

Научные сообщения

УДК 551.435.126

© 2018 г. Д.Б. БАБИЧ*, Н.Н. ВИНОГРАДОВА**, В.В. ИВАНОВ***,
В.Н. КОРОТАЕВ****, Е.Р. ЧАЛОВА*****

ТИПИЗАЦИЯ И ДИНАМИКА УСТЬЕВ РЕК, ВПАДАЮЩИХ В ВОДОХРАНИЛИЩА

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет, Москва, Россия*

E-mail: dmbabich@mail.ru, **E-mail: nad-vinogradova@mail.ru, *E-mail: vvi06.56@mail.ru,
****E-mail: vlaskor@mail.ru, *****E-mail: ekar28@yandex.ru*

Поступила в редакцию 14.12.2016

Рассматривается процесс формирования дельт в горных и предгорных водохранилищах Карпат, Кавказа и Средней Азии, характеризующихся большим стоком наносов. В зоне переменного подпора водохранилищ за счет резкого снижения скоростей течения может происходить осаждение крупных фракций, которые не размываются, и подводный аллювиальный конус выноса превращается в дельту.

На равнинных водохранилищах даже в условиях длительной и глубокой сработки дельты не успевают сформироваться из-за малого стока наносов. Характерные для большинства водохранилищ значительные внутригодовые колебания уровня (до 5–10 м и более), переменный подпор и меняющийся скоростной режим создают специфические особенности в перемещении и отложении наносов. Наносы откладываются на относительно большом протяжении, частично размываясь при снижении уровня водохранилища.

На крупных равнинных реках, впадающих в водохранилища, как правило, наблюдаются аллювиальные пойменно-русловые комплексы, большую часть которых занимает первичный рельеф, затопленный при наполнении водохранилищ (реки Обь, Енисей, Урал).

Боковые притоки образуют в подтопленных водохранилищем речных долинах много-рукавные дельты заполнения.

Ключевые слова: водохранилище, аллювиальный конус выноса, дельты, современная морфодинамика.

DOI: 10.7868/S0435428118010030

TYPES AND DYNAMICS OF RIVER MOUTHS IN RESERVOIRS

D.B. BABICH*, N.N. VINOGRADOVA**, V.V. IVANOV***, V.N. KOROTAYEV****,
AND E.R. CHALOVA*****

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

E-mail: dmbabich@mail.ru, **E-mail: nad-vinogradova@mail.ru, *E-mail: vvi06.56@mail.ru,
****E-mail: vlaskor@mail.ru, *****E-mail: ekar28@yandex.ru*

Summary

The paper describes river delta formation in mountain and piedmont reservoirs, characterized by high sediments yield, and gives the examples from the Carpathians, Caucasus and Central Asia. In reservoir back-water zone, sharp drop of flow velocities promotes accumulation of coarse sediment fractions, formation of

underwater alluvial fan that eventually evolves to delta. In lowland reservoirs, river deltas cannot form even under conditions of prolonged and deep water draw-offs mainly because of a low sediment yield. High-amplitude intra-annual level fluctuations (up to 5–10 m and more) typical for the majority of reservoirs, fluctuations of backwater zone and changing flow velocity regime determine specific features of sediment transport and deposition. Sediments are deposited in a relatively long distance within reservoirs and can be partially eroded when reservoir level falls. Large lowland rivers flowing into reservoirs are as a rule characterized by a presence of alluvial floodplain-channel complexes represented mainly by initial fluvial topography inundated during reservoir formation (for example, Rivers Ob, Yenisei, Ural). Tributary rivers produce multi-channel deltas in inundated trunk valleys.

Keywords: reservoir, alluvial fan, river delta, modern morphodynamics.

Введение

Сегодня на Земле эксплуатируется более 60 тыс. водохранилищ (свыше 2 тыс. — в России). Исследования водохранилищ имеют длительную историю, при этом достаточно полно рассмотрены их гидрологический, биологический и гидрохимический режимы [1–4]; водохранилищам посвящены многочисленные крупные монографии [5–17]. Установлено, что гидрологический режим рек, сток наносов и русловые процессы существенно меняются ниже и выше водохранилищ [18]. Наиболее детально изучены вопросы русловой морфодинамики в нижнем бьефе водохранилищ [19–23]. В то же время механизм и формы проявления эрозии и аккумуляции в зоне переменного подпора водохранилищ и на выпележащем участке реки изучены недостаточно [24–26].

Авторы статьи в 2013–2014 гг. в рамках инициативного проекта РФФИ “Речные дельты водохранилищ и озер: закономерности формирования и прогноз развития” провели полевые геоморфологические, русловые и геофизические исследования на Можайском водохранилище (Московская область), а также анализировали топографические карты и космические снимки по ряду водохранилищ, что позволило получить новые данные по морфологическому строению устьев рек, впадающих в водохранилища (18 объектов) и оценить интенсивность и направленность морфолитодинамических процессов в них.

Постановка проблемы

Водохранилища по своей сути служат местными базисами эрозии для выпележащего участка реки, где гидрологические характеристики потока не изменяются. На нижележащем же участке уменьшаются скорости стокового течения по направлению к плотине, в результате чего здесь отлагаются поступающие в водохранилище речные наносы, которые одновременно сортируются по крупности. Наибольшие объемы отложений наносов в водохранилищах приурочены к зоне переменного подпора, где при различном наполнении водохранилища речные условия периодически сменяются озерными. Здесь откладывается наиболее крупный материал, относящийся, как правило, к влекомым наносам, формируется первичное тело заиления — внутренняя дельта реки или устьевой бар (аллювиальные конусы выноса). В нижние, более глубоководные, части поступают взвешенные наносы. В верхней части зоны переменного подпора в результате отложения наносов дно реки повышается, и призма отложений распространяется регрессивно вверх по реке. Регрессивная аккумуляция наиболее отчетливо проявляется на реках с большим стоком наносов и малыми изменениями уровня водохранилища. В водохранилищах мира ежегодно откладываются большие объемы твердого материала, сопоставимые со стоком наносов рек, впадающих в океан, что приводит к их заилению и потере полезного объема.

Авторы основной целью определили исследование вопросов, связанных с развитием эрозионно-аккумулятивных процессов в зоне переменного подпора водохранилищ. Одним из направлений исследований стало изучение вопроса о возможности формирования аллювиальных конусов выноса и типичных дельт в пределах верхней части водохранилища при впадении в него главной реки.

Для реализации поставленной цели авторы применили методы полевых гидрографических, геофизических и камеральных картометрических исследований конкретных природных объектов. Для натурных исследований строения донного рельефа и определения мощности русловых отложений использовался комплекс гидроакустической аппаратуры, разработанный в Лаборатории гидролокации дна Института океанологии РАН, и GPS-приемники для геодезической привязки судовых галсов. Комплекс гидроакустической аппаратуры состоял из гидролокатора бокового обзора (ГБО-150-1), акустического профилографа (АП-4.5), графического самописца ОКЕАН и цифровой системы сбора-обработки гидролокационной информации РАСТР¹.

Грунтовые съемки с отбором поверхностного слоя наносов (5–10 см) производились синхронно с промером и автономно во время остановки судна при помощи донных шупов. Гранулометрический анализ проб донных наносов заключался в разделении песчаных фракций диаметром до 0.1 мм на стандартном наборе сит и на фракциометре для частиц диаметром менее 0.1 мм. При этом в соответствии с принятой десятичной классификацией выделялись следующие фракции наносов диаметром: более 100 мм (валуны), 100–10 мм (галька), 10–1 мм (гравий), 1–0.5 мм (крупный песок), 0.5–0.25 мм (средний песок), 0.25–0.1 мм (мелкий песок), 0.1–0.01 мм (алевриты) и мельче 0.01 мм (илы).

Геоморфологическое строение устьев рек, впадающих в водохранилища, подсчеты площадей аккумулятивных тел и их современная динамика изучались на основе сопоставленного анализа и картометрии топографических карт м-ба 1:100 000 и космических снимков Landsat-7 и Google. Все подсчеты площадей произведены в компьютерной программе MapInfo с использованием топографических карт, где достаточно хорошо прорисован затопленный рельеф староречий, или на основе космических снимков, сделанных при низких уровнях водохранилища, когда старый пойменно-русловой комплекс (ПРК) выходил на поверхность. Динамика устьевых образований изучалась на основе совмещений топографических карт и космических снимков за период 1980–2013 гг. в компьютерной программе CoralDRAW12 по характерным природным или техногенным ориентирам.

Результаты исследований и обсуждение

Вопрос о формировании аллювиальных конусов выноса и дельт в водохранилищах является дискуссионным. Срок существования большинства водохранилищ России и сопредельных государств определяется, как правило, 40–60 годами, и за это время в результате аккумуляции наносов может сформироваться устойчивый подводный конус выноса и в редких случаях дельта. Их формирование может наблюдаться при постоянной или небольшой амплитуде колебания уровня, большом стоке наносов и соответствующей морфологии и морфометрии чаши водохранилища. В зоне переменного подпора за счет резкого снижения скоростей течения может происходить осаждение крупных фракций речных наносов, которые не размываются ослабленным потоком. В условиях же переменных в течение года уровней водохранилища, скоростей стоковых течений и малого стока наносов четко выраженного конуса выноса не образуется. Наносы откладываются на относительно большом протяжении, частично размываясь при снижении уровня водохранилища. В то же время, обращаясь к картографическому материалу, исследователи зачастую видят плановое очертание дельт в зоне впадения реки в водохранилище. Это связано со снижением уровня водохранилища, когда на поверхность выходят ПРК, плановая форма которых напоминает дельту.

Длина зоны переменного подпора в зависимости от режима водохранилища может составлять от 40 до 80% длины водохранилища при НПУ; в ней осажается до 80% объема

¹ Гидролокационное и сейсмоакустическое зондирование дна Можайского водохранилища выполнили сотрудники Института океанологии РАН А.А. Пронин и Я.И. Белевитинов.

Морфодинамические типы устьевых систем рек, впадающих в водохранилища

Морфодинамический тип устья	Водохранилище / река
Клювовидная дельта выдвижения	Краснодарское / Кубань
Многорукавная дельта выдвижения с выровненным или лопастным краем	Краснодарское / Белая
Пойменно-русловой комплекс (субаэральный или суб-аквальный первичный рельеф, затопленный при заполнении водохранилища)	Красноярское / Енисей, Туба Можайское / Москва Новосибирское / Обь Ириклинское / Урал
Многорукавные дельты заполнения долинных заливов	Цимлянское / притоки: Аксай Есауловский, Лиска, Солоная, Чир, Донская Царица

наносов, транспортируемых рекой [26], однако данные об этом практически отсутствуют. Преобладающая часть стока влекомых наносов осаждается в верхней части зоны переменного подпора, когда граница подпора максимально удалена от плотины, а речной поток еще обладает достаточно высокой транспортирующей способностью. Наиболее отчетливо процесс формирования аллювиальных конусов выноса или дельт проявляется на горных и предгорных водохранилищах Карпат, Кавказа и Средней Азии, образованных на реках с большим стоком наносов. К сожалению, надежные данные о формировании и динамике конусов выноса отсутствуют, так как обычно нет привязки к изменяющимся уровням в водохранилищах. Часто морфометрические параметры конусов фиксируются в периоды сработки водохранилища, когда обнажаются большие площади затопленного дна с присутствием ему первоначальным рельефом. На равнинных водохранилищах даже в условиях длительной и глубокой сработки конус выноса не успевает сформироваться из-за малого стока наносов и песчаного их состава. На горных и предгорных водохранилищах одиночных или головных в каскаде, особенно на реках с галечно-валунным составом наносов, конусы выноса могут сформироваться как на основной реке, так и на боковых притоках. В данном случае они не размываются. Несмотря на преобладание легкоразмываемых пород в устье р. Диалы, впадающей в горное водохранилище Хамрин (Ирак), в маловодные годы при низком уровне стояния воды формируется дельта в виде конусов выноса, которые увеличиваются в размерах и могут при определенных условиях оставаться морфологически выраженными даже в течение нескольких лет [27].

На основе анализа топографических карт и космических снимков были выделены следующие морфодинамические типы устьев рек, впадающих в водохранилища (табл. 1). На крупных равнинных реках, как правило, наблюдаются *пойменно-руслевые комплексы*, которые представляют собой затопленные речные русла, обсыхающие при сработке водохранилищ. Реки притоков образуют в подтопленных водохранилищем речных долинах *многорукавные дельты заполнения*. Аллювиальные конусы выноса и типичные дельты могут формироваться в устьях рек с очень большим стоком наносов.

Ниже приводятся сведения по отдельным водохранилищам. Для характеристики водохранилищ и впадающих в них рек были использованы материалы из справочных изданий и монографий [5, 10, 12, 28], данные Роскомгидромета по расходам воды и взвешенным наносам, а также картометрические подсчеты авторов.

Можайское водохранилище образовано в 1960 г. в верховьях р. Москвы выше г. Можайска. Это водохранилище многолетнего регулирования стока с нерегулярным его заполнением до проектной отметки в годы пониженной водности. Снижение уровня от НПУ до уровня мертвого объема (УМО) – 13 м, средняя многолетняя амплитуда колебания уровня более 7.5 м.

Среднегодовой расход воды р. Москвы (г/п Барсуки) составлял $5.49 \text{ м}^3/\text{с}$, расход взвешенных наносов — 0.36 кг/с , сток взвешенных наносов — 11.5 тыс. т, среднегодовая мутность воды — 65 г/м^3 .

Во время полевых изысканий на Можайском водохранилище были выполнены следующие виды работ: 1) эхолотный промер в акватории верхнего бьефа водохранилища; 2) 8 поперечных и 1 продольный эхолотный промер основной акватории водохранилища; 3) гидролокационная съемка и сейсмоакустическое профилирование дна водохранилища на поперечных и продольных галсах; 4) отбор проб донного грунта.

Результаты полевых исследований дают основание сделать следующие выводы: 1) При глубокой сработке водохранилища во время ремонтных работ на плотине (2008–2009 гг.) в зоне переменного подпора при впадении рек Москвы и Лусянки осушился пойменно-русловой комплекс площадью около 10 км^2 . Обнажившиеся участки дна закрепились кустарниковой растительностью. В дальнейшем при наполнении водохранилища до НПУ они оказались затопленными, но наличие растительности создало условия для аккумуляции наносов. 2) Донные грунты представлены главным образом илистыми и алевроитовыми фракциями диаметром менее $0.1\text{--}0.05 \text{ мм}$. Песчаные фракции наносов от крупно- до тонкозернистого песка ($0.5\text{--}0.1 \text{ мм}$) встречаются в зоне впадения рек Москвы и Лусянки в пределах пойменно-руслового комплекса на расстоянии 4 км от устья. Ниже по течению все дно водохранилища практически выстлано илистыми отложениями, за исключением участков затопленного бывшего русла р. Москвы, где могут вскрываться песчаные русловые отложения. 3) Гидролокационная съемка показала наличие мелкогрядового рельефа на участке русла р. Москвы при ее впадении в водохранилище. В верхней части участка гряды представлены рифелями высотой до 0.1 м и протяженностью 3–8 м. Ниже по течению рифели полностью исчезают, а в пределах основной акватории водохранилища на поверхности затопленной поймы наблюдаются фрагментарные накопления донных отложений. Результаты гидролокационной съемки позволяют устанавливать подводное положение уступов затопленной высокой и низкой поймы и их ориентацию по отношению к оси водохранилища. 4) Сейсмоакустическое профилирование в условиях общего слабого заиления водохранилища (средний годовой слой отложений не превышает 0.5 м) оказалось малорезультативным, так как оно фиксирует слой бывших русловых отложений на подстилающих моренных суглинках. По данным сейсмоакустики мощность слоя рыхлых осадков (вместе с илами) в среднем составляет 3–4.5 м. 5) Ана-

лиз поперечных и продольных профилей Можайского водохранилища выявил несколько интересных морфологических особенностей его дна. Во-первых, на продольном профиле очень четко различаются участки бывшего русла р. Москвы, устьевого конуса выноса и основной акватории водохранилища, в пределах которых амплитуда глубин меняется от 1 м и 4 м до 10–20 м соответственно. На поперечных профилях хорошо выделяются два уровня затопленной поймы (высокая и низкая) и прежние

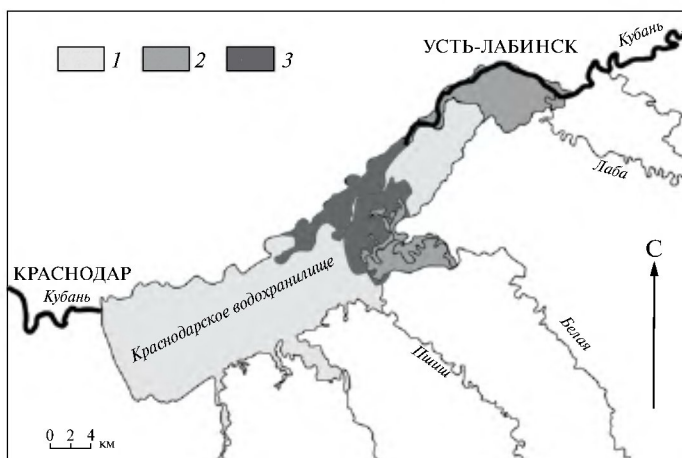


Рис. 1. Динамика дельт рек Кубани и Белой за 1980–2013 гг. при уровне наполнения Краснодарского водохранилища 32.2 м абс.

1 – акватория водохранилища, 2 – площадь дельты Кубани и Белой по топографической карте 1985 г., 3 – прирост площади дельт Кубани и Белой по космоснимку 2010 г.

русловые врезы р. Москвы. Во-вторых, глубины над затопленной поймой по длине водохранилища постепенно увеличиваются от 4–6 м в верховьях до 10–15 м у плотины. Глубины над участками затопленного русла также увеличиваются вниз по течению от 8 до 20 м (при НПУ).

Краснодарское водохранилище сезонного регулирования образовано в 1973 г. на р. Кубань между гг. Усть-Лабинск и Краснодар. Амплитуда колебания уровня от НПУ до УМО – 7.8 м. В водохранилище впадают реки Белая, Пшиш, Марта, Апчас, Шундук, Псекупс.

Среднегодовой расход воды р. Кубань $217 \text{ м}^3/\text{с}$, сток воды – 6.84 км^3 (г/п Усть-Лабинск). Средний годовой расход взвешенных наносов – 260 кг/с , сток наносов – 8.2 млн т, средняя мутность воды около 1200 г/м^3 .

При анализе топографических карт и космических снимков зоны переменного подпора Краснодарского водохранилища удалось проследить динамику дельты рек Кубани и Белой. В месте впадения р. Белой (среднегодовой сток наносов 2330 тыс. т) в Крас-

нодарское водохранилище в результате снижения с 1993 г. НПУ на 0.9 м площадь дельты р. Белой за период с 1995 по 2012 гг. увеличилась с 9 км^2 до 73 км^2 [29], что свидетельствует об интенсивной аккумуляции наносов. Дельта р. Кубань за этот же период выдвинулась на 12 км и соединилась с дельтой р. Белой, что привело к разобщению акватории Краснодарского водохранилища на два изолированных водоема. Общий прирост дельты Кубани составил около 60 км^2 (рис. 1).

Новосибирское водохранилище сезонного регулирования образовано в 1957 г. на р. Обь между гг. Камень-на-Оби и Новосибирск. Размах колебаний уровня от НПУ до УМО – 5.0 м. Основные притоки, впадающие в водохранилище, – Орда, Каракан, Мильтюш, Бердь.

Среднегодовой расход воды р. Обь (г/п Камень-на-Оби) $1570 \text{ м}^3/\text{с}$, сток воды – 49.5 км^3 . Средний годовой расход взвешенных наносов – 485.5 кг/с , сток наносов – 15.3 млн т, средняя мутность – 309 г/м^3 .

По данным анализа топографических карт (1986 г.) и космического снимка (2010 г.) установлено, что при уровне наполнения водохранилища до отметки НПУ от г. Камень-на-Оби до пос. Малетино в зоне

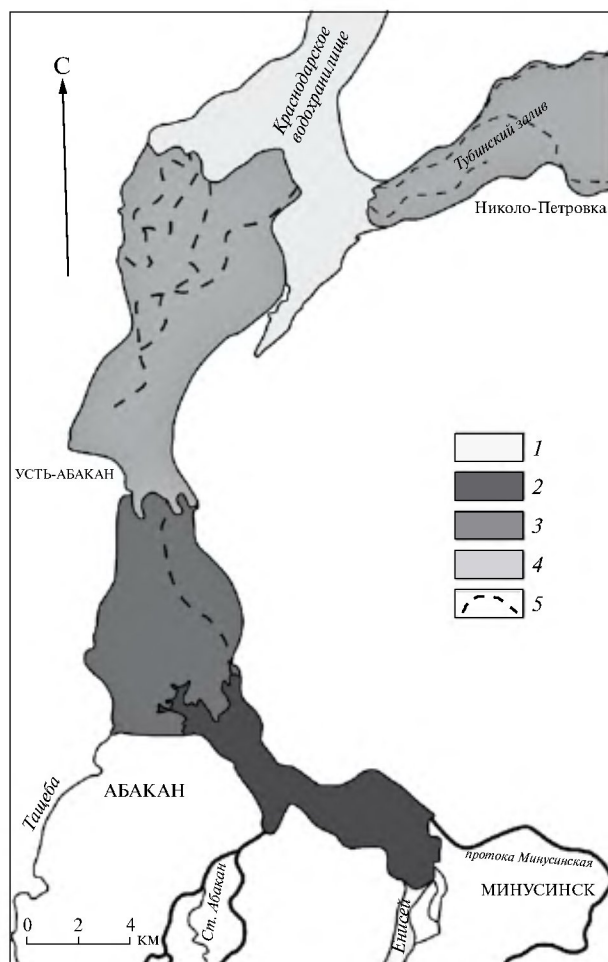


Рис. 2. Схема осушения пойменно-русового комплекса (ПРК) р. Енисей по мере сработки уровня Красноярского водохранилища

1 – акватория водохранилища; 2 – площадь надводного ПРК в зоне втекания р. Енисей в Красноярское водохранилище при уровне 243.2 м абс.; площадь подводной части ПРК при уровне, м абс.: 3 – 241.2, 4 – 231.2; 5 – затопленные русловые бороздины

переменного подпора располагается обширный пойменно-руслевой комплекс общей площадью 132 км². За период 1986–2010 гг. зафиксирован прирост субаэральной части на 12.6 км².

Красноярское водохранилище многолетнего регулирования стока образовано в 1967 г. на р. Енисей между гг. Абакан и Красноярск. Величина снижения уровня от НПУ до УМО – 18 м. Притоки: Туба, Сисим, Сыда, Бирюса.

Среднеголетний годовой расход воды р. Енисей (г/п Никитино) – 1420 м³/с, сток воды – 44.8 км³, средний годовой расход взвешенных наносов – 11 кг/с, сток наносов – 0.35 млн т, средняя мутность – 7.7 г/м³.

Анализ топографических карт м-ба 1:100 000 и космических снимков показал, что при наполнении водохранилища до отметки НПУ в районе г. Абакан наблюдается надводный пойменно-руслевой комплекс площадью 12 км², а после сработки уровня на 10 м обнажается его подводная часть площадью 153 км² (рис. 2). Аналогичное происходит и в устье р. Тубы, где при снижении уровня водохранилища из-под воды выходит ранее образованная система речных рукавов и пойма площадью 79 км².

Ириклинское водохранилище многолетнего регулирования стока образовано на р. Урал в 1959 г. Амплитуда колебания уровня от НПУ до УМО – 12 м. Притоки: Сундук, Таналык, Сосновка.

Среднеголетний годовой расход воды р. Урал (г/п Березовский) 30,4 м³/с, сток воды – 0.96 км³. Средний годовой расход взвешенных наносов – 3.6 кг/с, сток наносов – 0.11 млн т, средняя мутность – 118 г/м³.

Площадь надводного пойменно-руслового комплекса при наполнении водохранилища до отметки НПУ составляла по карте 1985 г. – 13 км², а к 2013 г. в результате многолетней сработки уровня его площадь увеличилась до 27.7 км².

Мингечаурское водохранилище многолетнего регулирования стока образовано в 1960 г. на р. Кура. Размах колебаний уровня от НПУ до УМО – 15.2 м. Притоки: Алазани, Иори, Аракс.

Среднеголетний годовой расход воды р. Кура (г/п Сальяны) 523 м³/с, сток воды – 16.5 км³. Средний годовой расход взвешенных наносов – 710 кг/с, сток наносов – 22.4 млн т, средняя мутность – 1360 г/м³.

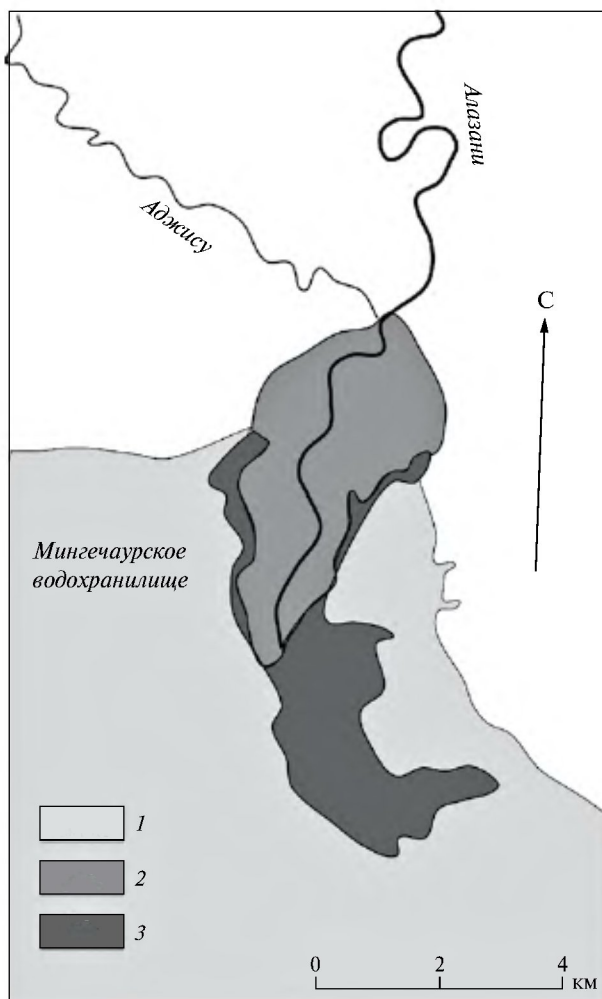


Рис. 3. Динамика дельты р. Алазани за 1986–2000 гг. при отметке уровня водохранилища 83 м абс.

1 – акватория Мингечаурского водохранилища, 2 – площадь дельты Алазани по топографической карте 1986 г., 3 – прирост площади дельты р. Алазани по космоснимку 2000 г.

Таблица 2

Современная динамика аллювиальных конусов выноса (дельт) и пойменно-русловых комплексов (ПРК) рек, впадающих в водохранилища

Водоём (водохранилище), река	Период на- блюдений, годы	Отметка уреза водоема в начале периода, м БС	Отметка уреза водоема в конце периода, м БС	Величина изменения уровня (+/- м)	Площадь дельты (или ПРК) в на- чале периода, км ²	Площадь дельты (или ПРК) в кон- це периода, км ²	Скорость прироста (осушения) дельты (или ПРК), км ² /год
Краснодарское, Кубань	1979–2013	32.2	32.2	0	37.5	100.6	1.9
Краснодарское, Белая	1979–2013	32.2	32.2	0	–	16.8	0.50
Красноярское, Енисей	1986–2009	243.4	233.0	–10	12.0	153.0	Осушение ПРК
Красноярское, Туба	1986–2010	243.0	233.0	–10	57.3	79.0	Осушение ПРК
Новосибирское, Обь	1986–2000	114.0	114.0	0	132	144.6	Осушение ПРК
Ириклинское, Урал	1966–2013	245.0	245.0	0	13.0	27.7	Осушение ПРК
Ортодокое, Чу	1971–2013	1760.0	1780.0	+20	9.1	3.5	Затопление ПРК
Мингечаурское, Кура	1986–2013	83.0	83.0	0	19.6	52.6	1.2
Мингечаурское, Алазани	1986–2009	83.0	83.0	0	10.7	18.1	0.32
Бухтарминское, Бухтарма	1978–2012	390.5	390.5	0	4.3	17.6	0.39
Бухтарминское, Нарым	1980–2007	390.5	390.5	0	2.2	8.1	0.22
Капчагайское, Или	1979–2013	475.6	475.6	0	48.0	79.8	0.94
Чардыньское, Сырдарья	1980–2013	252.0	252.0	0	191.1	442.5	7.6
Токтогульское, Нарын	1984–2013	873.0	873.0	0	11.0	15.4	0.15
Кировское, Талас	1978–2007	840.0	880.0	+40	48.7	0.7	Затопление ПРК
Сарыязинское, Муртаб	1984–2002	315.0	315.0	0	17.5	27.1	0.53
Кайраккумское, Сырдарья	1977–2013	348.5	348.5	0	139.8	151.6	0.33
Южно-Сурханское, Сурхандарья	1975–2010	415.0	415.0	0	5.4	33.4	0.80

Мингечаурское водохранилище одно из немногих, где можно подсчитать прирост дельт впадающих в него рек, имеющих большой сток взвешенных наносов. По данным Р.Б. Тарвердиева [30], в первые годы существования водохранилища за период с 1963 по 1966 гг. площадь подводного конуса р. Куры возросла почти на 13 км², р. Алазани — на 4.7 км² и р. Иори — на 2.6 км². По нашим данным дельта р. Куры за 1986–2013 гг. приросла на 33 км², клювовидная дельта р. Алазани за 1986–2009 гг. увеличила площадь с 10.7 до 18.1 км² (рис. 3).

В ходе исследования были установлены темпы современного выдвигания дельт для рек с большим стоком наносов (Кура, Алазань) и многолетним режимом регулирования водохранилищ. Например, средняя скорость прироста дельт рек Иори, Алазани и Куры, впадающих в Мингечаурское и Шамхорское водохранилища (респ. Азербайджан), составляет от 0.05 до 1.22 км²/год, а среднеазиатских и казахстанских рек Нарын (Токтогульское водохранилище), Нарым и Бухтарма (Бухтарминское водохранилище), Сырдарья (Кайраккумское водохранилище), Мургаб (Сарыязынское водохранилище), Или (Капчагайское водохранилище), Сурхандарья (Южно-Сурханское водохранилище) и Сырдарья (Чардарьинское водохранилище) — от 0.15 до 7.6 км²/год (табл. 2).

Изменения площадей пойменно-руслowych комплексов зависят от уровня заполнения водохранилища. Например, на стадии заполнения Ортокойского и Кировского водохранилищ (Киргизия) реками Чу и Талас площади ПРК составили 9.07 (1980 г.) и 48.74 км², в то время когда площадь водной поверхности водохранилищ составляла 5.19 (1971 г.) и 6.71 (1978 г.) км² соответственно. При максимальном наполнении этих водохранилищ на космических снимках 2007 и 2013 гг. площади сократились до 3.5 (Чу) и 2.75 (Талас) км². Аналогично при наполнении Красноярского водохранилища до НПУ большая часть площади пойменно-руслowych комплексов рек Енисея и Тубы находится в затопленном состоянии, тогда как боковые притоки формируют, как правило, небольшие многорукавные дельты площадью от 4 до 15 км².

Выводы

1. Исследования зон переменного подпора при впадении рек в водохранилища для 18 объектов позволили установить морфодинамические типы устьев. Были выделены следующие разновидности дельт: клювовидная дельта выдвигания, многорукавная дельта выдвигания с выровненным или лопастным краем, многорукавные дельты заполнения долинных заливов (табл. 1). Для первых выше перечисленных типов характерен большой объем стока наносов. Третий тип распространен в устьях притоков в водохранилищах многолетнего регулирования при их расположении в глубоководной части водохранилища.

2. В долинах крупных равнинных рек с незначительным стоком наносов, как правило, наблюдаются субэральные и субаквальные *пойменно-руслowych комплексы*, представляющие собой первичный русловой рельеф, затопленный при полном наполнении водохранилища (реки Обь, Енисей, Урал). Основная проблема изучения этих природных объектов заключается в том, что в большинстве случаев практически невозможно выделить современные аллювиальные выносы среди затопленных при наполнении водохранилища старых русловых и пойменных образований и оценить фактическую аккумуляцию речных наносов в зоне переменного подпора, особенно для рек с каскадами водохранилищ (Волга, Днепр). В то же время на боковых притоках в затопленных водохранилищем речных долинах могут формироваться *многорукавные дельты заполнения*.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-05-00156 — “Речные дельты водохранилищ и озер; закономерности формирования и прогноз развития”).

Acknowledgements. This paper was financially supported by RFBR (project No. 13-05-00156).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Россинский К.И.* Термический режим водохранилищ. М.: Наука, 1975. 165 с.
2. *Буторин Н.В., Зиминова Н.А., Курдин В.П.* Донные отложения верхневолжских водохранилищ. Л.: Наука, 1975. 158 с.
3. Гидробиологические характеристики водохранилищ волжского бассейна // Тр. ин-та биологии внутренних вод АН СССР. 1992. Вып. 46 (49). 145 с.
4. *Новиков Б.И.* Донные отложения днепровских водохранилищ. Киев: Наук. Думка, 1985. 172 с.
5. Водохранилища Сибири // Тр. СИБНИИЭ. 1968. Вып. 14. 162 с.
6. *Буторин Н.В.* Гидрологические процессы и динамика водных масс в водохранилищах Волжского каскада. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1969. 322 с.
7. Водохранилища Верхней Волги. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 291 с.
8. Волгоградское водохранилище. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 78 с.
9. Куйбышевское и Саратовское водохранилища. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 270 с.
10. Новосибирское водохранилище и озера бассейна Средней Оби. Справочное пособие. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 156 с.
11. *Вендров С.Л.* Преобразование речных систем в СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 235 с.
12. Можайское водохранилище // Комплексные исследования водохранилищ. Вып. III. М.: Изд-во МГУ, 1979. 400 с.
13. Водохранилища Москворецкой водной системы // Комплексные исследования водохранилищ. Вып. VI. М.: Изд-во МГУ, 1985. 266 с.
14. *Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шаронов В.А.* Водохранилища. М.: Мысль, 1987. 325 с.
15. *Эдельштейн К.К.* Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.
16. *Беркович К.М.* Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2012. 163 с.
17. *Эдельштейн К.К.* Гидрология озер и водохранилищ. М.: Перо, 2014. 399 с.
18. *Маккавеев Н.И.* Воздействие крупного гидротехнического строительства на геоморфологические процессы в речных долинах // Геоморфология. 1970. № 2. С. 28–34.
19. *Виноградова Н.Н., Рулева С.Н.* Влияние изменений гидрологического режима и хозяйственной деятельности на состояние русла р. Оби в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1982. № 1. С. 38–44.
20. *Векслер А.Б., Доненберг В.М.* Переформирование русла в нижних бьефах гидроэлектростанций. М.: Энергоатомиздат, 1983. 217 с.
21. *Виноградова Н.Н., Иванов В.В.* Изменение гидрологического и руслового режимов Енисея в нижних бьефах ГЭС // Водные ресурсы. 1996. Т. 23. С. 267–270.
22. *Беркович К.М., Виноградова Н.Н., Иванов В.В., Чалов Р.С.* Переформирования русла Енисея ниже Красноярской ГЭС в условиях интенсивной техногенной нагрузки // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 14. М.: Изд-во МГУ, 2003. С. 144–161.
23. *Беркович К.М., Виноградова Н.Н., Завадский А.С., Сурков В.В., Рулева С.Н., Чалов Р.С.* Нижний бьеф Новосибирской ГЭС в прошлом, настоящем и будущем (опыт исследования формирования природно-техногенной системы) // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 16. М.: Изд-во МГУ, 2008. С. 132–147.
24. *Беркович К.М., Виноградова Н.Н.* Влияние крупных водохранилищ на гидрологический и русловой режим зоны переменного подпора // Водные ресурсы. 1975. № 6. С. 81–87.
25. *Беркович К.М., Виноградова Н.Н., Рулева С.Н.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в зонах переменного подпора водохранилищ // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Т. 1. Пермь: Изд-во Пермского. ун-та, 2007. С. 135–143.
26. *Виноградова Н.Н., Рулева С.Н.* Изменения гидрологического и руслового режима рек под влиянием водохранилищ // Влияние водохранилищ на русловые процессы. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2010. С. 30–49.
27. *Субетто Д.А., Ал Нуаири Б.Х., Фирсенкова В.М., Брылкин В.В.* Динамика берегов водохранилища Хамрин (Ирак) // Геоморфология. 2016. № 3. С. 91–102.
28. Справочник водохранилищ СССР. Ч. 1. М.: Союзводпроект, 1988. 323 с.
29. *Курбатова И.Е.* Мониторинг трансформации Краснодарского водохранилища с использованием спутниковых данных высокого разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 3. С. 42–53.
30. *Тарвердиев Р.Б.* Заиление Мингечаурского водохранилища. Баку: Элм, 1974. 156 с.

REFERENCES

1. Rossinskiy K.I. *Termicheskiy rezhim vodohranilish* (Thermal regime of reservoirs). M.: Nauka (Publ.), 1975. 165 p.
2. Butorin N.V., Ziminova N.A., and Kurdin V.P. *Donnye otlozheniya verhnepovolzhskikh vodohranilish* (Bottom sediments of the Upper Volga reservoirs). L.: Nauka (Publ.), 1975. 158 p.
3. Hydrobiological characteristics of the Volga basin reservoirs. *Tr. In. Biol. Vnutr. Vod AN SSSR*. Iss. 46 (49). L. 1992. 145 p. (in Russ.)
4. Novikov B.I. *Donnye otlozheniya dneprovskikh vodohranilish* (Bottom sediments of the Dnieper reservoirs). Kiev: Naukova Dumka (Publ.), 1985. 172 p.
5. Siberian reservoirs. *Tr. SIBNIIYe*. Iss. 14. Novosibirsk, 1968. 162 p. (in Russ.)
6. Butorin N.V. *Gidrologicheskie processy i dinamika vodnykh mass v vodohranilishchakh Volzhskogo kaskada* (Hydrological processes and dynamics of water masses in the Volga cascade reservoirs). L.: Nauka (Publ.), 1969. 322 p.
7. *Vodohranilisha Verhnei Volgi* (Reservoirs of the Upper Volga). L. Gidrometeoizdat (Publ.), 1975. 291 p.
8. *Volgogradskoe vodohranilische* (Volgograd reservoir). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1976. 78 p.
9. *Kuibyshevskoe i Saratovskoe vodohranilisha* (Kuibyshev and Saratov reservoirs). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1978. 270 p.
10. *Novosibirskoe vodohranilische i ozera basseina Srednei Obi* (Novosibirsk reservoir and lakes of the Middle Ob basin). Ref. book. L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1979. 156 p.
11. Vendrov S.L. *Preobrazovanie rechnykh sistem v SSSR* (Transformation of the USSR river systems). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1979. 235 p.
12. Mozhayskoe reservoir, in *Kompleksnye issledovaniya vodohranilish* (Complex researches of reservoirs). Iss. III. M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1979. 400 p.
13. Reservoirs of the Moscow water system, in *Kompleksnye issledovaniya vodohranilish* (Complex researches of reservoirs). Iss. VI. M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1985. 266 p.
14. Avakjan A.B., Saltankin V.P., and Sharapov V.A. *Vodohranilisha* (Water reservoirs). M.: Mysl (Publ.), 1987. 325 p.
15. Yedel'shtein K.K. *Vodohranilisha Rossii: yekologicheskie problemy, puti ih resheniya* (Reservoirs of Russia: environmental problems, ways to solve them). M.: GEOS (Publ.), 1998. 277 p.
16. Berkovich K.M. *Ruslovye processy na rekah v sfere vliyaniya vodohranilish* (Channel processes on the rivers in the sphere of influence of reservoirs). M.: Geogr. f-t MGU (Publ.), 2012. 163 p.
17. Yedel'shtein K.K. *Gidrologiya ozer i vodohranilish* (Hydrology of lakes and reservoirs). M.: Pero (Publ.), 2014. 399 p.
18. Makkaveyev N.I. The impact of large hydrotechnical construction on geomorphological processes in river valleys. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1970. No. 2. P. 28–34. (in Russ.)
19. Vinogradova N.N. and Ruleva S.N. Influence of changes in the hydrological regime and economic activity on the state of the riverbed. Ob in the downstream of the Novosibirskaya HPP. *Vestn. Mos. Univ. Ser. 5. Geogr.* 1982. No. 1. P. 38–44. (in Russ.)
20. Veksler A.B. and Donenberg V.M. *Pereformirovanie rusla v nizhnih b'efah gidroyelektrostanciy* (Reforming of the channel in the lower reaches of hydroelectric power plants). M.: Yenergoatomizdat (Publ.), 1983. 217 p.
21. Vinogradova N.N. and Ivanov V.V. Change in the hydrological and channel regime of the Yenisei in the lower reaches of the HPP. *Vodn. Resur.* 1996. Vol. 23. P. 267–270. (in Russ.)
22. Berkovich K.M., Vinogradova N.N., Ivanov V.V., and Chalov R.S. Reforming of the Yenisei riverbed below the Krasnoyarsk hydroelectric power station under conditions of intensive technogenic pressure, in *Erozija pochv i ruslovye process* (Soil erosion and river channel processes). Iss. 14. M.: izd-vo MGU (Publ.), 2003. P. 144–161.
23. Berkovich K.M., Vinogradova N.N., Zavadskii A.S., Surkov V.V., Ruleva S.N., and Chalov R.S. The lower tail of the Novosibirsk HPP in the past, present and future (the experience of studying the formation of the natural and man-made system, in *Erozija pochv i ruslovye process* (Soil erosion and river channel processes). Iss. 16. M.: izd-vo MGU (Publ.), 2008. P. 132–147.
24. Berkovich K.M. and Vinogradova N.N. The influence of large reservoirs on the hydrological and channel regime of the zone of variable pressure. *Vodn. Resur.* 1975. No. 6. P. 81–87. (in Russ.)
25. Berkovich K.M., Vinogradova N.N., and Ruleva S.N. Erosion-accumulative processes in the zones of variable storage of reservoirs, in *Sovremennye problemy vodohranilish i ih vodosborov* (Modern problems of reservoirs and their catchments). Vol. 1. Perm: Izd-vo Perm. un-ta (Publ.), 2007. P. 135–143.

26. Vinogradova N.N. and Ruleva S.N Changes in the hydrological and river bed regime of rivers under the influence of reservoirs, in *Vlijanie vodohranilish na ruslovyje process* (Influence of reservoirs on channel processes). Perm: Izd-vo Perm. un-ta (Publ.), 2010. P. 30–49.
27. Subetto D.A., Al Nuairi B.H., Firsenkova V.M., and Brylkin V.V. The Harmin reservoir (Iraq) coastal dynamics. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2016. No. 3. P. 91–102. (in Russ.)
28. *Spravochnik vodohranilish SSSR* (Directory of the USSR reservoirs). Part 1. M.: Soyuzvodproekt (Publ.), 1988. 323 p.
29. Kurbatova I.E. Monitoring of the transformation of the Krasnodar Reservoir using high-resolution satellite data, in *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa* (Modern problems of remote sensing of the Earth from space). 2014. Vol. 11. No. 3. P. 42–53.
30. Tarverdiev R.B. *Zailenie Mingechaurskogo vodohranilisha* (Sedation of the Mingechaur Reservoir). Baku: Yelm (Publ.), 1974. 156 p.