки зрения, а также в практических целях – для поиска и освоения в районах отмерших дельтовых лопастей залежей пресных подземных вод, нефти и газа.

Задача статьи состоит в установлении физических причин скачкообразного развития дельт, более детальном изучении закономерностей этого процесса и разработке обновленного принципа подразделения его на этапы.

ТИПИЗАЦИЯ РЕЧНЫХ ДЕЛЬТ

Начиная с Г. Креднера [19] дельты принято делить на две большие группы – дельты выполне-

¹ Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема 0147-2019-0001, государственная регистрация АААА-А18-118022090056-0).

ния (заполнения) полузамкнутых водоемов на побережье, большая часть которых возникла в результате голоценовой трансгрессии Мирового океана и связанных с ним морей, и дельты выдвигения в открытой прибрежной зоне океанов, морей и крупных озер.

К полузамкнутым водоемам и сформировавшимся в них дельтам относятся: 1) затопленные долины рек, называемые на юге лиманами, а на севере – губами (Днепровский лиман и дельта Днепра, Обская губа и дельта Оби, Тазовская губа и дельты Пура и Таза, Енисейская губа и дельта Енисея); 2) отгороженные барами от моря лагуны, их также часто называют губами (например, Печорская губа и дельта Печоры); 3) воронкообразные приливные эстуарии (например, эстуарий Эльбы и дельта его выполнения); 4) морские заливы, частично заблокированные косами и барами с морской стороны (например, Таганрогский залив и дельта Дона, зал. Агчафалайя в устьевой области Миссисипи с двумя небольшими дельтами, выдвигающимися в залив).

Дельты выполнения ограничены в своем развитии берегами лимана, лагуны, эстуария или морского залива. Поэтому число рукавов в них невелико.

Дельты выдвигения не имеют таких ограничений и поэтому развиваются более свободно, хотя и отклоняясь под воздействием волнения, вдольбереговых течений и потока морских наносов. По мере продвижения таких дельт в приемный водоем (океан, море, крупное озеро) число рукавов возрастает, а затем, по мере их слияния и блокировки малых рукавов морскими наносами, уменьшается. Характерным примером может служить частная дельта в устье крупного рукава в дельте Дуная – Килийского. Эта дельта стала формироваться приблизительно в 1740 г., когда Килийский рук. вышел в Черное море. В своем развитии Килийская дельта прошла четыре последовательные фазы: однурукавную (1740–1800 гг.); малорукавную, когда количество устьев рукавов ≤ 20 (1800–1856 гг.); многорукавную, когда число устьев рукавов достигало 40–60 (1856–1956 гг.); вновь малорукавную, когда число устьев рукавов вновь уменьшилось с 19 в 1957 г. до 15 в 1980 г. и до 12 в 2020 г.

Дельты выдвигения можно разделить на два типа. Первый тип – развивающиеся эволюционно, медленно, путем одновременного выдвигения разных русловых систем дельты в приемный водоем. Этот процесс сопровождается перераспределением стока воды и наносов по рукавам и хорошо изучен [9, 10]. Как перераспределение стока между рукавами, так и ускорение или замедление выдвигения в приемный водоем той или иной русловой системы дельты часто стимулируются крупными инженерными работами, в

частности – улучшением судоходных условий (углубления рукавов и их устьевых баров, спрямления русел). Так происходило в дельтах Волги, Дона, Яны, Дуная, Нигера, Нила и др.

Прорывы с образованием новых рукавов в таких дельтах крайне редки, локальны и происходят в результате смещения излучин, размыва защитных дамб, сильных штормов или нагонов. Так, во время сильного шторма в середине 1890-х гг. произошел прорыв косы рук. Очаковского в дельте Дуная и образовался новый рук. Прорва [2].

Ко второму типу относятся своеобразные дельты – со скачкообразным развитием, периодическими прорывами и полной перестройкой гидрографической сети. Рассматриваемый в статье тип дельтоформирования можно подразделить на два подтипа: I – новая дельта формируется в депрессиях старой дельты; II – происходит прорыв через прирусловой вал, дамбу или устьевую косу непосредственно в приемный водоем, и дельты формируются на открытом побережье.

Помимо уточненной типизации дельт по характеру формирования автор считает необходимым перечислить и другие типизации – либо общепринятые, либо наиболее распространенные.

Так, по общегеографическим признакам (т.е. по местоположению) дельты делят на океанические, морские, озерные, лиманные, лагунные, в приливных эстуариях, в морских заливах; по характеру водного баланса – на дельты с положительным водным балансом (среднегодовое водное стока вдоль дельты увеличивается) и отрицательным водным балансом (водный сток вдоль дельты уменьшается). По величине прилива ΔH_i дельты, как и моря, делят на неприливно-микроприливно-мезоприливно-макроприливно-гиперприливно-мало-рукавные ($\Delta H_i < 0.3$ м), микроприливно-мезоприливно-макроприливно-гиперприливно-мало-рукавные ($0.3 \text{ м} \leq \Delta H_i \leq 2.0$ м), мезоприливно-макроприливно-гиперприливно-мало-рукавные ($2 \text{ м} \leq \Delta H_i \leq 4$ м), макроприливно-гиперприливно-мало-рукавные ($4 \text{ м} \leq \Delta H_i \leq 6$ м) и гиперприливно-мало-рукавные ($\Delta H_i > 6$ м). По числу рукавов дельты делят на малорукавные (≤ 6) и многорукавные (≥ 7). По экологическим и социально-экономическим признакам дельты делят на находящиеся в естественном состоянии (таких дельт очень мало) и освоенные, в частности – сильно урбанизированные с крупными городами (в том числе столицами государств и портами); мало и густо населенные; по преобладающему типу хозяйственного использования.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ СКАЧКООБРАЗНОГО ДЕЛЬТОФОРМИРОВАНИЯ

В работах [9, 10], в том числе при участии автора статьи, при описании скачкообразного с прорывами развития дельт отмечается, что главная причина развития дельт такого типа – большой сток наносов реки. При этом указывается, что “критическая” величина концентрации взвешен-

ных наносов в реке составляет 0.8–1.0 кг/м³, с превышением которой в дельте начинаются прорывы. В действительности сток наносов реки – лишь косвенная причина прорывов в дельте и перестройки ее гидрографической сети. Главная причина – превышение отметок уровня воды в период половодья в рукаве над отметками поверхности прилегающих районов дельты (подтип I) или над отметками уровня приемного водоема (подтип II).

Чтобы речной поток мог перемещать наносы большой концентрации, необходима повышенная скорость течения. В соответствии с формулой К.И. Россинского и И.А. Кузьмина, полученной по данным измерений и опубликованной в 1962 г. [9], концентрация наносов в речном потоке, соответствующая его транспортирующей способности, пропорциональна средней скорости течения в третьей степени.

Чтобы поддерживать большую скорость потока, в нем согласно формуле Шези $V = C\sqrt{hI}$ должны быть повышенные уклоны водной поверхности. Если дельтовый рукав с большим стоком наносов активно выдвигается в море (этот процесс называется устьевым удлинением), большие уклоны в рукаве могут быть лишь в случаях отложения наносов на дне рукава, повышения отметок дна и уровней воды в русле. В результате могут возникнуть большие перепады уровня (особенно в половодье) между рукавом и окружающей поверхностью дельтовой равнины. Русло дельтового рукава оказывается выше окружающей местности, что создает предпосылку для перелива вод через прирусловые валы или защитные дамбы, образования проранов и последующего прорыва рукава в новом направлении. Перепад отметок может быть определен прежде всего эмпирическим путем по данным наблюдений в период половодья. Если рукав быстро выдвигается в приемный водоем, то такой перепад можно определить, зная либо фактический, либо рассчитанный уклон водной поверхности в рукаве и расстояние потенциального места прорыва от приемного водоема. Для расчета уклона можно применить теоретическую формулу для так называемого уклона в динамически устойчивом русле: $I_0 = 8.26 \times 10^{-5} Q^{-0.11} s^{0.17}$ (Q – руслоформирующий расход, близкий к среднегоголетнему расходу воды на пике половодья, s – концентрация взвешенных наносов в половодье) [9].

Большая величина такого перепада отметок уровня представляет основную угрозу прорыва и последующих изменений в дельте. В дельте Хуанхэ перепад между уровнем воды в дельтовом рукаве и окружающей местностью может достигать 10 м. Китайские специалисты называли Хуанхэ на ее дельтовом и придельтовом участке “подвешенной рекой” [7].

Часто на скачкообразное развитие дельт с прорывами влияет устьевое удлинение. Интенсивность такого выдвигания тем больше, чем больше сток руслоформирующих наносов, меньше глубина устьевого взморья и слабее разрушающее воздействие морского волнения в прибрежной зоне. В этом случае уменьшение фактического уклона I в результате увеличения длины русла станет причиной потери его устойчивости. Возникает неравенство $I < I_0$, что повлечет за собой уменьшение скоростей течения, крупномасштабную аккумуляцию наносов и повышение отметок дна и водной поверхности. Рост уровня в рукаве и создает угрозу прорыва прирусловых валов или защитных дамб и сильного наводнения в дельте в период половодья. Русло вновь может приобрести динамически устойчивое состояние лишь в случае выполнения условия $I = I_0$.

ЦИКЛЫ СКАЧКООБРАЗНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ДЕЛЬТ

Процесс скачкообразного формирования дельт довольно сложный и состоит из повторяющихся циклов. Каждый цикл включает в себя формирование дельты подтипа I и подтипа II. В литературе по гидрологии устьев рек [8, 9] дельту подтипа I принято называть наложенной, т.е. образующейся на поверхности старой дельты, дельту подтипа II – причлененной, развивающейся на открытом побережье.

Рассмотрим более подробно полный естественный, т.е. без участия человека, цикл формирования наложенно-причлененной дельты.

Возникновение и развитие наложенной дельты (подтипа I дельт со скачкообразным типом развития) – наиболее сложная часть цикла скачкообразного формирования дельт. Она включает следующие этапы (рис. 1).

1. Прорыв вод во время половодья через прирусловой вал или защитную дамбу с одного из берегов крупного рукава старой дельты с образованием прорана, которому предшествует перелив вод через прирусловой вал или гребень дамбы. После крупного прорыва начинается отмирание участка рукава ниже по течению прорана. Чем больше перепад отметок уровня в рукаве и окружающей его местности, тем больше скорости течения в проране и тем интенсивнее его размыв. При размываемых грунтах проран может образоваться буквально за несколько часов.

2. Образование комплекса озер и болот на поверхности старой дельты. Депрессии постепенно заполняются речными наносами. Этот этап в зависимости от характера рельефа может продолжаться от нескольких суток до нескольких месяцев. Размер зоны затопления, в которой задерживается основная часть наносов реки, может быть

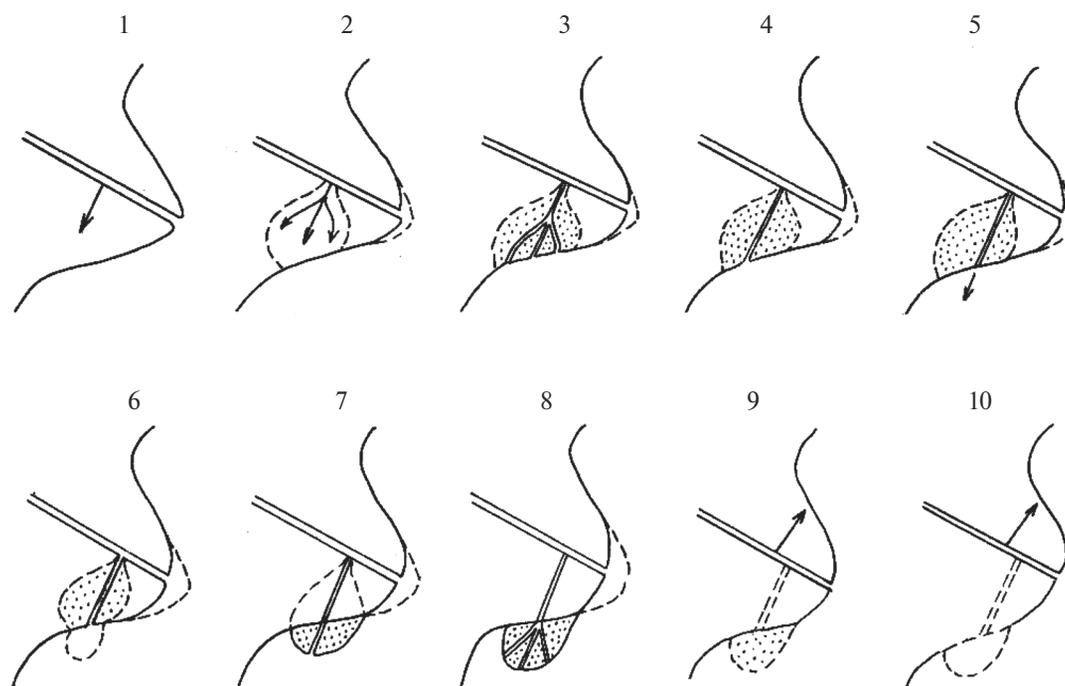


Рис. 1. Скачкообразный тип дельтоформирования и его этапы 1–10 (описание дано в тексте).

очень большим. На этом этапе также начинается отток осветленных (практически не содержащих наносов) вод через понижения в районе морского края дельты в приемный водоем, что приводит к опреснению прилегающей части устьевого взморья.

3. Постепенное формирование многорукавной дельты из отложившихся в зоне затопления наносов. Сток воды в приемный водоем из зоны затопления возрастает.

4. Отмирание небольших боковых рукавов, постепенное сосредоточение стока в наиболее крупных рукавах, формирование однорукавной или малорукавной дельты. На поверхности старой дельты образуется наложенная дельта.

Возникновение и формирование приречной дельты (подтип II дельты со скачкообразным типом развития) включает в себя указанные ниже этапы.

5. Речные наносы из наложенной дельты начинают поступать в прибрежную зону приемного водоема.

6. Образование из речных наносов первичной отмели в прибрежной зоне (устьевого бара).

7. Возникновение и выдвижение в приемный водоем однорукавной или малорукавной дельты выдвижения. При этом возможны прорывы береговых баров или устьевых кос с образованием небольших новых лопастей.

8. Формирование многорукавной дельты.

Важно отметить, что отдельные этапы могут совпадать во времени (например, 3 и 4, 5 и 6), а также отсутствовать (например, 8).

Вмешательство человека часто меняет развитие наложенной или приречной дельты. Во-первых, может быть перекрыт проран в дельтовом рукаве, хотя, как правило, это не удается быстро сделать. Во-вторых, возможен (как это было при небольших прорывах в дельте Терека) искусственный вывод вод из зоны затопления в приемный водоем. В-третьих, при спрямлении, углублении и перекрытии рукавов возможно перераспределение стока воды и наносов в формирующихся дельтах.

На этапах 7 или 8 заканчивается цикл формирования наложенно-приречной дельты. Однако изменения дельты на этом не завершаются. После нового прорыва вод из дельтового рукава (выше по течению от прорана) сформировавшаяся ранее наложенно-приречная дельта начинает отмирать. Эти процессы следует рассматривать как продолжение предыдущего цикла.

Отмирание ранее сформировавшейся наложенно-приречной дельты включает в себя два этапа.

9. Заиление и зарастание всей русловой системы наложенно-приречной дельты. Этот процесс может продолжаться годами и десятилетиями. На месте прежних русел долго сохраняются небольшие болота, а древесная растительность на

бывших прирусловых валах хорошо просматривается на космических снимках.

10. Размыв причлененной дельты. Из продуктов этого размыва формируются береговые бары и косы. Постепенно береговые бары и косы под влиянием вдольбереговых течений и волнения смещаются к берегу, отгораживая узкие лагуны, а затем примыкают к нему, образуя пляжи.

ПРИМЕРЫ СКАЧКООБРАЗНОГО РАЗВИТИЯ ДЕЛЬТ

Рассмотрим кратко наиболее типичные примеры скачкообразного развития дельт; подробная их история изложена в цитируемых литературных источниках.

Дельта Терека

Реконструкция истории скачкообразного формирования дельты Терека за последние 500–600 лет описана в [14]. За это время в дельте произошло множество малых и средних прорывов и наводнений, а также ряд крупных прорывов и последовавших за ними катастрофических наводнений и радикальных перестроек гидрографической сети дельты.

Несмотря на скачкообразный характер дельтообразующих процессов в устье Терека и случайность в “выборе” потоком мест прорывов, были и некоторые закономерности в последовательности новых прорывов и в развитии наложенно-причлененных дельт. Новые дельты в пределах старой дельты Терека или на ее периферии образовывались чаще всего в более низких либо менее выдвинутых в море по сравнению с другими районами участка дельты.

В таких случаях действует принцип выбора потоком гидравлически более выгодного направления в сторону больших уклонов местности. Поэтому вся дельта развивалась веерообразно (рукава Терека впадали либо в Кизлярский залив, либо в Аграханский залив Северного Каспия), постепенно заполняя наносами свои депрессии.

Так, в устье Терека за последние 500–600 лет произошло не менее 10 крупных прорывов, приводивших к полной перестройке русловой сети дельты: 1 – Куру-Терек (к XV в. русловая сеть отмерла), 2 – Ак-Терек (к XVI в. отмерла), 3 – Терек (с XVIII в. Старый Терек), 4 – Куру-Чубутла, 5 – Сулла-Чубутла, 6 – Новый Терек (Кордонка), 7 – Бороздинская Прорва, 8 – Таловка, 9 – Средняя, 10 – Каргалинский Прорыв [14].

Необходимо отметить, что все предшествовавшие Каргалинскому циклы дельтообразования были полными, т.е. включали в себя все упомянутые выше этапы – от прорыва и начала формирования новой дельтовой системы до ее отмирания.

Ни один из крупных циклов дельтообразования не был прерван или продолжен в результате вмешательства человека. Все предшествовавшие Каргалинскому прорыву циклы развивались естественным путем. Каргалинский прорыв был стимулирован искусственно; возникший в его результате мощный рукав сохраняется в течение столетия также благодаря гидротехническим мерам.

Позже крупных прорывов в дельте не было. Это объясняется, во-первых, строительством надежных защитных дамб, а во-вторых, искусственным выводом в августе 1977 г. вод Терека по прорези через Аграханский п-ов непосредственно в Средний Каспий. Это мероприятие прервало естественные циклические процессы в дельте Терека и стабилизировало всю русловую сеть дельты.

Дельта Сулака

В устье Сулака с начала XIX в. последовательно формировались пионерная дельта выдвигания и три причлененные дельты [3, 14]. В отличие от дельты Терека, прорывы русла в устье Сулака происходили не в пределах обширной дельтовой равнины, где они приводили к формированию наложенных дельт, а на периферии дельты выдвигания на открытом морском побережье. Здесь возникали новые причлененные дельты в виде выдвинутых в море дельтовых лопастей. Началом образования первой причлененной дельты приблизительно в 1922 г. послужил прорыв через левую устьевую косу, второй – искусственно спровоцированный прорыв в половодье 1929 г., третьей – вывод реки по искусственной прорези в августе 1957 г. Предполагалось, что вывод Сулака по кратчайшему пути в море замедлит обмеление Сулакской бухты и процесс ее блокирования песчаной косой, сформированной продуктами размыва дельты и поступающими на север дельты наносами Сулака. При изменении направления стока Сулака длина русла сократилась более чем на 7 км. В новом русле начался интенсивный процесс врезания. В месте выхода прорези в море стала формироваться Новая дельта Сулака.

Дельта Или

В устье Или за последние 600 лет четырежды менялось направление стока и последовательно сформировались четыре наложенные дельты.

Существование в устье Или сухих русел, так называемых баканасов, свидетельствует о неоднократных перемещениях стока реки по просторству Прибалхашской равнины и периодическом возникновении новых систем рукавов после прорывов и отмирания старых. Сток по баканасам прекратился в XVII в., а вершина современ-

ной дельты образовалась в конце XIX – начале XX вв. в результате прорыва вод сначала в систему рук. Топар, а затем – рук. Джидели.

В развитии систем дельтовых рукавов по Р.М. Хайдарову [15, 16] можно выделить этапы: прорыв русла в новом направлении, затопление межрядовых понижений, возникновение разливов, отложение в них наносов, зарождение рукавов (на этом этапе пребывала система Джидели до середины 1940-х гг.); сосредоточение стока реки в едином русле после перехвата новой системой основного стока; активное заполнение наносами понижений по трассе основного русла системы; поступление речных наносов в оз. Балхаш (в последнее время на этом этапе развития находились рук. Джидели и его ответвление Кугалы); выдвигание нового рукава в озеро, повышение отметок его дна и водной поверхности, интенсивное меандрирование нового русла; отмирание всей системы после нового крупного прорыва реки в более гидравлически благоприятном направлении (сейчас на этом этапе развития находится система рук. Или). Продолжительность полного цикла составляет ~200 лет.

Дельта Амударьи

Благодаря очень большому стоку наносов реки дельта Амударьи в прошлом развивалась подобно дельте Хуанхэ путем прорывов и образования наложенно-причлененных дельт. В процессе многократных изменений направления русла Амударьи в низовье реки сформировалось по крайней мере три крупных последовательных аллювиально-дельтовых комплекса: дельты Акчадарьинская, Присаракамьшская и Приаральская. История развития последней, Приаральской дельты Амударьи с XVII в. детально рассмотрена М.М. Роговым [13]. В формировании дельты выделены отдельные циклы, связанные с катастрофическими прорывами русла в более пониженные ее части. Каждый цикл включал в себя следующие этапы: прорыв реки в пределах дельты в новом направлении; образование обширных разливов; формирование сначала наложенной дельты и ее русловой сети, а затем нередко и причлененной дельты и ее русловой сети; отмирание боковых рукавов в этих дельтах и сосредоточение стока в ограниченном числе рукавов; отмирание наложенно-причлененной дельты после нового прорыва. В XVII–XVIII вв. наиболее обводненной была восточная часть дельты Амударьи. В начале XIX в. прорывы и разливы случались в западной части дельты. В 1846 г. каракалпак Куванш прорыл небольшой проход через прирусловой вал главного рукава дельты. В результате вода хлынула через образовавшуюся брешь и выработала новое русло (Куванш-джарму), образовавшее обширные разливы в восточной части дельты. Для второй половины

XIX в. характерны образование разливов также в центральной части дельты и их постепенное заполнение речными наносами. В начале XX в. водоносность системы Куванш-джармы заметно уменьшилась. В центральной части дельты основная часть стока проходила по рукавам Талдык (западный) и Кант-узек (восточный). В 1937 г. в результате прорыва косы в устьевой части рук. Кант-узек образовался новый и мощный рук. Инженер-узек, который стал впадать в Талдыкский залив Аральского моря. В процессе последующего заполнения наносами сначала Талдыкского залива, а затем открытого устьевого взморья сформировалась причлененная дельта, так называемая дельта Инженер-узeka. В начале формирования этой дельты в ней было до 10–12 рукавов, к 1960-м гг. их число сократилось до 4–5. Позже в связи с резким сокращением стока реки и быстрым падением уровня моря развитие дельты Инженер-узeka замедлилось, а затем почти полностью прекратилось. Приблизительно до 1975 г. сохранялись лишь рукава Инженер-узек, Аккай и Урдабай.

Дельта Хуанхэ

Как уже сказано, дельта Хуанхэ относится к дельтам с наиболее ярко выраженным скачкообразным типом развития. В истории формирования дельты Хуанхэ с 602 г. до н. э. до 1855 г. отмечено пять крупномасштабных перестроек гидрографической сети. При этом чем дальше от моря происходит прорыв русла, тем, как правило, более масштабны и катастрофичны изменения гидрографической сети дельты. После каждого нового прорыва в другой части дельтовой равнины формировалась новая наложенно-причлененная дельта Хуанхэ.

Современная дельта Хуанхэ унаследовала направление стока реки после пятого крупномасштабного прорыва в 1855 г. После этого уже в современной дельте произошло не менее 11 крупных прорывов. Наиболее изучены последние четыре – 1953, 1964, 1976 и 1996 гг. [7, 11, 17].

Каждая крупная перестройка гидрографической сети дельты Хуанхэ имеет катастрофический характер и представляет собой законченный цикл, состоящий из указанных ниже этапов.

1. Прорыв старого русла (обычно в пределах старой дельты на расстоянии 60–80 км от моря). Прорывам способствуют значительное (иногда до 10 м) превышение русла над окружающей местностью; меандрирование русла и подмыв вогнутого берега и естественного прируслового вала или защитной дамбы; повышенные уровни воды в половодье; искусственные попытки отвести часть стока реки для предотвращения наводнения в половодье. Возведение защитных дамб для

предотвращения наводнений часто вызывает обратный эффект: опасность прорыва и его масштаб возрастают.

2. Образование разливов, часто принимающих характер катастрофического затопления, охватывающего сотни, а иногда и тысячи квадратных километров. Затопляется территория старой дельты, причем характер затопления определяется рельефом, унаследованным от предыдущих циклов развития дельты. Вода, проходя районы затопления плоскостным потоком или по старым руслам, через некоторое время начинает поступать в море.

3. Формирование русла среди залитых водой пространств и разветвление его на рукава. Возникающие рукава обычно неустойчивы и подвержены блужданию. Сосредоточение стока в одном наиболее крупном рукаве. Таким образом формируется одорукавное русло, которое быстро повышается над окружающей местностью. Формируется наложенная дельта.

Одновременно с формированием наложенной дельты начинает образовываться и причлененная дельта основного русла в море. Новая дельта может довольно быстро выдвинуться в море на десятки километров. Этот этап будет продолжаться до тех пор, пока не произойдет новый крупный прорыв русла выше по течению и сформировавшаяся только что наложенно-причлененная дельта не потеряет сток. Новому прорыву обычно предшествует сильное меандрирование старого русла.

Последний этап в развитии рассматриваемой дельты — ее быстрое отмирание. Русловая сеть оказывается заброшенной и деградирует, а выдвинувшийся в море конус выноса подвергается абрадирующему воздействию морского волнения и начинает разрушаться.

Дельта Годавари

За голоценовую историю дельтовой равнины р. Годавари здесь сформировались, по крайней мере, девять наложенно-причлененных дельт [5]. Процесс образования каждой дельты включал в себя несколько этапов: прорыв русла в новом направлении (либо в отставшую в своем развитии низменную часть дельты, либо по кратчайшему расстоянию к заливу); быстрое выдвигание новой лопасти в сторону залива с формированием наложенно-причлененной дельты; формирование русловой сети новой дельты; постепенное удлинение и повышение нового русла, уменьшение продольного уклона, что создавало предпосылки для нового прорыва в гидравлически более выгодном направлении; потеря русловой системой дельты стока вследствие его отвлечения в новый прорыв, отмирание русловой сети старой лопасти, ее волновой размыв, формирование из

продуктов этого размыва береговых баров, пляжей, кос.

Описанная цикличность формирования дельты Годавари подтверждается наличием на современной дельтовой равнине неровностей аккумулятивного рельефа, остатков отмерших и отмирающих водотоков, древних береговых форм в виде песчаных гряд, расположенных на разном расстоянии от современного морского края дельты. Последними по времени формирования были четыре дельтовые лопасти, в пределах которых еще сохранились русла рукавов, ставших основой каждой наложенно-причлененной дельты. Самой древней из этих лопастей была, по-видимому, дельта рук. Вайнатъям, ориентированная от вершины дельты прямо на Ю. Самая молодая и активная — крупная дельта рук. Гаутами в северо-восточной части дельты Годавари. Не исключено, что в будущем может произойти новый прорыв с образованием новой дельтовой лопасти, например в депрессии к Ю и ЮЗ от рук. Гаутами.

Дельта Миссисипи

В последние 7–8 тыс. лет выдвигание дельты Миссисипи в Мексиканский зал. происходило путем периодических прорывов русла и формирования серии крупных наложенных дельт (в американской литературе — “delta lobes”) и небольших вторичных причлененных (“subdeltas”) [8]. Первая достоверная схема формирования дельтовых лопастей была приведена в [20]; их последовательность была следующей: лопасти Саль-Сипремор, Кокодри, Теш, Сен-Бернар и Ляфурш. Между этими лопастями оставалась незаполненная речными отложениями депрессия, где позже образовались лопасть Плакмин и современная активная дельта Бализ. Длительность существования каждой лопасти составляла ~2000 лет, а развитие каждой из них происходило в целом в соответствии с закономерностями формирования наложенных дельт в устьях рек с большим стоком наносов, хорошо изученными на примере устьев Амударьи, Или, Терека и Хуанхэ. Отличия состоят лишь в том, что развитие первых дельтовых лопастей в устье Миссисипи происходило в условиях сохранившихся в течение длительного времени депрессий и остаточных водоемов — реликтов голоценового залива-эстуария, а также в существенном влиянии на деградацию и отмирание старых лопастей после переключения стока в новом направлении сильнейшей просадки грунта, более интенсивной в устье Миссисипи, чем в устьях других рек.

Одновременно с быстрым выдвиганием современной дельты Бализ в залив на ее периферии в прибрежной зоне в XIX–XX вв. формировались шесть небольших вторичных причлененных дельт: Драй-Сипресс-Байю, Гранд-Льярд, Уэст-Бей,

Кьюбитс-Гэп, Бэптист-Коллет, Гарден-Айленд. Развитие этих причлененных дельт включало в себя следующие этапы: прорыв прируслового вала вдоль русла основного рукава (обычно это происходило во время значительного половодья), постепенное заполнение мелководного междуручья; формирование новой причлененной дельты, ее поверхности и русловой сети; быстрое выдвигание новой дельты в междуручье; постепенное уменьшение уклонов в новой частной дельте, утрата ею гидравлического преимущества, замедление и полное прекращение выдвигания; просадка грунта в новой дельте, ее деградация и частичное или полное затопление морскими водами. Продолжительность полного цикла эволюции для первых двух причлененных дельт неизвестна, а для четырех последних составляет от 90 до 160 лет.

В настоящее время в устье Миссисипи одновременно существуют современная дельта Бализ и молодые лопасти в устьях водотоков рук. Атчафалай — Атчафалай-Мейн-Ченел и Уакс-Лейк-Аутлет [12].

Процессы формирования и отмирания причлененных дельт в устье Миссисипи заметно отличаются от аналогичных процессов, например, в устье Сулака, где последовательно сформировались три причлененные дельты, которые не подвергались столь сильной просадке, как в устье Миссисипи, и до начала резкого повышения уровня Каспийского моря в 1978 г., даже отмерев и практически полностью осохнув, в целом сохранились в береговой зоне в прежнем размере (за исключением небольших размывов морским волнением участков).

ВЫВОДЫ

Существуют два типа дельтоформирования. Первый — медленный, эволюционный, когда дельта развивается путем одновременного выдвигания разных русловых систем в приемный водоем. Этот процесс сопровождается перераспределением стока воды и наносов между рукавами. Второй тип — скачкообразный — более редкий. Дельта меняется очень быстро. Процесс дельтоформирования сопровождается прорывами прирусловых валов или защитных дамб, сильными (иногда катастрофическими) наводнениями и полной перестройкой гидрографической сети дельты.

Причины скачкообразного развития дельт — не столько большой сток наносов реки (в дельте начинаются прорывы при превышении «критической» величины концентрации взвешенных наносов в реке 0.8—1.0 кг/м³), сколько превышение отметок уровня воды в период половодья в рукаве над отметками поверхности прилегающих районов дельты или над отметками уровня при-

емного водоема. Большая величина такого перепада отметок уровня представляет основную угрозу прорыва и последующих изменений гидрографической сети дельты.

Процесс скачкообразного формирования дельт состоит из повторяющихся циклов, которые, в свою очередь, включают в себя формирование наложенной дельты (образующейся на поверхности старой дельты) и формирование причлененной дельты, развивающейся на открытом побережье.

У большинства дельт со скачкообразным типом формирования повторяющиеся циклы образования прорывов и наложенно-причлененных дельт закончились. Причины этого заключаются, во-первых, в уменьшении стока наносов рек после сооружения водохранилищ, а во-вторых, в проведении крупномасштабных защитных мероприятий в самих дельтах. В настоящее время скачкообразные процессы с прорывами возможны (хотя это маловероятно) лишь в дельтах Терека и Хуанхэ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев И.П.* Гидрология дельты Терека. М.: Гидрометеоздат, 1963. 208 с.
2. Гидрология дельты Дуная. М.: ГЕОС, 2004. 448 с.
3. Гидрология устьев рек Терека и Сулака. М.: Наука, 1993. 160 с.
4. *Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д.* Динамика морского края дельты Сулака // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, География. 1987. № 4. С. 83–87.
5. *Михайлов В.Н.* Особенности гидрологического режима и морфологического строения дельты р. Годавари (Индия) // Вод. ресурсы. 2011. Т. 38. № 6. С. 672–687.
6. *Михайлов В.Н.* Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
7. *Михайлов В.Н., Кравицова В.И., Инюшин А.Н., Михайлова М.В.* Изменения тенденции развития дельты под влиянием внешних естественных и антропогенных факторов (на примере современного устья Хуанхэ) // Вод. ресурсы. 2018. Т. 45. № 4. С. 353–365.
8. *Михайлов В.Н., Михайлова М.В.* Процессы дельтообразования в устье р. Миссисипи // Вод. ресурсы. 2010. Т. 37. № 5. С. 515–530.
9. *Михайлов В.Н., Михайлова М.В., Магрицкий Д.В.* Основы гидрологии устьев рек. М.: Триумф, 2018. 313 с.
10. *Михайлов В.Н., Рогов М.М., Чистяков А.А.* Речные дельты. Гидролого-морфологические процессы. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 280 с.
11. *Михайлова М.В.* Гидрологический режим и динамика гидрографической сети устьевой области Хуанхэ // Вод. ресурсы. 1998. Т. 25. № 1. С. 105–117.

12. Михайлова М.В. Многолетние изменения строения речных дельт // Вод. ресурсы. 2016. Т. 43. № 5. С. 488–501.
13. Рогов М.М. Гидрология дельты Амударьи. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 255 с.
14. Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления. М.: ГЕОС, 2013. 703 с.
15. Хайдаров Р.М. Динамика дельты р. Или // Тр. ГГИ. 1968. Вып. 160. С. 189–222.
16. Хайдаров Р.М. Опыт и результаты изучения динамики дельт с большим содержанием наносов // Вод. ресурсы. 1975. № 1. С. 189–222.
17. Эстуарно-дельтовые системы России и Китая. М.: ГЕОС, 2007. 445 с.
18. Coleman J.M., Roberts H.H., Stone J.W. Mississippi River delta: an overview // J. Coast. Res. 1998. V. 14. № 3. P. 698–716.
19. Credner G.R. Die Deltas, ihre Morphologie, geographische Verbreitung und Entstehungs-Bedingungen // Petermans Geographische Mitteilungen (Erganzungsland). 1878. V. 12. P. 1–74.
20. Kolb C.R., Van Lopik J.R. Deposition environments of the Mississippi River deltaic plain, southeastern Louisiana // Deltas and their geologic framework. Houston: Houston Geol. Soc., 1966. P. 17–61.