

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНОГО И РУСЛОВОГО РЕЖИМОВ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ ЕНИСЕЯ

Енисей — самая большая река нашей страны и одна из крупнейших в мире, "могучая река", "необычно мощная река", "великая подная магистраль" (по выражениям Е.В.Близняка) — имеет также одну из самых протяженных в мире устьевых областей.

Морская граница устьевой области вследствие опресняющего влияния огромного стока Енисея (средний годовой сток в море 603 км^3) простирается далеко в Северном Ледовитом океане, на большом расстоянии от входа в Енисейский залив. Речная граница устьевой области располагается в районе впадения р.Нижней Тунгуски в Енисей, куда в периоды низкого стока могут распространяться нагонные колебания уровня.

В состав устьевой области Енисея входят, во-первых, устьевой участок реки (длиной 870 км), включающий придельтовый участок и собственно дельту (длиной 200 км), а, во-вторых, устьевое взморье, включающее Енисейскую губу (длиной 120 км), Енисейский залив (длиной 125 км) и прилегающую часть Карского моря. Устьевая область Енисея находится в стадии формирования дельты выполнения узкого и глубокого морского залива, образовавшегося в результате затопления долины реки при последнем подъеме уровня моря. В связи с относительно малым для такой мощной реки стоком наносов (в среднем II млн. тонн в год) формирование дельты идет очень медленно (ее площадь не превосходит 4500 км^2).

По длине всей устьевой области реки сохраняются значительные глубины. Поэтому устьевая область Енисея давно привлекает внимание исследователей прежде всего как транспортный путь в глубь Сибири. Значение Енисея и его устьевой области в решении транспортных проблем было сформулировано Е.В.Близняком после его путешествия по Нижнему Енисею в 1912 г.: "В последнее время, параллельно с вопросом о северном морском пути в устье Енисея, ... естественно, повысился интерес к Енисею, этой великой всдной магистрали, вполне судоходной от деревни Означенной до Ледовитого океана" /2/.

С Нижним Енисеем и его устьевой областью связаны имена крупнейших исследователей конца прошлого и начала нашего века. Первая съемка низовьев и дельты Енисея была проведена А.И.Андреевым в 1866 г. во время Туруханской экспедиции И.А.Лопухина. В 1875-1876 гг. на Нижнем Енисее был Н.А.Э.Норденшельд. Новая съемка Нижнего Енисея с подробным промером была осуществлена в 1894 г. А.И.Вилькицким (этой съемкой пользовался во время своего путешествия Е.В.Близняк). Отмечал большое значение устья Енисея и адмирал С.О.Макаров, совершивший сюда путешествие в 1897 г. В 1913 г. устье Енисея посетил Ф.Нансен.

Огромная роль в исследовании всего Енисея и его устьевой области принадлежит Е.В.Близняку, удостоенному за изучение этой сибирской реки большой серебряной медали Русского географического общества. В 1912 г. Е.В.Близняк, тогда инженер путей сообщения, совершил путешествие по Нижнему Енисею с целью "провести общую рекогносцировку с продольным промером на всем протяжении Нижнего Енисея, сколько удастся спуститься" ... /1/. Экспедиция под руководством Е.В.Близняка исследовала участок

реки от Енисейска до Дудинки, осуществив попутно обстановку и траление на некоторых перекатах и открыв несколько водомерных постов, в том числе в Дудинке.

В результате этой экспедиции Е.В.Близняк дал не только гидрографическую характеристику реки, но также описал природу, условия жизни района, отметив, что "этот суровый край имеет вообще много интересного и оригинального" /1/.

Е.В.Близняка очень интересовало устье Енисея и особенно его дельта. Он писал, что "... было бы интересно пройти обширную дельту Енисея, среди лабиринта Бреховских островов, половаться грандиозной 45-верстной ширию реки, а вместе с тем осмотреть знаменитую Яковлевскую косу, на которую жалуются чуть ли не все судоходы Нижнего Енисея" /1/.

Природа, естественные богатства и люди Нижнего Енисея произвели на Е.В.Близняка огромное впечатление. Он прекрасно видел большие перспективы социального и экономического развития этого района, понимал роль Енисея и его устья в качестве важнейшей водной магистрали, связывающей северный морской путь с глубинами страны. Он писал: "необходимо всячески поощрять попытки плавания далеким и трудным морским путем, ибо экономическое развитие Сибири без дешевого водного сообщения невозможно..." /2/.

Завершая свое живое описание путешествия по Нижнему Енисею, Е.В.Близняк вспоминал: "Как во сне проносились картины недавнего путешествия: вспоминалась могучая река, полуденное солнце, безграничные леса, белеющие по зрегам снега, вспоминались с наивными лицами декари, в расшитых бисером одеждах... и стало больно за богатый край, который такт в себе несметно"

богатства, втуне лежащие и ожидающие лучшего будущего, когда придут живые, полные энергии люди и выведут эти богатства на свет и дадут их мощной рукой через студеные моря, и очень хотелось верить, что это будущее недалеко" /2/.

Слова Е.В.Близняка, сказанные еще в начале века, оказались пророческими. В настоящее время Нижний Енисей и его устьевая область преобразились. Активно используются минеральные богатства края. На весь мир знамениты Норильский комбинат и его авалпорт Дудинка, лесной порт Игарка (оба порта связаны водным путем со всем бассейном Енисея и многими морскими портами). Сам же Енисей с каждым годом работает как транспортный путь все более и более напряженно. Существенно удлинилась навигация на линии Мурманск-Дудинка с введением для проводки судов в зимнее время ледоколов типа "Москва" и "Сибирь". Увеличились габариты водного пути и растет грузооборот перевозок.

Расширение воднотранспортного использования Нижнего Енисея, о котором мечтал Е.В.Близняк, потребовало проведения новых исследований. Начатые Е.В.Близняком и его современниками исследования были развиты и продолжены. Особенно много сделано по исследованию гидрологического режима устья Енисея в последние десятилетия. Основной целью таких исследований, как и во времена Е.В.Близняка, было обеспечение потребностей водного транспорта. Обширные работы по изучению водного, ледового и термического режима устья Енисея проведены в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (В.С.Антоновым, А.Г.Будькиной, В.В.Ивановым, Н.Г.Маслаевой, Ю.В.Налимовым, Е.Н.Урановым и др.). В ААНИИ проведены специальные исследования распределения стока воды по рукавам, уровней воды и течений в дельте Енисея /6,8,9,10/. Ряд крупных работ был вы-

полнен в ААНИИ по изучению режима и судоходных условий нижнеенисейских перекатов, а также по оценке влияния путевых работ на водный режим дельты /5,7,8/.

Широкие исследования устьевой области Енисея проведены в последние годы Московским государственным университетом /3, 4, II, I2/. В 1976-1978 гг. Проблемной лабораторией эрозии почв и русловых процессов Географического факультета МГУ выполнены экспедиционные исследования, позволившие выявить ряд новых закономерностей водного и руслового режимов устьевой области Енисея и особенностей процессов дельтообразования. На серии створов в дельте Енисея (рис. I) велись наблюдения за расходами воды и наносов, мутностью водн, скоростями течения. Проведены повторные промерные работы на перекатах и в рукавах дельты.

В исследованиях Географического факультета МГУ, проведенных с целью научного обоснования мероприятий по улучшению судоходных условий в устьевой области Енисея, решались две основные задачи: 1) оценка современного состояния водного и руслового режимов и 2) оценка ожидаемых изменений водного и руслового режимов в связи с естественными процессами дельтообразования и дальнейшим антропогенным изменением стока Енисея, в частности, вследствие возможной переброски части стока реки в другие бассейны.

Первая из этих задач решалась двумя основными методами: гидрометрическим и морфологическим. Гидрометрический метод позволил установить современное распределение стока воды и наносов по водотокам дельты Енисея и оценить их изменение в последние десятилетия.

В настоящее время сток воды и наносов Енисея перераспределяется по водотокам дельты в зависимости от изменения стока

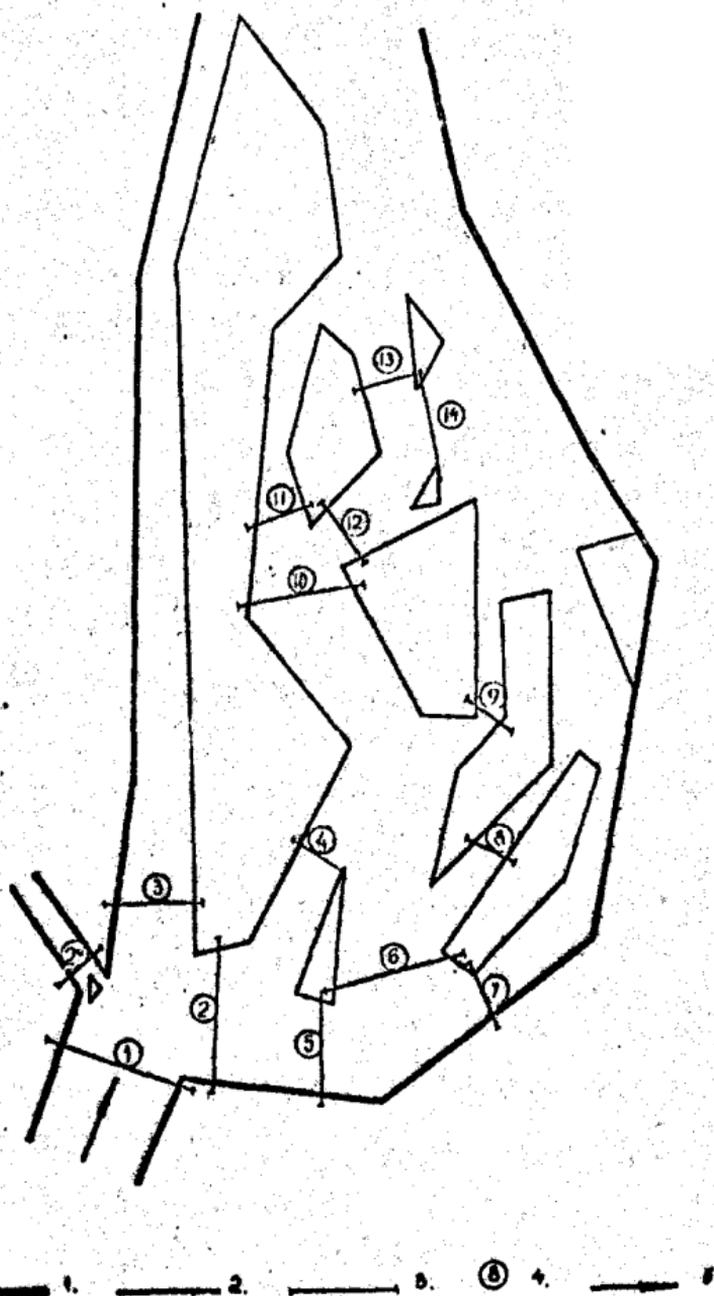


Рис. I . Схема расположения гидрометрических створов в восточной части дельты р.Енисей: 1 - границы дельты, 2 - острова, 3 - гидростворы, номера гидростворов в таблице: I : 5 - направление течения реки

реки следующим образом. При снижении водности реки доля стока воды Большого Енисея на всем его протяжении (кроме участка западнее о-вов Песчаных) увеличивается, так же ведет себя доля стока проток Охотской и Чаяшной. Увеличивается доля стока и в истоке Каменного Енисея и протоки Судной, но с уменьшением стока вод, поступающих в узлы разветвления Большого Енисея и этих рукавов, доля стока в них уменьшается. В остальных рукавах и протоках (Малом Енисее, протоках Лопатной и Лебяжьей) с уменьшением водности реки доля стока уменьшается как относительно общего стока, так и стока, поступающего в соответствующие узлы разветвления.

Распределение расходов взвешенных наносов по основным рукавам в восточной части дельты происходит следующим образом: большую часть стока наносов (от 43 до 65%) забирает Большой Енисей; от 7 до 24% - Каменный Енисей; от 11 до 26% - Малый Енисей и от 3-5 до 1-3% - Охотская и Судная протоки. Второстепенные рукава (Лопатная, Чаяшная, Судная, Охотская) в меру увеличивают долю стока наносов от поступающих в соответствующий узел разветвления и играют роль нанососоотсасывающих.

Процессы аккумуляции и размыва в целом для рукавов восточной части дельты зависят от фазы гидрологического режима: аккумуляция от 30 до 37% поступающего в истоки проток материала происходит при расходах в вершине дельты более 30000 м³/с. При расходах менее 30000 м³/с преобладает транзит взвешенных наносов. Особое место занимает Каменный Енисей, где при расходах воды менее 60000 м³/с наблюдается размыв в русле.

Морфологический метод заключается в анализе материалов аэрофотосъемок, разновременных карт, данных повторных промеров перекатов. Эти исследования позволили выявить основные законо-

мерности русловых и дельтообразующих процессов в устьевой области Енисей, динамику гидрографической сети путем сравнения различного картографического материала.

Значительная аккумуляция отмечена в центральной части дельты, где накопление наносов преобладает над размывом. Относительно активные русловые переформирования происходят в узле деления рукава Большой Енисей на протоки Лопатную и Турушинскую; приверх о-ва Лопатного отступил вниз по течению с 1866 г. на 4,6 км, а площадь о-ва сократилась вдвое; возникли и нарастают острова Коровий и Лебяжий. Упомянутая Е.В.Близняком Яковлевская коса, в настоящее время соединившись с косой Гостининой, контролирует правую кромку переуглубленной русловой борозды на расстоянии 50 км. Однако непосредственного затруднения для транзитного плавания она не создает, хотя глубины на ней не превышают 3-4 м. Ширина судоходного фарватера с глубинами более 10 м составляет здесь от 3 до 5 км, а максимальные глубины - 17-25 м.

В целом же изменение рисунка гидрографической сети, планового положения основных островов в дельте Енисей идут значительно медленнее, чем в устьях многих других рек СССР /13/.

С другой стороны, на основе сопоставления крупномасштабных съемок установлено, что более мелкие русловые формы рельефа в пределах дельты весьма чутко реагируют на многолетние и сезонные изменения стока воды и наносов. Однако эта реакция различна в разных частях дельты. На Безымянном перекате, расположенном ближе к вершине дельты, в маловодные годы, например, в 1964-1972 гг. наблюдалось разрастание приверха осередка и повышение отметок дна на перекате; в многоводные годы (1958-1963, 1974-1975 гг.) судоходный рукав спрямляется, перекат

размывается. Турушинский пережат, расположенный в нижней части дельты, в годы с низким половодьем размывался на 0,5-0,7 м; в годы же с высоким половодьем на нем происходило отложение наносов и повышение отметок дна на 0,7-1,0 м. Однако длительные маловодные периоды приводят к аккумуляции наносов на Турушинском пережете. Таким образом, снижение высоты половодья приводит в верхней части дельты к занесению русел, а в нижней части дельты - к их углублению. Общее уменьшение стока воды приводит к повсеместному уменьшению глубин.

Вторая задача исследований в дельте Енисея, связанная с оценкой ожидаемого изменения режима, решалась тремя методами: с помощью связей между элементами режима, установленных гидрометрическим методом; методом тенденций; гидравлико-морфометрическим методом.

Полученные связи между расходом воды реки и стокowymi составляющими уровня воды на разных постах, между расходом воды реки и расходами воды в различных водотоках дельты позволяют оценить изменение стокowych уровней воды и расходов воды в водотоках дельты при любых антропогенных изменениях поступающего в устьевую область стока. Таким образом, может быть оценено влияние на режим устья Енисея как вьятия стока (в том числе на переброску), так и его регулирования. Однако непременным условием применения этого метода является допущение об отсутствии значительных сопутствующих русловых деформаций. Учитывая их небольшую интенсивность в дельте Енисея, метод, по видимому, может быть использован для прогноза уровней и расходов воды в устье Енисея на ближайшие 20 лет.

С помощью установленного морфологическим методом характера изменения русел, водотоков дельты была определена тенденция

этих процессов и сделаны ориентировочные оценки ожидаемых в ближайшие 30-50 лет изменений морфологии рукавов дельты (табл. I). Исходя из того, что в большинстве случаев увеличение дочи стока в дельтовом водотоке при снижении водности является косвенным признаком возможной активизации этого водотока, были привлечены данные гидрометрических наблюдений (табл. I).

Оценки, сделанные с помощью метода тенденции, были подкреплены гидравлико-морфометрическим методом, суть которого состоит в определении некоторых соотношений между гидравлико-морфометрическими характеристиками водотоков дельты, отвечающих условию их устойчивости, сравнении "устойчивых" и фактических значений характеристик водотоков и определения на этой основе тенденции их возможного изменения.

Для расхода Енисея $70000 \text{ м}^3/\text{с}$, оказавшимся близким к руслоформирующему, получены следующие приближенные связи между осредненными "устойчивыми" характеристиками водотоков дельты и расходами воды в них:

$$\omega_0 = 7,0 \cdot Q^{5/6},$$

$$B_0 = 25,3 \cdot Q^{1/2},$$

$$h_0 = 0,28 \cdot Q^{1/3},$$

$$v_0 = 0,142 \cdot Q^{1/6},$$

где: ω_0 , B_0 , h_0 , v_0 - "устойчивые" значения площади поперечного сечения, ширины, глубины и средней скорости течения, Q - расходы воды водотоков. Коэффициенты гидравлико-морфометрических зависимостей, полученных для дельты Енисея, оказались существенно отличными от коэффициентов зависимостей для других дельт СССР [13]. Ширина и глубина водотоков дельты Енисея значительно больше, чем в дельтах других рек при одних и тех же

Направленность русловых деформаций в водотоках
дельты Енисея, установленная разными методами

№ створа	Рукав, протока	По методу			По совокупности методов
		тенденции изменения морфологии русла	гидрометрическому	гидравлично-метрическому	
1.	Енисей	+	+	+	+
2	Бол. Енисей	+	+	нет	+
2а	Охотская	-	+	+	+
					(локально)
3	Мал. Енисей	-	-	-	-
4	Бол. Енисей	-	-	+	-
5	Бол. Енисей	+	+	нет	+
6	Бол. Енисей	+	+	нет	+
7	Кам. Енисей (исток)	-	-	-	-
8	Судная	-	-	-	-
9	Чаяшная	+	+	+	+
10	Бол. Енисей	+	-	нет	+
11	Лопатная	-	-	?	-
12	Бол. Енисей	+	+	?	+
13	Бол. Енисей	-	+	-	-
14	Лебяжья	-	-	-	-
15	Кам. Енисей	+	+	нет	+

Примечания: активизация водотока (+)
отмирание (-)
нет информации (нет)
тенденция неопределенная (?)

руслоформирующих расходах воды. Это объясняется, по-видимому, значительно меньшей мутностью воды Енисея, чем у других рек.

Как и в устьях других рек, стадии активизации водотоков в дельте Енисея, как правило, соответствуют следующие соотношения между "фактическими" и "устойчивыми" характеристиками:

$\omega < \omega_0$, $B < B_0$, $h > h_0$, $v > v_0$: стадии отмирания - обратные соотношения. Хорошим признаком активизации водотока являются соотношения:

$$\frac{B}{h} < \frac{B_0}{h_0} = \frac{K_B}{K_h} \cdot Q^{1/6} = 89,1 \cdot Q^{1/6},$$

$$\frac{B^{2/3}}{h} < \frac{B_0^{2/3}}{h_0} = \frac{K_B^{2/3}}{K_h} = 30,5$$

Стадии отмирания отвечают обратные соотношения. Результаты применения этого метода также отражены в табл. I.

Совместное применение всех трех методов позволило установить общую направленность развития водотоков устья Енисея.

Основной рукав дельты - Большой Енисей - на большем своем протяжении активизируется, но в устьевой части в нем происходит отложение наносов, образование новых островов, здесь сформировался лимитирующий судоходство Турушинский пережат. В стадии активизации здесь находится протока Чайшная, устьевая часть Каменного Енисея. Остальные протоки и рукава имеют тенденцию к стмиранию. Расхождения в оценке направленности развития по разным методам протоки Охотской объясняется тем, что методом тенденции оценивалась направленность развития всего крупного рукава Охотский Енисей, который с середины XIX века мелевает, дробится на мелкие протоки. Гидрометрический и гидравлично-морфометрический методы показывают активизацию (видимо, ло-

дальнюю) одной из этих мелких протоков.

Таким образом, в восточной части дельты Енисея намечается тенденция к переходу основного стока воды из системы Большого Енисея в систему Каменного Енисея через протоку Чапшную. При этом происходит консолидация массива островов, заполняющих почти прямой угол между широтным и меридиональным отрезками правого берега Енисея, и массива островов в центре восточной части дельты. Палеогеоморфологический анализ этапов формирования дельтовой равнины Енисея показывает, что аналогичная ситуация уже по меньшей мере дважды наблюдалась в дельте: примерно 6-7 тысяч лет назад произошла консолидация массива островов и переход основного стока в правый рукав в Крестовско-Мукуунинском расширении долины Енисея; около 2 тысяч лет назад в основном завершилась (хотя еще и сейчас происходит здесь аккумуляция наносов в мелких протоках) консолидация массива Больших Бреховских островов в центральной части дельты Енисея и переход основного стока воды в восточную часть дельты. Так, эта отмеченная тенденция подтверждается всем ходом истории развития дельты Енисея.

Существенное изъятие стока или его значительное зарегулирование водохранилищами с уменьшением руслоформирующих расходов воды может привести к усилению отмеченной тенденции.

Хотя сделанные оценки направленности процессов дельтообразования в устьевой области Енисея являются предварительными, их все же можно использовать при разработке практических мероприятий, связанных с выбором судоходных трасс через дельту Енисея, дноуглублением, возможным изъятием и регулированием стока реки.

В дальнейшем исследования водного и руслового режима устьевой области Енисея должны быть продолжены и расширены.

Л и т е р а т у р а

1. Близняк Е.В. Заметки о Нижнем Енисее. Петроград, 1914.
2. Близняк Е.В. По Нижнему Енисею, от г.Енисейска до селения Дудинки. Записки по гидрографии, том I (XII), вып.2, 1918.
3. Гаррисон Л.М., Коротаев В.Н., Сидорчук А.Ю. Голоценовая история формирования дельты Енисея. Третья Всесоюзная научная конференция "Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях" (тезисы докладов), МГУ, 1981.
4. Гаррисон Л.М., Коротаев В.Н., Сидорчук А.Ю. Палеогеоморфологический анализ дельтовой равнины р.Енисей. Вест.МГУ, сер.геогр., вып.6, 1981.
5. Граевский А.П., Иванов В.В., Пискун А.А. Оценка возможного перераспределения расходов и уровней воды в дельте р.Енисея при осуществлении путевых работ. В сб. "Природа Арктики в условиях межзонального перераспределения водных ресурсов (тезисы докладов)", Л., 1980.
6. Граевский А.П., Котрехов Е.П., Матвеев А.А., Уфимцев А. Результаты исследований течений на устьевом участке Енисея в летне-осенний период. Труды ААНИИ, том 358, 1980.
7. Иванов В.В., Гиляров Н.П. Режим нижнеенисейских перекатов, расположенных в зоне влияния моря. Труды ААНИИ, том 268, 1965.
8. Иванов В.В., Гиляров Н.П. Экспериментальные исследования перераспределения стока в дельте Енисея. Труды ААНИИ, том 297, 1972.
9. Иванов В.В., Котрехов Е.П. Оценка влияния речного стока на режим-уровней устьевого участка Енисея. Труды ААНИИ,

том 314, 1976.

10. Иванов В.В., Осипова И.В. Сток в устьевой области Енисея и его многолетняя изменчивость. Труды ААНИИ, том 308, 1974.

11. Коротаев В.Н., Милошевич В.А., Михайлов В.Н., Сидорчук А.Ю., Чалов Р.С. Оценка возможных изменений морфологии водотоков и гидрографической сети дельты Енисея. В сб. "Природа Арктики в условиях межзонального перераспределения водных ресурсов (тезисы докладов)", Л., 1980.

12. Коротаев В.Н., Сидорчук А.Ю., Чалов Р.С. Литодинамика дельт рек севера Сибири. "Водные ресурсы", № 1, 1980.

13. Михайлов В.Н. Динамика потока и русла в неприливых устьях рек. Гидрометеиздат, М., 1971.