Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов

ЭРОЗИОННЫЕ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Выпуск 6

МОСКВА
2015

УДК 6.31.4:35.3

Э74 Эрозионные и русловые процессы. Сборник трудов / под ред. Р.С. Чалова. М.: Географический факультет МГУ. 2015.Выпуск 6. 348 с.
ISBN 978-5-9906530-1-6

Сборник содержит труды учёных университетов, академий, учебных институтов, объединяемых межвузовским научно-координационным советом по проблемам эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ. Статьи содержат результаты исследований, выполненных в 2011-2015 гг. Авторами большинства статей являются учёные разных вузов, в том числе представители университетов Польши, Украины и Белоруссии. Это свидетельство совместных исследований, их координации в рамках Совета и согласования методических и теоретических подходов к решению проблем. Представляет интерес для гидрологов, гидротехников, геоморфологов, геоэкологов, специалистов по эрозии почв и русловым процессам.

Издание осуществлено за счёт средств научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова.

Подготовлено в рамках программы Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект НШ – 1010.2014.5).

Печатается по решению Президиума Межвузовского научно-координационного совета по проблемам эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ

Под редакцией профессора Р.С. Чалова

Рецензенты:
доктор технических наук, профессор А.Ю. Александровский
кандидат географических наук, доцент О.А. Борсук

Ответственные за выпуск: С.Н. Ковалев, Д.В. Ботавин

ISBN 978-5-9906530-1-6 УДК 6.31.4:35.3

© Коллектив авторов
© Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ
© научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева

Научное издание

Эрозия почв и русловые процессы

Подписано в печать 20.03.2015. Заказ № 006483
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 21.8. Тираж 200 экз.
ООО «ПринтКоВ». 105064, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 7

СОДЕРЖАНИЕ

Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов в 2011-2015 гг. (цифры, факты и комментарии к ним) (Составители: С.Н. Рулёва, Р.С. Чалов)... 5

Л.Ф. Литвин, З.П. Кирюхина, Н.Г. Добровольская
Эрозия почв южнотаёжной зоны центра Европейской части России..... 13

А.Ф. Черныш, А.М. Устинова, А.В. Юхновец
Современные почвенно-эрозионные процессы в Беларуси..... 27

Гареев А.М., Назаров Н.Н., Рысин И.И.
Основные тенденции развития овражной эрозии в пределах Камского Предуралья..... 46

И.И. Григорьев, С.Н. Ковалев, И.И. Рысин
Инженерные овраги..... 60

И.П. Ковальчук, О.В. Пылыповыч, А.В. Мыхновыч
Геоморфологические исследования бассейновых и речных систем: подходы, результаты, перспективы..... 72

М.М. Мордвинцев, М.В. Кумани, В.Н. Голосов
Современные тенденции изменения и методы регулирования стока наносов и загрязняющих веществ на малых реках сельскохозяйственной зоны России..... 98

А.В. Бондаренко, А.М. Маринин
Зимние гидрогенные процессы и явления на Алтае..... 117

Г.Я. Барышников, С.Н. Рулёва
Русловые процессы на реках переходной зоны Алтая..... 122

А.Л. Варенов, Д.В. Ботавин, А.С. Завадский, А.М. Тарбеева, Р.С. Чалов
Русловые процессы на малых реках староосвоенной территории (на примере рек бассейна р. Кудьмы, Приволжская возвышенность)..... 131

В.С. Лапшенков Русла малых водотоков в связных грунтах..... 161

А.В. Брылёв, Б.И. Фридман
Берега Приволжской возвышенности..... 166

ЛИТЕРАТУРА

Бахарева И.А., Фридман Б.И. Уникальный природно-исторический охранный комплекс «Барминское оползневое поле» // Геологическое образование средствами музея. Н. Новгород: Деловая полиграфия. 2007.

Блом Г.И. Олигоценовые отложения Волго-Ветлужского междуречья // Советская геология. 1960. № 3

Брылёв В.А. Эволюционная геоморфология юго-востока Русской равнины: монография. Волгоград: Перемена. 2005.

Брылёв В.А., Мозжерин В.В., Панин А.В., Сидорчук А.Ю. Палеопотамология речной системы Волги // Эрозионные и русловые процессы. М.: МАКСПресс. 2010. Вып. 5.

Герасимов И.П., Мещеряков Ю.А. Геоморфологический этап в развитии Земли // Изв. АН СССР. Серия географ. 1964. № 6.

Головкинский Н.А. О послетретичных образованиях по Волге в её среднем течении // Уч. зап. Казан. ун-та. 1865.

Горелов С.К. Геоморфология и новейшая тектоника Правобережья Нижней Волги // Труды Ин-та географии АН СССР. Вып. 19. 1957.

Карандеева М.В. Геоморфология Европейской части СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1957.

Мильков Ф.Н. Среднее Поволжье: Физико-географическое описание. М.: Изд-во АН СССР. 1953.

Обедиентова Г.В. Эрозионные циклы и формирование долины Волги. М.: Наука. 1977.

Павлов А.П. Оползни Симбирского и Саратовского Поволжья // Статьи по геоморфологии, по вопросам генезиса материковых образований и по прикладной геологии. М.: Изд-во ОИП. 1951.

Пиотровский М.В. К изучению основных черт рельефа Нижнего Поволжья // Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз. 1945. № 2.

Равнины Европейской части СССР / Геоморфология СССР. М.: Наука. 1974.

Фридман Б.И. Берега реки нагорные береговые откосы в связи с охраной литоразнообразия (на примере Нижегородского Поволжья) // Пространственная организация, функционирование, динамика и эволюция природных, природно-антропогенных и общественных географических систем. Мат. Всерос. науч. конф. с международ. участием. Киров. 2010.

Фридман Б.И. Геологические предпосылки организации Лысковского природно-исторического охранного комплекса // Антропогенные изменения и охрана природной среды. Н. Новгород: НГПИ им. Горького. 1990.

Фридман Б.И. «Нижегородские горы» // Педагогическое обозрение. 2002. № 3

Фридман Б.И. Рельеф Нижегородского Поволжья. Н. Новгород: Нижегор. гум. центр. 1999.

Фридман Б.И., Манаева Н.В. Ландшафтно-геоморфологическая характеристика оползневых ландшафтов Окско-Волжского Нижегородского откоса // Геоморфология. 2011. № 3.

Чернецовы Г.Г. и Н.Г. Путешествие по Волге. М.: Мысль. 1970.

К.М. Беркович[1], Д.А. Вершинин[2], В.А. Земцов[2], С.Н. Рулева[1], В.В. Сурков[1], Н.Л. Фролова[1]

[1]*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,*

[2]*Научно исследовательский Томский государственный университет,*

ЛЕДОВЫЙ И РУСЛОВОЙ РЕЖИМ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ТОМИ*

Река Томь – крупнейший приток Оби на юго-востоке Западной Сибири, берет начало на западном склоне Абаканского хребта, протекает в Республике Хакасии, Кемеровской и Томской областях.

Верхняя часть её бассейна – горная страна. У г. Междуреченска река выходит в пределы Кузнецкой котловины, пересекает Томь-Колыванскую складчатую область, в низовьях течет в пределах Колпашевской впадины.

Долина нижней Томи (120-километровый отрезок в пределах Томской области) ориентирована в субмеридиональном направлении. Она располагается на стыке двух крупных геологических структур – Колывань-Томской складчатой зоны и Западно-Сибирской плиты; граница между которыми пересекает долину реки в 70 км от устья, являясь одновременно геоморфологическим и ландшафтным рубежом. В геоморфологическом отношении она служит контактом Западно-Сибирской низменности и северных отрогов Кузнецкого Алатау, в ландшафтном – разделом физико-географических стран – Западной Сибири и гор Южной Сибири. Южнее этой линии скальные породы палеозойского фундамента Западно-Сибирской плиты выходят на поверхность: вскрываются в русле реки, слагают цоколи правобережных террас, образуют далеко выступающие в долину с левого берега скалистые мысы. В морфологии долины (ширина не более 20 км) отражается сложный рельеф поверхности фундамента: она характеризуется резкими сужениями и расширениями, имеет чёткую асимметрию – крутой и высокий (180-240 м) правый борт и низкий (110-130 м), относительно пологий левый.

Бассейн р. Томи достаточно увлажнен. Годовое количество осадков изменяется от 350 мм до 800 мм. Соответственно велика изменчивость ме-

---

* Выполнено при частичной поддержке Программы Президента РФ для поддержке ведущих научных школ (проект НШ-1010.2014.5) и РФФИ (проект 15-05-03752)

сячных сумм осадков в году. За теплый период года (с апреля по октябрь) повсеместно выпадает до 75 %, в холодный (ноябрь-март) – до 25 % годового количества осадков. Бассейн р. Томи относится к районам, где осадков выпадает больше, чем их может испариться.

Томь – река с алтайским типом водного режима, который характеризуется растянутым, до 3-4 месяцев, весенне-летним половодьем и низкой осенне-зимней меженью. Из-за отсутствия ледникового питания половодье на Томи более короткое, чем на других реках с подобным режимом (в среднем, со второй половины апреля по вторую половину июля, 75-95 суток). Половодье имеет высокую и острую волну; ссредняя амплитуда уровней составляет 7-8 м. При часто возникающих ледовых заторах уровни на локальных участках поднимаются на 10-12 м, но вода на максимальных отметках держится не более 2-4 суток. Спад половодья происходит в 2-4 раза медленнее подъёма воды (20-30 см/сут против 50-120), но, в целом, достаточно быстро. В половодье проходит 70% годового стока реки; вследствие этого меженные уровни при отсутствии дождевых паводков устанавливаются крайне низкие. На рисунке 1 приведены гидрографы стока за различные по водности годы.

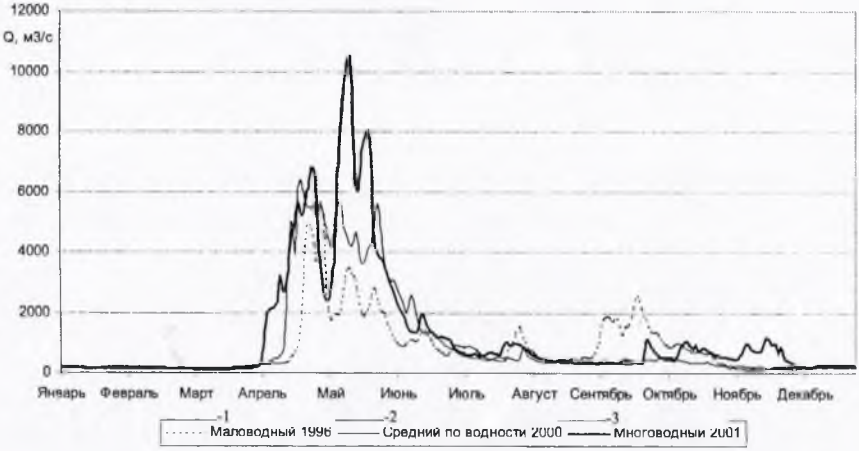

Рис. 1. Характерные гидрографы стока р. Томь – г. Томск-гидроствор:
1 – маловодный, 1996 г.; 2 – средний по водности, 2000г.; 3 – многоводный, 2001 г.

Максимальные расходы воды наблюдаются в конце апреля – середине мая, в среднем 5-15 мая. Среднемноголетний расход воды – 1080м^3/с Максимальный расход воды р. Томи у г. Томска составлял 13600 м^3/с в 1930 и 1937 г. Средний максимальный расход воды за период 1918-2010 гг. [Короткова, Вершинин, 2011] – 8340 м^3/с. Максимальные расходы воды по сравнению с первой половины XX века снизились, хотя во второй половине прошлого века они были относительно стабильны.

Руслоформирующий расход на р. Томи (г.п. Томск-гидроствор), по данным до 1972 г. [Чалов, 1973], равен 4400 $м^3/с$, по уточненным расчетам, до 2000годов, [Киселев, Земцов, 2011] – составляет 4960 $м^3/с$. В этот же период (с 1950 по 2006 годы) продолжительность стояния расходов, превышающих руслоформирующие, составляет в среднем около 16 суток в год.

Начало половодья приходится на середину апреля. В период ледохода наблюдаются кратковременные повышения уровней заторного происхождения, которые в отдельные годы превышают уровни пика половодья при отсутствии заторов.

Сток наносов невелик. По данным Ю.И. Каменскова [1987] он составляет 350 тыс. т, по другим данным [Чалов и др. 2000] – 430 тыс. т только влекомых наносов. Сток взвешенных наносов (среднемноголетний) равен 3,39 млн. т.

Ледовый режим

Ледовые заторы – характерная особенность режима р. Томи в нижнем течении. Они образуются на нескольких участках: от с. Ярского до д. Курлек; от с. Вершинино до с. Коларово; от г. Томска до с. Белобородово; от д. Чернильщиково до д. Орловки и от устья р. Томи до д. Карнаухово на р. Оби. Изменение уровней воды при заторных явлениях колеблется в широких пределах – от 1 до 10 м, продолжительность стояния затора – от первых часов до 10 суток.

Формирование заторов льда определяется сложным сочетанием географических, гидрологических, метеорологических и геоморфологических факторов. Факторы формирования и развития заторных явлений делятся на две группы: 1) гидрометеорологические (интенсивность весеннего половодья, распределение толщины и прочности льда, уровенный и ледовый режимы предшествующих затору осенних паводков и зимней межени), определяющие количество и интенсивность поступления льда; 2) геоморфологические (строение и конфигурация речной долины и русловой сети), обусловливающие различия в пропускной способности русловой системы, состоящей из главного русла и проток, часто соизмеримых с ним по водоносности.

Основные черты ледового режима определяются климатическими условиями региона. Средняя продолжительность периода с ледовыми явлениями на нижней Томи составляет 175-180 дней. Первые ледовые образования в виде заберегов и сала появляются в конце октября – первых числах ноября вслед за переходом температуры воздуха через 0°С к отрицательным значениям. В нижнем течении р. Томи ледостав в среднем устанавливается к середине ноября. В первые 10 дней уровень воды растет, затем несколько снижается и остается постоянным до весны. Средняя продолжительность ледостава составляет до 90% продолжительности периода с ледовыми явлениями.

Толщина льда увеличивается в течение всей зимы и достигает максимальных значений перед вскрытием (60 см в теплые и до 120 см в суровые зимы). Толщина льда в устье р. Томи (г/п Козюлино) из-за влияния сброса промышленных вод выше по течению даже в суровые годы не превышает 65 см. В местах выхода грунтовых вод на р. Томи образуются наледи, которые развиваются в течение всей зимы [Ресурсы..., 1977]. Разрушение льда начинается с появления талой воды на его поверхности. Весенний ледоход в среднем начинается в середине апреля, в третьей декаде апреля река очищается ото льда. Вскрытие часто сопровождается образованием заторов льда.

Среди гидрометеорологических условий в формировании заторов важную роль играет тип замерзания и характер последующего весеннего вскрытия, которые в свою очередь зависят от погодных условий осени [Марусенко, 1958]. Когда осенью господствует сухая и холодная погода, ледяной покров устанавливается на низких уровнях, объем льда невелик, и при отсутствии подо льдом шуги заторы не формируются. В годы, когда сухая и морозная воздушная масса резко сменяется теплой и влажной, несущей обильный осадки в виде дождя и снега, начавшийся осенний ледоход прерывается. Шуга, сало и снежница забивают живое сечение и остаются подо льдом до весны. Образующиеся зажоры вызывают подъем уровня воды на 2,5-3,0 м [Ресурсы..., 1977], ледостав устанавливается при средних и высоких уровнях воды. Поверхность льда при таком типе замерзания торосистая, вскрытие реки сопровождается заторами. В годы с теплой и влажной осенью ледостав устанавливается на высоких уровнях воды после неоднократного ледохода в поздние сроки. Большой объем льда и сформировавшиеся осенью зажоры предопределяют заторообразование в период весеннего вскрытия и связанные с ним катастрофические наводнения.

На изменения сроков ледовых явлений и другие особенности ледового режима влияют даты перехода среднесуточной температуры через 0°С весной и осенью, а также сумма отрицательных температур воздуха. За период более 100 лет метеорологические характеристики изменились незначительно, смещение сроков ледовых явлений также практически не наблюдается, за исключением дат вскрытия, которые в нижнем течении изменились на более ранние. С этим связано увеличение продолжительности весеннего ледохода (рис. 2).

Глобальные изменения климата оказали определенное воздействие на ледовый режим Томи. В целом река начала вскрываться раньше, а максимальные уровни – наступать позже. По-видимому, роль теплового фактора во вскрытии реки повышается. За последние 10 лет наблюдаются самые низкие значения прочности и толщины льда, что способствует снижению вероятности образования заторов.

Характер вскрытия реки и его изменение от года к году зависит также от соотношения динамических и тепловых факторов в период вскрытия. Динамические факторы (волна половодья) определяются погодными усло-

виями в верховьях бассейна и характеризуются, в том числе, интенсивностью нарастания расходов воды. Под действием тепловых факторов происходит потеря прочности ледяного покрова. В нижнем течении р. Томи вскрытие нередко происходит на фоне отрицательных температур воздуха, до устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°С.

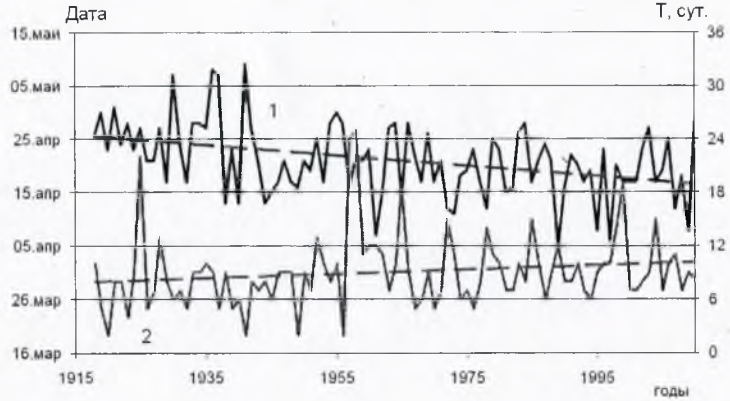

Рис. 2. Изменение дат вскрытия (1) и продолжительности ледохода (2) на р. Томи в районе г. Томска за период 1918 – 2010 гг.

Обработка данных гидрологических ежегодников за последние 30 лет показала, что повторяемость заторов в районе створов у с. Поломошного и г. Томска за 1980-2010 гг. составляет около 33%. Заторы создают заметный вклад в режим уровней воды (рис. 3) и его изменение от года к году.

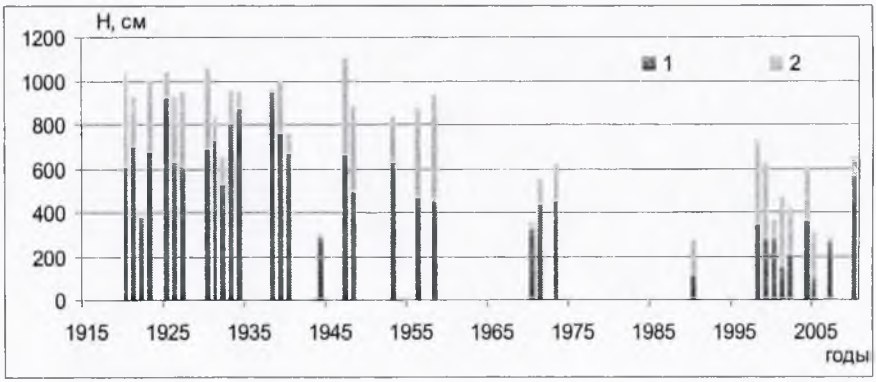

Рис. 3. Изменение максимальных заторных уровней воды р. Томи в районе г. Томска с 1918 по 2010 гг. (1 – суммарная стоковая и русловая составляющая уровня воды, 2 – заторная составляющая)

Максимальный заторный уровень воды определяется характеристиками ледяного покрова (его толщиной и прочностью) и водного режима – расходом воды и интенсивностью его увеличения в момент вскрытия и образования затора [Марусенко, 1958]. Вклад заторной составляющей в максимальный уровень воды может достигать 70%, однако в годы катастрофических наводнений заторная составляющая не превышает 40%.

Следует отметить, что в 2010 г наблюдался исторический максимум уровня воды на гидростворе – 1057 см над нулем поста.

Максимальная частота заторов [Вершинин и др., 2014] приходилась на 1910–1941 гг. – 20 случаев за 32 года. В 1940-1950-е гг. мощные заторы наблюдались гораздо реже. До 1998 г. зафиксировано лишь 4 случая заторов за 39 лет; уровень воды при этом был значительно ниже предшествующих. Начиная с 1998 г. по настоящее время частота возникновения заторов резко возросла – 10 случаев за 17 лет. По другим данным [Фролова и др., 2011] число заторов при вскрытии за период с1998 по 2011 гг. составило 40% всех случаев.

До конца 1950-х г. голова заторов формировалась в месте крутого изгиба реки у с. Белобородово, где находится г. Северск. В результате пониженная часть г. Томска полностью оказывалась в зоне затопления. В 1947 г. наблюдался максимальный заторный уровень воды на г.п. Томск-пристань, превышающий уровень предшествовавшей межени на 10 м. Были и человеческие жертвы. Позже, до конца 1990-х г, высокие заторы здесь не возникали, так как предприятия г. Северска, г. Томска, сбрасывали в реку нагретые промышленные воды. После закрытия реакторов в Северске заторы ниже Томска вновь стали возникать, правда, их частота и мощность заметно снизились. В настоящее время основные места возникновения заторов в результате хозяйственной деятельности сместились вверх по течению, что, прежде всего, вызвано техногенными изменениями продольного профиля реки. Ситуация с формированием заторов во времени меняется также за счёт изменения пропускной способности русловой системы (разработка русловых карьеров, ликвидация островов, дноуглубительные работы по трассе судового хода, строительство мостовых переходов и др.), более ранних сроков искусственного разрушения ледового покрова выше по течению с помощью взрывных работ, которые приводят к измельчению льда и, как следствие, к повышению плотности ледовых масс, накапливаемых в теле затора. Выше Томска заторы регулярно фиксировались в с. Ярском, где в период с 1931 по 1965 гг. Гидрометслужбой велись регулярные наблюдения за уровнями воды. По данным Я.И. Марусенко [1958] мощные заторы зафиксированы в 1931, 1941, 1943 гг. По материалам наблюдений Гидрометслужбы, высокие уровни при заторах у с. Ярского наблюдались в 1933, 1935, 1938, 1939 гг., в 1951 г. затор наблюдался выше с. Ярского, но уровень был ниже выхода воды на пойму; в 1954 г. затор образовался ниже по течению как и в 1951 г. и не вызвал высокого подъема уровней.

При этом: р. Томь стала вскрываться раньше, чем наступают максимальные уровни. Вскрытие обычно наблюдается на подъеме волны половодья. В 2010 г. вскрытие наблюдалось на пике половодья, при высоких значениях расхода и уровней воды, даты вскрытия и максимального годового уровня совпали. Эти даты также совпадали в 1943 и 1992 гг.

Повышение уровней половодья вследствие формирования заторов приводит в условиях высокой хозяйственной освоенности дна долины к наводнениям, угрожающим населенным пунктам, мостовым переходам, объектам инфраструктуры. Наводнения наблюдаются в период вскрытия реки в весенний период и, чаще всего, на участках со сложными морфологическим строением русла и дна долины. Основные из них – резкое уменьшение уклона по длине реки, сужение русла, разветвления, крутые излучины, узлы слияния и разделения рукавов

Некоторые авторы отмечают тенденцию увеличения степени опасности ледового режима в последние годы [Савичев, 2010] – проявляющейся в росте повторяемости наводнений, обусловленных заторами, выпадением дождей в период вскрытия реки (2004 г.) и предшествующими осенними заторами (2010 г.).

Антропогенное воздействие на реку и её последствия

Во второй половине XX века всё более существенную роль в нижнем течении Томи приобретают антропогенные факторы, деятельность, способствующая изменению пропускной способности русла (отчленение проток, срезка островов, строительство мостов, дамб и дорог на пойме, разработка карьеров для добычи гравия и др.), и мероприятия, непосредственно направленные на борьбу с заторами и заторными наводнениями – искусственное разрушение ледового покрова задолго до естественных сроков вскрытия реки и измельчение льда взрывами сверху вниз по течению.

Интенсивная добыча стройматериалов (песка и гравия), относящаяся к прямым видам воздействия на речное русло. В русле Томи, в её нижнем течении, она ведется с начала 1950-х гг. До середины 1970-х гг. – подразделениями предприятий «Химстрой» и «Промстройматериалы», затем Томским речпортом и его преемником – ОАО «Томская судоходная компания» (ОАО ТСК), а также ЗАО «Карьероуправление». В первые три десятилетия из русла Томи добывалось в среднем около полутора миллионов тонн песчано-гравийного материала (ПГМ). Максимум добычи – 6,9 млн. $м^3$/год – был достигнут в 1982 г. (рис.4).

В 1986 г. были выведены из эксплуатации четыре месторождения ПГМ, расположенные в районе г. Томска. До 1991 г. отрабатывалось Чернореченское месторождение, в 1990 гг. основная добыча сосредоточилась на месторождениях, расположенных в пойме, островах и протоках Томи г. Томска, – Айдаковском, Коларовском, Казанские Юрты. Кроме того, в 1996 г. добыча ПГМ в русле р. Томь проводилась у с. Тахтамышево для обуст-

ройства городского пляжа. Начиная с 2000 г. по настоящее время разрабатывается месторождение в протоке Светлая. В последние годы добыча на Верхне-Томских месторождениях не превышает 1 млн. $м^3$/год. Всего же к началу 2000-х гг. в русле и пойме Томи было добыто более 160 млн. $м^3$ ПГМ.

В процессе разработки карьеров в районе Томска были уничтожены почти все перекаты, и участок русла длиной более 20 км на протяжении от устья р. Ушайка до г. Северска превратился в единую плесовую лощину с малыми уклонами и слабой транспортирующей способностью. Сократилась ширина реки в межень выше Коммунального моста. Наиболее резкое сужение произошло в месте выхода скальных пород в русле в районе Лагерного сада (рис. 5).

Вдоль правого берега реки здесь при низких и средних уровнях воды обнажается поверхность коренных пород шириной вдоль реки около 300 м. В этом месте на расстоянии около 900 м падение водной поверхности в летнюю межень составляет около 1 м при глубине русла на пороге «Боец» 0,7-1 м. Этот порог препятствует прохождению в межень даже маломерных судов, составов барж, перевозящих гравий с вышележащих карьеров, для которых навигация здесь прекращается уже в конце мая – начале июня. С целью обеспечения навигации в данном месте в 1985 г. была разработана прорезь для проводки барж к выше расположенным месторождениям ПГМ, что способствовало дополнительной «посадке» уровней выше г. Томска, начавшейся из-за появления обширных и глубоких карьеров в русле выше и ниже по течению

Однако порог «Боец», играя роль местного базиса эрозии, препятствует распространению вверх по течению более существенного врезания реки и посадки уровней по сравнению с нижним участком. Несмотря на то, что порог сложен скальными породами, он подвергается разрушению в связи с высокими скоростями потока в летнюю межень (до 3 м/с), об этом свидетельствуют окатанные обломки глинистых сланцев, обнаруживаемые на галечной отмели ниже Коммунального моста.

Образование порога «Боец» наиболее яркое последствие разработки карьеров на русло р. Томи. Он фиксирует резкий перегиб продольного профиля у г. Томска, разделяя нижнюю Томь от с. Ярского до устья длиной 122 км на два участка. Перегиб отчетливо фиксируется по резкому изменению уклона водной поверхности (рис. 6).

Верхний участок длиной около 50 км отличается сравнительно большим для равнинной реки уклоном – в среднем более 0,2‰. и большой крупностью руслообразующих наносов. Этот участок заканчивается скальным выступом дна – (порогом «Боец»), уклон на котором достигает 0,5‰, в половодье и 0,9 ‰, в межень (табл. 1). До 70-х годов XX века порог в продольном профиле не проявлялся. Его образование связано с регрессивной эрозией выше карьеров в районе г. Томска [Беркович, Рулева и др.1998].

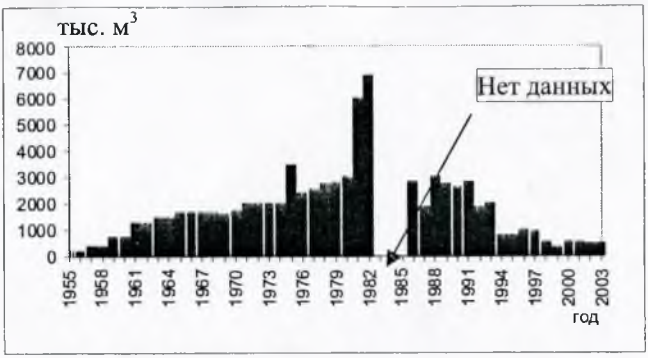

Рис.4. Годовые объемы добычи песчано-гравийных материалов в русле р. Томи в 1955-2003 гг.

Рис. 5. Выходы скальных пород (порог «Боец») г. Томск в районе Лагерного сада в летнюю межень (август 2012 г.)

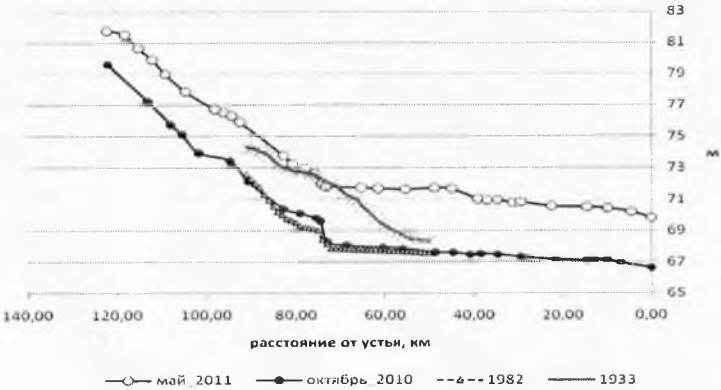

Рис. 6. Продольные профили нижнего течения р. Томи:
1 – 1933 г., 2 – 1982 г., 3 – октябрь 2010 г., 4 –май 2011 г.

Ниже порога «Боец» в связи с резким расширением русла и низкими отметками дна происходит аккумуляция крупных наносов (гальки, гравия и крупного песка), поступающих с вышележащих участков. В результате ниже Коммунального моста, в левобережной части русла сформировалась массивная, сложенная гравием отмель. Максимум аккумуляции наносов приурочен к створу в 600 м ниже Коммунального моста. В конце 1990-х гг. здесь стали отмечаться случаи заметного повышения уровней воды весной, не наблюдавшиеся около 40 лет, весной 2004 г. впервые за несколько десятилетий произошло затопление левобережной части поймы Томи, вызванное ледовым затором ниже Коммунального моста через Томь. При этом в зону затопления попал поселок Черная Речка и ряд других населенных пунктов, постройки которых располагаются на низкой пойме. А в правобережной частях русла в межень образуется большое количество осередков, сложенных песком и гравием (рис. 7). Простирается этот участок почти до устья р. Ушайки. Стрежень потока реки сместился к левому берегу, вдоль которого производилась основная добыча ПГМ в районе г. Томска.

Рис. 7. Отложение наносов ниже Коммунального моста через р. Томь

Определенное воздействие на русловой процесс оказывают гидротехнические сооружения. В районе Лагерного сада на правом берегу в составе комплекса противооползневых сооружений был построен контрбанкет, откосы которого укреплены бетонными плитами. В результате изменился план течений. Однако в нижней части сооружения плиты не были скреплены между собой, вследствие чего в наиболее высокое половодье 2001 г. этот участок контрбанкета был разрушен, а гравийная отсыпка тела контрбанкета размыта. В то же время они практически не влияют на состояние уровней воды, поскольку при их проведении не производится безвозмездное изъятие грунта из русла и сохраняются сами перекаты.

Посадка уровней привела к нарушению гидравлической связи между рекой и пойменными водоемами. В межень водообмен между ними практически полностью прекратился. Это снизило интенсивность водообмена

пойменных озер и проток, а также способствовало (наряду с другими факторами) ухудшению санитарного состояния пойменных водоемов, прежде всего, протоки Сенная Курья, сделав их непригодными для отдыха горожан в летнее время. Широкая отмель, поросшая кустарником, обнажается в межень вдоль городской набережной ниже впадения Ушайки. Загрязненные городскими стоками воды Ушайки попадают в слабопроточную правобережную область русла Томи, практически не разбавляются и не перемешиваются с относительно более чистой водой Томи на значительном протяжении вниз по течению, что ухудшает санитарное состояние города

Таблица 1. Распределение уклонов водной поверхности в нижнем течении р. Томи

км от устья	Участок	уклон, ‰		
		2011, май	2010, октябрь	1982, август
122-105		0,223	0,270	
105-94	Разветвление с протокой Светлой	0,150	0,155	
	Протока Светлая	0,081	0,177	
94-82	Тахтамышевская протока	0,217	0,255	0,280
	Суровская протока	0,340	0,328	0,320
82-75	Басандайка	0,157	0,083	0,126
75-73	порог	0,472	0,895	0,583
	Верхний участок в целом	0,203	0,210	
73-69	Сенные перекаты	0,168	0,057	0,090
69-45		0,108	0,019	0,034
45-30	Чернильщиковский	0,065	0,018	
30-10		0,017	0,010	
10-0	Приустьевой	0,064	0,051	
	Нижний участок в целом	0,028	0,023	0,010

Другим следствием посадки уровней стало врезание притоков Томи в нижнем течении. Особенно это заметно на р. Ушайке; здесь это привело к подмыву опор старого моста выше устья и разрушению недавно построенной набережной в устье.

Добыча ПГМ в нижнем течении Томи привели к значительной посадке уровней в диапазоне расходов от проектного (270 м^3/с) до среднемноголетнего (1080 м^3/с) в пределах 2,2-2,6 м.

Среди видов антропогенной нагрузки на нижней Томи необходимо выделить дноуглубительные работы, связанные с поддержанием гарантированных габаритов трассы судового хода. И хотя к настоящему времени судоходство осуществляется только до г. Томска, причем с понижением гарантированной глубины с 2,6 м до 2,5 м в 2014 г., и все равно требуется проведение дноуглубительных работ не только для судового хода, но и расчистка русла для пропуска половодья. Всего такая расчистка требуется для 11 перекатов.

Влияние на скоростное поле потока и режим затопления поймы оказывает ограждающая земляная дамба, размещенная в городской черте. Общая длина дамбы (от Коммунального моста до речного порта) – 12 км, ее

высота – 5-6 м. Высотные отметки гребня дамбы варьируют в диапазоне от 78,45-79,4 м до 81,2-82,64 м. абс.

Морфология и динамика русла

На верхнем участке (122 км – порог «Боец») скальные породы вскрываются в русле реки, слагают цоколи правобережных террас, образуют скалистые мысы, далеко выступающие в русло. Долина реки характеризуется наличием резких сужений и расширений. Наиболее ярко выраженные скальные мысы оказывают направляющее влияние на поток и обусловливают резкие повороты русла («Синий Утёс» у с. Коларова, в створе порога «Боец» у Коммунального моста). Руслообразующие наносы отличаются здесь большой крупностью (табл. 2). Уклон водной поверхности колеблется от 0,15 до 0,35‰. Русловой рельеф там, где он не нарушен человеком, достаточно стабилен. Галечные перекаты участка, не затронутые разработкой карьеров, имеют широкие побочни, возвышающиеся на 0,5-1,5 м над меженным уровнем и малую глубину.

Таблица 2. Распределение руслообразующих наносов по отрезкам р. Томи (в процентах от площади русла).

Характеристика наносов	Распределение наносов в % по участкам, км от устья			
	122,2-73,0 нижний	73-44,8 верхний	44,8-31,1 верхний	31,1-0 верхний
Галька	69,3	52,0	28,6	15,3
Гравий	20,0	26,3	31,6	9,8
Гравелистый песок	4,0	-	-	8,3
Песок крупнозернистый	1,2	1,0	0,1	8,0
Песок среднекрупнозернистый	2,6	1,2	11,5	19,3
Песок среднезернистый	2,9	11,2	14,0	30,0
Песок мелкосреднезернистый	-	2,0	-	0,1
Песок мелкозернистый	-	5,3	7,9	6,5
Ил	-	1,0	5,4	2,5
Глина	-	-	-	0,1
Средний диаметр, мм	**26,6-37,0**	**20,4**	**6,6**	**3,6**

Морфология русла на верхнем участке разнообразна. Здесь встречается прямолинейное и слабоизвилистое русло, адаптированные и вынужденная излучины, одиночные разветвления. Имеются элементы пойменной многорукавности [Вершинин, 2005],к которой относится Калтайская протока, относительная водность которой в истоках не превышает 8-10%.

Разветвление русла ниже с. Вершинино является одним из наиболее сложных морфологически участков русла р. Томи, опасных в отношении образования заторов. Поток делится здесь на две примерно равноценные ветви несколькими островами. Распределение стока между основными рукавами остается достаточно постоянным в течение последних двух десятилетий. Расходы воды в этих протоках при всех диапазонах расходов примерно равны 50%. Очевидно, происхождение этого разветвления связано с особенностями геологического строения долины, значительными колеба-

ниями расходов воды, относительно слабоустойчивыми берегами, а также воздействием тяжелого ледохода и заторов. Важную роль в формировании разветвления играл, по-видимому, мыс Синий Утес.

В условиях свободного развития русловых деформаций река приобретает некоторый характерный уклон водной поверхности, соответствующий крупности донных наносов и руслоформирующему расходу воды [Лапшенков, 1979] при среднем диаметре наносов, согласно измерениям на прирусловых отмелях, составляет 26-37 мм, и руслоформирующем расходе 4960 $м^3/с$ [Киселев, Земцов, 2011], расчетный уклон водной поверхности равен 0,27-0,36‰,что достаточно близко к реальному (табл. 1), что характеризует русло устойчивое в отношении вертикальных деформаций. Наименьшим уклоном отличается разветвление ниже с. Вершинино.

Антропогенные нарушения русла на верхнем участке сравнительно невелики. Они заключаются в разработке русловых карьеров песчано-гравийных материалов. Она начиналась в середине 1980-х гг. в районе Басандайского острова (75-80 км от устья) и привела к формированию выемок глубиной 6-7 м и сокращению площади острова. В последние 10-15 лет карьеры разрабатываются на участке 94-105 км (выше с. Коларово), в правом главном рукаве разветвления, а также в протоке Светлой. Это привело к формированию достаточно глубоких выемок и размыву перекатов и отмелей, что привело к некоторому увеличению пропускной способности русла.

На верхнем участке заторы льда наиболее часто фиксируются на слабоизвилистом участке от с. Ярского до д. Курлек (120-112 км от устья), а также в разветвлении от с. Вершинино до с. Коларово (108-95 км). В первом случае на формировании заторов сказывается наличие обширных галечных отмелей с высокими отметками поверхности, которые ограничивают пропускную способность русла, во втором - затор чаще всего возникает в правом рукаве разветвления, где поток теряет примерно половину расхода воды, и русло образует крутую излучину.

На нижнем участке (порог Боец – устье), который начинается непосредственно ниже порога, характеризуется небольшим уклоном и более мелкими наносами, хотя и достаточно крупными для равнинной реки

Главным антропогенным фактором на этом участке является разработка русловых карьеров; дополнительную роль сыграли дноуглубительные работы и урбанизация поймы, ее застройка, стеснение русла насыпями и дамбами. Хотя точные данные по объемам добычи неизвестны, можно полагать, что всего из русла Томи было извлечено не менее 100 млн. $м^3$ песчано-гравийного материала, что на порядок превышает объем его компенсацию стоком наносов. Средняя глубина русла и площадь поперечного сечения увеличились в несколько раз, уклон, уменьшился в 3-4 раза. Если в естественных условиях соотношение уклонов выше и ниже перегиба составляло 2,3, то в настоящее время оно равно 7,5.

Резкая искусственная трансформация формы русла ниже и возле Томска привела к развитию регрессивной эрозии, типичной для участков рек выше крупных русловых карьеров, и часто имеет характер смещения крутого перегиба профиля дна (и водной поверхности) против течения с одновременным понижением отметок дна реки [Беркович, 2005]. Это ярко проявилось выше Томска, где перегиб профиля сместился за 30 лет на 20 км. Увеличение пропускной способности русла привело к понижению уровней воды: отметка водной поверхности в Томске понизилась при сопоставимых меженных расходах воды на 2,5 м. Понижение минимальных уровней наблюдалось в течение 1960-1980-хх гг., в последние 20 лет уровни стабилизировались. Уровни половодья понизились на 3,4 м [Вершинин, 2005]. В результате обособился порог «Боец»,образование которого привело к прекращению регрессивной эрозии. Характерно, что перегиб продольного профиля отчетливо выражен и в половодье. В районе перегиба профиля русло реки стеснено опорами и насыпями подходов коммунального моста. Это – одно из мест формирования заторов, где проявляются сразу два морфологических фактора: резкое уменьшение уклона и стеснение потока половодья. Именно здесь образовался экстремально большой затор в 2010 г, вызвавший наводнение в некоторых районах Томска. Этому способствовало загромождение русла наносами непосредственно ниже порога (73-69 км). Отложение продуктов размыва русла выше по течению, происходило здесь несколько десятилетий. Стеснение потока галечными отмелями наряду с инженерными сооружениями сокращает пропускную способность русла.

Морфологически русло нижнего участка представляло собой одиночные и простые сопряженные разветвления, которые чередуются с прямолинейными отрезками и адаптированными излучинами. Русло в основном тяготеет к правому берегу с уступами террас. В основании террас часто выходят галечные отложения. Вследствие этого, а также благодаря удалению большого слоя наносов из русла, крупность современного аллювия, выстилающего русло, очень велика. Следствием малых уклонов, обусловленных искусственным переуглублением русла, уничтожением перекатов и островов, и повышенной крупности наносов, является устойчивость русла в отношении вертикальных деформаций.

Морфологическими условиями формирования заторов на нижнем участке на фоне небольшого уклона являются крутая излучина у г. Северска и разветвление русла группой островов от д. Чернильщиково до д. Орловки.

Горизонтальные русловые деформации на нижней Томи, имеют малую интенсивность и выявляются только за длительный интервал (40-70 лет) времени. Выше Коммунального моста (73 км от устья) горизонтальные деформации на многих участках сдерживаются скальными породами. Пойма, сложенная в основании валунно-галечным материалом, также слабо поддаётся размыву. На нижнем участке горизонтальные деформации более заметны. Однако здесь, вследствие незначительных уклонов скорости тече-

ния невелики, в основании поймы часто вскрываются мощные, до 3-4 м, плотные торфа и глины, также слабо размываемые. Днища плёсовых лощин часто выстилаются коренными глинами палеогенового возраста, слагающими также нижние горизонты уступов террас. Все это делает горизонтальные деформации русла очень локализованными, проявляющимися в вершинах и нижних крыльях излучин, на оголовках и ухвостьях островов. За последние 120 лет, когда осуществлялись инструментальные съемки русла, зоны размывов и зоны формирования молодых пойм практически не изменились. Длина береговой линии реки от с. Ярское до устья (исключая затоны) составляет 424,7 км; из них заметный и относительно постоянный размыв (более 1 м в год) отмечается всего на 81,5 км (19,2%), а относительно быстрое формирование молодой поймы (5-10 м в год) – на 83 км (19,5%). Примерно 60% береговой линии стабильны. Берега пойменных проток Иштанской, Кижировской и Лабазной, общей длиной 53км не размываются; их водность и очертания не менялись на протяжении последних 50 лет.

Основной агент разрушения берегов – лёд. Практически все горизонтальные деформации русла связаны с интенсивным ледоходом. В средние и даже высокие половодья, не сопровождающиеся заторами льда и ледоходом, размывы берегов очень малы. Благодаря ледоходу средние скорости разрушения берегов возрастают до 2-8 м/год, локальные эпизодические размывы могут быть еще больше. Я.И. Марусенко [1958] приводит локальные значения размывов в 8-18 м за один ледоход; подмыв правого берега на нижнем крыле излучины у д. Казанки за 30 лет (в 1920-1950-е г.) составил 200 м; за этот период деревня переносилась трижды. На нижнем участке (0-68 км) серьёзным агентом разрушения берегов служит сильное волнение, возникающее на меридионально ориентированных отрезках реки при ветрах северных румбов.

Заключение

Формирование заторов льда на р. Томи, участившееся в последние годы в районе г.Томска, и связанная с ними угроза наводнений, является следствием гидроклиматических изменений, общих для всех рек Сибири: более ранним вскрытием реки и более поздним наступлением максимальных уровней воды. Важную роль играют морфология русел и её значительные антропогенные изменения за последние 50 лет.

В ближайшие годы ситуация на нижней Томи, где сохранились ещё отработанные карьеры, продолжается разработка карьеров выше г. Томска, существенно не изменится.

ЛИТЕРАТУРА

Беркович К.М. Русловые процессы и русловые карьеры. М. 2005

Беркович К.М., Рулева С.Н, Сурков В.В., Чалов Р.С. Русловые процессы, антропогенные переформирования русла нижней Томи и их влияние на ландшафты пойм//Эрозия почв и русловые процессы. Вып.11. М.: Изд-во МГУ. 1998

Вершинин Д.А. Техногенные воздействия на вертикальные деформации русла и гидравлику потока (на примере р. Томи). Автореф. дис. канд. геогр. наук Томск: ТГУ. 2005.

*Вершинин Д.А, Тарасов А.С, Шац Н.В.*Гидрометеорологические факторы формирования заторных явлений на р. Томи у г. Томска и их изменения во времени//Современные достижения и проблемы в области изучения окружающей среды: материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием. Барнаул: ООО ТЛ Красный угол. 2014.

Каменсков Ю.И. Русловые и пойменные процессы. Томск: Изд-во Томск. ун-та. 1987.

Киселев Д.В., Земцов В.А. Определение характерных расходов воды, наиболее интенсивно влияющих на процесс формирования речного русла (на примере рек Томской области)// Вестник Томск. ун-та. 2011. № 351.

Короткова Е.М., Вершинин Д.А. Исследование процесса грядообразования на разветвленном участке р. Томи в связи с особенностями его водного и ледового режимов // Вестник Томск. ун-та. 2011. № 351.

Марусенко Я.И. Ледовый режим рек бассейна Томи. Томск.: Изд-во ТГУ. 1958.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.15. Вып.2. Л.: Гидрометеоиздат. 1977.

Савичев О.Г. Водные ресурсы Томской области. Томск: Изд-во ТГУ. 2010.

Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Рулева С.Н., Сурков В.В., Жук В.А., Широкова В.А. Особенности ледового режима и процессов заторообразования на р. Томь // Труды III Всероссийской конференции «Ледовые и термические процессы на водных объектах России», г. Онега Архангельской области., Россия 6-11 июня 2011 г., Институт водных проблем РАН. М.: 2011

Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1979.

Чалов Р.С., Лю Шугуан., Алексеевский Н.И. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М.: Изд-во МГУ. 2000

Н.Н. Назаров[1], И.В. Никонорова[2], О.В. Филиппов[3], И.В. Фролова[1]
1 – Пермский государственный национальный научно-исследовательский университет; 2 – Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова; 3 – Волжский гуманитарный институт (филиал Волгоградского государственного университета)

КРУПНЫЕ АККУМУЛЯТИВНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ БЕРЕГОВЫХ ЗОН ВОДОХРАНИЛИЩ*

Подавляющее большинство специалистов и практиков, определяя современное состояние береговых зон крупных равнинных водохранилищ, сходятся во мнении, что до завершения периода их активного переформирования пройдёт ещё не одно десятилетие [Савкин, 2000; Филиппов, 2004, 2009; Назаров, 2006 а, б; Виноградова и др., 2010; Козырева, 2011; Хабидов и др. 2011]. Предполагается, что процесс расширения самой динамичной зоны водоёмов, как в направлении берега, так и от него, будет происходить практически по всему периметру области волнового морфолитогнеза при разных геолого-геоморфологических условиях, и отличаться в зависимости от них лишь скоростью приращения каждой данной части акватории. Причиной такого развития прибрежных аква- и геосистем, по-видимому, является дуалистическая природа подавляющей части геоморфологических процессов, моделирующих береговую зону. Процессы – разрушители (абразия, эрозия, оползнеобразование, дефляция и др.) одновременно запускают механизм функционирования процессов – созидателей, формирующих в результате развития промежуточных периодически активизирующихся процессов перемещения минерального вещества, разнообразные аккумулятивные тела [Назаров, 2009; Никонорова, Петров, 2010]. При этом размеры последних и их геоморфологическая выраженность из-за кумулятивного эффекта накопления наносов на отдельных участках береговой зоны делают данные образования весьма значимыми элементами надводного и подводного геоморфологического ландшафта.

В настоящее время исследований, посвящённых вопросам современного накопления наносов в прибрежной зоне, проведено сравнительно немного [Хабидов, 1999; Хабидов, Марусин, 2009; Назаров и др., 2011]. Их количество значительно уступает количеству работ по изучению процессов разрушения берегов, хотя научно-практический потенциал выявления особенностей и закономерностей пространственно-временной дифференциации аккумулятивных тел (АТ) и формирования состава наносов довольно очевиден. Являясь продуктом переотложения минерального вещества, ранее слагавшего склоны и днища речных долин, АТ несут в себе информацию само-

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 12-05-00735).