

- [7] Potulova N. V. Nekotorye voprosy stratigraphii chetvertichnykh otlozhenii Leningradskoi gubernii // Izvestiya Geolkomu. 1924. T. XLIII. S. 1209—1236.
- [8] Skorokhod V. Z. Fauna mezhdnukovykh otlozhenii reki Mgi // Materialy po chetvertichnoi geologii SSSR. Ch 1. Trudy Vsesoyuznogo geologo-razvedochnogo obedineniya NKTP SSSR. L.; M., 1932. Vyp. 225. S. 82—93.
- [9] Cheremesinova E. A. K voprosu o vozraste morskikh mezhdnukovykh otlozhenii na reke Mge Leningradskoi oblasti // Bulletin komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda. 1960. N 25. S. 50—70.
- [10] Jankovska V., Komarek J. Indicative value of *Pediastrum* and other coccal green algae in paleoecology // Folia Geobotanica 2000. Vol. 35. P. 9—82.
- [11] Vorren T. O., Vorren K.-D., Aasheim O., Dahlgren K. I. T., Forwick M., Hassel K. Paleoenvironment in northern Norway between 22.2 and 14.5 cal. Ka BP // Boreas 2013. 10.1111/bor.12013. P. 1—20.

Изв. РГО. 2016. Т. 148, вып. 3

ИЗМЕНЕНИЕ РУСЛА РЕКИ АМУР ПОСЛЕ НАВОДНЕНИЯ 2013 ГОДА

© А. Н. МАХИНОВ^{*,1} А. С. ЗАВАДСКИЙ^{**} В. И. КИМ^{*} А. В. ЧЕРНОВ^{**,2}
Е. К. ГУБАРЕВА^{**}

^{*} Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск

^{**} Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

E-mail: ¹amakhinov@mail.ru

² Alexey.chernov@inbox.ru

Рассматривается влияние катастрофического наводнения 2013 г. на русло, русловые процессы и перераспределение стока воды между рукавами в среднем и нижнем течении р. Амур. На основе анализа морфологии и гидрологического режима основных рукавов реки выявлены проблемные участки Амура с наиболее активными русловыми переформированиями.

Установлено, что в период 2013—2014 гг. на р. Амур отмечалась высокая активность русловых процессов, обусловленная влиянием паводка 2013 г. Оценена интенсивность современных эрозивно-аккумулятивных процессов на отдельных участках разветвленного русла. Выявлена приуроченность зон повышенной аккумуляции к истокам второстепенных рукавов и участкам впадения крупных притоков. Впервые выполнены измерения расходов воды в протоках на пограничных участках р. Амур с целью выявления тенденций в их развитии.

Особое внимание уделено оценке влияния наводнения на перераспределение стока воды между рукавами на участках разветвлений, создающих риск нежелательного изменения русловых процессов. Подобные работы имеют особую актуальность в среднем течении р. Амур в пределах ЕАО, где по фарватеру р. Амур проходит линия государственной границы с КНР.

Ключевые слова: Амур, паводок, русловые процессы, перераспределение стока, берег, размыв, аккумуляция.

Введение. В переформировании русел рек юга Дальнего Востока исключительно велика роль летне-осенних паводков, существенно изменяющих не только формы руслового рельефа, но и положение водного потока в днище долины [6, 9]. Наиболее значительные изменения происходят на самых динамичных участках русла, что представляет опасность для различных видов хозяйственной деятельности, разрушая дороги, строения, уничтожая сельскохозяйственные земли. Нежелательная направленность развития русловых

процессов особенно ярко проявляется в пределах пойменно-русловых разветвлений р. Амур на Среднеамурской низменности.

Русловые процессы р. Амур изучены очень слабо вследствие ее пограничного положения. Опубликованные китайские материалы по этой тематике вообще отсутствуют. К сожалению, специальные исследования по оценке влияния больших паводков на русловые процессы крупных рек региона российскими учеными также ранее не проводились. Подобные работы активизировались лишь после наводнения 2013 г. в бассейне р. Амур, но в них дана лишь общая характеристика эрозионно-аккумулятивных процессов под воздействием катастрофического паводка [10, 11]. В данной работе рассматриваются особенности изменения русла на участках пойменно-русловых разветвлений Амура, обусловленных катастрофическим паводком 2013 г.

Результаты исследований могут быть востребованы при разработке мероприятий по предотвращению возможных негативных последствий наводнений, проявляющихся в размыве берегов, изменении глубин, формировании аккумулятивных форм рельефа в русле, перераспределении стока воды по рукавам.

Материал и методы. Натурные полевые исследования в долине нижнего и среднего течений р. Амур были проведены летом и осенью 2014 г. на протяжении более 1200 км (рис. 1) — от хребта Малый Хинган (500 км Среднего Амура) до с. Богородское (740 км Нижнего Амура). В нижнем течении реки экспедиция работала с 10 по 30 июня. На участке среднего течения Амура по-

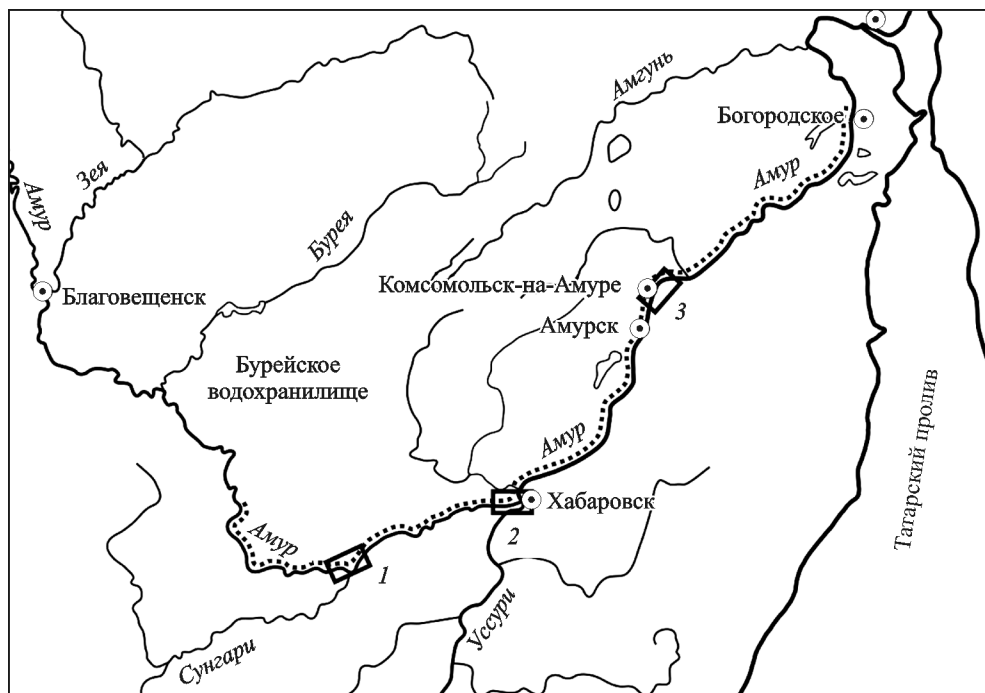


Рис. 1. Районы экспедиционных исследований.

Пунктиром показан маршрут экспедиции. Цифрами обозначены участки детальных исследований: 1 — Сунгарийский, 2 — Хабаровский, 3 — Комсомольский.

левые работы проводились с 16 по 25 сентября. Работы выполнялись на научно-исследовательском судне «Ладога», оснащенном необходимым оборудованием для гидрографических, топографических и геоморфологических исследований, принадлежащем Институту водных и экологических проблем ДВО РАН.

Наиболее подробно исследования осуществлялись на Нижнем Амуре в окрестностях крупных городов — Хабаровска, Амурска и Комсомольска-на-Амуре (Среднеамурская низменность), а также в среднем течении реки на выявленных ранее участках, подверженных особо интенсивным русловым преобразованиям [2, 5]. Особое внимание было уделено оценке влияния наводнения на перераспределение стока воды между рукавами на разветвленных участках реки в пределах ЕАО, где по фарватеру Амура проходит линия государственной границы с КНР.

В процессе проведения экспедиционных исследований на указанных участках были измерены морфометрические характеристики основных и второстепенных рукавов р. Амур, а также проведены измерения скоростей течения и расходов воды, визуальные наблюдения и картирование динамического состояния берегов. Количественно оценивалось перераспределение стока воды между рукавами. Были выполнены многочисленные наблюдения за распространением и положением интенсивно размываемых берегов, размерами вновь образованных аккумулятивных тел в русле реки. Во время экспедиционных работ 2014 г. впервые был начат мониторинг русловых процессов на пограничном отрезке р. Амур.

Расходы воды измерялись с помощью гидрометрической вертушки ГР-21М и с моторной лодки с использованием акустического доплеровского профилографа «Rio-Grande». На многих рукавах р. Амур, особенно в его среднем течении, расходы были измерены впервые. Глубины в русле и протоках определялись эхолотом JJ-Connect Fisherman 220 Duo Ice.

Оценки скорости размыва берегов проводились исходя из морфологических особенностей береговых уступов, а также по совмещению космических снимков общего доступа, выполненных до и после наводнения.

Особенности русловых процессов р. Амур. Амур является трансграничной рекой, бассейн которой расположен на территории четырех государств: основная часть бассейна находится в пределах Российской Федерации (1003 тыс. км²) и КНР (820 тыс. км²). Небольшая часть принадлежит МНР (32 тыс. км²) и около 15 км² входит в КНДР (прибрежная часть оз. Чхонджи в истоках р. Сунгари). Общая площадь водосбора реки составляет 1 855 000 км². Длина реки от истоков р. Аргунь до устья 4444 км, от слияния рек Шилки и Аргуни 2824 км.

Русловые процессы р. Амур имеют специфические особенности, характерные для рек с направленной интенсивной аккумуляцией наносов [8, 13, 16, 18]. Избыточное накопление аллювиальных отложений в долине способствует высокой степени разветвленности и динамике речного русла, особенно на участках пересечения равнинных территорий. В этих условиях наибольшее распространение получили сложные пойменно-русловые разветвления с густой сетью рукавов различных размеров и протяженности. На таких участках ширина поймы достигает 30 км. В одном сечении нередко отмечается до 7 рукавов, однако главное русло выделяется отчетливо. Развитие второстепенных рукавов происходит обычно по типу меандрирования или формирования русловой многоруканности.

В пределах разветвлений Амура перераспределение стока воды между отдельными рукавами имеет неустойчивый характер вследствие непрерывных русловых деформаций [4, 14]. Берега, сложенные преимущественно песчаными и супесчаными отложениями, легко поддаются размыву в случае направленного смещения к ним динамической оси потока. Почти на всем среднем Амуре среднемаксимальные скорости размыва береговой линии составляют 2—5 м/год, местами достигая 10—20 м/год, что в пределах хозяйственно освоенных территорий создает угрозу разрушения жилых, промышленных, пограничных объектов и коммуникаций [8, 15, 19]. Например, весьма остро эта проблема стояла в последнее десятилетие в районе с. Нижнеленинское, где до строительства берегозащитных сооружений интенсивно размывался левый берег.

Масштабная хозяйственная деятельность в бассейне Амура (зарегулирование стока плотинами ГЭС, расширение районов земледелия, лесоразработки, пожары и др.) служит причиной усиления активности русловых процессов. Глобальные изменения климата также являются фактором, влияющим на интенсивность и частоту проявления опасных гидрологических процессов, обуславливающих изменение речных русел. Особенно интенсивные преобразования русла происходят на участках антропогенного воздействия вблизи крупных городов, прежде всего Хабаровска, Амурска и Комсомольска-на-Амуре [3, 7, 12].

Русловые переформирования приводят к регулярному перераспределению расходов воды в пределах крупных русловых и пойменно-русловых разветвлений. Происходят появление новых и расширение ранее действовавших рукавов, смещение плесов и перекатов, возникновение обширных кос и островов. Имеющиеся данные свидетельствуют о неодинаковой интенсивности этих процессов на различных участках долины Амура.

Чтобы получить представление о современном распределении стока воды по рукавам и его тенденции в пределах конкретного узла разветвления, необходимо учитывать не только абсолютную, но и относительную величину расхода воды в конкретном рукаве (долю от суммарного расхода воды). При этом о тенденции развития рукава можно судить по изменению его относительной водности в разные фазы гидрологического режима. Развивающиеся рукава, как правило, увеличивают долю поступающего в них расхода воды по мере снижения уровней воды; отмирающие или мелеющие — увеличивают свою относительную водоносность в многоводную фазу водного режима [17].

Изменения русла р. Амур в результате паводка 2013 г. За последние 15 лет (1999—2013 гг.) на Амуре высокие летние паводки, приводившие к полному затоплению поймы, отмечались дважды — в 2009 и 2013 гг. Крупнейшее за всю историю наблюдений наводнение в нижнем течении Амура произошло в августе—сентябре 2013 г. Оно было обусловлено особо обильными атмосферными осадками, выпавшими на всей территории бассейна, и уникально совпавшими последовательными наложениями пиков паводка на Амуре с паводочными волнами всех основных притоков [1]. При движении волны паводка по Амуру ее пик почти день в день совпадал с максимумом паводка на реках Зея, Буря, Сунгари и Уссури в их устьевых частях [11].

На Амуре уровень воды на разных участках поднимался от 6 до 17 м в зависимости от геоморфологического строения долины. В окрестностях Хабаровска скорость течения достигала 4 м/с при максимальном расходе воды

46 300 м³/с. Локальное воздействие на высоту паводка оказали гидротехнические сооружения. В окрестностях городов построено наибольшее количество подобных объектов: мостовые переходы, польдерные системы, берегозащитные сооружения, которые заметно снизили пропускную способность русла и поймы р. Амур, что и привело к увеличению максимальных уровней воды. По расчетам высота подъема уровней воды дополнительно только за счет подпора мостового перехода у Хабаровска составила около 70 см.

Проведенный в рамках настоящей работы анализ произошедших русловых преформирований и реакции русла на такое крайне редкое гидрологическое событие позволил выявить повышенную аккумуляцию отложений и снижение пропускной способности потока во второстепенных рукавах, не имеющих тенденций к дальнейшему развитию, а также на участках подпора основного русла. Развивающиеся в последние десятилетия рукава и протоки в большинстве случаев не были подвержены заполнению наносами, либо динамика вертикальных деформаций укладывалась в многолетнюю амплитуду колебания грядовых форм руслового рельефа. Здесь достаточно часто фиксировался интенсивный размыв берегов, маркирующий тем самым участки активизации направленного развития русла. При этом экстремальный характер паводка 2013 г. позволяет говорить о дополнительном «толчке» в развитии русла различной направленности в случае имевшихся ранее гидравлических предпосылок.

Среднее течение Амура. Для рассмотрения влияния паводка 2013 г. на перераспределение стока воды по рукавам были выбраны несколько крупных русловых и пойменно-русловых разветвлений, в пределах которых выявлены потенциально опасные тенденции в развитии русла (табл. 1).

Один из наиболее сложных и динамичных участков на Среднем Амуре — Сунгарийский узел. При слиянии Амура и Сунгари сформировалось крупное пойменно-русловое разветвление. Общая ширина разветвления, включая русло, пойменные протоки и острова между ними, достигает 13 км. В пределах водного узла гидрографическая сеть имеет явно выраженный асимметричный характер. Основное русло реки расположено в правобережной части долины, тогда как три крупные пойменные протоки проходят в центральной и левобережной частях. Протока Кукелевская, занимающая крайнее левое положение в пределах водного узла, и протока Средняя, проходящая через центральную часть поймы, наиболее протяженные — их длина превышает 20 км. Меньшую протяженность имеет протока Гольдинская. Все протоки меандрируют, формируя излучины, находящиеся на разных стадиях своего развития. Меандрирующие русла проток на отдельных отрезках осложнены одиночными разветвлениями, чаще всего сформировавшимися в результате спрямления извилистого русла.

Сунгарийский узел был отнесен к проблемным из-за негативных последствий возможного развития левосторонних проток (Средняя, Кукелевская, Гольдинская). В настоящее время наиболее полноводной является протока Средняя, а протоки Гольдинская (Правая) и Кукелевская местами пересыхают при низких горизонтах воды. Важным элементом развития левобережной системы рукавов в последние десятилетия является формирование поперечной протоки, соединяющей Кукелевскую и Среднюю протоки. Сформировавшись в самом узком месте, между вершинами направленных навстречу друг другу излучин, отмеченная поперечная протока получает в последние годы все большее развитие, активно размывая берега и увеличивая свою ши-

Таблица 1

Основные проблемные участки в пределах среднего течения Амура

Водный узел	Дата проведения гидрометрических работ	Количество измеренных расходов (гидростворы)	Доля стока левобережных (российских) рукавов (от общего расхода), %	Влияние паводка 2013 г. на состояние русла
Нагибовский	21.09.2014	3	11	Аккумуляция наносов в Нагибовской протоке и перераспределение расходов воды в основной рукав
Венцелевский	21.09.2014	4	29	Усиление общего тренда развития Венцелевской протоки с увеличением ее водоносности
Сунгарийский	20.09.2014	7	50	Продолжение развития левосторонних рукавов с увеличением их водоносности
Сахалинский	19.09.2014	2	36	Значительная активизация в развитии Сахалинской протоки, увеличение ее ширины и глубины, создание предпосылок для конкурирования с основным рукавом Амура

рину. В перспективе это гидравлически более выгодное направление течения будет способствовать концентрации стока воды в левобережной системе рукавов.

Перераспределение расходов воды в пределах этого участка может привести к особенно масштабному в будущем изменению стока воды между рукавами. Современное основное русло непосредственно перед слиянием с Сунгари теряет около 50 % своей водности (рис. 2). Это происходит за счет перераспределения стока воды в систему левобережных рукавов (протоки Средняя, Кукелевская, Гольдинская). По поводу переноса фарватера в протоку Средняя в 70-х гг. XX в. поступали предложения с китайской стороны.

Основной судоходный рукав Амура постоянно заносится песчаными отложениями. В последние 15—20 лет судоходство (гарантированные глубины) здесь поддерживается только за счет большого объема дноуглубительных работ. Динамическая ось потока в межень становится извилистой, меандрируя между отвалами грунта от дноуглубительных прорезей. В таких условиях значительное развитие получают спрямляющие общий изгиб русла Амура левобережные протоки.

В период паводка 2013 г. Сунгарийский узел в целом представлял собой аккумулятивный участок, что было вызвано взаимным подпором от слияния Амура и Сунгари. Однако на спаде волны паводка и летом 2014 г. в левобережных протоках отмечался как размыв отложившихся наносов, так и интенсивная береговая эрозия. В частности, активно разрабатываются протоки Средняя и Кукелевская. Суммарно сейчас в них даже в меженный период концентрируется около половины общего расхода воды, и можно с опреде-

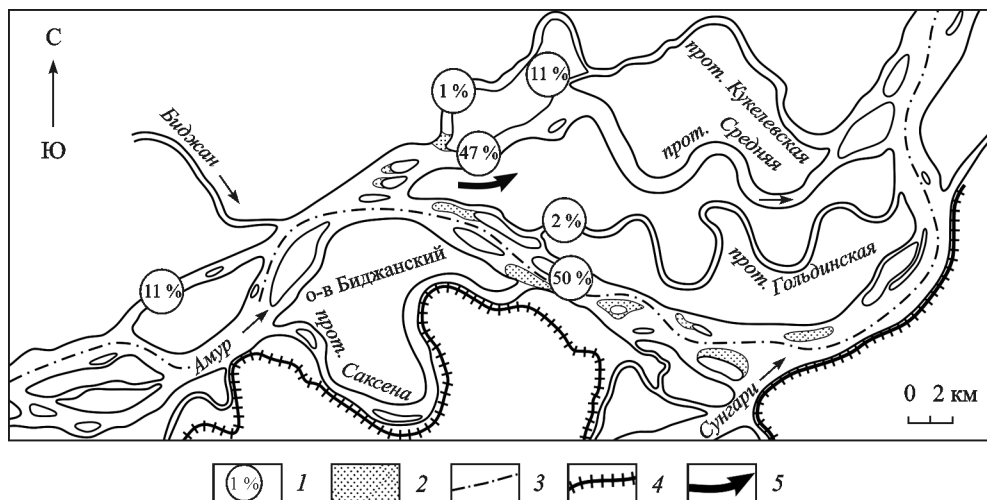


Рис. 2. Распределение стока воды по рукавам р. Амур на участке Сунгарийского водного узла (в районе впадения р. Сунгари).

1 — доля стока воды; 2 — крупные аллювиальные формы руслового рельефа, образованные в паводок 2013 г.; 3 — положение фарватера; 4 — берегозащитные и противопаводковые дамбы; 5 — направление потенциального развития русла.

ленной степенью вероятности говорить об увеличении этой доли в ближайшем будущем.

Во время паводка вследствие мощной аккумуляции усилилось обмеление перекатов, на гребнях которых сохранились следы намыва песчаных отложений. В районе Усть-Сунгарийского переката выше устья р. Сунгари отмечено увеличение площади русловых форм на 10-километровом участке. После паводка в русле реки образовалось скопление беспорядочно расположенных осередков и побочней. Динамическая ось потока спустя год после паводка имеет извилистую конфигурацию с крутыми поворотами.

Таким образом, паводок 2013 г. создал дополнительный стимул для активизации развития левобережных рукавов в Сунгарийском водном узле за счет снижения аккумулятивными процессами пропускной способности главного русла Амура перед его слиянием с Сунгари. В дальнейшем наиболее интенсивные переформирования можно ожидать в верхней части Сунгарийского узла. В случае развития вышележащей протоки Пропаристой и изменения положения динамической оси потока в верхней части участка вполне вероятен размыв островов на входе в протоку Среднюю, что приведет к дальнейшей активизации ее развития. В этом случае она может постепенно сосредоточить в себе основной расход воды и стать главным рукавом Амура. Перенос фарватера в новый главный рукав может в перспективе стать основой для пересмотра прохождения линии государственной границы.

Нижнее течение Амура. В нижнем течении р. Амур основные проблемные участки связаны преимущественно с хозяйственным воздействием на русло (табл. 2). Различные береговые и русловые гидротехнические сооружения и добыча песчано-гравийной смеси способствовали искусственному перераспределению стока воды по рукавам на участках пойменно-русловых и русловых разветвлений. Они привели к усилению интенсивности эрозион-

Таблица 2

Основные проблемные участки в пределах нижнего течения Амура

Водный узел	Дата проведения гидрометрических работ	Количество измеренных расходов (гидростворы)	Доля стока левобережных рукавов (от общего расхода), %	Влияние паводка 2013 г.
Хабаровский	17.09.2014	9	39	Аккумуляция наносов в основном русле Амура выше истока протоки Пемзенской. Угроза разрушения полузапруд в протоках Пемзенская и Бешеная
Амурский	23.06.2014	4	42.5	Перераспределение расходов воды в правобережный рукав Амура. Аккумуляция наносов в протоке Старый Амур
Комсомольский	24.06.2014	2	15	Продолжение развития основного рукава, интенсивная аккумуляция в левобережном рукаве
Удиль-Кизинский	28.06.2014	3	66	Аккумуляция в истоках всех второстепенных рукавов

но-аккумулятивных процессов, размыву берегов, отмиранию второстепенных рукавов. Это способствует усилению нежелательных тенденций в развитии русла.

Визуальные наблюдения и данные анализа космических снимков показали, что наиболее существенные морфологические изменения русла под воздействием паводка произошли в окрестностях Хабаровска (рис. 3). Особенно заметно изменилась ситуация в истоке протоки Пемзенская. Обширная отмель, постепенно смещавшаяся к правому берегу протоки, в паводок продвинулась на 50—70 м и существенно увеличилась в размерах. Ширина русла в истоке протоки сузилась до 200 м.

В зимнюю межень по данным измерений в марте 2014 г. отмечается увеличение расхода воды в основном русле Амура ниже истока протоки Пемзенской по сравнению с мартом 2013 г. Глубины реки на этом участке Амура возросли на 1.5—2.0 м на плесах и на 3.0—3.5 м на перекатах. Однако при высоких уровнях воды в Амуре наметилась тенденция к увеличению доли расхода воды в Пемзенской протоке, что создает угрозу перераспределения в нее значительного стока в перспективе. Это может стать причиной усиления эрозионных процессов на берегах и разрушения существующих полузапруд в русле протоки, построенных в 2005—2006 гг. с целью сохранения основного потока р. Амур в черте Хабаровска.

Существенные изменения русла под воздействием паводка произошли также в районе Комсомольска-на-Амуре (рис. 4). Русло на этом участке Амура представляет собой крупное одиночное разветвление, образованное относительно молодым (возникшим в первой половине XX столетия) пойменным островом. Русло Амура в пределах разветвления поворачивает вправо на се-

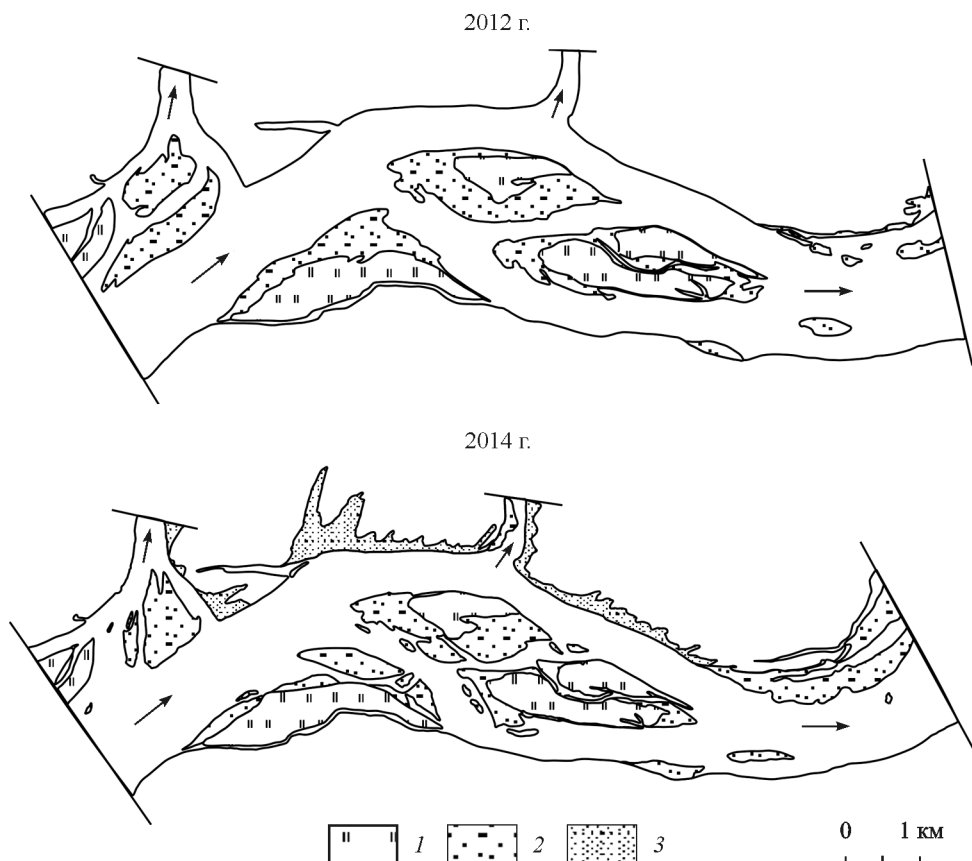


Рис. 3. Изменение русла р. Амур под воздействием паводка 2013 г. на участке вблизи Хабаровска.

1 — высокая пойма, 2 — аккумулятивные тела в русле, 3 — аллювиальные шлейфы на поверхности поймы.

веро-восток почти под прямым углом, следуя общему повороту долины. Правый Пиваньский рукав является основным, а левый — Комсомольский, который ведет к центру города, — второстепенным.

В середине 50-х гг. XX в. ширина правого рукава составляла 1700 м, тогда как левого — около 1000 м. До середины 70-х гг. XX в. левый рукав был более глубоким, чем правый. Глубины в нем в 1956 г. составляли по фарватеру в среднем 12, а в правом — 9 м, снижаясь в нижней по течению части рукава до 5 м.

Вдоль левого городского берега проходит судовой ход, располагаются грузовой и пассажирский причалы. Однако к концу XX в. это равновесие нарушилось: левый рукав стал постепенно заноситься, а правый, наоборот, углубляться, особенно в его нижней части. По результатам измерений 2007 г. в правый рукав поступало около 60 % от общего расхода воды, в левый — немногим более 40 %. Подобная трансформация стока была обусловлена влиянием на реку построенного в 70-е гг. XX в. через Амур выше Комсомольска-на-Амуре автомобильно-железнодорожного моста.

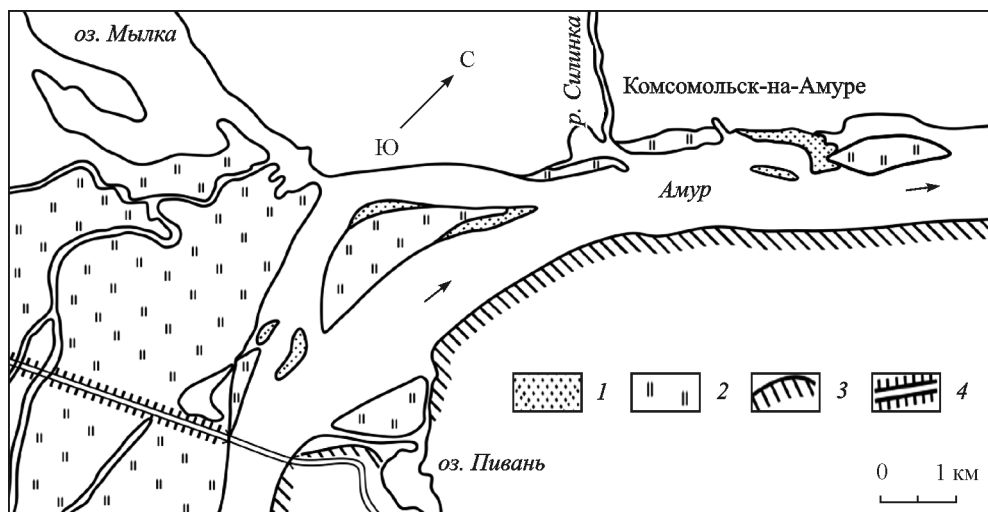


Рис. 4. Преобразование русла р. Амур после паводка 2013 г. в районе Комсомольска-на-Амуре.

1 — аккумулятивные формы в русле р. Амур, образованные во время наводнения 2013 г.; 2 — пойма; 3 — коренные склоны долины; 4 — дамба.

Предмостовая дамба (насыпь) расположена на пойме и проходит перпендикулярно к направлению протоков и ложбин, по которым в паводки идет сток пойменных вод. Лишь в одном месте — при пересечении дамбой протоки Кривой, был построен мост, пропускающий часть этих вод. В остальных местах дорожная насыпь наглухо перекрыла пойменные протоки и ложбины, прекратив сток по ним во время затопления поймы.

В результате изменилось направление потока во время прохождения руслоформирующих расходов воды. Расходы воды перераспределялись в правый рукав. Поступление вод в левый рукав за счет слива их с левобережного пойменного массива, наоборот, прекратилось. В итоге левый рукав стал постепенно заполняться наносами, тогда как Пиваньский рукав, наоборот, интенсивно развивался.

В районе Комсомольска-на-Амуре у приверха острова, расположенного напротив центральной части города, после наводнения 2013 г. образовались две крупные песчаные косы, которые будут иметь тенденции к дальнейшему росту. Одна из них сформировалась в истоке второстепенного рукава, ведущего к центральной части города, способствуя его дальнейшему отмиранию. Они по сути закрывают вход в эту протоку. Это приведет к прогрессирующему обмелению протоки, создаст угрозы для нормального судоходства в ближайшей перспективе и потребует проведения значительных дноуглубительных работ.

Размывы берегов Амура под воздействием экстремального паводка. Катастрофический паводок 2013 г. на Амуре произвел значительную эрозионно-аккумулятивную деятельность в русле реки. Особенно интенсивно проявился размыв берегов в рукавах Амура, увеличивших свою водность в результате перераспределения стока воды. На отдельных участках произошло отступление береговой линии на 15—20 м. Отвесные эрозионные

уступы, образовавшиеся в результате размыва, протягиваются в вершинах пологих излучин основного русла реки на несколько километров.

Река Амур в среднем и нижнем течениях ниже устья р. Зея (исключая участок пересечения с Хинганским хребтом) течет в рыхлых аллювиальных породах среди широкой поймы. На участке Амура, начиная от выхода реки из Хинганского хребта до Хабаровска, лишь в нескольких местах со стороны правого берега к руслу подходят скальные уступы общей протяженностью 22 км, что составляет всего 5 % от протяженности всего правого берега в пределах Среднеамурской низменности.

Вместе с тем плотность населения и система освоения российского и китайского берегов Амура различны, что определило асимметричную систему защиты берегов от размывов. В России главной предпосылкой при планировании берегоукреплений является защита населенных пунктов и обеспечивающей их инфраструктуры — причалов, мест разгрузки судов и пр. Сельское хозяйство на Среднеамурской низменности в России менее развито. Поэтому левый, российский, берег укреплен только в очень ограниченном количестве мест, как правило, вблизи некоторых прибрежных населенных пунктов — в частности, у селений Амурзет, Нижнеленинское, Пузино, Благоданное, Нагибово, Ленинское и дачных участков на островах напротив Хабаровска.

Оценка степени защиты берегов от размыва проводилась в среднем течении Амура от устья р. Помпеевка до Хабаровска протяженностью 500 км (рис. 5). Общая длина укрепленных от размыва левых пойменных берегов Амура составляет около 10 км, т. е. всего 13 % от всей длины размываемых берегов с российской стороны. Из них 6.5 км приходится на левый вогнутый берег излучины у пос. Нижнеленинское, где расположены доки, причалы, подъездные пути и другие сооружения прибрежной инфраструктуры, а также строится мост через Амур. Левый берег у Хабаровска на дачных островах (Кабельный и др.) близ истоков проток Пемзенская и Бешеная укреплен на протяжении около 2 км.

Иная ситуация складывается на правом, китайском, берегу, где плотность населения выше, чем со стороны России. В Китае на берегу Среднего Амура находятся 4 небольших города (с населением до 30 тыс. чел.) и 17 больших и малых сельских населенных пунктов. Кроме того, почти на всей Среднеамурской низменности, исключая нижние 130 км (где повышенная заболоченность), пойма и надпойменные террасы Амура активно возделываются. Поэтому правый берег Амура, принадлежащий Китаю, укрепляют от размывов на значительно большем протяжении и более капитальными сооружениями, чем левый российский берег. В частности, здесь укреплены от размыва все вогнутые берега излучин, за которыми расположена большая часть населенных пунктов и сельхозугодий. Укрепления представлены капитальными сооружениями в виде высоких дамб, выполненными из подогнанных друг к другу бетонных плит или каменных неразмываемых укладок. Протяженность некоторых из них достигает 10—12 км. Незащищенными, как правило, остаются берега низких пойменных островов или массивов сравнительно молодой и заболоченной ложбинно-островной поймы, практически не используемой в хозяйстве.

Всего на китайской стороне Амура защищено от размыва 72 % от всей протяженности потенциально размываемого берега, что в 5.5 раза больше, чем аналогичный показатель на левом российском берегу.

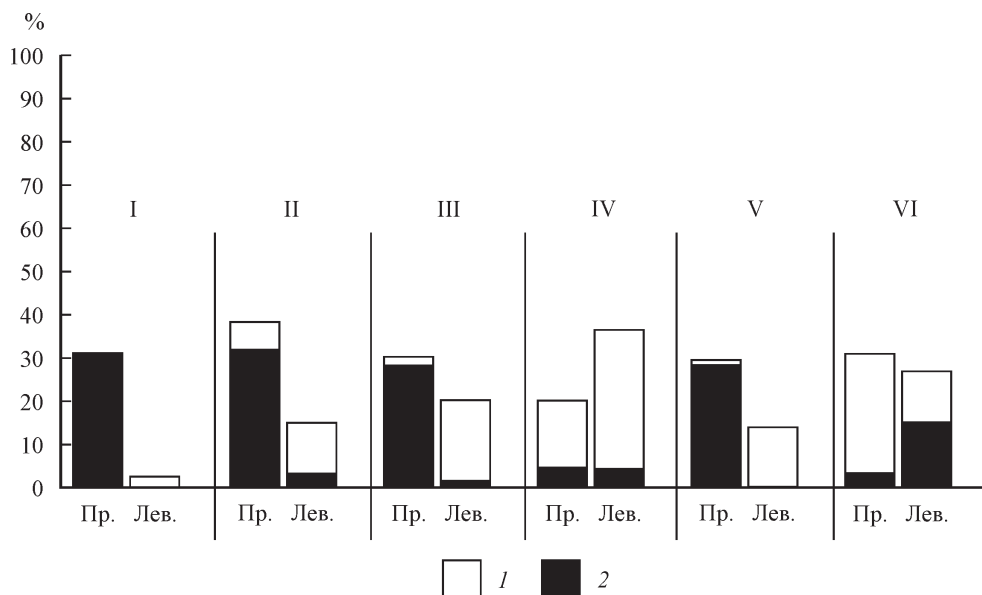


Рис. 5. Распределение доли (в %) протяженности берегов размываемых (1) и защищенных от размыва (2) от общей протяженности правого и левого берегов реки по участкам в среднем течении р. Амур.

Участки: I — устье р. Помпеевка—с. Амурзет, II — с. Амурзет—о. Кади́ха, III — о-в Кади́ха—с. Ленинское, IV — с. Ленинское—г. Фуюань, V — г. Фуюань—с. Нижне-Спасское, VI — с. Нижне-Спасское—Хабаровск.

По наблюдениям 2014 г., проведенным после паводка, выявлен ускоренный размыв берегов на тех участках, где они происходили и ранее. Активизация размыва нередко обусловлена смещением перекатов в русле Амура или формированием аккумулятивных форм в основном и второстепенных рукавах реки.

Так, например, усилился размыв левого берега в оголовке пойменного о-ва Средний, расположенного в районе впадения в Амур р. Сунгари. В последние 30 лет здесь наблюдался быстрый размыв берега со скоростью 5—7 м/год. Во время паводка этот размыв усилился, о чем свидетельствуют отвесные уступы, лишенные в межень даже узкой полоски бечевника. Спустя год после паводка, по наблюдениям в сентябре 2014 г., от берегового обрыва продолжали обваливаться подмытые в паводок блоки.

Выводы. Таким образом, проведенные исследования показали, что в русле р. Амур во время наводнения 2013 г. отмечалась высокая активность эрозионно-аккумулятивных процессов, обусловленная прохождением значительного стока воды по рукавам при затопленной пойме. На многих участках русла интенсивно проявилась боковая эрозия. Анализ космических материалов и данные экспедиционных работ свидетельствуют о преобразовании морфологических характеристик русел многих основных и второстепенных рукавов р. Амур. Протяженность берегов с отвесными эрозионными уступами местами достигает нескольких километров, а величина размыва — до 20 м.

Анализ перераспределения стока воды по рукавам на ключевых участках Среднего и Нижнего Амура подтверждает выводы морфодинамического ана-

лиза и данные экспедиционных обследований о том, что в паводок 2013 г. преимущественная аккумуляция наносов отмечалась во второстепенных рукавах и протоках. Также в пределах целого ряда участков основного русла, где вследствие сочетания ряда естественных факторов (подпорные условия, чрезмерное увеличение ширины русла, уменьшение или прекращение дноуглубительных работ) происходит значительное снижение пропускной способности потока. Это явилось дополнительным импульсом для активизации новых, гидравлически более выгодных положений русла, что говорит о необходимости более детального анализа и мониторинга русловых процессов. Такой мониторинг особенно необходим в пределах пограничной части Амура, где в ближайшие годы следует ожидать заметные перестройки русла.

Наиболее существенные изменения в рельефе дна речного русла произошли на участках вблизи истоков и устьев второстепенных рукавов реки. Здесь активизировались аккумулятивные процессы, вызвавшие увеличение размеров и быстрое смещение существовавших и вновь образованных кос. В русле реки образовались новые многочисленные осередки и косы. Эти процессы, характерные в целом для Амура, усилились после наводнения 2013 г., обостряя проблемы безопасности судоходства, водоснабжения, устойчивости берегозащитных сооружений и других хозяйственных объектов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Русского географического общества (грант № 02/2014-Н2) и гранта РФФИ (проект № 14-05-00693).

Список литературы

- [1] Данилов-Данильян В. И., Гельфан А. Н. Экстраординарное наводнение в бассейне реки Амур // Вестн. РАН. 2014. Т. 84, № 9. С. 817—825.
- [2] Завадский А. С. Пограничные проблемы на реках бассейна Амура, обусловленные русловыми процессами, и пути их решения // Водное хозяйство России. 2012. № 3. С. 74—79.
- [3] Завадский А. С., Ким В. И., Махинов А. Н., Чалов Р. С., Чернов А. В. Русловые процессы на проблемных разветвленных участках Нижнего Амура // Комплексные исследования природной среды в бассейне реки Амур: Материалы Межрег. науч. конф. Хабаровск, 6—9 октября 2009 г. Хабаровск: ДВО РАН, 2009. Кн. 1. С. 72—76.
- [4] Знаменская Н. С. Исследование русловых процессов в условиях естественной изменчивости стока // Водные ресурсы. 1981. № 1. С. 89—101.
- [5] Иванов В. В., Завадский А. С. Русловые процессы на пограничном участке р. Амур // Вестн. МГУ. 2012. Сер. 5. География. № 3. С. 48—56.
- [6] Ким В. И., Махинов А. Н. Прохождение паводочной волны и водный режим в нижнем течении р. Амур // Материалы науч. конф. по проблемам водных ресурсов Дальневосточного экономического района и Забайкалья. СПб.: Гидрометеопиздат, 1991. С. 513—519.
- [7] Ким В. И., Махинов А. Н. Русловые деформации и перераспределение стока на участке разветвленного русла и их изменение при строительстве гидротехнических сооружений (на примере р. Амур) // Материалы XXX пленума Геоморф. комиссии РАН. СПб.: СПбГУ, 2008. С. 211—212.
- [8] Махинов А. Н. Современное рельефообразование в условиях аллювиальной аккумуляции. Владивосток: Дальнаука, 2006. 232 с.

- [9] *Махинов А. Н.* Региональные особенности русловых процессов горных рек юга Дальнего Востока // Всерос. науч. конф. «Процессы самоорганизации в эрозионно-русловых системах и динамике речных долин» «Fluvial systems-2012» с уч. иностр. ученых. 3—12 июля 2012 г. Томск, Россия. [Электронный ресурс].
- [10] *Махинов А. Н.* Основные факторы формирования катастрофических наводнений в бассейне реки Амур в 2013 году // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Владивосток: БПИ ДВО РАН, 2014. Вып. 6. С. 435—442.
- [11] *Махинов А. Н., Ким В. И., Воронов Б. А.* Наводнение в бассейне Амура 2013 г.: причины и последствия // Вестн. ДВО РАН. 2014. № 2. С. 5—14.
- [12] *Махинов А. Н., Ким В. И., Чалов Р. С., Чернов А. В.* Изменение русловых процессов реки Амур в районе Хабаровска в результате строительства полупрудов в протоках Пемзенская и Бешеная // Конф. с межд. участием «Регионы нового освоения: ресурсный потенциал и инновационные пути его использования». 19—22 сентября 2011 г. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2011. С. 56—58.
- [13] *Махинов А. Н., Чалов Р. С., Чернов А. В.* Направленная аккумуляция наносов и морфология русла Нижнего Амура // Геоморфология. 1994. № 4. С. 70—78.
- [14] *Попов И. В., Смищенко Б. Ф.* К вопросу о морфологических особенностях много-рукавных речных русел на участке впадения притока // Метеорология и гидрология. 1971. № 1. С. 48—61.
- [15] *Трегубов Г. А.* Боковая эрозия русла рек Амура и Зеи // Амурский сборник, 1. Хабаровск: Приам. фил. Геогр. о-ва СССР, 1959. С. 79—88.
- [16] *Чалов Р. С.* Сложно разветвленные русла равнинных рек: условия формирования, морфология и деформации // Водные ресурсы. 2001. Т. 28, № 2. С. 166—171.
- [17] *Чалов Р. С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 2: Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
- [18] *Kim V. I., Makhinov A. N.* Morphodynamics and stability of the Amur riverbed in the lower reaches // 8th International Conference on Geomorphology. Paris, France, 2013. P. 548.
- [19] *Makhinov A., Liu S., Kim V., Makhinova A.* Natural risks and anthropogenic impacts on big rivers in East Asia // 32nd International Geographical Congress. Cologne, Germany, 2012. P. 238.

Поступило в редакцию
19 июня 2015 г.

Amur river channel transformation after the flood in 2013

© *A. N. Makhinov*,*,¹ *A. S. Zavadskiy*,** *V. I. Kim*,*
A. V. Chernov,**,² *E. K. Gubareva***

* Institute of Water and Ecology Problems FEB RAS, Khabarovsk

** Lomonosov Moscow State University

E-mail: ¹amakhinov@mail.ru

² Alexey.chernov@inbox.ru

The paper discusses impacts of the catastrophic floods in 2013 on the Amur river channel, channel processes and water flow redistribution between sub-channels in the Amur middle and lower reaches. The analysis of river morphology and hydrologic regime in Amur main channels made it possible to reveal the problem river passages with the most active channel transformations.

It was found out that in 2013—2014 the Amur channel processes, caused by the influence of the 2013 flood impacts were highly accelerated. The authors assessed the intensity of modern erosion-accumulative processes in some areas of the branched channel and revealed the confinement of increased accumulation zones to the outlets of secondary sub-channels and the confluences of major Amur tributaries. For the first time measurements of water discharge were carried out in the sub-channels of the Amur border areas in order to identify trends in their development.

Particular attention was given to assessing flood impacts on the water flow redistribution between the sub-channels in the areas of river branching as causing the risks of undesirable changes in channel processes. Similar works are of particular relevance in the Amur middle reaches within the Jewish Autonomous Oblast, where Russian-Chinese border follows the Amur fairway.

Key words: accumulation, Amur, banks, channel processes, erosion, flood, flow redistribution.

References

- [1] *Danilov-Danil'ian V. I., Gelfan A. N.* Ekstraordinarnoe navodnenie v basseine reki Amur // *Vestnik RAN.* 2014. T. 84, N 9. S. 817—825.
- [2] *Zavadski A. S.* Pogranichnie problemy na rekakh basseina Amura, obuslovlennyye ruslovymi protsessami, i puti ikh resheniia // *Vodnoe hoziaistvo Rossii.* 2012. N 3. S. 74—79.
- [3] *Zavadski A. S., Kim V. I., Makhinov A. N., Chalov R. S., Chernov A. V.* Ruslovyie protsessy na problemnykh razvetvlennykh uchastkakh Nizhnego Amura // *Kompleksnyie issledovaniia prirodnoi sredy v basseine reki Amur: materialy mezhhregional'noi nauchnoi konferentsii.*, Khabarovsk, 6—9 oktiabria 2009 g. Khabarovsk: DVO RAN, 2009. Kn. 1. S. 72—76.
- [4] *Znamenskaya N. S.* Issledovanie ruslovykh protsessov v usloviakh estestvennoi izmenchivosti stoka // *Vodnye resursy.* 1981. N 1. S. 89—101.
- [5] *Ivanov V. V., Zavadskii A. S.* Ruslovyie protsessy na pogranichnom uchastke r. Amur // *Vestnik Moskovskogo universiteta.* 2012. Seriya 5. Geografiia. N 3. S. 48—56.
- [6] *Kim V. I., Makhinov A. N.* Prohozhdenie pavodochnoi volny i vodnyi rezhim v nizhnem techenii r. Amur // *Materialy nauchnoi konferentsii po problemam vodnykh resursov Dal'nevostochnogo ekonomicheskogo raiona i Zabaikalia.* SPb.: Gidrometeoizdat, 1991. S. 513—519.
- [7] *Kim V. I., Makhinov A. N.* Ruslovyie deformatsii i pereraspredelenie stoka na uchastke razvetvlennoogo rusla i ikh izmenenie pri stroitel'stve gidrotekhnicheskikh sooruzhenii' (na primere r. Amur) // *Ma-ly XXX Plenuma Geomorf. komissii RAN.* SPb.: SPbGU, 2008. S. 211—212.
- [8] *Makhinov A. N.* Sovremennoe rel'efoobrazovanie v usloviakh alluvialnoi akumulatsii. Vladivostok: Dal'nauka, 2006. 232 s.
- [9] *Makhinov A. N.* Regional'nye osobennosti ruslovykh protsessov gornyykh rek iuga Dal'nego Vostoka // *Vserossiiskaya nauchnaya konferentsiia «Protessy samoorganizatsii v erozionno-ruslovykh sistemakh i dinamike rechnykh dolin» «Fluvial systems-2012» s uchastiem inostrannykh uchenykh, 3—12 iuliia 2012 goda.* Tomsk, Rossiia. [E'lektronnyi' resurs].
- [10] *Makhinov A. N.* Osnovnye faktory formirovaniia katastroficheskikh navodnenii v basseine reki Amur v 2013 godu // *Chteniia pamiati Vladimira Iakovlevicha Levanidova.* Vladivostok: BPI DVO RAN, 2014. Vyp. 6. S. 435—442.
- [11] *Makhinov A. N., Kim V. I., Voronov B. A.* Navodnenie v basseine Amura 2013 g: prichiny i posledstviia // *Vestnik DVO RAN.* 2014. N 2. S. 5—14.
- [12] *Makhinov A. N., Kim V. I., Chalov R. S., Chernov A. V.* Izmenenie ruslovykh protsessov reki Amur v raione Khabarovska v rezultate stroitel'stva poluzaprud v protokakh Pemzenskaya i Beshenaya // *Konf. s mezhd. uchastiem «Regiony novogo osvoeniia: resursnyi potentsial i innovatsionnye puti ego ispol'zovaniia».* 19—22 sentiabria 2011 g. Khabarovsk: IVEP DVO RAN, 2011. S. 56—58.

- [13] *Makhinov A. N., Chalov R. S., Chernov A. V.* Napravleniia akkumulatsiia nanosov i morfologiiia rusla Nizhnego Amura // Geomorfologiiia. 1994. N 4. S. 70—78.
- [14] *Popov I. V., Snishchenko B. F.* K voprosu o morfologicheskikh osobennostiakh mnogorukavnykh rechnykh rusel na uchastke vpadeniia pritoka // Meteorologiiia i gidrologiia. 1971. N 1. S. 48—61.
- [15] *Tregubov G. A.* Bokovaia eroziia rusla rek Amura i Zei // Amurskii sbornik, 1. Habarovsk: Priam. fil. Geogr. o-va SSSR, 1959. S. 79—88.
- [16] *Chalov R. S.* Slozhno razvetvlennye rusla ravninnykh rek: usloviia formirovaniia, morfologiiia i deformatsii // Vodnye resursy. 2001. T. 28, N 2. S. 166—171.
- [17] *Chalov R. S.* Ruslovedenie: teoriia, geografiia, praktika. T. 2: Morfodinamika rechnykh rusel. M.: KRASAND, 2011. 960 s.
- [18] *Kim V. I., Makhinov A. N.* Morphodynamics and stability of the Amur riverbed in the lower reaches // 8th International Conference on Geomorphology. Paris, France, 2013. P. 548.
- [19] *Makhinov A., Liu S., Kim V., Makhinova A.* Natural risks and anthropogenic impacts on big rivers in East Asia // 32nd International Geographical Congress. Cologne, Germany, 2012. P. 238.

Изв. РГО. 2016. Т. 148, вып. 3

ОЦЕНКА ЭСТЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛАНДШАФТОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЯМИ ВЫДАЮЩЕЙСЯ КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОЙ И ПРИРОДНОЙ ЦЕННОСТИ

© **Е. Ю. КОЛБОВСКИЙ**¹, **У. А. МЕДОВИКОВА**²

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

E-mail: ¹ kolbowski@mail.ru

² ua_m@mail.ru

Восстановление исторических культурных ландшафтов, получающее все большее распространение в развитых странах, вызвало к жизни две неальтернативные практики: специальный комплекс мер по реконструкции и уходу за ландшафтом («планы управления территориями») и оценку допустимости воздействия на визуальные свойства ландшафтов (так называемый «визуальный ОВОС»). Разработка планов управления территориями связана с формированием представления о целевом состоянии, при котором ландшафт, сохраняя функциональность, включает характерные признаки «референтного» исторического образца. Поиск таких признаков осуществляется с использованием геоинформационных систем и старых картографических источников в ходе реконструкции истории ландшафта. Реализация визуального ОВОСа требует предварительного моделирования структуры визуального пространства относительно находящихся в нем наблюдателей, фиксации, выявления роли отдельных компонентов в формировании ландшафтных сцен, а также определения визуальных деформаций, изменяющих в неблагоприятную сторону эстетические свойства ландшафта. Нежелательные изменения эстетических свойств могут возникать как в результате новых антропогенных воздействий, так и в результате естественной динамики ландшафта, в том числе его «одичания», проявляющегося в зарастании бывших полей и сенокосов. Построение трехмерной компьютерной модели культурного ландшафта в сочетании с пошаговой параметризацией различных аспектов предполагаемых изменений позволяет объективировать всю процедуру оценки допустимости воздействия на эстетические свойства и использовать ее для решения конфликтных вопросов развития на территориях высокой историко-культурной и природной ценности. Рассмотрен опыт подобного исследования, проведенного для государственного историко-архитектурного и этнографического музея-заповедника «Кижи».