

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ЗОНЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОД СУШИ И МОРЯ В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ РЕК

В. А. Милошевич, А. Ю. Сидорчук

Одна из важных задач изучения географических систем заключается в определении их границ. Эта задача усложняется в случае отсутствия явных морфологических различий между геосистемами, когда пограничная область может быть выделена только с привлечением данных о характере функционирования геосистем. При этом приходится учитывать, что граница между геосистемами — всегда некоторая переходная область, ширина которой зависит от степени различия свойств геосистем и выбранного критерия их разделения, и что положение этой пограничной области в пространстве изменяется во времени.

Настоящая статья посвящена выделению верхней границы зоны взаимодействия между водами суши и океана в устьевых областях Яны и Индигирки. Основными критериями для установления этой границы является дальность проникновения вещества и энергии вод океана в реку, что выражается в изменении уровней воды, скорости направлений течения и химического состава воды в реке под воздействием морских факторов. В свою очередь, динамика водных масс дельтовых водоемов находит свое отражение в морфологии русла и характере русловых переформирований, которые в интегральном виде несут информацию об осредненной за длительный период времени энергии руслового потока.

Устьевые области Яны и Индигирки расположены в пределах побережья морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Среднегодовой расход воды, поступающей в дельту Яны, равен $916 \text{ м}^3/\text{с}$. В вершине дельты Индигирки среднегодовой расход воды составляет $1570 \text{ м}^3/\text{с}$, а расход наносов — $360 \text{ кг}/\text{с}$. Гидрологический режим обеих рек восточносибирского типа — со снего-дождевым питанием, половодьем в конце мая — начале июня, многочисленными летними паводками, по мощности не-

редко превосходящими половодье, и зимней меженью, начинаю-
щейся с ледоставом в конце сентября — начале октября, когда
расходы воды в устьевых областях рек практически равны ну-
лю. По характеру воздействия вод океана на динамику водных
масс рек в дельтах Яны и Индигирки можно выделить две зо-
ны: зону проникновения вещества вод океана в реку (зону
засоленных вод и обратных течений); зону энергетического воз-
действия океана на воды реки (зону сгонно-нагонных и при-
ливных колебаний уровня воды в реке).

Первая зона весьма ограничена по протяженности. Ее верх-
няя граница в периоды повышенного речного стока вытесняет-
ся на устьевое взморье, а иногда и за его пределы. Лишь очень
сильные нагоны, высотой 1 м и более, создают возможность
проникновения соленых вод океана в протоки дельт и, изме-
няя уклон водной поверхности реки на обратный, вызывают
обратные течения. Верхняя граница обратных течений в это
время может проходить в протоках дельты Яны, в 10—15 км
выше устьевого створа. При переходе реки к зимнему режиму
с очень малыми расходами воды верхняя граница первой зоны
может располагаться в 30—40 км от устьевого створа, как это
ежегодно наблюдается в дельте Яны. Верхняя граница первой
зоны в каждый конкретный момент времени легко устанавли-
вается непосредственными гидрологическими и гидрохимиче-
скими наблюдениями.

Область распространения второй зоны — зоны энергетиче-
ского воздействия океана на воды реки — определяется сгонно-
нагонными и приливо-отливными колебаниями уровня воды.

Влияние приливов — отливов на изменение уровня воды в
дельтах рассматриваемых рек незначительно. Приливные вол-
ны проникают вверх по течению не более чем на 10—15 км от
устьевого створа. Амплитуда приливной волны зависит от ле-
довитости Восточно-Сибирского моря и моря Лаптевых: в пе-
риоды стояния льдов у свала глубин приливные колебания
уровня не превосходят 5 см, а с очищением морей ото льда
возрастают до 10—15 см. Область распространения приливо-
отливных колебаний уровня та же, что и первой зоны, но в
отличие от последней воздействие их на речной поток посто-
янно.

Основные же критерии в определении верхней границы об-
ласти взаимодействия вод суши и океана в каждый конкрет-
ный момент времени — сгонно-нагонные колебания уровня
воды.

Эти колебания формируются под действием ветра и дости-
гают наибольшей величины на устьевом взморье. Распростра-
няясь вверх по реке, они встречают сопротивление потока и на
некотором расстоянии от устьевого створа затухают. Выделе-
ние непериодической составляющей, каковыми и являются сгон-
ны и нагоны, из общего хода уровня представляют самостоя-

тельную задачу, решение которой в каждом конкретном случае связано с полнотой исходного материала. Для устьевых областей Яны и Индигирки удовлетворительные результаты получены при использовании линейной связи между уклоном водной поверхности на устьевом участке и уровнем воды в вершине дельты, куда сгоны и нагоны не проникают. При этом использовались данные о ветре над устьевым взморьем и наблюдения за уровнем воды на различных постах устьевых участков. Анализ показал, что уровни воды и ветра, измеренные в районе устьевого створа, хорошо согласуются друг с другом. В результате того же анализа были выделены эффективные направления ветра, которые вызывают сгоны и нагоны. Для обоих устьевых участков сгонными являются ветры восточных румбов, ветры же западных румбов вызывают нагоны. Построенные расчетные зависимости позволили получить данные о стоковом уровне, которые использовались для вычисления величин сгонов и нагонов. Их значения находились как разность фактически наблюдаемого и стокового уровня.

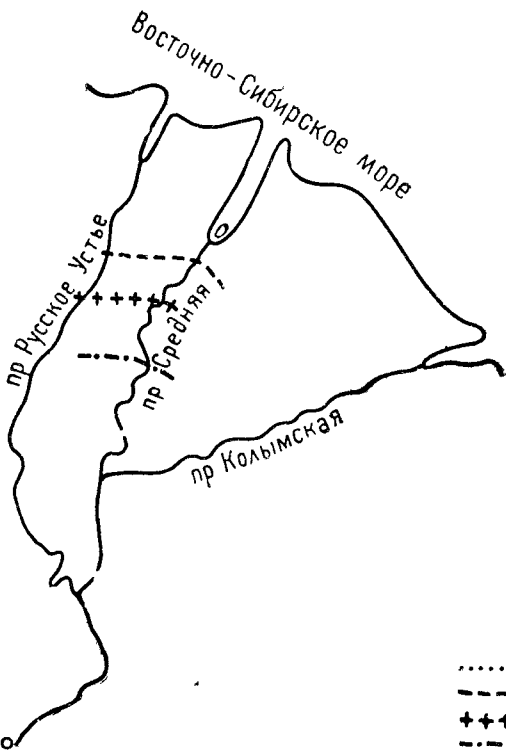
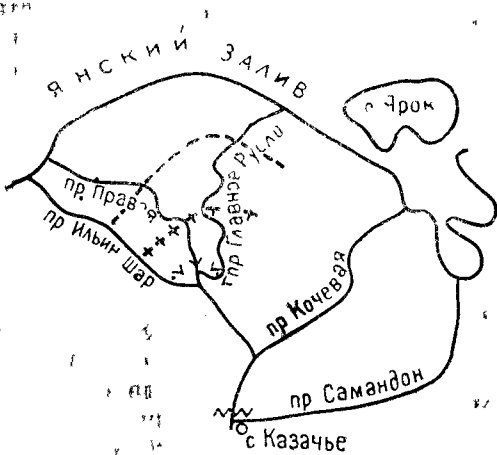
Среди полученных величин сгонов и нагонов наибольшие их значения за период наблюдений составляют 2 м. Это соответствует повторяемости один раз в 10 лет. Однако имеются сведения (Хмызников, 1934; Мустафин, 1961) о более высоких нагонах, когда около половины территории дельты Яны было залито водой. Примерный расчет позволяет оценить высоту такого нагона в 5 м. К сожалению, для дельты Индигирки, как менее изученной области, такие данные отсутствуют.

В результате проведенных расчетов были получены границы распространения нагонов различной повторяемости в устьевых областях исследуемых рек (рис. 1а, б).

Выявление дальности проникновения нагонных волн в дельтах рек дает возможность установить верхнюю границу энергетического воздействия вод океана на речные воды. Время, в течение которого граница располагается на выявленной линии, измеряется продолжительностью нагонной ситуации (2—3 сут.). Строго говоря, в каждый конкретный момент времени эта граница проходит в некоторых вполне конкретных координатах, зависящих от величины стока реки, распределения его по рукавам дельты, силы нагонного ветра и времени его действия. И при выделении в дельтах рек верхней границы области взаимодействия вод суши и океана по критерию дальности проникновения нагонов, можно говорить только о сиюминутной границе и о частоте прохождения границы через данную точку. Для характеристики верхней границы зоны взаимодействия вод суши и океана в среднем за длительный период времени этот критерий не годится. Характеризовать верхнюю границу воздействия вод океана на воды реки может только такой объект или процесс, который в своем облике или течении в интегральной форме содержит информацию о длительности и

1953 г.

1954 г.



- 1
- 2
- +++++ 3
- .-.-.- 4
- v.v.v.v. 5
- ~~~~~ 6

интенсивности динамических процессов происходящих в речных и морских водах. Этим условиям полностью удовлетворяют русловые формы дельтовых рукавов и интенсивность прохождения здесь русловых переформирований.

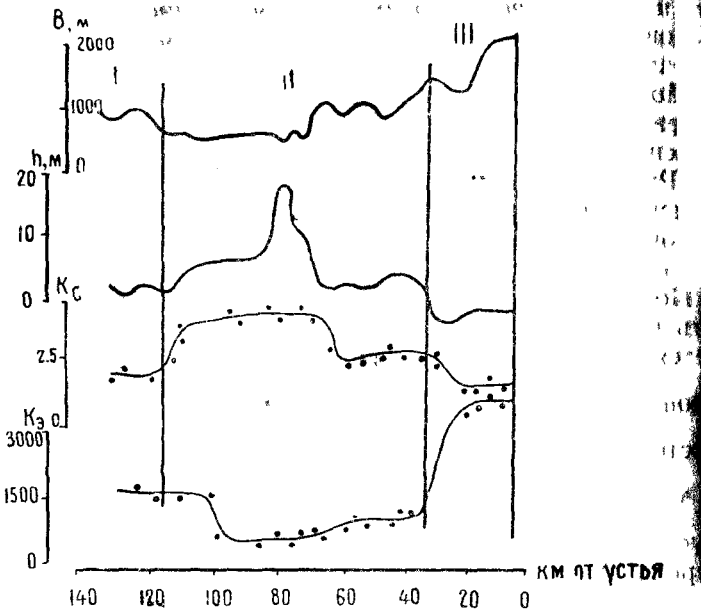
Морфологию, аллювий и переформирование русел протоков устьевых областей Яны и Индигирки рассмотрим на примере двух основных судоходных рукавов. Для Яны это протока Главное Русло, а для Индигирки протока Средняя. Такой выбор объясняется полнотой гидрографического материала по этим протокам и типичным для всех рукавов дельт русловым процессом.

По морфологии русла рассматриваемых протоков можно разбить на три участка (рис 2 а б). Первый участок характеризуется развитием в основном пологих сегментных излучин с отношением $\frac{S}{l} < 16$ где S — длина русла по излучине l — расстояние по прямой между точками смены знака кривизны на меандре и отношением $\frac{R}{B} > 3$ (B — ширина русла, R — радиус кривизны излучины). В русле широко развиты осередки и острова создающие рукавность. Средняя ширина русла внутри лажной излучины превышает 500 м, а относительные глубины $\frac{H}{B}$ невелики (0,01—0,02).

На втором участке в верхней его части (рис 2) русло образует серии сегментных, а в протоке Главное Русло и сундучных излучин с большей крутизной для которых повсеместно выполняется условие безогрывочного обтекания потоком вогнутого берега. В пределах этого участка водоток течет единым руслом. Здесь уменьшается относительно первого участка ширина русла, возрастает глубина. Соответственно значительно увеличивается относительная глубина. Нижняя часть того участка — это область развития «заваленных» вверх по течению излучин. Для протоки Главное Русло асимметричность излучин проявляется гораздо резче чем на протоке Средней. На этой части второго участка несколько увеличивается средняя ширина русла, уменьшается глубина падает отношение $\frac{H}{B}$. На третьем участке русла проток следует пологими изви-

Рис. 1. Верхние границы проникновения нагонов различной высоты в устьевых областях Яны (а) и Индигирки (б). 1 — высота нагона 0,3 м выше этой линии нагон проходит один раз в 3 дня. 2 — высота нагона 0,6 м выше этой линии нагон проходит один раз в 5 дней. 3 — высота нагона 1 м выше этой линии нагон проходит один раз в год. 4 — высота нагона 1,5 м выше этой линии нагон проходит один раз в 5 лет. 5 — высота нагона 2 м выше этой линии нагон проходит один раз в 10 лет. 6 — высота нагона 5 м случается один раз в 20—30 лет.

а



б

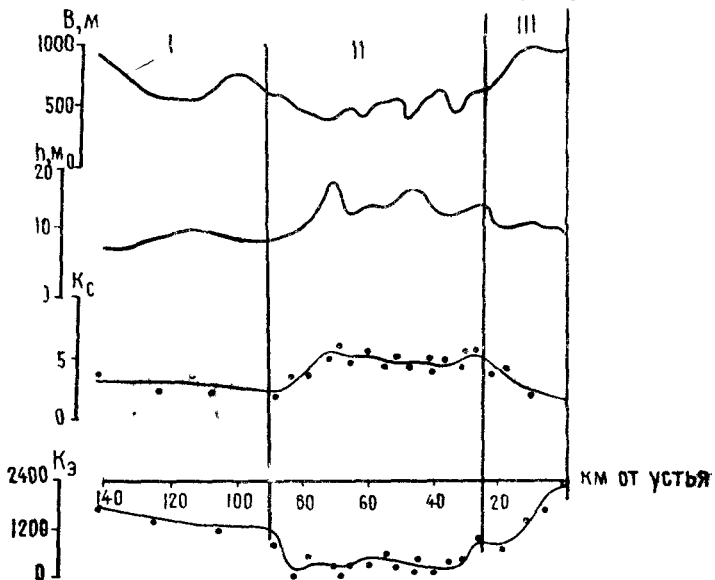


Рис. 2 Изменение по длине дельтовых рукавов Среднего в дельте Инди-
 гирки (а) и Главного русла в дельте Яны (б). B — ширина русла; h — сред-
 няя максимальная глубина русла; K_c — устойчивость русла, K_z — интен-
 сивность руселовых переформирований, I, II, III — номера участков

динами в низменных берегах мористой части дельты. В русле снова появляются осередки и острова. Ширина русла сильно увеличивается к низовьям, протоки приобретают вид эстуария. Резко уменьшается средняя и относительная глубина русла.

По характеру изменения донных наносов рассматриваемые русла дельтовых проток разделяются на те же участки, что и по морфологии (анализируется изменение медианного диаметра донных наносов пристрежневой зоны, осредненное по длине каждой излучины русла). Вдоль первого участка медианный диаметр пристрежневых грунтов уменьшается, в пристрежневой зоне располагаются мелко- и мелко-среднезернистые пески. Дальнейшее уменьшение медианного диаметра самых крупных наносов русла происходит на втором участке, где преобладают тонкие и мелкие пески. На третьем участке происходит общее падение медианного диаметра пристрежневых наносов. Однако днища плесов наиболее узких отрезков русл выстилаются мелкими и мелкосреднезернистыми песками.

Изменение вдоль русл дельтовых проток их устойчивости оценивалось с помощью коэффициента стабильности Н. И. Макавеева (1967):

$$K_c = \frac{d_{cp}}{J \cdot B} \cdot 100 ,$$

где d_{cp} — средний на отрезке русла диаметр наносов; J — уклон; B — ширина русла. Коэффициент стабильности вычисляется для каждой излучины. Выяснилось, что на первом участке устойчивость русла мала. Для Главного Русла (р. Яна) K_c не превосходит 6, а для протоки Средней (р. Индигирка) еще меньше — около 2. На втором участке устойчивость русла вначале возрастает до 10 (Главное Русло) и до 5 (протока Средняя); в нижней же части участка наблюдается некоторая тенденция к уменьшению коэффициента стабильности. Значение K_c резко падает на третьем участке, снижаясь соответственно до 1 и 0,5.

Таким образом, выделенные только по морфологическим признакам участки русл основных проток существенно различаются и по характеру руслового аллювия, и по устойчивости русл. Следовательно, можно ожидать различий и в характере, и в интенсивности современных русловых переформирований на выделенных участках.

Русловые переформирования в основных рукавах дельт Яны и Индигирки рассматривались на примере плановых деформаций, которые выражены в смещениях стрежня потока внутри русла и передвижении всей формы русла по долине, поскольку вертикальные переформирования русл проток выражены слабее и в основном не приводят к однонаправленным изменениям среднего положения отметок дна.

Интенсивность плановых русловых переформирований оценивалась коэффициентом эрозионной способности $K_э$, который получен в предположении, что интенсивность отступания берегов пропорциональна величине радиальной скорости на излучине:

$$K_э = \frac{v_p R}{v_{cp} H},$$

где v_p — средняя скорость размыва берегов русл, м/год; R — радиус кривизны, м; H — средняя максимальная глубина русла, м; v_{cp} — средняя скорость потока, м/с. По степени эрозионной способности русла протока разбивается на те же участки, что и по морфологии, донным грунтам и устойчивости.

Первому участку соответствует высокая эрозионная способность русла: $K_э$ около 1000 для Главного Русла и 1300 для протоки Средней. На протяжении второго участка эрозионная способность русла резко уменьшается до 150, а в конце несколько повышается. Своего максимума она достигает в низовьях основных рукавов дельт: до 2000 для протоки Главное Русло и 3000 для протоки Средней. Сравнение $K_э$ с коэффициентом стабильности K_c , хорошо зарекомендовавшим себя в практике оценки устойчивости самых разных рек, обнаружило обратную связь между значениями коэффициентов, вычисленных для излучин исследуемых проток. Это показывает, что физический смысл $K_э$ как показателя интенсивности русловых переформирований определен верно.

Итак, русла проток дельт Яны и Индигирки согласно принятым критериям для определения границ разбиваются на три участка. Первый — с полого-меандрирующим руслом, разбитым на рукава русловыми островами, со сползающими вниз по руслу грядами и широко блуждающей динамической осью потока — характеризуется относительно крупнозернистым аллювием, малыми коэффициентами стабильности русла и высокой эрозионной способностью потока (рис. 2). Первый участок совпадает с зоной преобладания речных факторов в гидрологии рукавов. Катастрофические нагоны, которые доходят сюда один раз в 20 лет (рис. 1), не оказывают влияния на русловые формы этого участка.

Второй участок, в пределах которого крутизна излучения возрастает, характеризуется мелким русловым аллювием, относительно высокой стабильностью русла и малой эрозионной способностью (рис. 2). Этот участок в верхней его части находится в зоне периодического подпорного влияния моря. Если влияние нагонов высотой 2 м и повторяемостью один раз в 10 лет почти не ощущается, то нагоны высотой 1 м, повторяющиеся ежегодно, оказывают влияние на русловые формы (рис. 1). В этой части второго участка начинают сочетаться

речные и морские гидрологические факторы. В нижней части второго участка излучины становятся «заваленными» вверх по течению, падает устойчивость русла и возрастает эрозионная способность. Здесь влияние моря на гидрологию речных водных масс становится ощутимым, наряду с нагонами большое значение приобретают сгоны.

Третий участок — область развития пологих излучин с большими радиусами кривизны. Ширина русла сильно возрастает, аллювий в днищах плесов варьирует по медианному диаметру в широких пределах — от мелких алевритов в расширенных участках до мелко-средних песков в сужениях. Мала устойчивость русла, резко увеличивается эрозионная способность. Третий участок русла — это область повышенной динамики водных масс; кинетическая энергия речной воды намного увеличивается сгонами и нагонами, ветровым волнением. Этот участок русла непосредственно переходит в наиболее изменчивый и подвижной элемент рельефа дельт — устьевой бар.

Отчетливая связь между зоной возрастания интенсивности русловых переформирований в низовьях дельтовых рукавов и областью наиболее активного энергетического воздействия вод океана на воды суши позволяет предположить, что именно увеличение энергии речного потока процессами, происходящими в океане, и привело к наблюдаемому падению устойчивости русла и росту активности русловых процессов. Так как характер руслового процесса на уровне перемещения речных извилин несет информацию об энергии русла в среднем за длительный период времени (для Яны и Индижкирки это несколько десятков лет), то верхняя граница нижнего участка повышенной интенсивности русловых переформирований и будет верхней границей зоны взаимодействия вод океана и суши в среднем за период времени в несколько десятков лет. Это, конечно, не линия, а некоторая полоса, охватывающая в протоке Главное Русло дельты Яны 20—40 км от устьевого створа, а в протоке Средней дельты Индижкирки — 40—60 км от устьевого створа.

Таким образом, в зависимости от времени осреднения верхняя граница области взаимодействия вод суши и океана располагается в различных местах дельты. При времени осреднения порядка нескольких суток она совпадает с верхней границей сгонно-нагонного изменения уровня и может быть определена со значительной точностью.

ЛИТЕРАТУРА

- Маккавеев Н. И., Шатаева С. Г., Митякова М. Н. Показатель устойчивости русла реки — «Метеорология и гидрология», 1967, № 5.
Мустафин Н. В. О катастрофических нагонах в юго-восточной части моря Лаптевых — «Проблемы Арктики и Антарктики», вып. 17, 1961.
Хмызников П. К. Гидрология бассейна реки Яны. М., Изд-во АН СССР, 1934.