

В. Н. Михайлов, Н. И. Алексеевский, А. Ю. Сидорчук

МГУ

М. М. Рогов

ГОИН

М. В. Михайлова

ИВП

**ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ РЕК И ИХ АНТРОПОГЕННЫЕ
ИЗМЕНЕНИЯ**

Устьевые области рек — это особые географические объекты, обладающие уникальным ландшафтом и ценными водными, земельными и биологическими ресурсами. Основу естественного раз-

вятия устьевых областей рек составляют гидролого-морфологические процессы, под которыми понимается динамика вод, наносов и рельефа дна. Гидролого-морфологические процессы в устьях рек проявляются в основном во взаимодействии и смешении вод реки и приемного водоема, в отложении и переотложении речных и частично морских наносов, при определенных условиях, приводящих к формированию дельты. Все остальные устьевые процессы (почвообразование и развитие растительного покрова в дельте, формирование качества воды и т. д.) проходят на фоне гидролого-морфологических процессов и ими управляются. Естественное или антропогенное изменение гидролого-морфологических процессов ведет к изменению всей совокупности процессов, происходящих в устье реки, и природного комплекса этого географического объекта в целом. Благодаря специфике устья реки как географического объекта, эти процессы в устьях рек обладают большими особенностями [1—5].

Первая особенность — существование приемного водоема, оказывающего на втекающий в него речной поток пассивное и активное воздействия.

Наличие емкости для растекания речных вод и отложения наносов на устьевом взморье обуславливает уменьшение скоростей течения во втекающем в водоем потоке, гашение его кинетической энергии и уменьшение транспортирующей способности, что ведет к отложению наносов и способствует преобладанию в устьях рек аккумулятивных процессов.

Важное влияние на устьевые процессы оказывают колебания уровня приемного водоема. Продольный профиль уровенной поверхности и дна на устьевом участке реки оказывается «привязанным» к уровню приемного водоема. Это предопределяет особенности сопряжения уровней воды в реке и в море. Нижний (мористый) конец продольного профиля русла не может изменить своего вертикального положения без изменения уровня приемного водоема.

Вековые колебания уровня приемного водоема равнозначны изменению общего базиса эрозии. Это приводит при повышении уровня к макромасштабной аккумуляции, при снижении уровня, в большинстве случаев, — к эрозии.

Кратковременные колебания уровня моря, обусловленные приливными и сгонно-нагонными явлениями, оказывают существенное влияние на динамику водного потока, создавая явно выраженный неустановившийся режим. Отливы и сгонные течения создают промывное воздействие на русло потока, впадающего в водоем.

Разность плотностей морской и речной воды приводит к отрыву речной струи от дна и нередко создает в устьях рек так называемую «эстуарную» циркуляцию, благоприятствующую проникновению у дна в русло реки морских вод и наносов. Все это способствует отложению речных и морских наносов (особенно крупных фракций) в зоне контакта речных и морских вод, заносимости углубленных мест в устьях рек

Морское волнение оказывает разрушающее влияние на речные отложения в дельтах рек.

Вторая особенность многих устьев рек — наличие дельты, которая оказывает решающее влияние на устьевые процессы. В результате формирования дельты создаются возможности для перемещения потока по дельтовой равнине и перемещения в пространстве обводняющей и руслоформирующей деятельности реки. Это в свою очередь предопределяет:

— периодическую полную перестройку русловой сети дельты от образования водотоков и их систем до полного отмирания водотоков и их систем. В дельтах рек редко наблюдается поперечное значительное смещение русел (миграция). Обычно направление стока и сопутствующее образование русловых систем скачкообразно переносится из одной части дельты в другую. Между русловыми системами могут остаться не заполненные наносами депрессии (разливы, плавни, озера);

— перераспределение стока воды и наносов по пространству дельты, по рукавам и их системам, что сопровождается значительным изменением поперечных и продольных размеров водотоков;

— уменьшение руслоформирующих расходов воды по мере растекания вод по дельте, что приводит к уменьшению размеров водотоков дельт вниз по течению;

— существенное различие в возрасте и степени выработанности русла отдельных русловых систем и даже отдельных участков дельтовых водотоков.

Первая особенность (наличие приемного водоема) свойственна всем устьям (дельтам и эстуариям), вторая — только дельтам. Обе эти особенности приводят к значительному преобладанию в устьях рек необратимых (направленных) русловых деформаций над обратимыми (периодическими или знакопеременными).

В основе гидролого-морфологических процессов в устьях рек лежат вполне определенные физические закономерности, отражающие законы сохранения вещества и энергии и которые могут быть выражены уравнениями движения (баланса сил) и неразрывности (баланса массы), записанными для воды и наносов.

Ниже рассматриваются физические основы гидролого-морфологических процессов в устьях рек и основные их природные проявления.

В зависимости от расхода воды реки и уровня приемного водоема возможны три гидравлических типа сопряжения уровней воды при условии установившегося движения: спад, подпор, квазиравномерный режим. Состояние гидравлического спада наблюдается на глубоких устьевых участках рек довольно редко, лишь в значительные половодья. На упомянутые кривые свободной поверхности накладываются прямые волны паводков (попусков) и обратные приливные и сгонно-нагонные волны [2].

При взаимодействии вод реки и моря могут наблюдаться три типа смешения водных масс и сопутствующей вертикальной циркуляции: стратифицированное втекание («клин соленых вод»);

умеренное или частичное перемешивание; сильное или полное перемешивание.

Возрастание расхода пресной воды и увеличение разности плотности речной и морской воды способствуют установлению хорошо выраженной плотностной стратификации. Приливы, нагоны, волнения, наоборот, способствуют перемешиванию водных масс по вертикали. Каждое устье (или его часть) может относиться к какому-либо определенному типу смещения или в зависимости от колебаний речного стока в течение года тип смещения устья может измениться.

Физической первопричиной дельтообразования является уменьшение скоростей течения при впадении речного потока в водоем. По мере уменьшения скоростей течения транспортирующая способность речной струи падает и должно происходить отложение наносов, причем сначала более крупных, а затем более мелких фракций. Это ведет к уникальному явлению — устьевому удлинению русла при его выдвигении в приемный водоем. Устьевое удлинение тем больше, чем больше сток наносов реки и меньше глубина взморья.

Заполнение наносами акватории устьевого взморья ведет к формированию дельты. Этот процесс может иметь две стадии: формирование дельты выполнения морского залива и формирование дельты выдвигения на открытом морском побережье. В пределах каждой стадии по мере заполнения наносами акватории залива или закрытого взморья дельта может проходить три фазы — малорукавной, многорукавной и вновь малорукавной дельты.

Формирование большинства современных дельт началось после прекращения последнего послеледникового повышения уровня Мирового океана, т. е. 5—6 тыс. лет тому назад. В зависимости от соотношения объемов образовавшегося морского залива в затопленной речной долине и стока наносов реки процесс заполнения наносами залива шел с разной интенсивностью. Многие реки, заполнив залив наносами, формируют в настоящее время дельты выдвигения (Миссисипи, Дунай). Другие все еще остаются в стадии формирования дельты выполнения (Дон, Днепр, Обь, Енисей, все эстуарии). Приливы и волнение замедляют формирование дельт.

В пределах каждой стадии обычно наблюдаются периодические процессы перемещения зон обводнения и русло- и дельтообразования по пространству дельты. Во многих устьях эти процессы проявляются в последовательном формировании серии причлененных (образующихся на морском крае уже существующей дельты) или наложенных дельт (формирующихся на поверхности существующей дельты). Нередко процесс формирования наложенной дельты переходит в процесс формирования причлененной дельты. Периодические процессы формирования наложенных и причлененных дельт повторяются, в результате чего возникают дельтовые пояса, и вся дельта растет как по высоте, так и по площади. Создается дельтовая равнина.

Причина и механизм формирования наложенной и причлененной дельты в целом одинаковы: идет заполнение наносами отставших в своем развитии частей дельты или конуса выноса реки. Речной поток периодически устремляется по энергетически более выгодному направлению — в более пониженные части дельты (во внутريدельтовые депрессии в случае наложенной дельты) или по кратчайшему направлению к морю (в случае причлененной дельты). В результате формирования серии причлененных дельт вся дельта выравнивается по вертикали, формирование пояса причлененных дельт ведет к выравниванию формы дельты по горизонтали.

Каждый период (цикл) формирований новой причлененной дельты включает несколько этапов: прорыв русла по новому направлению, формирование первичной устьевой отмели, формирование новой надводной причлененной дельты, отмирание гидрографической сети старой дельты, волновое разрушение (абразия) старой дельты. Последние два этапа могут происходить одновременно с двумя предыдущими.

Каждый период (цикл) формирования наложенной дельты также включает несколько этапов: прорыв русла по новому направлению, образование разливов и озер, формирование русловой сети новой наложенной дельты, отмирание гидрографической сети старой дельты, волновое разрушение (абразия) старой дельты. Два последних этапа могут по времени совпадать с двумя предыдущими.

Распределение стока воды и наносов по водотокам дельты зависит от величины падения уровня в смежных системах водотоков и их гидравлических сопротивлений.

Доля расхода воды любой русловой системы тем больше, чем меньше ее общий модуль сопротивления. Для простейшей двухрусловой системы расход в любом из водотоков тем больше, чем больше его ширина и глубина и меньше длина и шероховатость.

Поскольку соотношение модулей сопротивления смежных систем водотоков изменяется во времени (во время паводков, вследствие русловых деформаций), не остается неизменным и распределение стока воды по дельтовым водотокам.

Распределение стока наносов по рукавам дельт, как показали многочисленные наблюдения во многих дельтах, приблизительно пропорционально распределению стока воды. Это особенно справедливо применительно к стоку взвешенных наносов. Однако отмечена и тенденция относительного возрастания доли стока наносов по сравнению с долей воды в активных (размывающихся) водотоках и уменьшение в пассивных (отмирающих).

Динамика русловой сети дельты в пределах какого-либо периода или этапа ее развития определяется двумя взаимосвязанными процессами: 1) перераспределением стока воды и наносов по водотокам и 2) русловыми деформациями водотоков.

Распределение стока воды по системе водотоков, как было показано выше, определяется их гидравлическими сопротивлениями,

а конкретнее — продольными и поперечными размерами водотоков и их шероховатостью. Изменение этих характеристик ведет к перераспределению стока между водотоками.

Длина водотоков изменяется в устьях рек в основном при их устьевом удлинении (при выдвигании в море) или укорочении (при абразии морского края дельты). К изменению длины русла ведет также меандрирование, прорывы русел, а также искусственные мероприятия, например, спрямление водотоков. Поперечные размеры русел увеличиваются в активных (размывающихся) водотоках и уменьшаются в пассивных (отмирающих).

При изменении морфометрических характеристик русел (вне зависимости от причины) происходит перераспределение стока между дельтовыми водотоками. Например, увеличение размеров и сокращение длины русла ведет к увеличению расхода воды данного водотока за счет смежного. Возрастание расхода воды влечет за собой, в свою очередь, размыв русла водотока и увеличение его размеров. Уменьшение расхода воды в смежном водотоке ведет к заилению русла и уменьшению его размеров. В результате изменяются модули сопротивления водотоков и происходит новое перераспределение стока между водотоками, что вызывает новые русловые деформации и т. д. Описанный процесс обычно стимулирует сам себя, т. е. рукава, увеличивающие свой сток, обычно прогрессивно активизируются, а рукава, уменьшающие свой сток, обычно прогрессивно отмирают, часть вплоть до полного исчезновения в качестве действующего водотока. Однако могут наблюдаться и периодические процессы конкурирующего развития смежных систем водотоков, особенно в тех случаях, когда одновременно с активизацией и отмиранием водотоков неодинаково изменяется их длина (вследствие устьевого удлинения или укорочения).

Новые водотоки в дельтах обычно возникают вследствие прорывов русла в новом направлении и при дроблении водотоков на устьевом баре. Отмирание же водотоков, как правило, — следствие уменьшения расхода воды в водотоке.

Человек воздействует на гидролого-морфологические процессы в устьях рек двояко: косвенно, изменяя гидрологические условия на внешней границе устьевой области (сток воды и наносов реки, уровень приемного водоема) и непосредственно, осуществляя водохозяйственные мероприятия в пределах устья (дельты).

Искусственное уменьшение стока рек в связи с безвозвратным водопотреблением в бассейнах рек вызывает в целом однотипные изменения динамики потока и гидрографической сети устьев рек. Такие процессы уже проявились в устьях рек Волги, Терека, Дона, Кубани, Амударьи. Снижаются уровни воды на устьевом участке, увеличивается дальность проникновения нагонов, приливов и соленых вод в устье реки, ускоряются процессы отмирания боковых мелких водотоков и сосредоточения стока в наиболее крупных рукавах. Часто происходит отмирание целых систем дельтовых водотоков, уменьшается обводнение отдельных районов дельты. В устьях отмирающих водотоков усиливаются процессы абразии.

Водохозяйственные мероприятия в пределах дельты вызывают перераспределение стока по системам водотоков, что, как показано выше, приводит к значительным русловым деформациям.

Гидролого-морфологические закономерности процессов в устьях рек должны учитываться при прогнозе естественного развития дельт и изменения их режима, морфологии и природного комплекса в целом в результате водохозяйственных мероприятий. Учет этих закономерностей должен определять и стратегию искусственного регулирования процессов дельтообразования. Интенсивность и направленность процессов дельтообразования можно регулировать либо изменяя основные определяющие факторы — сток воды и наносов, поступающих в устье реки, либо искусственно перераспределяя сток по пространству дельты с помощью вододелителей, контролирующего водозабора, перекрытия водотоков, сооружения систем каналов и т. д. В условиях дефицита водного стока рек такие мероприятия становятся единственным реальным способом искусственного перенесения из одной части дельты в другую зон дельтообразования, зон возникновения или отмирания русловой сети, выдвигания дельты в море или ее волнового разрушения, зон увеличения или уменьшения обводнения. При существенном уменьшении речного стока приходится либо смиряться с неизбежным отмиранием части гидрографической сети дельты и сопутствующим уменьшением обводнения, либо осуществлять сложные и дорогостоящие мелиоративные мероприятия с рациональным распределением площади дельты между различными отраслями народного хозяйства, например, сельским и рыбным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамика гидрографической сети непривливых устьев рек/В. Н. Михайлов, М. М. Рогов, Т. А. Макарова, В. Ф. Полонский.— М.: Гидрометеоздат, 1977.— 294 с.
2. Михайлов В. Н. Динамика потока и русла в непривливых устьях рек.— М.: Гидрометеоздат, 1971.— 260 с.
3. Самойлов И. В. Устья рек.— М.: Географгиз, 1952.— 526 с.
4. Руководство по гидрологическому исследованию морских устьев рек.— М.: Гидрометеоздат, 1965.— 30 с.
5. Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и устьях рек при инженерных изысканиях.— М.: Гидрометеоздат, 1973.— 535 с.