

ПРИЧИНЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
ОТМИРАНИЯ И АКТИВИЗАЦИИ  
РУКАВОВ НЕПРИЛИВНЫХ ДЕЛЬТ<sup>1</sup>

© 2021 г. М. В. Михайлова\*

Институт водных проблем РАН, Москва, 119333 Россия

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

Поступила в редакцию 19.01.2020 г.

После доработки 17.03.2020 г.

Принята к публикации 09.06.2020 г.

На основе теории динамической устойчивости дельтовых рукавов и причин ее нарушения доказана недолговечность многорукавных дельтовых систем. Рассмотрены типичные случаи такой недолговечности и естественные причины отмирания одних рукавов и активизации других. Приведены примеры этих процессов в разных дельтах.

*Ключевые слова:* речная дельта, рукав, проток, процессы отмирания и активизации дельтовых водотоков.

**DOI:** 10.31857/S0321059621010211

Речные дельты – одни из самых изменчивых географических объектов. Особенно изменчива русловая сеть дельт. Одни рукава заиливаются и отмирают, другие, наоборот, – размываются и активизируются. Эти процессы могут быть естественными, а также антропогенными, связанными с водозабором, инженерными мероприятиями в рукавах и пр. Статья посвящена только естественным процессам отмирания или активизации рукавов в неприливных дельтах.

Задачи статьи следующие: 1) усовершенствовать разработанные ранее положения теории динамической устойчивости речных русел, а также дельтовых рукавов, установить причины нарушения этой устойчивости; 2) детально рассмотреть причины и закономерности естественных процессов отмирания и активизации рукавов дельт и вызванного этими процессами перераспределения стока воды и наносов между рукавами; 3) объяснить, почему многорукавные дельтовые русловые системы недолговечны; 4) привести примеры по конкретным дельтам России и зарубежных стран.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ  
УСТОЙЧИВОСТИ РУСЛОВЫХ СИСТЕМ  
И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ К РЕЧНЫМ ДЕЛЬТАМ

Динамически устойчивые русла (в том числе дельтовые рукава) – это водотоки, в течение относительно длительного времени сохраняющие свои средние гидрологические и морфометрические характеристики (расход воды и наносов, средняя скорость течения, ширина, средняя глубина, мутность воды). В таких руслах могут происходить только временные изменения некоторых характеристик потока и русла, связанные с перемещением донных песчаных гряд. После смещения такой гряды вниз по течению прежние характеристики потока и русла восстанавливаются.

В [2] для неприливных дельт получены следующие формулы для динамически устойчивых дельтовых рукавов:

$$B_0 = K_B Q_f^{1/2}, \quad (1)$$

$$h_0 = K_h Q_f^{1/3}, \quad (2)$$

$$V_0 = K_V Q_f^{1/6}, \quad (3)$$

$$\omega_0 = K_\omega Q_f^{5/6}, \quad (4)$$

$$I_0 = K_I Q_f^{-1/9}, \quad (5)$$

$B_0, h_0, V_0, \omega_0, I_0$  – динамически устойчивые ширина русла, средняя глубина, средняя скорость течения, площадь поперечного сечения, равная  $B_0 h_0$ ,

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема № 0147-2019-0001, государственная регистрация № АААА-А18-118022090056-0).

**Таблица 1.** Коэффициенты  $K$  в гидролого-морфометрических зависимостях для рукавов различных дельт по [4]

Река	$K_B$	$K_h$	$K_V$	$K_\omega$	$K_I$
Енисей	25.0	0.28	0.14	7	
Печора	10.0	0.50	0.20	5	
Лена	21.0	0.28	0.17	5.9	
Обь	12.5	0.40	0.20	5	
Волга	7.0	0.57	0.25	4.0	5.3
Дунай	5.9	0.61	0.28	3.6	8.0
Кубань	4.8	0.62	0.34	3.0	
Кура	4.9	0.49	0.42	2.4	
Терек	4.3	0.47	0.50	2.0	40.0
Амударья	4.6	0.36	0.60	1.7	31.7

уклон водной поверхности;  $K$  – эмпирические коэффициенты, индивидуальные для каждой дельты, причем  $K_B K_h K_V = K_\omega K_I = 1$ , а сумма показателей степени в формулах (1)–(3) равна 1.  $Q_f$  – это руслоформирующий расход воды, который определяет все остальные характеристики потока и русла. Этот расход воды соответствует либо среднему расходу воды на максимуме половодья, либо – “руслонаполняющему” расходу воды, при котором поток заполняет русло по бровке поймы. Для каждой рассмотренной авторами [2] дельты величины  $K$  оказались разными.

Обратная связь уклона водной поверхности с расходом воды в эмпирической формуле (5) требует пояснения. Действительно, во многих много рукавных неприливых дельтах с дробящимися в сторону приемного водоема рукавами (в дельтах Волги, Лены, Дуная) эта связь подтверждается данными измерений [2, 3]. Часто такая связь интерпретируется как выпуклая кривая гидравлического спада. Это неверно: гидравлический спад должен сопровождаться ростом скорости потока вдоль течения. Но часто этого не происходит: скорость течения уменьшается по формуле (3) по мере дробления русел. Давно установлено, что чем меньше водоток, тем больше в нем уклон водной поверхности. Характерный пример – устьевая область Амазонки. У этой крупной реки очень маленький уклон водной поверхности. Именно поэтому в устье Амазонки наибольшая среди других рек дальность проникновения прилива (>900 км). Из устьев российских рек типичный пример – устьевая область Енисея. Здесь наибольшая для всех рек мира дальность распространения нагона (~900 км).

Отмеченные особенности объясняет разработанная М.А. Великановым теория взаимодействия речного потока и русла. Согласно одному

из постулатов этой теории, любая река на каждом своем участке стремится пропустить поступающие из притоков наносы без аккумуляции и размыва русла. Это, в свою очередь, требует сохранения вдоль реки мало меняющейся скорости течения. Следствие этих рассуждений – вывод, что размер динамически устойчивого русла (например, его глубина  $h$ ) и уклон водной поверхности  $I$  должны изменяться в противоположном направлении. Напишем формулу Шези:  $V = C\sqrt{hI}$  ( $C$  – коэффициент Шези, в большей мере зависящий от коэффициента шероховатости русла, чем от глубины). Увеличение размера русла  $\sqrt{h}$  должно сопровождаться уменьшением уклона водной поверхности  $\sqrt{I}$ , что подтверждается измерениями в рукавах неприливых дельт.

Величины динамически устойчивых характеристик потока и русла в разных дельтах определялись следующим образом. Принималась гипотеза, что в конкретной дельте отклонения измеренных гидрологических и морфометрических характеристик от их средних значений в положительную или отрицательную сторону равновероятны, а средние значения этих характеристик и есть искомые величины динамически устойчивых характеристик потока и русла в конкретной дельте. Результаты определения таких характеристик при руслоформирующих расходах воды приведены в табл. 1.

Порядок перечисления дельт и характеристик динамически устойчивых русел их рукавов в табл. 1 не случаен. От верхней к нижней строке таблицы величины  $K_B, K_h, K_\omega$  в целом уменьшаются, а  $K_V$  и  $K_I$  – увеличиваются. Это может быть объяснено тем, что от одной дельты к другой в том же направлении возрастает содержание наносов в потоке. А это требует увеличения транспортирующей способности водного потока, т.е. возрастания скорости течения и, соответственно, уменьшения  $B, h, \omega$  (при одинаковых руслоформирующих расходах  $Q_f$ ) и уменьшения всех коэффициентов в формулах (1)–(4).

Коэффициенты  $K$ , как видно из табл. 1, индивидуальные для каждой дельты и зависят от степени нагрузки потока наносами. Для поиска связей коэффициентов  $K$  со средней мутностью воды  $s$  предприняты дополнительные исследования (с участием автора статьи) [1, 3, 6].

Полученные результаты подтвердили выводы прежних исследований [4]: динамически устойчивые характеристики русел рукавов  $B_0, h_0, V_0, I_0, \omega_0$  (те же характеристики, что в формулах (1)–(5)) связаны с мутностью  $s$  зависимостью:  $K = ks^x$ . Для дельт рек с мутностью  $s < 1$  кг/м<sup>3</sup> при руслоформирующих расходах воды  $Q_f$  получены универсальные для неприливых дельт формулы:

$$B_0 = 4.60Q^{1/2} s^{-0.35}, \quad (6)$$

$$h_0 = 0.65Q^{1/3} s^{0.16}, \quad (7)$$

$$V_0 = 0.34Q^{1/6} s^{0.19}, \quad (8)$$

$$\omega_0 = 2.94Q^{5/6} s^{0.19}, \quad (9)$$

$$I_0 = 8.26 \times 10^{-5} Q^{-1/9} s^{0.17}. \quad (10)$$

Для дельт рек с мутностью  $s > 1$  кг/м<sup>3</sup>:

$$B_0 = 4.60Q^{1/2}, \quad (11)$$

$$h_0 = 0.65Q^{1/3} s^{0.33}, \quad (12)$$

$$V_0 = 0.34Q^{1/6} s^{0.33}, \quad (13)$$

$$\omega_0 = 2.94Q^{5/6} s^{0.33}, \quad (14)$$

$$I_0 = 8.26 \times 10^{-5} Q^{-1/9} s^{1.1}. \quad (15)$$

В формуле (11) коэффициент  $K_B$  не зависит от  $s$ .

Анализ этих зависимостей позволяет сделать еще один важный вывод: чем больше наносов в речной воде (мутность воды), тем больше должны быть средняя скорость течения и создающий ее уклон водной поверхности и тем меньше поперечное сечение устойчивого русла.

### КРИТЕРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РУКАВОВ ДЕЛЬТ

Как показали многочисленные исследования, между фактическими (измеренными) характеристиками рукавов  $B$ ,  $h$ ,  $V$ ,  $I$ ,  $\omega$  и их динамически устойчивыми значениями  $B_0$ ,  $h_0$ ,  $V_0$ ,  $I_0$ ,  $\omega_0$  для заливающихся и отмирающих рукавов типичны соотношения:

$$B > B_0, \quad (16)$$

$$H < h_0, \quad (17)$$

$$V < V_0, \quad (18)$$

$$\omega > \omega_0, \quad (19)$$

$$B/h > B_0/h_0, \quad (20)$$

а для размывающихся и активизирующихся – обратные соотношения:

$$B < B_0, \quad (21)$$

$$H > h_0, \quad (22)$$

$$V > V_0, \quad (23)$$

$$\omega < \omega_0, \quad (24)$$

$$B/h < B_0/h_0. \quad (25)$$

Приведенные соотношения показывают, что для определения тенденции развития рукавов наиболее показательное сравнение величин ши-

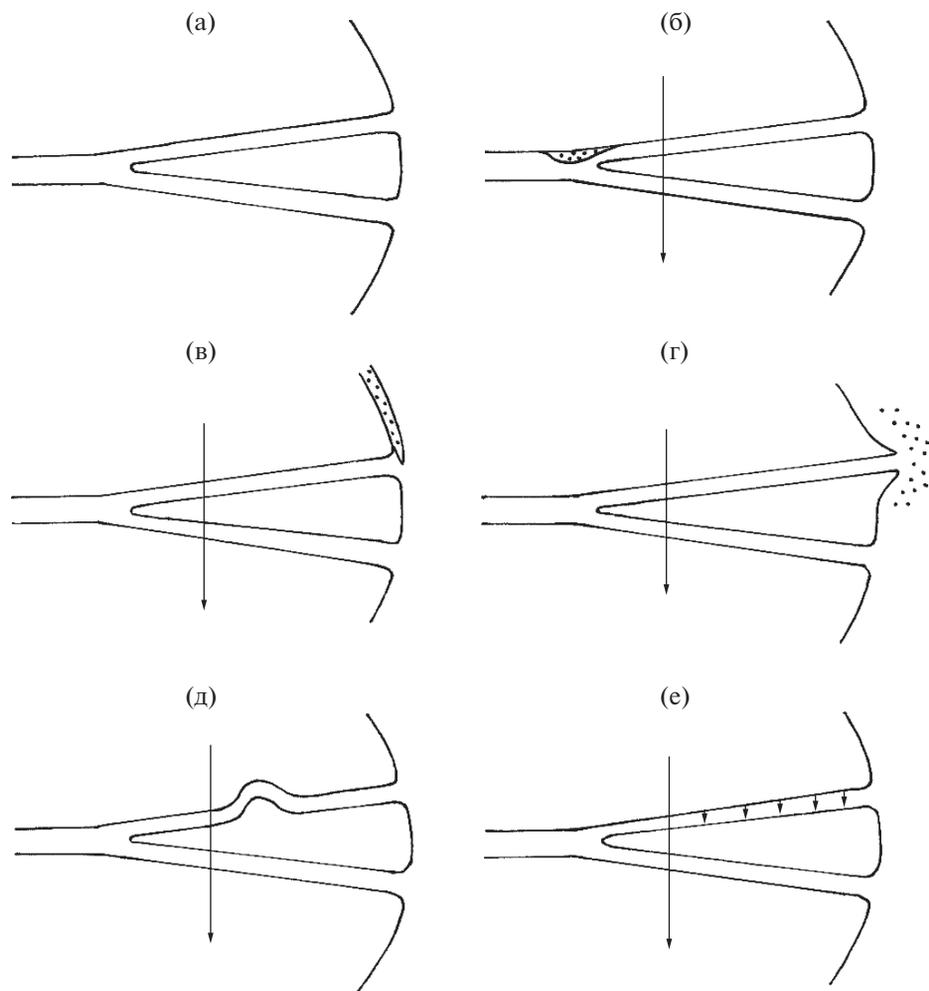
рины русла  $h$  и  $h_0$ . Ширина русла – наиболее консервативная характеристика, она изменяется значительно медленнее, чем глубина русла. Это объясняется тем, что глинистые отложения, слагающие берега русел, более устойчивы к размыву. Как размыв, так и занесение русел в первую очередь ведут к изменению обычно подвижных донных отложений (песка, илистого песка) в центральной части русла.

Показательными критериями при оценке тенденции деформации русел рукавов также могут служить естественные изменения длины рукава. Так, при волновом размыве устья рукава уменьшается длина рукава и возрастает уклон его водной поверхности, что ведет к увеличению скорости течения (согласно формуле Шези) и активизации рукава. Наоборот, выдвигание рукава в море сопровождается увеличением длины русла и уменьшением уклона его водной поверхности. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению скорости течения и транспортирующей способности потока, что либо при значительном удлинении рукава ведет к ускорению его отмирания, либо уменьшает интенсивность активизации размывающегося до этого рукава.

### ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ОТМИРАНИЯ И АКТИВИЗАЦИИ РУКАВОВ НЕПРИЛИВНЫХ ДЕЛЬТ

В качестве примера рассмотрим простейшую двухрукавную дельту, состоящую из смежных рукавов – левого и правого (соответственно рук. 1 и рук. 2) (рис. 1а). Оба рукава впадают в один и тот же приемный водоем с неизменным средним уровнем. Предположим, что начальное состояние обоих рукавов динамически устойчиво, и поэтому в них никаких необратимых (однонаправленных) русловых деформаций не происходит. Оба рукава имеют одинаковые руслоформирующие расходы воды и сток наносов, одинаковые ширину, среднюю глубину, длину и коэффициент шероховатости. Предположим, что в рук. 1 появились первые признаки его отмирания, т.е. в нем уменьшился сток воды и наносов, стало проявляться обмеление и зарастание русла. При этом наблюдениями установлены явные причины этих изменений в рук. 1. Одновременно в рук. 2 проявились некоторые признаки его активизации, например увеличение водного стока. Никаких явных причин этого наблюдениями не выявлено. Поэтому можно предположить, что изменения в рук. 2 – реакция на начало отмирания в рук. 1. Позже признаки отмирания рук. 1 стали проявляться сильнее.

Причины изменений, происходящих в рассматриваемой дельте, можно разделить на три группы: 1) причины начавшегося отмирания рук. 1,



**Рис. 1.** Примеры естественных причин отмирания одного из смежных рукавов и активизации другого: оба рукава в состоянии динамического равновесия (а); частичное перекрытие истока одного из рукавов побочным перекатом (б); частичное перекрытие устья рукава морской песчаной косой (в); выдвигание рукава на мелководный участок устьевое взморья (г); формирование излучины в рукаве (д); увеличение шероховатости дна рукава (е). Вертикальная стрелка – направление перераспределения стока.

зафиксированные наблюдениями; 2) причины, также зафиксированные наблюдениями, приводящие к усугублению, усилению и ускорению отмирания рук. 1; 3) причины активизации рук. 2 как реакции на отмирание рук. 1.

В первую группу вошли:

частичное перекрытие истока рук. 1 в результате смещающейся вдоль левого берега реки крупной песчаной гряды, например побочня переката (рис. 1б);

частичное перекрытие устья рук. 1 продуктами волнового размыва морского берега левее устья рук. 1 (рис. 1в).

Перекрытие истока и устья рук. 1 могут произойти и одновременно, и в разное время. Но их последствия для рук. 1 будут одинаковыми: оба эти события приведут к уменьшению стока воды и наносов рук. 1 и к началу его отмирания.

Ко второй группе причин можно отнести:

климатически обусловленное уменьшение стока реки; этот фактор ускоряет уменьшение стока в рук. 1 и вместе с другими факторами способствует его отмиранию; уменьшение стока воды реки практически не сказывается на режиме рук. 2, так как компенсируется ростом стока воды этого рукава в результате перераспределения стока из рук. 1 в рук. 2;

увеличение длины рук. 1 вследствие его выдвигания на обмелевшее устьевое взморье в результате вдольберегового перемещения продуктов волнового размыва (рис. 1г);

размыв одного из берегов рук. 1 и образование излучины (рис. 1д), что также должно привести к увеличению длины рукава и ускорению его отмирания;

усиление зарастания теряющего свой сток рук. 1, что увеличит коэффициент шероховатости его дна и еще больше уменьшит расход воды и ускорит отмирание рук. 1 (рис. 1е).

В третью группу причин, способствующих отмиранию рук. 1 и, наоборот, активизации рук. 2, входит прогрессирующее уменьшение стока в рук. 1 и, наоборот, увеличение в рук. 2, что является следствием перераспределения стока воды из рук. 1 в рук. 2.

Возникает вопрос: какова будет дальнейшая судьба отмирающего рук. 1 и активизирующегося рук. 2? Чаше всего процесс отмирания и деградации одного из рукавов дельты оказывается необратимым. В конце концов этот рукав прекращает свое существование, а смежный рукав, наоборот, забрав весь сток реки или главного (подводящего) рукава, продолжает развиваться. В качестве примера можно привести многолетние изменения в системе Старостамбульского рук. в дельте Дуная [1]. Еще в середине XX в. от крупного дельтового Старостамбульского рук. вправо отходил достаточно водоносный рук. Средний. Ниже по течению он делился на два рукава — Отножный (левый) и Песчаный (правый). Эти рукава выходили на приглубое устьевое взморье — прибрежную часть Черного моря. Сползание большой песчаной гряды на исток рук. Среднего и занесение устьев рукавов Отножного и Песчаного во время сильных осенних и зимних штормов продуктами волнового размыва морского берега привело к быстрому отмиранию этой системы. Уже в начале XXI в. система рукавов Средний—Отножный—Песчаный прекратила свое существование, исток рук. Среднего и устья рукавов Отножного и Песчаного заросли. В итоге доступ к садам и огородам по берегам рук. Среднего стал невозможным. Была предпринята попытка восстановить сток в отмирающей системе при помощи искусственного канала на входе в рук. Средний, но она не дала результата. В настоящее время во внутренней части бывшей системы Средний—Отножный—Песчаный в остатках их русел сохранились лишь болотца и древесная растительность на старых прирусловых валах. Параллельные друг другу линии деревьев хорошо видны на фоне обширных зарослей тростника на современных космических снимках.

Размыв песчаных тел, блокирующих исток или устье рукава, — событие редкое. Также редки случаи “конкурирующего” развития смежных рукавов. Это может случиться вследствие переменного ускорения выдвигания смежных рукавов в море. Автору статьи известен лишь один такой пример: повторившееся несколько раз перераспределение стока и изменение тенденции развития двух систем рукавов в дельте Дуная — Очаковского (левого) и Старостамбульского (правого) [1].

### ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОТМИРАНИЯ И АКТИВИЗАЦИИ СМЕЖНЫХ РУКАВОВ

Главные последствия отмирания и активизации рукавов — это изменение распределения стока воды между ними.

Сначала рассмотрим закономерности распределения стока воды между смежными рукавами в условиях неизменности их гидрологических и морфометрических характеристик. Для этого используем формулу Шези—Маннинга:

$$V = C\sqrt{hI} = \frac{h^{1/6}}{n}\sqrt{hI}, \quad (26)$$

где  $V$  — средняя скорость потока, м/с;  $h$  — его средняя глубина, м;  $I$  — уклон водной поверхности (величина безразмерная);  $n$  — коэффициент шероховатости дна русла, с/м<sup>1/3</sup>.

Умножим левую и правую части формулы (26) на площадь поперечного сечения, равную  $Bh$  ( $B$  — ширина русла). Кроме того, выразим уклон  $I$  через  $\Delta z/L$  ( $\Delta z$  — полное падение уровня вдоль рукава, м;  $L$  — длина рукава, м). В результате получим

$$Q = Bh^{5/3}\Delta z^{1/2}L^{-1/2}n^{-1}, \quad (27)$$

здесь  $Q$  — любой расход воды в истоке рукава, м<sup>3</sup>/с, в том числе руслоформирующий или руслонаполняющий.

Возьмем русловую систему из двух смежных рукавов, которые имеют в начале системы общий узел разветвления, а в ее конце впадают в один и тот же водоем с приглубым взморьем. Такая система может быть двухрукавной дельтой с левым рук. 1 и правым рук. 2, в которую поступает сток реки либо сток более крупного (подводящего) рукава.

Рассмотрим закономерности распределения расходов воды между смежными рукавами 1 и 2 при неизменных начальных условиях. Используя формулу (27) для двух смежных рукавов, получим

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{B_1}{B_2} \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{5/3} \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^{1/2} \frac{n_2}{n_1}. \quad (28)$$

При выводе формулы учитываем, что величины падения уровня в обоих рукавах одинаковы, т.е.  $\Delta z_1 = \Delta z_2$ .

Структура формулы (28) свидетельствует о следующем: 1) основное влияние на распределение расходов воды между смежными рукавами оказывает соотношение их глубин; 2) если один рукав выдвинут в море и имеет длину большую, чем смежный, то доля его стока в системе меньше. Если рукав короче смежного (вне зависимости от причин), то доля его стока в системе больше; 3) разная шероховатость дна в рукавах (образование гряд и их размыв, зарастание дна водной

растительностью) оказывает похожее влияние на распределение расходов воды между рукавами.

Для расчета распределения стока между рукавами более сложной системы применяется ряд методов [3–5], например кривые расходов  $Q = f(H)$ , метод итераций, разработанный в ААНИИ, метод общих модулей сопротивления. Последний метод разработан в ГОИН; он позволяет аналитически и без итераций и подбора рассчитывать распределение расходов воды в разветвляющейся системе рукавов любой сложности (последовательном, параллельном и последовательно-параллельном соединении).

Теперь от неизменяющегося распределения стока по рукавам дельты перейдем к изменяющемуся распределению во времени, т.е. к перераспределению стока воды между рукавами.

Следует различать сезонное и многолетнее перераспределение стока между рукавами дельты. Типичный пример сезонного перераспределения стока: в половодье большая часть стока воды реки поступает в широкий, но мелководный рукав, а в межень, наоборот, — в узкий, но глубокий смежный рукав. В очень низкую межень почти весь водный сток реки может сосредоточиться в глубоком рукаве. Подобное перераспределение стока повторяется каждый год и не приводит к необратимым русловым деформациям.

Многолетние изменения распределения стока между рукавами, как правило, необратимы и ведут к отмиранию одного рукава, активизации смежного рукава и перераспределению в него стока воды.

Для оценки характера многолетнего перераспределения стока воды между смежными рукавами возможны разные подходы.

Качественная характеристика процесса такова: отмирающий рукав теряет свой сток, а активизирующийся — увеличивает.

Количественную оценку этого процесса можно сделать несколькими способами: 1) путем измерения расхода воды в период половодья в обоих рукавах с интервалом в несколько лет; 2) путем применения формулы (28), по данным с интервалом в несколько лет. Изменения ширины русел рукавов, их глубины, длины, шероховатости их дна будут характеризовать увеличение расхода в одном из рукавов и уменьшения в другом или обратную ситуацию. Как отмечено выше, наиболее показательны при этом изменение глубины в смежных рукавах.

Прогноз ожидаемого перераспределения стока воды между смежными рукавами дать сложнее. Для такого прогноза можно воспользоваться: 1) методом тенденций — экстраполируя изменения измеренных или вычисленных расходов воды на предстоящие годы в обоих рукавах; 2) для оценки процесса отмирания или активизации ру-

кавов воспользоваться критериями по формулам (16)–(25); 3) вычислить характеристики динамически устойчивых рукавов дельты по формулам (6)–(15) и сравнить их с измеренными в разные годы.

При всех перечисленных подходах надо учитывать связь процессов в дельте с величиной стока наносов. Чем он больше, тем быстрее протекают процессы перераспределения стока между рукавами и дельтоформирования в целом.

## ВЫВОДЫ

Многорукавные системы в неприливных дельтах недолговечны. Одни рукава отмирают, другие, наоборот, активизируются. При этом сток воды и наносов перераспределяется из отмирающих рукавов в активизирующиеся. Процессы отмирания и активизации могут быть естественными и антропогенными. Антропогенные процессы вызваны хозяйственной деятельностью как в речных бассейнах (например, в результате регулирования стока), так и в самих дельтах (вследствие водозабора, выправления и углубления рукавов для улучшения судоходных условий и т.п.). В статье рассмотрены только естественные процессы отмирания и активизации рукавов.

Описаны процессы отмирания и активизации двух смежных рукавов, изначально находящихся в состоянии динамической устойчивости и имеющих одинаковые гидролого-морфометрические характеристики (расход воды, ширину, длину, коэффициент шероховатости). Естественными причинами отмирания одного из смежных рукавов могут быть: частичное перекрытие истока одного из рукавов сползающими вдоль реки скопившимися песчаными наносами, например побочном переката; частичное перекрытие устья рукава перемещающейся вдоль морского берега песчаной косой; выдвигание рукава на мелководный участок устьевого взморья, сопровождающееся удлинением рукава; формирование излучины в рукаве, увеличивающей его длину; увеличение шероховатости дна рукава в результате зарастания водной растительностью; естественное уменьшение стока воды, поступающего в рассматриваемые системы рукавов. Перечисленные процессы ведут к перераспределению стока.

Следует различать понятия “распределение стока” и “перераспределение стока” в русловых системах рукавов дельт. Так, например, распределение стока (отношение расходов воды) в системе из двух рукавов характеризует неизменную гидрологическую ситуацию на любом временном отрезке (в частности, в среднем за сезон или год). Перераспределение стока в той же системе рукавов отражает изменение гидрологической ситуации во времени (например, между сезонами или годами). Для оценки распределения стока воды

между двумя смежными рукавами в статье используется формула Шези–Маннинга. Повторные (через несколько лет) расчеты позволяют оценить интенсивность перераспределения стока. Чем больше сток наносов реки, тем короче “время жизни” отмирающего рукава.

Задачами дальнейших исследований должны стать: оценка воздействия антропогенных факторов на русловые системы неприливых дельт; учет влияния эвстатического повышения или понижения уровня моря на многорукавную дельту.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрология дельты Дуная. М.: ГЕОС, 2004. 448 с.
2. Михайлов В.Н., Михайлова М.В. Физические основы гидрологических и морфологических процес-  
сов в речных дельтах // Вестн. РФФИ. 2013. № 2 (78). С. 26–33.
3. Михайлов В.Н., Михайлова М.В., Магрицкий Д.В. Основы гидрологии устьев рек. М.: Триумф, 2018. 313 с.
4. Михайлов В.Н., Rogov M.M., Чистяков А.А. Речные дельты. Гидролого-морфологические процессы. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 280 с.
5. Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях. М.: Гидрометеиздат, 1973. 535 с.
6. Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления. М.: ГЕОС, 2013. 702 с.