

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 551.435.126(282.256.341)

ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. ВЕРХНЯЯ АНГАРА¹

© 2012 г. Т. Г. Потёмкина, Н. А. Ярославцев*, В. А. Петров*

*Лимнологический институт СО РАН
664033 Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3
E-mail: tat-pot@lin.irk.ru*

**Научно-исследовательский центр «Морские берега»
354002 Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 1*

Поступила в редакцию 18.07.2011 г.

Рассмотрены особенности гидролого-морфологических процессов в устьевой области Верхней Ангары — второй по водоносности реки, впадающей в оз. Байкал. Выявлены основные внешние факторы, определяющие эти процессы. Описаны основные черты водного режима дельты, включая влияние на нее техногенного повышения уровня озера. Особое внимание уделено морфологическим процессам в дельте и на береговом баре, отделяющем крупную устьевую лагуну от озера.

Ключевые слова: река, озеро, устьевая область, дельта, сток воды и наносов, морфологические процессы.

В последние десятилетия в устьевых областях многих рек мира под влиянием современных глобальных и региональных природных и антропогенных изменений стока рек и уровня морей произошли сложные гидролого-морфологические процессы. Выдвижение дельт в моря замедлилось, а в ряде случаев сменилось их отступанием и деградацией. Изменения произошли и в устьевой области второй по водоносности реки, впадающей в оз. Байкал, — Верхней Ангары. В устье этой реки в последние десятилетия происходят необратимые процессы — дельта отступает, увеличивается акватория устьевой лагуны, а отделяющий ее от озера береговой бар Ярки интенсивно размывается и в будущем может полностью исчезнуть. Переформирования в устьевой области реки — следствие естественных и антропогенных процессов, произошедших в бассейне реки и самом озере.

Научные исследования в северной части Байкала, где и расположена устьевая область Верхней Ангары, ранее направлены, преимущественно, на изучение береговой зоны западного берега озера в связи со строительством Иркутской ГЭС и Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (БАМ). В настоящее время повышение научного интереса к устью этой реки и к береговому бару Ярки вызвано деградацией последнего, а также необходимостью разработки мероприятий по защите его от размыва. Цель статьи — анализ совре-

менного состояния устьевой области Верхней Ангары, происходящих здесь гидролого-морфологических процессов и выяснение причин, вызвавших их изменения в последнее время. Исследование гидролого-морфологических процессов в устьевой области Верхней Ангары представляет научный, практический и экологический интерес. Оно важно для оценки современного состояния и перспектив дальнейшего развития устьевых областей других водотоков, впадающих в оз. Байкал, поскольку такие оценки ранее не делались. Полученный авторами информационно-аналитический материал может быть полезен в целях рационального природопользования и охраны устьев рек региона.

ГЕОГРАФО-ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРХНЕЙ АНГАРЫ И ЕЕ БАССЕЙНА

Гидрография и рельеф

Из более пятисот впадающих в Байкал рек Верхняя Ангара — вторая (после Селенги) по водоносности. Площадь ее бассейна 21 400 км², что составляет 3.6% площади водосбора озера.

Верхняя Ангара берет начало на Делюн-Уранском хребте с отметками высот 2300–2600 м и оканчивается дельтой в северной части оз. Байкал. Один из рукавов этой дельты впадает непосредственно в озеро, а второй — в крупную устьевую лагуну — зал. Ангарский Сор (рис. 1). Длина Верхней Ангары — 438 км, ее общее падение — 1205 м, средний уклон — 2.7‰.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 11-05-00140-а).

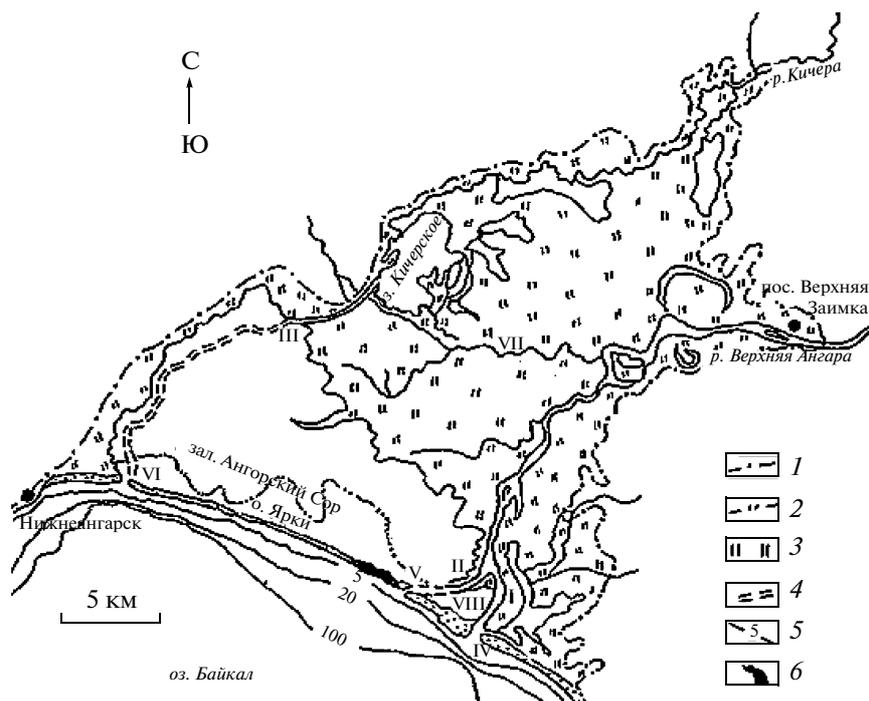


Рис. 1. Карта-схема устьевой области р. Верхняя Ангара. I, II, VII – рукава Дагарское Устье (собственно р. Верхняя Ангара), Среднее Устье (прот. Власиха) и Ангаракан соответственно; III – устьевой створ р. Кичеры; IV, V, VI – места выхода в озеро вод рукавов Дагарское Устье, Среднее Устье и р. Кичеры соответственно; VIII – о. Миллионный. 1 – граница устьевой области; 2 – лагунный край дельты в начале 1900-х гг.; 3 – заболоченная территория; 4 – подводные очертания русел рукавов; 5 – изобаты, м; 6 – промоины в береговом баре.

Гидрографическая сеть бассейна Верхней Ангары хорошо развита, количество ее притоков составляет 2291 с общей протяженностью 10363 км, средний коэффициент густоты речной сети 0.45 км/км² [18]. Наиболее крупные притоки реки – правобережная р. Чуро (1990 км²), левобережные реки Котера (7370 км²) и Светлая (2640 км²), впадающие в Верхнюю Ангару соответственно на 270-, 131- и 98-м км от устьевом створе.

По характеру русла и долины р. Верхняя Ангара условно может быть подразделена на три участка: верхний – протяженностью 112 км (от истока до впадения р. Янчукан), средний – 228 км (от устья р. Янчукан до впадения р. Светлой), нижний – 98 км (от устья р. Светлой до впадения в оз. Байкал). На верхнем участке река течет в узкой горной долине. Русло каменистое, с множеством перекатов и порогов. Уклон реки изменяется от 20 до 50‰. На среднем участке после выхода из гор река протекает по относительно широкой (~40 км) впадине, вытянутой в юго-западном направлении, и имеет равнинный характер. Нижний участок реки представлен широкой долиной со старицами, озерами и болотами. Средний и нижний участки реки приурочены к Верхнеангарской впадине, южную окраину которой занимает дельта.

Верхняя Ангара через рук. Ангаракан соединена с Кичерой, впадающей в зал. Ангарский Сор. Длина Кичеры – 126 км, площадь водосбора – 2425 км², в его верхней части на протяжении 10–15 км река протекает в узкой долине между крутыми склонами гольцов. Затем река течет через несколько крупных озер, ниже которых русло образует крутые извилины с порогами и лесными завалами. Ниже по течению вплоть до устья расположена заболоченная долина с многочисленными озерами. Здесь русло реки извилистое, дно песчано-илистое. По данным [3] сток воды Кичеры в среднем составляет 0.70 км³/год, сток наносов – 6.0 тыс. т/год.

Озера Верхнеангарской впадины (общее количество 4698, суммарная площадь 167 км²) в подавляющем большинстве представляют собой небольшие водоемы с площадью водного зеркала ~1 км² и максимальными глубинами до 2 м (реже до 5 м) каждый. В них аккумулируется ~3.5% годового стока Верхней Ангары [13].

Ландшафтно-климатические условия

Северная часть оз. Байкал приобрела современный рельеф в среднем плейстоцене [8]. Заложение Верхнеангарской впадины произошло в плиоцене 4.1 млн лет назад. Впадина заполнена

толщей четвертичных осадков мощностью ~2000 м, с запада ограничена тектоническим разломом (Обручевским сбросом) и обрамлена горными хребтами (преобладающие высоты 1500–2000 м).

Территория бассейна реки занята преимущественно горной тайгой северобайкальского типа (общая залесенность бассейна ~40%) и гольцовым высокогорьем. Вершины и склоны гольцов покрыты обширными каменистыми россыпями. Болота занимают ~4% территории бассейна, луга ~1.5%, озера ~0.8% [18]. Наибольшей заболоченностью отличается долина Верхней Ангары, особенно на своем среднем и нижнем участках.

Бассейн реки мало населен и лишь во время строительства БАМ появились населенные пункты вдоль магистрали.

Климат в бассейне Верхней Ангары резко континентальный и характеризуется коротким теплым летом и продолжительной холодной зимой. По направлению к Байкалу климатические условия смягчаются под влиянием водной массы озера. Среднегодовая температура воздуха в пос. Нижнеангарске составляет -3.2°C , а в расположенном в 192 км от Байкала с. Уоян -6.6°C . Средняя продолжительность безморозного периода (температура воздуха 0°C или выше) изменяется от 117 дней в Нижнеангарске до 80 дней в Уояне. Характер распределения осадков определяется условиями атмосферной циркуляции и рельефом территории. Выпадение осадков в течение всего года обусловлено преимущественно прохождением западных циклонов. В Верхнеангарской впадине выпадает 300–400 мм осадков в год, а на окружающих ее хребтах ~1000 мм. На теплый период года (май–сентябрь) приходится 80–90% годовой суммы осадков, на холодный (октябрь–апрель) 10–20% [18].

Гидрологический режим Верхней Ангары

Наблюдения за гидрологическим режимом Верхней Ангары проводятся Росгидрометом лишь на одном гидрологическом посту (г/п) – с. Верхняя Заимка, расположенном в 31 км от устьевого створа реки. Наблюдения за стоком воды проводятся здесь с 1939 г., а за стоком наносов с 1946 г.

Питание Верхней Ангары – смешанное, с преобладанием снегового. Водный режим характеризуется весенне-летним половодьем, дождевыми паводками, летне-осенней и зимней меженью. Половодье начинается в конце апреля – начале мая, заканчивается во второй декаде июля, проходит обычно двумя волнами, из которых первая имеет меньшие объем стока и продолжительность. Дождевые паводки начинаются после прохождения пика половодья, часто накладываются

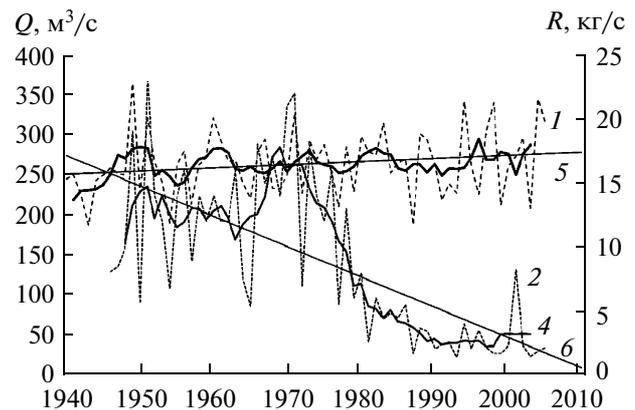


Рис. 2. Многолетние изменения расходов воды и взвешенных наносов р. Верхняя Ангара на г/п с. Верхняя Заимка. 1, 2 – среднегодовые расходы воды и взвешенных наносов соответственно; 3, 4 – их величины при скользящем осреднении по пятилеткам; 5, 6 – их линейные тренды соответственно.

на его спад и образуют общую волну. Летне-осенняя межень четко выражена лишь в очень маловодные годы. Для других лет характерна прерывистая межень между отдельными дождевыми паводками и половодьем. Распределение стока воды реки по основным фазам водного режима неравномерное: на период половодья приходится 50% (на июнь 30%), на период дождевых паводков ~35–40%, на летне-осеннюю и зимнюю межени – ~15% (на зимнюю межень ~2%) годового стока [18]. Средние из наибольших среднесуточных расходов воды за периоды половодья и паводков составляют 1110 и 738 $\text{м}^3/\text{с}$ соответственно, средние расходы воды за летне-осеннюю и зимнюю межени – 220 и 76.6 $\text{м}^3/\text{с}$. Величина разницы уровня воды меженью и половодьем в низовьях реки достигает в среднем 3 м. Во время половодья и паводков река выходит на пойму, заливая ее поверхность на 1–1.5 м [18].

Сток воды Верхней Ангары в Байкал составляет 8.3 км^3 воды в год (среднемноголетний расход воды 262 $\text{м}^3/\text{с}$). Среднемноголетний модуль стока за 1939–2005 гг. равен 12.2 л/(с км^2).

В многолетних изменениях годового стока воды выявлен слабый положительный тренд (рис. 2). Отношение максимального среднегодового расхода воды к минимальному составило всего 1.8, что свидетельствует о небольшой изменчивости годового стока. Коэффициент вариации годового стока реки невелик – 0.15.

Средний сток наносов Верхней Ангары за 1946–2005 гг. составляет 274 тыс. т/год, среднемноголетняя величина расхода взвешенных наносов – 8.7 $\text{кг}/\text{с}$, мутности воды – 33 $\text{г}/\text{м}^3$, модуля стока наносов – 12.8 т/(км^2 год). Основная часть годового стока наносов (~98%) приходится на ве-

сенне-летний период (апрель—сентябрь) [18]. Наибольший сток наносов в теплый период года отмечается в июне, наименьший — в сентябре. Наибольшая мутность достигает 250–300 г/м³. Годовой сток взвешенных наносов реки отличается большой изменчивостью, что подтверждается величиной отношения максимального среднегодового расхода взвешенных наносов к минимальному (16.4) и большим коэффициентом вариации (0.70).

Для многолетних изменений годового стока наносов Верхней Ангары характерен убывающий тренд (рис. 2). В ряду многолетних наблюдений за стоком наносов реки выделяются два периода. В первый из них (1946–1976 гг.) изменчивость стока наносов реки согласуется с изменчивостью водного стока, т.е. колебания стока наносов и воды в основном синхронны, что подтверждается коэффициентом корреляции между стоком наносов и воды 0.68. Во второй период (1977–2005 гг.) произошло значительное уменьшение стока наносов на фоне повышенной водности реки. Коэффициент корреляции между расходами взвешенных наносов и воды составил 0.11, что свидетельствует об отсутствии тесной связи между ними. Сток взвешенных наносов за второй период сократился относительно первого на 71%, а водность при этом возросла на 4.3%. Очевидно, что уменьшение стока наносов не связано с гидроклиматическими факторами. С середины 1970-х гг. начался период активного антропогенного воздействия, связанного со строительством БАМ, на ландшафты бассейна реки. Строительство мостовых переходов, железнодорожных насыпей на поймах, дамб различного назначения, рабочих поселков создало препятствия для транзита денудационного материала и перемещения наносов. Кроме того, добыча аллювия (нерудных строительных материалов) на реках Кичера и Верхняя Ангара для создания объектов БАМ уменьшила вынос речных наносов в Байкал и сократила поступление их к береговому бару Ярки [2]. Перечисленные мероприятия привели к дефициту наносов в прибрежной зоне озера в месте впадения Верхней Ангары. Поскольку территория бассейна реки очень слабо используется в сельскохозяйственном производстве [17], то влияние этого фактора на изменение стока наносов (в отличие от таких крупных рек водосбора Байкала, как Селенга и особенно Баргузин) в бассейне Верхней Ангары не проявилось.

Таким образом, со второй половины 1970-х гг. на Верхней Ангаре произошло заметное уменьшение стока взвешенных наносов на фоне повышенного стока воды.

ГЕОГРАФО-ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА

Прибрежная зона оз. Байкал в районе устьев рек Верхняя Ангара и Кичера представляет собой мелководье с преимущественно песчаными донными отложениями, ширина которого в среднем 1.5–2 км. Каньоны и ложбины на подводном склоне озера между устьями рек создают здесь резко пересеченный рельеф с глубиной тальвегов ~50 м, который прослеживается до глубин 200–300 м. Глубже подводный склон выполаживается, а очертания заполняющихся осадками каньонов становятся более сглаженными. Вершины каньонов и их ответвлений расположены на расстоянии ~300 м от устьевой области рек Кичера и Верхняя Ангара [4].

Резко континентальные климатические условия бассейна Верхней Ангары в прибрежной зоне озера смягчаются под влиянием его водной массы. Здесь увеличивается (на 46%) продолжительность безморозного периода, среднегодовая температура воздуха более высокая. В самый холодный месяц года (январь) средняя многолетняя температура воздуха в Нижнеангарске составляет –22.8°C, а в Уояне –31.1°C. Летом, в наиболее теплый месяц (июль) среднемноголетняя температура изменяется от 15.1°C (пос. Нижнеангарск) до 18.0°C (с. Уоян). Атмосферных осадков в прибрежной зоне выпадает больше, чем в бассейне реки: их среднемноголетняя величина в Нижнеангарске составляет 417 мм, в Уояне – 352 мм.

Ветровой режим северной части Байкала, как и всего озера, находится под влиянием циркуляции атмосферы в этом регионе, а его особенности определяются орографией побережья и термическими различиями между водоемом и окружающей сушей. В целом над акваторией преобладает северо-западный перенос воздушных масс. Однако поступающие в котловину Байкала воздушные потоки, преодолевая окружающие озеро высокие горные хребты, отклоняются от первоначального направления и образуют местные ветры с преобладающими продольными и поперечными направлениями.

В прибрежной зоне северной части озера для периода открытой воды (май—декабрь) преобладающие — северо-восточные и юго-западные ветры (по данным гидрометеостанции Томпа). В весенне-летний период (май—сентябрь) доля юго-западных ветров составляет 54%, северо-восточных — 38%. В осенне-зимний период (октябрь—декабрь) господствуют северо-восточные ветры, на долю которых приходится 74%. Повторяемость штилей за май—сентябрь составляет 37%, октябрь—декабрь — всего 15%. Среднемесячные скорости ветра за период открытой воды изменяются в диапазоне от 1.5 м/с (май—сентябрь) до 3.8 м/с (ок-

тябрь—декабрь) при среднегодовом значении 2.2 м/с. Среднее число дней с сильным (≥ 15 м/с) ветром за май—декабрь равно 14, причем на май—сентябрь приходится 26%, а на октябрь—декабрь 74%. Отметим, что в устье Верхней Ангары, по данным метеостанции Дагарский маяк (ныне не действующей), число дней в году с сильным ветром увеличивается уже до 40.

Средние за многолетний период высоты волн (по данным гидрометеостанции Томпа) при умеренном южном, юго-западном и юго-юго-западном ветре достигают 1.0–1.5 м, при сильном ветре превышают 2.5 м, а наибольшая измеренная высота составляет 4.7 м [1].

В прибрежной зоне озера доминируют течения западных румбов, их суммарная повторяемость составляет ~62%. Средние скорости прибрежных течений изменяются от 3–4 см/с в районе Дагарской губы до 8 см/с у берегового бара Ярки. По [21] во время редких и сильных штормов от юго-западного ветра, когда высоты волн достигают 3.5 м, скорости течений с повторяемостью 1% могут составлять 40 см/с.

В многолетнем уровненом режиме оз. Байкал можно выделить три периода (рис. 3). Первый (1901–1958 гг.) характеризовался естественным режимом уровня, во второй (1962–2000 гг.) – режим искусственно изменен после создания Иркутской ГЭС, в третий (с 2001 г.) – режим искусственно ограничен колебаниями уровня озера в первом диапазоне (456–457 м в Тихоокеанской системе высот – **ТО**). Постановлением Правительства РФ (март 2001 г.) это ограничение принято для того, чтобы исключить как форсировку уровня, так и его сработку до УМО, которые предусмотрены проектом Иркутской ГЭС.

В условиях естественного режима средняя высота уровня над нулем гидропоста в порту Байкал (454.34 м **ТО**) составляла 127 см, а за 1962–2000 гг. она увеличилась до 207 см. Наивысший суточный уровень озера в естественных условиях наблюдался в 1932 г. (259 см), а самый низший – в 1904 г. (58 см). После зарегулирования озера максимальное и минимальное значения уровня соответственно возросли до 309 см (1973, 1988 гг.) и 88 см (1982 г.), а размах их многолетних колебаний увеличился с 201 до 221 см [20]. Проведенный в [20] анализ уровненого режима оз. Байкал показал, что после зарегулирования озера изменения внутригодовых колебаний уровня состоят, в основном, в их смещении на более высокие отметки. Кроме того, сезонные максимумы и минимумы уровня сместились в среднем на месяц соответственно с сентября и апреля (естественные условия) на октябрь и май (зарегулированные условия).

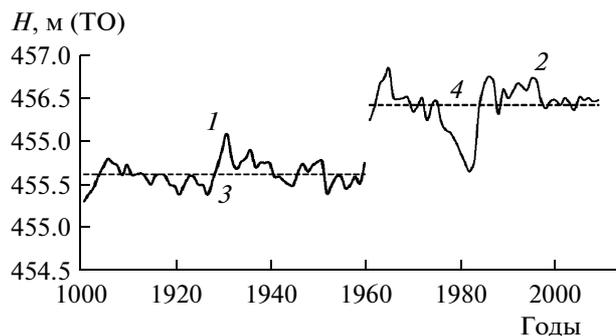


Рис. 3. Многолетние изменения среднегодовых уровней воды оз. Байкал в 1900–2008 гг. 1, 2 – среднегодовые уровни воды в период естественного и зарегулированного режима озера; 3, 4 – среднее многолетние уровни воды за эти периоды соответственно.

ОБЩЕГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ ВЕРХНЕЙ АНГАРЫ

Устьевая область (**УО**) Верхней Ангары относится к эстуарно-дельтовому типу и занимает южную часть Верхнеангарской впадины. Главная часть **УО** – объединенная дельта рек Верхняя Ангара и Кичера площадью ~400 км² (рис. 1) с многочисленными рукавами, протоками, озерами, старицами. Вершина дельты (**ВД**) находится у с. Верхняя Заимка (31 км от устьевого створа реки). Дельта имеет треугольную форму, протяженность дельтовой равнины ~30 км с максимальной шириной 26 км, отметки высот изменяются от 456 до 465 м. Уклон поверхности дельты ~0.07‰. Территория дельты сильно заболочена. Здесь преобладают торфяно-болотные почвы с осокой и хвощем. Дно водотоков ровное, песчано-илистое. Высота берегов 0.3–0.5 м, сложены они супесью и песком, вдоль бровки покрыты кустарником и отдельными деревьями [18]. Во время паводков большая часть дельты затопляется.

К дельте примыкает крупная устьевая лагуна (залив) Ангарский Сор площадью ~100 км², отделенная от озера низким песчаным береговым баром Ярки протяженностью ~26 км [14]. Береговой бар имеет три промоины (рис. 1), через которые воды рек Кичера и Верхняя Ангара выходят в оз. Байкал. Сток Верхней Ангары в озеро осуществляется как непосредственно по главному рукаву дельты Дагарскому (собственно Верхняя Ангара, или Дагарское Устье), так и через лагуну Ангарский Сор по рук. Среднему (протока Власиха, или Среднее Устье). Два последних рукава разделены о. Миллионным.

В последние полвека антропогенное влияние испытывает и весь бассейн Верхней Ангары, и ее дельта. Связано это с сооружением Иркутской ГЭС (1959–1962 гг.), строительством БАМ (начало строительства – 1974 г.), расширением тури-

стической и рекреационной деятельности. Последствия техногенного повышения уровня Байкала в среднем на 0.8 м в результате сооружения и ввода в эксплуатацию Иркутской ГЭС проявляются в дельте Верхней Ангары и до настоящего времени. Постепенно увеличивается заболоченность дельты. Если сто лет назад вся низменность к северу и югу от рук. Ангаракан до лагуны Ангарский Сор была занята исключительно под сенокосы [7], то в настоящее время эта территория представляет собой непроходимые и труднопроходимые болота. Затопление болотистых и торфяных берегов дельты способствовало расширению акватории лагуны Ангарский Сор. В конце 1940-х гг. площадь лагуны составляла 23 км², к настоящему времени она увеличилась более чем в 5 раз. Береговой бар Ярки – популярный рекреационный объект – интенсивно разрушается. Сократился сток наносов реки – важный источник подпитки бара песчаным материалом. Туристы уничтожают растительный покров и нарушают естественный ход морфологических процессов на бере. Несмотря на ограничение колебаний уровня Байкала в пределах 1 м, деградация бара Ярки продолжается, в связи с чем возникла проблема его защиты. К настоящему времени построена защитная дамба на участке берега от пос. Нижнеангарска до места выхода вод Кичеры в озеро. Разрабатываются также мероприятия по сохранению и восстановлению всего берегового бара Ярки, целесообразность которых сомнительна.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ДЕЛЬТЕ

Водный режим дельты

Сток воды в ВД Верхней Ангары составляет 8.3 км³/год. Поскольку межгодовая изменчивость стока реки невелика, водный режим дельты, зависящий, прежде всего, от сезонных изменений стока воды, в целом мало изменяется от года к году. Помимо речного водного стока, на водный режим дельты оказывают влияние колебания уровня озера (в настоящее время зарегулированные) и естественная просадка грунта.

Сильно заболоченная с многочисленными озерами и старицами дельта Верхней Ангары оказывает воздействие на водный сток реки в озеро. Согласно [10], в условиях достаточного увлажнения в дельтах вследствие превышения осадков над испарением происходит добавление водного стока, и в результате в приемный водоем поступает больше воды, чем река приносит в дельту. Следуя рекомендациям [10], сделана попытка определить величины дополнительного стока, формирующегося в дельте. Годовая сумма осадков в дельте составляет в среднем 444 мм/год (по данным гидрологических постов в с. Верхняя Заимка и пос. Нижнеангарске). Величина испарения

принята равной 407 мм/год (по данным озерной станции в с. Байкальском). Превышение осадков над потерями на испарение составит таким образом 37 мм/год, а дополнительный сток при принятой площади дельты 400 км² будет равным 0.015 км³/год, или 0.18% среднего годового водного стока реки. Поскольку полученная величина невелика, можно утверждать, что р. Верхняя Ангара выносит в оз. Байкал приблизительно столько же воды, сколько поступает в дельту. Близкая к нейтральной роль дельты в изменении водного стока реки объясняется степенью увлажнения, находящегося на грани между достаточным и недостаточным, когда индекс сухости (отношение испаряемости к осадкам) равен единице. Для дельты Верхней Ангары это отношение составляет 0.92.

В связи с отсутствием данных режимных наблюдений оценка распределения стока по рукавам дельты Верхней Ангары затруднена. По данным экспедиционных исследований авторов статьи при расходе воды Верхней Ангары в створе с. Верхняя Заимка 1490 м³/с (22.06.1977 г.) расход воды в рук. Среднее Устье составил 783 м³/с, или 53% расхода в ВД, а в рук. Дагарское Устье – 462 м³/с (31%). Часть стока реки уходит в мелкие протоки дельты и в Ангарский Сор.

Естественная просадка грунта в дельте Верхней Ангары связана как с активными тектоническими процессами в Байкальской рифтовой зоне, так и с медленным уплотнением дельтовых отложений. Следствием этих процессов становятся медленное повышение уровней воды, затопление участков дельты, расширение приморских эстуариев и нарушение режима стока наносов [9, 12], что и наблюдается в дельте Верхней Ангары. Тектоническое погружение дельты со средней интенсивностью 0.5 мм/год [5, 8] и уплотнение дельтовых отложений – относительно медленные процессы, ускорению которых способствуют характерные для Байкальского рифта землетрясения.

В ВД Верхней Ангары поступает в среднем 274 тыс. т наносов в год. Сведения о стоке наносов в дельте реки отсутствуют. Можно полагать, что его распределение по рукавам дельты приблизительно соответствует распределению стока воды, т.е. на Среднее Устье приходится 53%, а на Дагарское Устье 31% стока наносов в ВД. Часть поступивших в дельту наносов задерживается в ее пределах. Принимая во внимание результаты оценки баланса наносов в другой крупной дельте Байкала (р. Селенги), имеющей такой же низменный рельеф, много рукавов, большое количество болот и озер и долю отлагающихся в ней наносов 59% [15], можно принять долю задерживающихся в дельте Верхней Ангары наносов ~50%. Вынесенные в прибрежную зону озера речные наносы накапливаются в донных отложениях, кото-

рые представлены здесь разнородными песками. Доля мелкозернистой фракции песков увеличивается вдоль берегового бара в сторону Кичеры. Пески – с примесью большого количества растительных остатков [4].

Затопление дельты

Исследованию влияния повышения уровня оз. Байкал на дельты рек, впадающих в водоем, ранее уделялось недостаточно внимания. Практически не разработаны методы количественного расчета и прогноза затопления дельт и размыва их внешнего края. В [11] предложены методы анализа, расчета и прогноза воздействия повышения уровня моря на гидрологический режим и морфологическое строение дельт. Эти методы и подходы проверены на примерах дельт на побережье Каспийского моря при изучении их реакции на недавнее (1978–1995 гг.) значительное повышение уровня воды этого водоема. Некоторые из этих методов применены для оценки влияния повышения уровня Байкала на дельту Верхней Ангары после сооружения Иркутской ГЭС.

В результате техногенного повышения уровня Байкала в рукавах дельты возник подпор со стороны озера, дальность распространения которого, по оценкам авторов и согласно методике [11], составила ~16 км. Уклон водной поверхности водотоков в пределах дельты уменьшается с 0.10 до 0.07‰. Вследствие повышения уровня водоема происходит затопление дельты, масштабы которого зависят от величины этого повышения и его интенсивности, характера устьевых взморья, рельефа поверхности дельты и величины стока наносов реки. Для количественной оценки характера реакции дельты Верхней Ангары на повышение уровня Байкала на величину $\Delta H_{\text{оз}}$ с учетом рельефа дельты и стока наносов реки согласно методике, изложенной в [11], введены два понятия: подпорная призма $W_{\text{п.п}}$ и потенциальная площадь затопления $F_{\text{зат}}$. Объем $W_{\text{п.п}}$ вычисляется по приближенной формуле

$$W_{\text{п.п}} = 0.5F_{\text{зат}}\Delta H_{\text{оз}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{зат}}$ – потенциальная площадь затопления дельты, $0.5\Delta H_{\text{оз}}$ – средняя величина повышения уровня воды в зоне потенциального затопления. Величина $F_{\text{зат}}$ рассчитывается в виде

$$F_{\text{зат}} = L_{\text{зат}}L_{\text{нкл}} = \Delta H_{\text{оз}}L_{\text{нкл}}/i_{\text{д}}, \quad (2)$$

где $L_{\text{зат}}$ – средняя ширина потенциальной зоны затопления; $L_{\text{нкл}}$ – длина нижнего (лагунного) края дельты; $i_{\text{д}}$ – уклон поверхности дельты, приблизительно равный уклону водной поверхности главного рукава.

Подставив в (1) и (2) величины $\Delta H_{\text{оз}} = 0.8$ м, $L_{\text{нкл}} = 23$ км, $i_{\text{д}} = 0.07 \times 10^{-3}$, получим потенциаль-

ную площадь затопления 263 км^2 , а объем подпорной призмы – 105 млн. м^3 . Суммарный сток наносов Верхней Ангары в ВД за период техногенного повышения уровня озера (1962–2005 гг.) составил 3.9 млн. м^3 , а с учетом отложения в дельте ~ 1.95 млн. м^3 . Этот объем существенно меньше объема подпорной призмы, что и предопределило затопление части дельты. Ситуация в дельте Верхней Ангары еще более усугубилась тем, что сток наносов во второй половине 1970-х гг. резко снизился с 419 до 120 тыс. т/год, его суммарный объем в ВД за 1977–2005 гг. составил 1.3 млн. м^3 .

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ДЕЛЬТЕ

По последним данным [8] образование Верхнеангарской впадины началось в плиоцене, а в среднем плейстоцене ее рельеф окончательно сформировался и стал близким к современному. Байкальский рифт развивается в условиях растяжения, результатом которого стало интенсивное погружение, проседание блоков ложа и бортов его впадины, заполненной водой [8, 22]. При этих проседаниях азральные морфоструктуры преобразуются в аквальные. Так, Верхнеангарская впадина и дельта, занимающая ее южную окраину, испытывают постоянное медленное погружение. Следствием этого процесса становится постепенное изменение уклонов водной поверхности и скоростей течений реки, медленное повышение уровней воды, затопление дельты, увеличение ее заболоченности, нарушение режима стока наносов, усиление размыва берегового бара. Информация об эволюции устьевой области Верхней Ангары практически отсутствует, имеются лишь некоторые сведения о развитии берегового бара Ярки.

По вопросу образования этого берегового бара существуют две гипотезы. Согласно одной из них [19], о. Ярки – аккумулятивный береговой бар, отделяющий от Байкала устьевую лагуну Ангарский Сор. Происхождение бара связывается с развитием дельт рек Верхняя Ангара и Кичера. Из наносов этих рек и вдоль берегового переноса озерных наносов сформировалась серия подводных валов, послужившая основой для образования берегового бара. По мнению автора гипотезы [19] в период климатического оптимума подводный вал вышел на поверхность и стал развиваться как береговой бар, смещающийся в сторону лагуны при очередных ритмических подъемах уровня озера. Первоначально береговой бар был сплошной (без разрывов) аккумулятивной формой. На его поверхности появилась растительность, которая способствовала росту бара в высоту в результате действия эоловых процессов. Автор [19] считает, что нарушение растительного покрова

вследствие освоения территории берегового бара людьми способствовало ветровому развеванию отложений и расчленению бара на отдельные холмы или их группы (ярки). В дальнейшем происходило уменьшение высоты бара между этими холмами. Образовавшиеся понижения стали доступными для размыва волнами во время штормов. В [19] отмечено, что динамика берегового бара Ярки в основном обусловлена гидродинамическими процессами, которые, в свою очередь, зависят от режима колебаний уровня озера.

По другой гипотезе [4] песчаное мелководье и о. Ярки сформировались не из наносов рек Кичера и Верхняя Ангара, а в результате размыва подводного склона озера, представленного древними песчаными отложениями Верхнеангарской впадины. Авторы этой точки зрения полагают, что северная часть Байкала постоянно погружалась и мелководье в недавнем геологическом прошлом было сушей, и почти весь объем влекомых наносов осаждался в дельтах рек Кичера и Верхняя Ангара, а вынесенные в озеро взвешенные частицы — в районах устьев их рукавов. Здесь, а также вдоль о. Ярки имеется целая серия подводных ложбин и каньонов, которые перехватывают часть речных наносов и вдольберегового потока. Следовательно, как полагают [4], даже самые сильные вдольбереговые волновые течения не в состоянии равномерно распределять песчаные отложения вдоль острова, который на всем своем протяжении сохранял примерно одинаковую ширину, увеличивая ее лишь в районах выноса в озеро речных наносов. Вопросы динамики и деградации берегового бара в [4] не рассматривались.

Обе гипотезы, к сожалению, не дают четких представлений об образовании берегового бара Ярки, соответствующих общепринятым понятиям о процессах в устьях рек. Аккумулятивные формы, такие как береговой бар Ярки, образуются одновременно, благодаря вдольбереговому потоку наносов (продольное перемещение), сформированному из речных наносов и продуктов волнового размыва берегов водоема (вне устья Верхней Ангары), а также размыву подводного склона в прибрежной зоне (поперечный перенос наносов и выброс их на берег) и размыву выносов из самой реки. Главный фактор перечисленных процессов образования берегового бара — волнение (в гипотезах он остался нераскрытым).

В современных условиях до строительства Иркутской ГЭС береговой бар окаймлял со стороны озера широкий (15–20 м) песчаный пляж. Относительно высокие (от 3 до 12 м), заросшие древесно-травянистым растительным покровом песчаные холмы (дюны) чередовались с низкими участками высотой 1–1.5 м. Ширина средней части острова составляла 250 м, увеличиваясь к местам выхода в озеро вод Кичеры и Верхней Анга-

ры до 400–600 м. Повышение уровня Байкала в результате сооружения Иркутской ГЭС привело к увеличению глубины прибрежной зоны, активизации волнения, увеличению интенсивности перестройки рельефа береговой зоны и отступления берегового бара Ярки. Береговая линия отступила в среднем на 100–150 м, а на участках вблизи выхода речных вод — 350 м и более. Если до 1959 г. ширина берегового бара в средней его части составляла ~200–250 м, в 1990-е гг. ~100 м, то в последние годы — всего ~30 м [2], а местами и меньше. По подсчетам авторов статьи площадь бара с 1959 г. уменьшилась в среднем в 3.5 раза, по [6] в последние десятилетия она сократилась с 2.2 до 0.39 км² при высоком уровне озера и с 3.62 до 1.85 км² — при низком. Катастрофические размывы берегового бара происходили и ранее в естественных условиях во время экстремального повышения уровней воды в озере. Наиболее выдающимся был размыв в сентябре 1932 г., когда наивысший суточный уровень воды превысил на 1.32 м среднееголетнюю величину для естественного периода. В этом году размыва часть острова, и началось разрушение пос. Чечевки, стоявшего по обе стороны от места выхода вод Кичеры в озеро (поселка в настоящее время нет). Ширина этого выхода на начало 1900-х гг. составляла 140 [7] м, в последние годы ~180 м [14].

К настоящему времени существовавшая ранее сплошная аккумулятивная форма берегового бара оказалась разделенной промоинами (прорвами) на три фрагмента. По данным топографической и батиметрической съемки, выполненной Н.А. Ярославцевым и В.А. Петровым в 2005–2006 гг., самый протяженный, достигающий 7 км фрагмент бара начинается от места выхода в озеро вод р. Кичеры. Далее на восток второй крупный фрагмент длиной 4.7 км отделен от первого промоиной шириной ~0.1 км. Третий фрагмент имеет длину всего ~0.58 км. Между ним и вторым фрагментом находится наибольшая промоина шириной 2.3 км [14]. Размыв расширил место выхода в озеро вод рук. Среднее Устье. Воды Байкала теперь свободно проникают в Ангарский Сор. Рельеф фрагментов берегового бара Ярки преобразуется волновыми и эоловыми процессами.

Техногенный подъем уровня Байкала со скоростью, равной в среднем 20 см/год (1959–1962 гг.), значительно превысил интенсивность естественного погружения дельты Верхней Ангары (0.5 мм/год). В условиях дефицита речных наносов это привело к существенной активизации процессов размыва и отступления берегового бара. Выработанный за длительное время достаточно широкий и относительно высокий пляж с озерной стороны бара при подъеме уровня оказался затопленным, и береговой уступ стал размываться байкальскими волнами. В сентябре–ноябре раз-

мыв берегового бара усиливается, так как максимальный в году уровень оз. Байкал в это время совпадает с периодом осенних штормов, когда наибольшие высоты волн в северной части водоема могут достигать 4–5 м. Оценка изменений поперечного профиля берегового бара и подводного склона (в середине острова) с 1976 по 2006 г. свидетельствует о том, что интенсивность размыва составляла ~16 м³ на погонный метр в год. Размытый материал частично аккумулировался на мелководье (~60%), а ~40% уходило за пределы береговой зоны [14, 16].

В прибрежной зоне озера вдоль бара Ярки наносы перемещаются преимущественно в западном направлении (~68% общей величины вдольберегового потока наносов). Максимальная мощность потока наносов отмечена в месте выхода в озеро вод Верхней Ангары – 16,6 тыс. м³/год, по направлению на запад она снижается, в районе выхода в озеро вод р. Кичеры – до 2 тыс. м³/год [16]. О переносе наносов вдоль берегового бара Ярки в основном в западном направлении свидетельствуют как ориентированные на запад косы, корневая часть которых примыкает к берегу, так и фракционный состав пляжевого песка, медианный диаметр которого уменьшается в этом направлении с 0,34 до 0,24 мм. При этом в пляжевых отложениях увеличивается доля мелкозернистой фракции.

Примечательно, что самый протяженный и широкий из сохранившихся фрагментов берегового бара Ярки расположен в его западной части (в месте выхода в озеро вод р. Кичеры). Однако сток воды и наносов Верхней Ангары значительно больше стока Кичеры, и мощность вдольберегового потока наносов больше в прибрежной зоне, в месте впадения главного рукава; но, тем не менее, восточный участок берегового бара подвергся наибольшему размыву (здесь ширина промоины – более 2 км). Возможно, неравномерное тектоническое опускание блоков ложа Байкальской впадины способствовало перекоосу ее поверхности и, как следствие, неравномерному размыву о. Ярки.

ВЫВОДЫ

Развитие устьевой области р. Верхняя Ангара определяется комплексом природных факторов и процессов, на которые во второй половине XX в. сильно повлияла хозяйственная деятельность. Из всего многообразия современных устьевых процессов, влияющих на изменение строения и режима устьевой области Верхней Ангары, главную роль играют, во-первых, техногенное повышение уровня оз. Байкал и сопутствующее этому усиление воздействия волнения на береговую зону и,

во-вторых, антропогенное сокращение стока наносов реки.

Современное состояние устьевой области характеризуется развитием необратимых процессов – опусканием ее поверхности, затоплением части дельты, расширением устьевой лагуны, увеличением заболоченности, отступанием и деградацией берегового бара Ярки.

Объем суммарного стока речных наносов за периоды до и после техногенного повышения уровня Байкала оказался заметно меньше объема подпорной призмы $W_{п.п.}$, что способствовало затоплению дельты, размыву и деградации берегового бара. Существенное сокращение стока наносов реки во второй половине 1970-х гг. привело к увеличению их дефицита в прибрежной зоне и усилению активности процессов размыва бара.

Тектоническое погружение дельты неизбежно будет способствовать в геологическом будущем ее затоплению и деградации берегового бара Ярки. Само развитие Байкальской рифтовой впадины предопределяет необратимые морфологические процессы в дельте Верхней Ангары и на береговом बारे. Техногенный подъем уровня озера и значительное сокращение стока речных наносов ускорили эти процессы, поэтому береговой бар Ярки (и сохранившиеся его фрагменты) в будущем полностью исчезнут. Проведенные авторами расчеты показали, что по истечении в среднем 30 ± 5 лет береговой бар будет размыв.

Проведенный анализ гидролого-морфологических процессов в устьевой области р. Верхняя Ангара может быть полезен для оценки развития устьев других рек, впадающих в оз. Байкал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас волнения и ветра озера Байкал. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 117 с.
2. Вика С., Козырева Е.А., Тржцинский Ю.Б., Щипек Т. Острова Ярки на Байкале – пример современного преобразование ландшафтов. Иркутск; Сосновец: ИЗК СО РАН, 2006. 69 с.
3. Власова Л.К. Речные наносы бассейна озера Байкал. Новосибирск: Наука, 1983. 133 с.
4. Галкин В.И., Карабанов Е.Б., Фиалков В.А. Рельеф дна и динамика наносов // Литодинамика и осадкообразование Северного Байкала. Новосибирск: Наука, 1984. С. 100–106.
5. Геология зоны БАМ / Под ред. Козловского Е.А. Л.: Недра, 1988. 447 с.
6. Государственный доклад “О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2005 году”. М.: Иркутскгеофизика, 2006. 410 с.
7. Лоция и физико-географический очерк озера Байкал / Под ред. Дриженко О.К. СПб., 1908. 443 с.
8. Лунина О.В., Гладков А.С. Активные разломы и напряженное состояние земной коры северо-восточ-

- ного фланга Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 2. С. 146–160.
9. Михайлов В.Н. Гидрология устьев рек. М.: Изд-во МГУ, 1998. 176 с.
 10. Михайлов В.Н. Влияние дельт на среднегодовое водный сток рек // Вод. ресурсы. 2004. Т. 31. № 4. С. 389–394.
 11. Михайлов В.Н., Михайлова М.В. Закономерности воздействия повышения уровня моря на гидрологический режим и морфологическое строение речных дельт // Вод. ресурсы. 2010. Т. 37. № 1. С. 3–16.
 12. Михайлов В.Н., Rogov M.M., Чистяков А.А. Речные дельты (гидролого-морфологические процессы). Л.: Гидрометеиздат, 1986. 280 с.
 13. Озера Прибайкальского участка зоны БАМ / Под ред. Галазий Г.И., Богданов В.Т. Новосибирск: Наука, 1981. 224 с.
 14. Петров В.А., Ярославцев Н.А. Динамика бара Ярки на Северном Байкале и проблемы его восстановления // Проблемы управления и устойчивого развития прибрежной зоны моря: Матер. конф. / Отв. ред. Жиндарев Л.А., Косьян Р.Д., Дивинский Б.В. Краснодар: Издательство, 2007. С. 149–151.
 15. Потёмкина Т.Г., Фиалков В.А. Баланс наносов в дельте Селенги и их распространение в Байкале // Вод. ресурсы. 1993. Т. 20. № 6. С. 689–692.
 16. Потёмкина Т.Г., Ярославцев Н.А., Петров В.А. Современные потоки наносов у острова Ярки (Северный Байкал) // Успехи современного естествознания. 2008. № 8. С. 113–114.
 17. Ральдин Б.Б., Убугунов Л.Л., Хертуев В.Н., Шагжиев К.Ш. Геоэкологические аспекты землепользования в Республике Бурятия. Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2003. 231 с.
 18. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1973. Т. 16. Вып. 3. 400 с.
 19. Rogozin A.A. Береговая зона Байкала и Хубсугула: Морфология, динамика и история развития. Новосибирск: Наука, 1993. 168 с.
 20. Синюкович В.Н. Реконструкция естественного уровня озера Байкал после строительства Иркутской ГЭС // Метеорология и гидрология. 2005. № 7. С. 70–76.
 21. Фиалков В.А. Течения прибрежной зоны озера Байкал. Новосибирск: Наука, 1983. 193 с.
 22. San'kov V., Deverchere J., Gaudemer Y. et al. Geometry and rate of faulting in the North Baikal Rift, Siberia // Tectonics. 2000. V. 22. № 4. P. 707–722.