

ГИДРОЛОГИЯ

УДК 551.4.04:556.5

DOI: 10.17072/2079-7877-2021-1-53-67

**ОПАСНОСТЬ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА РЕКАХ РОССИИ:
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ, КАРТОГРАФИРОВАНИЕ, РЕГИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ****Роман Сергеевич Чалов**

Scopus Author ID: 7003283104, Researcher ID: L-8754-2015, SPIN-код 7752-9344, AuthorID: 58839,

IstinaResearcherID (IRID): 429939

e-mail: rschalov@mail.ru

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва***Алексей Владимирович Чернов**

AuthorID: 60531, IstinaResearcherID (IRID): 1082439

e-mail: Alexey.chernov@inbox.ru

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва***Надежда Михайловна Михайлова**

Scopus Author ID: 36700272500, ResearcherID: M-1961-2015, AuthorID: 129349

IstinaResearcherID (IRID): 6925577

e-mail: nmmikhailova@yandex.ru

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва

Рассматривается опасность русловых процессов, которые создают речные русла, поймы и происходят в них. Русловые процессы являются одними из самых динамичных в природе: скорость их проявления колеблется от первых десятков лет до отдельных месяцев в половодья и паводки, т.е. происходит на глазах у людей. Это может существенно осложнить жизнь на берегах рек и использование речных ресурсов. В статье приводятся причины и последствия опасных проявлений русловых процессов, большое внимание уделяется картографическому методу оценки опасности русловых процессов: определению степени ее проявления, различным способам её отображения на картах. Даны примеры показа опасности на ранее составленных картах, а также краткий географический анализ распространения различных видов и степени проявления опасных русловых процессов в разнообразных природных условиях России.

Ключевые слова: речное русло, пойма, русловые процессы, опасность, картографирование, распространение.

**DANGER OF RIVERBED PROCESSES ON RUSSIAN RIVERS:
ASSESSMENT CRITERIA, MAPPING, REGIONAL ANALYSIS****Roman S. Chalov**

Scopus Author ID: 7003283104, Researcher ID: L-8754-2015, SPIN-код 7752-9344, AuthorID: 58839,

IstinaResearcherID (IRID): 429939

e-mail: rschalov@mail.ru

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia***Alexey V. Chernov**

AuthorID: 60531, IstinaResearcherID (IRID): 1082439

e-mail: Alexey.chernov@inbox.ru

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia***Nadezhda M. Mikhailova**

Scopus Author ID: 36700272500, ResearcherID: M-1961-2015, AuthorID: 129349

IstinaResearcherID (IRID): 6925577

e-mail: nmmikhailova@yandex.ru

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*Гидрология**Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М.*

The article discusses the danger that channel processes – the processes creating the river channel and floodplain and those occurring in them – can pose to people. Riverbed processes are among the most dynamic ones in nature: the speed of their manifestation varies from the first decades to individual months in high water and floods, i.e. they develop in full view of people. This can significantly complicate life on the banks of rivers and the use of river resources. The article deals with dangerous manifestations of riverbed processes, their causes and consequences, but the main part of the paper is devoted to the cartographic method of assessing the danger of riverbed processes: determining the danger degree and various ways of displaying it on maps. There are given examples of showing danger on previously compiled maps. In conclusion, the article provides a brief geographical analysis of the distribution of various types and the manifestation degree of dangerous riverbed processes in a variety of natural conditions in Russia.

К e y w o r d s : riverbed, floodplain, riverbed processes, hazard, mapping, distribution.

Введение

Русловые процессы, проявляющиеся в постоянных переформированиях речных русел, всегда представляют большую или меньшую опасность для жизни и деятельности человека вследствие размывов берегов, занесения наносами акваторий, «ухода» рек от населённых пунктов, понижения или повышения отметок дна (размывов/намывов) и т.д. Она возникает как следствие естественных русловых деформаций, интенсивность и формы проявления которых зависят от устойчивости русел и их морфодинамического типа, стока и состава руслообразующих наносов, условий прохождения руслоформирующих расходов воды, размываемости горных пород и отложений, контактирующих с речными потоками, других факторов, определяющих русловую режим рек, – совокупность характерных изменений речных русел под действием водных (речных) потоков во времени [17]. Вместе с тем хозяйственная деятельность на реках, приречных территориях и в речных бассейнах, связанная с возведением гидротехнических объектов, разработкой в руслах и на поймах месторождений полезных ископаемых, сельскохозяйственным и рекреационным освоением, водозабором, прокладкой коммуникаций, выполнением берегозащитных и противопаводковых мероприятий, изменяет факторы и русловую режим рек, приводя в одних случаях к нейтрализации опасных проявлений, а в других – к появлению новых форм или их активизации.

Основу оценки опасности для жизни и деятельности человека русловых процессов в пределах речных бассейнов, административно-территориальных образований, крупных регионов или страны в целом составляет мелкомасштабное картографирование, широко применяемое на практике в последние десятилетия [20; 21] и позволяющее уже на предпроектном уровне экспертно оценивать возможные инвестиции в предотвращение опасных русловых процессов и риска при освоении любых видов речных ресурсов.

К формам проявления опасных русловых процессов относятся: а) горизонтальные русловые деформации, заключающиеся в смещениях русел в плане, происходящие при этом размывы/намывы берегов, развитие одних и отмирание других рукавов, искривление и спрямление излучин – их периодичность и направленность; б) вертикальные русловые деформации – врезание (глубинная эрозия) или аккумуляция наносов, сопровождающиеся изменением отметок дна рек; в) динамика (намыв, размыв, смещение) аккумулятивных форм руслового рельефа (перекатов, побочней, осередков). При размывах берегов разрушаются прибрежные строения, дороги и другие коммуникации, в том числе построенные в то время, когда река была еще далеко от них, береговые опоры мостов, провисают трубопроводы (дюкеры, кабели связи), проложенные через реки, утрачиваются плодородные земли и лесные угодья. Проблемы берегоукрепления зачастую стоят на первом месте для многих прибрежных населенных пунктов, но особенно остро – для урбанизированных участков рек. На рис. 1 показан размыв вогнутого правого берега р. Оби у г. Колпашево, где уничтожена часть городской территории: из-за искривления и смещения крутой излучины за 100 лет берег отступил на 1,5 км [19].

Невыявленная периодичность русловых деформаций часто влечет за собой нерациональный выбор путей регулирования русел в интересах судоходства и других пользователей (водопотребителей, гидростроителей), а также методов берегоукрепления, в результате чего со временем капитально укрепленный участок берега оказывается вне воздействия потока, тогда как размыву подвергаются соседние участки реки.

Гидрология

Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М.



Рис. 1. Переформирования русла р. Оби, создающие опасность для г. Колпашево: А – размываемый берег; Б – изменения русла по мере размыва вогнутого берега и смещения излучины. Положения русла: 1 – в 1910 г.; 2 – в 2010 г. [4, с изменениями]
 Fig. 1. Reshaping of the Ob riverbed, which creates danger to Kolpashevo. А – eroded bank; Б – changes in the channel as the concave bank erodes and the bend shifts. The riverbed position: 1 – in 1910; 2 – in 2010 [4, with changes]

Смещение форм руслового рельефа (перекатов, побочней, осередков) вызывает серьезные затруднения для судоходства, приводя, зачастую, к посадке судов на мели и срыву перевозок. Надвижение скоплений наносов (отмелей) на водозаборы и выпуски сточных вод затрудняют промышленное и коммунальное водоснабжение, снижают эффект рассеивания вредных примесей [11]. Берега, противоположные прирусловым отмелям, обычно размываются, создавая аварийную обстановку для находящихся на них инженерных и других объектов. На фотографии (рис. 2) – участок р. Оби выше г. Барнаула, на левом коренном берегу которой основной коммунальный водозабор города оказался отгороженным мелями от основного русла. Поэтому для обеспечения подачи к нему воды здесь регулярно проводятся землечерпательные работы, разрабатываются подводящие к нему воду прорези. На противоположном правом берегу в створе водозабора находится опора ЛЭП, для сохранности которой и других опор пришлось возводить берегозащитное сооружение из каменной наброски протяженностью почти 1,5 км, предотвратившее от размыва весь вогнутый берег излучины. Занесение движущимися наносами акваторий портов и пристаней создает аварийную обстановку и затрудняет транспортное сообщение по рекам [14].

Еще более впечатляюще развитие опасных русловых процессов на р. Лене в районе г. Якутска [18], где переформирования русла на протяжении XX–начала XXI в. привели к направленному «уходу» реки от города. В настоящее время лишь нижняя его часть (промзона) выходит к левому рукаву, в котором располагаются городской водозабор, причалы паромной переправы и промпредприятий, подходы к порту. Но они постоянно подвергаются заносимости, водность рукава за 50 лет сократилась с 70 до 30–40%, и для обеспечения всех водопользователей выполняются регулярные дноуглубительные работы. Однако в перспективе возможно превращение рукава в маловодную протоку, подобно выше расположенной Городской, на берегу которой был основан г. Якутск и которая была основным рукавом Лены еще в первой половине XX в. (на сегодняшний день ее водность составляет 5–7% стока реки).

Деятельность человека в руслах рек и на их поймах давно уже стала реальным фактором их преобразования, вызывая не менее опасные явления, чем естественные русловые процессы. На средних и больших реках они связаны с функционированием водохранилищ, массовой добычей стройматериалов (песчано-гравийной смеси ПГС) из русел. В нижних бьефах гидроузлов и при массовой разработке ПГС основным опасным процессом является врезание русел (в случае карьеров оно накладывается на искусственное углубление русла), которое вызывает «посадку» уровней, обсыхание водозаборов, обрывы трубопроводов, сопровождаясь остепнением пойменных ландшафтов, в ряде случаев ухудшает условия судоходства из-за обнажения на дне скальных грунтов. Выше водохранилищ аккумуляция наносов приводит к обмелению русла, заболачиванию, а в прирусловой части – опесчаниванию поймы, ухудшению пойменных лугов.

Опасные явления, вызванные антропогенным вмешательством в жизнь малых рек, связаны с заилением их русел, которое вызывается, как правило, усилением смыва почв с водосборов. При этом кольматируются источники грунтового питания, что уменьшает водность реки, заносятся водозаборы, заболачиваются пойменные земли. Опасность возникает также при уничтожении всего пойменно-

Гидрология

Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М.

руслового комплекса рек при добыче из ее русла и поймы полезных ископаемых: переход стока из наземного в подземный нарушает гидрогеологические условия приречных территорий, что приводит к подтоплениям, суффозионным просадкам под зданиями и сооружениями [8].



Рис. 2. Водозабор на р. Оби у г. Барнаула, перекрытый сместившимися отмелями, и опора ЛЭП, для защиты которой от размыва правый берег был укреплен каменной наброской
Fig. 2. The water intake on the Ob River near Barnaul, blocked by shifting shallows, and a power line support (to protect it from erosion, the right bank was strengthened with dumped riprap)

Н.И. Маккавеев [12, с. 3] подчеркивал, что «русловые процессы нельзя рассматривать как цепи явлений, развитие которых происходит изолированно от географической среды, без учета конкретных особенностей, характеризующих ландшафт водосбора». Географии русловых процессов, особенностям развития речных русел, распространению их морфодинамических типов посвящена обширная отечественная [15] и зарубежная литература [2; 23; 25; 26]. Но в отношении опасности русловых процессов, выявлении ее географических закономерностей в естественных и антропогенно измененных условиях сделаны лишь первые шаги на уровне федеральных округов России [4; 22]. Задача настоящей статьи – дать характеристику опасных проявлений русловых процессов на реках всей огромной территории России на основе составленных мелкомасштабных карт для страны в целом и ее округов, обобщений оценок, сделанных для отдельных регионов в отношении опасности русловых процессов на малых и средних-больших и крупнейших реках.

Критерии оценки опасности речной эрозии и аккумуляции в руслах и на поймах

Сложность русловых процессов как природного явления крайне затрудняет выбор или расчет единого показателя опасности, применимого для всех рек территории, независимо от их размеров и водоносности. Кроме того, методически неверно объединять, во-первых, разнонаправленные проявления опасности, во-вторых, опасность природную и антропогенно обусловленную, вызванную возможным негативным влиянием хозяйственной деятельности (гидротехнические воздействия на реки могут преследовать цель и приводят к нейтрализации, снижению уровня и даже ликвидации опасности русловых процессов), в-третьих, опасность русловых процессов на малых и средних-больших реках. Поэтому все опасные проявления русловых процессов рассматриваются в рамках четырех больших групп, каждая из которых характеризуется своими показателями степени опасности [21]. Выделение этих групп позволяет разделить природную и антропогенно обусловленную опасность, определяющие разные подходы к ее предотвращению или защите от нее, опасность на больших (средних) и малых реках, что связано с количественными и качественными различиями параметров, оценивающих опасность, и опасность, вызванную деформациями разного типа.

Оценка опасности, вызванной той или иной формой проявления русловых процессов, осуществляется на основе ранжирования их по количественным критериям и качественной характеристике каждого вида процесса и балльной оценки опасности, интегрирующей все возможные ее формы. Виды опасных природных русловых процессов, их качественная и количественная оценка, а также их социально-экономические последствия показаны в табл. 1. В табл. 2 отдельно выделяются и оцениваются опасные русловые процессы, появление которых на реках обусловлено хозяйственной деятельностью на реках и их берегах, а на малых реках – также на их водосборах.

Предложенная шкала унифицирована для оценки опасности всех природных и антропогенно обусловленных опасностей на реках России и бывших республик СССР. В частности, русловые процессы, как правило, не являются по форме и интенсивности проявления катастрофическими, но таковыми могут считаться отдельные ситуации, вследствие которых разрушается населенный пункт или создается чрезвычайная ситуация, хотя скорости размыва берега или других русловых деформаций не выходят за рамки максимальных для данной реки, наблюдающихся на большом её протяжении вне этих поселений. Таковы упомянутые выше размывы г. Колпашево на р. Оби и переформирования русла р. Лены у г. Якутска. Поэтому максимальная степень опасности, соответствующая 5 баллам, из анализа исключена, хотя следует иметь в виду, что она может иметь место на локальном уровне (например, она характерна для р. Амударья в Центральной Азии – «дейгиш» – экстремальный катастрофический размыв берегов, для великих китайских рек, для которых типична экстремально высокая интенсивность аккумуляции наносов).

Гидрология

Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М.

Виды проявлений русловых процессов независимы друг от друга. Поэтому критерии, по которым определяется вызванная ими опасность, различны. Однако благодаря применению для всех групп единой балльной шкалы оценки опасности она сравнима для рек разного размера, отличающихся по другим характеристикам. Так, например, русловые процессы на крупной реке, оцениваемые как создающие умеренную опасность (3 балла), сравнимы по степени негативного влияния с природной опасностью, возникающей на малых реках, и антропогенной опасностью на больших и малых реках, которым также присвоен балл 3 [4].

Для средних и больших рек интегральным показателем природной опасности русловых процессов служат показатели устойчивости русла: число Лохтина $L = d/H$ и коэффициент стабильности русла Н.И. Маккавеева $K_c = (d/lbp) \times 1000$, где d – средний диаметр донных наносов, мм; H – километрическое падение, м/км; l – уклон, b_p – ширина русла в межень [4]. Их анализ более чем по 500 рекам России и стран СНГ показал хорошую корреляцию между ними, с одной стороны, и скоростью размыва берегов, протяженностью фронта размыва, периодичностью и темпами переформирования русла. В левой части табл. 1 показано соответствие характеристик и балльной оценки опасности русловых процессов на средних и больших реках, вызванной различными процессами, и показателей устойчивости русла при разной степени опасности.

Реки с наименее устойчивыми руслами ($L < 2$) характеризуются наибольшими скоростями размыва берегов (в среднем более 10 м/год), максимальной протяженностью фронтов размыва, быстрой периодичностью деформаций и очень высокими темпами смещения форм руслового рельефа. Все эти значения соответствуют типу опасности в 4 балла. Напротив, на реках с высокими показателями устойчивости ($L = 5-10$) скорости деформаций невелики, расположение участков мест берегов фрагментарно, их местоположение легко прогнозируется, периодичность долговременна и слабо влияет на современное использование речных ресурсов и условия жизнедеятельности в речных долинах. Такие процессы оцениваются как малоопасные – 2 балла.

На реках с устойчивым и тем более с абсолютно устойчивым руслом русловые деформации настолько замедленны, что они относятся к категории практически неопасных (врезанные русла с галечно-валунным составом наносов), хотя на них возникают другие негативные явления гидравлического генезиса: в низкую межень на галечно-валунных перекатах и на скальных выступках в русле возникает эффект водослива, что приводит к дополнительной «посадке» уровней и снижению глубин и создает серьезные затруднения для водного пути.

На малых реках опасными являются те же проявления русловых процессов, что и на крупных реках: размывы берегов и смещение форм руслового рельефа, но интенсивность этих процессов (особенно последних) здесь значительно ниже (табл. 1), соответственно, ниже степень опасности. Поэтому количественные критерии, характеризующие опасность процессов, на малых реках ниже по сравнению с большими реками при одинаковой качественной и балльной оценке. Смещение аккумулятивных форм руслового рельефа на малых реках из-за их привязанности к постоянным местам в руслах – перегибам между излучинами или особенностям конфигурации берегов, вообще, не рассматривается. Русловые процессы с интенсивностью, определяемой по унифицированной шкале как опасные (4 балла), на малых реках отсутствуют – на них проявляются только умеренно-опасные и более слабые процессы. Не применяется на малых реках и интегральный показатель устойчивости русел – число Лохтина из-за его масштабных искажений. Поэтому сравнение степени опасности процессов и явлений осуществляется только по физическим (реальным) показателям опасности – скоростям размыва берегов, периодичности переформирования форм русла и т.д. Такой подход к малым рекам в известной мере определяется тем, что при проектировании сооружений и мероприятий к ним обычно относятся достаточно пренебрежительно: современная техника и технологии таковы, что русловые процессы можно не учитывать. В реальности это приводит к аварийным ситуациям – размывам застроенных берегов, провисанию трубопроводов, авариям на мостовых переходах и т.д.

Гидрология
Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М.

Таблица 1

Опасность русловых процессов на реках (числитель – средние/большие реки, знаменатель – малые реки)
 Danger of riverbed processes on rivers (numerator-medium / large rivers, denominator-small rivers)

Тип процесса по степени опасности	Показатели опасности		Количественная оценка опасности				Ожидаемые события
	Балл	Л средние и большие реки	Размыв берегов		Периодичность горизонтальных русловых деформаций	Скорости смещения форм руслового рельефа, м/год (средние и большие реки)	
			средняя скорость, м/год	протяженность зон размыва, % от длины участка реки			
Опасный	4	< 2	10	> 60	Быстрые (годы)	> 300	Разрушение причалов, набережных, портовых стенок; подмыв опор мостовых переходов, занесение наносами водозаборов, излом и разрыв подводных трубопроводов и других коммуникаций. Сплошные перекатные участки со сложным сезонным и многолетним режимом переформирований. Повсеместное сокращение прибрежных сельхозугодий. Частое изменение мест опасных проявлений
Умеренно-опасный	3	2–5	$\frac{2-10}{1-5}$	$\frac{20-60}{10-30}$	Постепенные (первые десятки лет)	50–300	Разрушение отдельных строений на берегах, периодический выход из строя водозаборов и подмывы мостовых опор, сложные переформирования и мелководность отдельных перекатов, местное сокращение прибрежных сельхозугодий, приуроченность мест опасных проявлений к определенным формам русла
Малоопасный	2	5–10	$\frac{2}{0-1}$	$\frac{\leq 20}{5-25}$	Медленные (сотни лет)	< 50	Отдельные перекаты, осложняющие судоходство; возможное занесение подходов к причалам и портам, водозаборов, разрушение строений на берегах, сокращение сельхозугодий. Локализация мест опасных проявлений и редкая их встречаемость
Незначительно опасный	1	> 10	В пределах точности определений				Эпизодическое обмеление отдельных перекатов и подходов к причалам. Редко встречающиеся участки размыва и оползания речных берегов

Гидрология

Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М.

Основным интегральным показателем, определяющим степень опасности антропогенно обусловленных процессов на крупных реках, является скорость вертикальных русловых деформаций – врезания или аккумуляции наносов. На реках России и стран СНГ в естественных условиях этим видом деформаций можно пренебрегать, т.к. они обычно проявляются лишь далеко за временными пределами нормативных сроков эксплуатации инженерных объектов. В правой части табл. 2 приведены значения скоростей этих процессов, определяющие ту или иную степень опасности. Опасность, связанная с заилением малых рек, оценивается по доле заиленных рек на данной территории (бассейна, региона). Если заилены почти все малые реки (полное заиление), то ситуация на ней считается опасной и оценивается в 4 балла; под частичным подразумевается либо заиление только определенной части малых рек региона, протекающих, например, по распаханым территориям, либо заиление верхних звеньев гидросети (ручьев и рек 1–2-го порядков) при сохранении стока на реках более высоких порядков, либо прибрежных зон русел при сохранении стока воды и наносов в активной их части. Такое заиление считается умеренно-опасным или малоопасным в зависимости от количества заиленных рек и характера заиления. Незначительно-опасным считается такое состояние, когда большая часть малых рек на определенной территории незаилена. Опасным считается только антропогенное заиление, связанное с распашкой водосборов и ускоренной эрозией почв; естественное заиление рек, сопровождающееся формированием бочажинных русел, опасным не является, хотя обладает повышенной уязвимостью к антропогенным воздействиям.

Таблица 2

Антропогенно обусловленная опасность русловых процессов
Anthropogenically hazard of riverbed processes

Тип процесса по степени опасности	Балл	На больших реках		На малых реках	
		Количественная оценка вертикальных деформаций (аккумуляция, врезание), см/год	Ожидаемые события	Количественная оценка степени антропогенной изменчивости (заиленности), % от длины реки	Ожидаемые события
Опасный	4	> 5	а) Обсыхание водозаборов, размыв и разрушение оснований опор мостовых переходов, провисание и разрывы подводных коммуникаций; обнажение на дне скальных гряд, прерывающих судоходство в межень; обсыхание и разрушение причальных стенок, берегоукреплений и набережных, оstepнение и потеря плодородия пойменных земель; б) усиление размыва берегов, занесение водозаборов, обмеление перекаатов; заболачивание и подтопление поименных земель	Полная (80 – 100%)	Полное заиление и отмирание русел или их механическое уничтожение; заболачивание, на юге – засоление пойм и прибрежных угодий, занесение водозаборов, реки перестают быть источниками водоснабжения
Умеренно опасный	3	3–5	а) Частичное обсыхание водозаборов; провисание участков подводных трубопроводов; обнажение на дне трудноразмываемых пород, ограничивающих судоходные глубины; отдельные разрушения берегоукреплений и набережных, оstepнение и потеря плодородия лугов на высокой пойме; б) занесение водозаборов, ухудшение судоходных условий в зоне переменного подпора, заболачивание пойменных угодий	Частичная (20 – 80%)	Обмеление рек, частичное отмирание их верховий, заболачивание пойм, сильное засорение русел бытовым и строительным мусором, древесиной
Малоопасный	2	< 3	а) Возможное осложнение судоходных условий на подходах к причалам; снижение продуктивности пойменных земель; б) частичное занесение водозаборов, ухудшение судоходных условий на отдельных перекатах в зоне выклинивания переменного подпора, заболачивание низкой и средней поймы	Локальная (< 20%)	Частичное заиление верховьев рек, канализирование русел с их последующим занесением, частичное засорение русел мусором и древесиной
Незначительно опасный	1	0	Возможные локальные осложнения на подводных коммуникациях	Отсутствует	Возможные локальные изменения русел

*Гидрология**Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М.*

А.С. Завадский [16] предложил использовать в качестве критерия опасности, наряду с морфодинамическим типом русла, средней скоростью и протяженностью фронта размыва берегов, удельную мощность потока (вт/м^2), интегрируя её в общие баллы опасности. Удельная мощность потока коррелирует со средней скоростью размыва легкоразмываемых берегов, вследствие чего ее величину можно принимать в качестве характеристики потенциально возможной опасности русловых процессов. Этот показатель позволяет оценивать опасность при отсутствии или невозможности получить данные о скоростях размыва берегов, но при его применении необходимы сведения о геолого-геоморфологических условиях развития русловых деформаций: он применим только при формировании русел в размываемых грунтах и недействителен в трудноразмываемых или неразмываемых, особенно скальных.

Карты опасности русловых процессов

Картографирование опасности русловых требует разработки различных способов показа опасности, которая облегчает анализ их содержания и получения необходимых данных об их распространении. Одно из необходимых требований к картам опасности – однозначность оценок опасности, вызванной различными проявлениями русловых процессов. Поэтому такая карта должна в своей основе опираться на единый показатель опасности, интегрирующий всю совокупность опасных проявлений русловых процессов. Таким показателем является оценка опасности в баллах, отражающих в интегральном виде количественные и качественные характеристики основных видов опасности.

Различия в размерах и специфике русловых процессов на крупных (средних и больших) и малых реках обусловили разные способы картографирования опасности русловых процессов на крупных и малых реках [2]. Для средних и больших рек возможно непосредственное отражение степени опасности, информация о которой даётся с помощью немасштабной ленты-диаграммы вдоль линии реки, показанной на географической основе. Ширина ленты отражает ширину русел (в дискретных градациях): при этом очевидно, что при прочих равных условиях чем шире русло, тем больше форм и видов опасностей русловых процессов может на ней проявляться (ширина реки в данном случае тождественна ее водности и мощности потока). Цвет ленты соответствует баллу опасности русловых процессов: красный цвет ленты означает преобладание опасных проявлений русловых процессов (4 балла), оранжевый – умеренно опасных (3 балла), жёлтый – малоопасных (2 балла) и зеленый – незначительно опасных проявлений (1 балл) либо их отсутствие. Утолщение правого или левого (или обоих) краев ленты показывает наличие размыва только левого, правого или обоих берегов. Если в русле наблюдается чередование размывов то левого, то правого берегов, что типично, например, для свободно меандрирующих рек, то утолщения границ ленты также чередуются на карте в шахматном порядке. Тонкий край ленты обозначает отсутствие размыва берегов. Внутри ленты русла показываются также вертикальные русловые деформации: врезание русла – штриховкой ленты, аккумуляция наносов – крапом, причем густотой штрихов или крапа можно отразить интенсивность процесса. В кружках рядом с лентой-диаграммой помещаются цифры, соответствующие непосредственно измеренным (зафиксированным) в этих местах скорости размывов берегов.

Опасность русловых процессов на малых реках оценивается посредством районирования территории. Цветовым качественным фоном даются районы по характеру размыва берегов малых рек, крапом – по степени заиления их русел. При этом цвет, наличие или отсутствие крапа отражают информацию только о малых реках, протекающих в пределах того или иного контура. Опасность проявления русловых процессов на малых реках заметно ниже, чем на больших: максимальная скорость размыва берегов редко превышает 5 м/год (при больших величинах это уже – экстремальные размывы), а протяженность зон размыва не превышает первые десятки метров. Поэтому по степени опасности от размывов берегов на малых реках выделяются три типа районов: с умеренной (3 балла), с малой опасностью (2 балла) и её незначительностью или эпизодичностью (1 балл). По заилению русел малых рек выделяются районы двух типов: с заилением преобладающей части русел малых рек в контуре (2–4 балла опасности) или с его эпизодичностью (1 балл).

Районы с отсутствием опасности русловых процессов на малых реках в основном приурочены к горным территориям. Горизонтальные русловые деформации в условиях почти полного отсутствия пойм или их малой ширины и скальности коренных берегов замедлены или отсутствуют. То же можно сказать о вертикальных русловых деформациях – врезании русел в скальное ложе; исключения составляют участки перегибов продольного профиля рек, где из-за снижения уклонов возможна усиленная аккумуляция наносов, однако такие участки локальны по своему распространению, приурочены, как

*Гидрология**Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М.*

правило, к межгорным впадинам или предгорьям. Большие уклоны и высокие скорости потока – основная причина отсутствия заиления русел малых горных рек. Вместе с тем в горах высока опасность склоновых процессов (оползней, обвалов, осыпей), поставляющих в реки крупнообломочный материал, иногда их запруживающих, причем в ряде случаев они провоцируются речными потоками, подмывающими крутые склоны, и особенно селей, являющихся даже на реках, принимающих сели из притоков, важным и достаточно распространенным фактором резкой интенсификации русловых деформаций, их экстремальности и катастрофичности проявлений [7]. Ярким примером такого влияния селей на русловые процессы является р. Баксан в районе г. Тырныауза [6].

Граница между малыми и крупными (средними/большими) реками, разделяющая различные способы передачи информации об опасности русловых процессов на картах, не имеет четкого выражения в шкале размеров рек; как правило, она зависит от масштаба картографирования. Эмпирически выявлено, что длина рек, отображаемых на карте непосредственно, должна быть кратной масштабу карты. Так, при масштабе картографирования 1:15 000 000 на карте опасности лентой показываются реки длиной более 1000–1500 км, причем ширину русел на них показать невозможно. Цветом ленты отражают степень опасности, а штриховкой или крапом – направленность вертикальных деформаций. На картах масштаба 1:4 000 000 показываются реки длиной 400–500 км, и для них уже нет ограничений при использовании диаграммы ширины русла.

Легендой карты опасности русловых процессов, по-существу, являются приведенные выше таблицы природной и антропогенной опасности на больших и малых реках (табл. 1 и 2) с добавленными цветных и штриховых полей, иллюстрирующих тот или иной вид опасности.

В 2006–2010 гг. по описанной методике были составлены карты опасности русловых процессов на реках отдельных федеральных округов Российской Федерации [1]. Сведение информации этих карт для всей территории России позволило получить сводную карту опасности русловых процессов, фрагмент которой приведен в качестве примера (рис. 3), и выполнить географический анализ условий и распространения рек с разной степенью опасности русловых процессов, частотой встречаемости опасности того или иного уровня на реках и/или в их бассейнах (в [22] анализ дан по федеральным округам).

Оценка опасности русловых процессов на реках России

Анализ исходных материалов, использованных при составлении карт, и самих карт позволяет дать оценку рек на всей территории России по наличию и интенсивности негативных опасных проявлений русловых процессов, выделить наиболее неблагоприятные в этом отношении районы на малых реках и дать их оценку.

Среди крупных (средних, больших и крупнейших) рек наиболее опасными для инженерных объектов и сооружений являются реки, протекающие в условиях свободного развития русловых деформаций, где русла формируются в рыхлых песчаных, супесчаных, легко суглинистых и лессовидных отложениях. Увеличивает вероятность опасности от размыва берегов также режим естественной аккумуляции наносов в реках, снижающий устойчивость русел. Опасным в отношении русловых процессов (4 балла) является нижнее течение Терека, верхняя и средняя Обь, нижний Амур, Лена частично в среднем (особенно от района г. Якутска до устья Алдана) и нижнем течении, Северная Двина между устьями Вычегды и Ваги, Колыма в нижнем течении, нижняя Волга, русла которых неустойчивые или слабоустойчивые, средняя скорость размыва берегов русел превышает 10 м/год, а максимальная достигает 60 м/год.

Северная Двина ниже устья Ваги, Вычегда, Сысола, Вашка, Мезень, Десна, Сейм, нижняя Ока, реки востока и юго-востока Русской равнины (Поволжья и Заволжья), большая часть русел рек Западной Сибири, Центрально-Якутской, Нижнеамурской, Яно-Индибирской, Колымской и других приморских низменностей Арктической зоны отличаются умеренной природной опасностью русловых процессов (3 балла) – при несколько большей (по показателям) устойчивости русел, особенно разветвленных на рукава, они отличаются интенсивными переформированиями – спрямлением излучин, развитием и отмиранием рукавов, сложным режимом деформаций перекаатов. В верховьях крупных рек, протекающих по равнинам, сложенным легкоразмываемыми грунтами, русловые процессы характеризуются меньшей опасностью, проявляющейся, в первую очередь, в размывах берегов, т.к. размеры и эрозионная способность рек невелики и соответствуют характеристикам русел малых рек.

Гидрология

Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М.

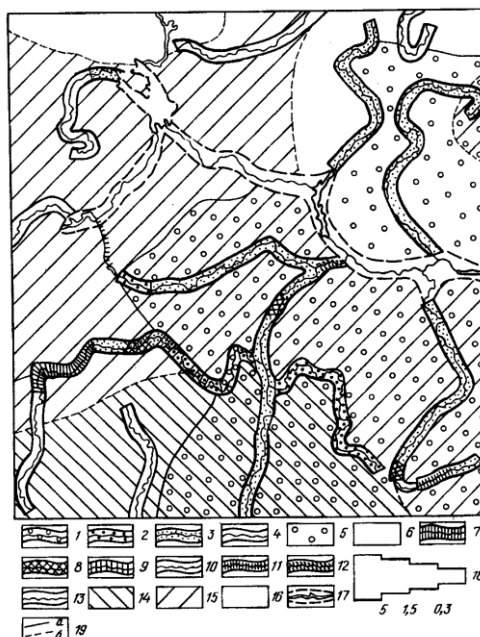


Рис. 3. Фрагмент карты "Опасность русловых процессов на реках России". Условные обозначения. Русловые процессы на крупных и средних реках: 1 – опасные (4 балла), 2 – умеренно опасные (3 балла), 3 – малоопасные (2 балла), 4 – незначительно опасные (1 балл). Русловые процессы на малых реках: 5 – умеренно опасные (3 балла), 6 – малоопасные (2 балла).

Антропогенно измененные русловые процессы на крупных и средних реках – врезание в нижних бьефах гидроузлов и при разработке русловых карьеров: 7 – опасное (4 балла), 8 – умеренно опасное (3 балла), 9 – малоопасное (2 балла), 10 – незначительно опасное (1 балл); аккумуляция в верхних бьефах гидроузлов: 11 – умеренно опасная (3 балла), 12 – малоопасная (2 балла), 13 – незначительно опасная (1 балл).

Антропогенно измененные русловые процессы на малых реках: 14 – экологически опасные (полное заиление – 4 балла), 15 – умеренно опасные (частичное заиление – 3 балла), 16 – незначительно опасные (локальное заиление – 1 балл).

Прочие: 17 – территории, прилегающие к водохранилищам; 18 – шкала ширины русел в километрах (5; 1,5; 0,3 км); утолщенные линии шкалы показывают наличие размывов берегов (соответственно правого или левого); 19 – границы районов с различной природной (а) и антропогенно обусловленной (б) опасностью русловых процессов на малых реках

Fig. 3. Fragment of the map 'The danger of riverbed processes on rivers of Russia'. Legend. Riverbed processes on large and medium-sized rivers: 1 – dangerous (4 points), 2 – moderately dangerous (3 points), 3 – low-risk (2 points), 4 – slightly dangerous (1 point). Riverbed processes on small rivers: 5 – moderately dangerous (3 points), 6 – low-risk (2 points).

Anthropogenically altered riverbed processes on large and medium-sized rivers - cutting in the lower reaches of waterworks and during the development of riverbed quarries: 7 – dangerous (4 points), 8 – moderately dangerous (3 points), 9 – low-risk (2 points), 10 – slightly dangerous (1 point); accumulation in the upper reaches of waterworks: 11 – moderately dangerous (3 points), 12 – low-risk (2 points), 13 – slightly dangerous (1 point).

Anthropogenically altered riverbed processes on small rivers: 14 – environmentally dangerous (full siltation – 4 points), 15 – moderately dangerous (partial siltation – 3 points), 16 – slightly dangerous (local siltation – 1 point).

Others: 17 – territories adjacent to reservoirs; 18 – scale of riverbed widths in kilometers (5; 1.5; 0.3 km); thickened scale lines show the presence of bank washouts (right or left, respectively); 19 – borders of areas with different natural (a) and anthropogenic (b) hazards of riverbed processes on small rivers.

Наименьшая опасность характерна для рек, протекающих на равнинах в условиях ограниченного развития русловых деформаций, там, где распространены врезанные русла, формирующиеся в трудноразмываемых грунтах – скальных кристаллических или осадочных (песчаники, известняки и др.), валунных суглинках, глинах. Это относится к ледниковому поясу Европейской России, занимающему западные, северо-западные, северные и северо-восточные ее территории, Среднерусской возвышенности, восточной части Донецкого кряжа, западной (Приуральской) окраине Западно-Сибирской низменности, а также ко всему Среднесибирскому плоскогорью. Здесь реки имеют почти беспойменные русла с галечным составом донных наносов. В то же время под воздействием водных потоков на берега таких рек возрастает опасность, связанная со склоновыми процессами – обвалами, камнепадами, оползнями, которые могут быть спровоцированы при подмыве их оснований.

Антропогенно обусловленная опасность на больших реках находится в тесной связи с промышленными центрами крупных городских агломераций. Вне этих центров на большей части таких рек она минимальна (1 балл), причем это справедливо как для северных и восточных рек, текущих в лесной зоне и в горах, так и для рек степей и лесостепей (среднего Дона, Хопра, среднего Урала,

*Гидрология**Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М.*

нижнего Ишима и др.), но возрастает уже вблизи крупных городов, промышленных центров и агломераций, в горнодобывающих районах. Она характерна практически для всех нижних бьефов гидроузлов и участков рек выше водохранилищ, на которые распространяется регрессивная аккумуляция наносов, а также на реках, подверженных массовой добыче песчано-гравийной смеси из русловых карьеров – на средней Оке, Каме, Суре, Томи, Вятке, Иртыше, Оби, Волге (в районе Нижнего Новгорода, где разрывается каскад водохранилищ, и в нижнем течении) и других реках.

На реках севера Европейской части России антропогенно обусловленная опасность в основном слабая – 2 балла. Здесь она связана с лесосплавом (еще недавно молевым). На реках центра и юга Европейской России она также слабая, но обусловлена разработкой русловых карьеров стройматериалов, хотя на Оке она умеренная (3 балла) из-за массовости их расположения. Слабая опасность отмечается на крупных и крупнейших реках вблизи городов – на Северной Двине у Котласа, на Оби у Сургута, на Лене и ее притоках в районе Олекминска, Вилюйска, Томмота, на Амуре у Комсомольска-на Амуре и др., которые сами на состояние рек оказывают незначительное воздействие.

Средняя и сильная опасность русловых процессов (3 и 4 балла) создавалась на зарегулированных крупных реках ниже и выше водохранилищ, а также на тех участках больших и средних рек, где ведется или велась массовая добыча песка и гравия из русловых карьеров. Здесь она связана с быстрым врезанием рек и остепнением пойм в нижних бьефах гидроузлов, избыточной аккумуляцией и подтоплением земель выше водохранилищ, а также на реках, протекающих через промышленные центры и регионы с высокой плотностью населения: Енисее между Саяно-Шушенским и Красноярским водохранилищами и вблизи устья Ангары, Лене ниже порта Осетрово и в районе г. Якутска, Амуре у Хабаровска, Томи у г. Томска и в Кузбассе, Иртыше у Омска, Каме между водохранилищами, верхних течениях Урала и Москвы, на Оке, Волге между Нижегородским гидроузлом и Чебоксарским водохранилищем, нижней Волге, Белой, Уфе, Суре, на нижнем Дону, на равнинных реках Ставрополья – Куме и Кубани. Сильная опасность (4 балла) свойственна рекам нефтедобывающих районов Западной Сибири и Печорской низменности и районов добычи россыпных месторождений (бассейн верхнего Алдана, нижняя Амгуэма, средняя и нижняя Колыма, нижние течения Яны и Омолая), а также рекам ниже крупных городов, в частности р. Москвы ниже города.

В районах городов опасность русловых процессов оценивается, чаще всего, высшими баллами, а при районировании урбанизированные территории выделяются в особые ареалы, включающие протекающие по ним как участки больших и крупнейших рек, так и малые реки. Причем для последних опасность в большей мере носит экологический характер, будучи связанной с превращением рек в сточные каналы, их засыпкой коммунальными и строительными отходами. Собственно опасность как явление, приводящее к разрушениям, на малых реках в городах, особенно больших, невелика по скоростям, протяженности и встречаемости участков размыва берегов, а также вследствие выполнения в городах берегозащитных мероприятий.

Более значимы экологические опасности, определяемые заилением и деградацией малых рек или механическими изменениями их русел и пойм. Поэтому районирование территории России по опасности русловых процессов на малых реках является по существу экологическим, протекающим в условиях свободного развития русловых деформаций. На равнинных территориях выделяется пять типов таких районов, характеризующихся различной степенью экологической напряженности, вызванной заилением и изменениями русел малых рек [5]. На горных малых реках опасность русловых процессов носит специфический характер, определяясь в основном прохождением селей или выходами их из селевых притоков, а также склоновыми обвально-осыпными явлениями. Наибольший по площади район с минимальной опасностью на малых реках (балл 1) практически совпадает с зонами тундры и тайги на равнине и горными территориями Северного Кавказа, Северного Урала, Сибири и Дальнего Востока, т.е. с поясом слаборазвитого земледелия. Здесь отсутствуют основные причины, обуславливающие заиление малых рек, механическое изменение русел и пойм и т.д. В то же время внутри данного района выделяются замкнутые ареалы со слабой и средней опасностью (2–3 балла), приуроченные к регионам с относительно высокой концентрацией промышленности или сельскохозяйственного производства. Таковы горнодобывающие районы Чукотки, Кулара, Колымы, Камчатки, сельскохозяйственный регион Центральной Якутии, территории, прилегающие к Вилюйской и Зейской ГЭС.

*Гидрология**Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М.*

Районы со слабой опасностью русловых процессов на малых реках (2 балла) приурочены к лесостепной и югу лесной зонам в пределах Европейской части России и Западной Сибири. В Восточной Сибири, Забайкалье и на Дальнем Востоке она характерна для межгорных котловин и земледельческих степей Даурии, Приамурья и юга Приморья. Особо выделяется ареал Московской градопромышленной агломерации, где на малых реках создавалась средняя и даже сильная опасность проявлений русловых процессов [10].

Районы с умеренной опасностью русловых процессов (3 балла) характерны для степной зоны Европейской части России и Западной Сибири, где наиболее велики такие негативные явления, как заиление русел, снижение плодородия пойм, вызванное сокращением длительности и частоты их затопления или его прекращением из-за зарегулирования рек прудами; появляются реки, пересыхающие в меженный период, растут их загрязненность и механическая преобразованность. Северная граница этой зоны неровная, в местах интенсивного развития промышленности отклоняется на север, расчленяя зоны, в которых экологическая напряженность отсутствует. Здесь при незначительном заилении резко усиливаются механические изменения русел и пойм малых рек. Таковы Санкт-Петербургский, Московский, Орловско-Брянский регионы, восточные склоны Среднего и Южного Урала, Кузбасс.

К зоне сухих степей Поволжья, Заволжья и Северного Кавказа, а также к южному Зауралью приурочены ареалы с сильной экологической опасностью русловых процессов (4 балла), где к заилению и отмиранию малых и средних рек, изменению пойм добавляется длительное их пересыхание, типичное для нижних бьефов многочисленных прудов в долинах малых рек и ручьев, сокращение водоносности рек, связанное с массовым забором воды на орошение.

Очень сильная опасность русловых процессов (5 баллов) с максимальным количеством негативных явлений отмечается в российской части Донбасса, где на последствия интенсивного земледелия в засушливой зоне накладываются изменения, связанные с развитой промышленностью, в том числе и горнодобывающей. Аналогичные территории выделяются на востоке Челябинской и западе Курганской областей.

Географическое распространение районов с различной опасностью проявлений русловых процессов на малых реках позволяет сделать вывод о том, что преобладающие виды антропогенного воздействия на них имеют зональный характер и связаны с сельскохозяйственным освоением территории. На них накладываются те виды воздействий, которые определяются промышленностью; они обуславливают нарушения зонального распространения районов с различной степенью опасности русловых процессов, приуроченные к промышленно развитым регионам.

Заключение

Составленные научно-справочные карты опасности русловых процессов и региональный анализ ее распространения на реках России позволили дать общее представление о возможных рисках, связанных с опасными проявлениями деформаций речных русел при освоении водных и других речных ресурсов в пределах огромной и разнообразной в природном отношении территории страны. Они предназначены для получения сведений при предпроектных оценках распространения размывов берегов и других опасных проявлений русловых процессов, которые следует учитывать при использовании водных, минеральных, рекреационных ресурсов рек, освоении прибрежных территорий, прокладке коммуникаций и т.д. Вместе с тем разработанные методические подходы к определению, ранжировке и особенностям распространения опасных проявлений русловых процессов можно применять и при картографировании в более крупных масштабах отдельных речных бассейнов, субъектов федерации и других природно-административных комплексов. При этом степень подробности отражения опасности русловых процессов, их детализация будут существенно повышаться по мере увеличения масштаба составляемых карт. В некоторых регионах карты опасности русловых процессов при подключении к ним элементов промышленной и социальной инфраструктуры могут определять уровень риска от русловых процессов для уже существующих населенных пунктов и предприятий, оценивать с экономических позиций возможность предотвращения снижения риска вплоть до его исчезновения. На малых реках опасность русловых процессов, проявляющаяся в разрушении объектов или выводе их из эксплуатации, сравнительно невелика из-за эпизодичности и малой интенсивности процессов, но возникающая опасность носит, в первую очередь, экологический характер, будучи связанной с заилением и деградацией таких рек.

Для детализации региональных оценок опасности русловых процессов на реках за последние 10 лет были составлены региональные карты опасности русловых процессов на р. Урал и реках его бассейна [3],

Гидрология

Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М.

пограничную с Китаем р. Амур, его левых притоков и отдельно р. Уссури и ее правых притоков и р. Сунгачу [13], р. Селенгу (в пределах России и Монголии) [16], р. Московской области [25]. Сводка регионов, для которых были проведены исследования опасности русловых процессов, представлена в работе [24].

Очевидно, что чем крупнее масштаб картографирования опасностей русловых процессов, тем в большей степени будут конкретизироваться места ее проявлений, формы и интенсивность. Это позволит определять риск при освоении речных ресурсов и разрабатывать превентивные меры по его предотвращению или снижению.

Благодарности. Работа выполнена по госзаданию НИИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова № АААА-А16-116032810084-0 (параметризация и картографирование опасности) при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-05-00712 (проблемы развития высокоурбанизированных рек) и № 18-05-00487 (экстремальные и катастрофические проявления опасности, чрезвычайные ситуации).

Acknowledgments. The study was carried out as a state assignment of The Makkaveev laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes at Lomonosov Moscow State University No. АААА16-116032810084-0 (Parameterization and mapping of hazards) with funding from the Russian Foundation for Basic Research provided for scientific projects No. 18-05-00712 (Problems of development of highly urbanized rivers) and No. 18-05-00487 (Extreme and catastrophic manifestations of danger, emergencies).

Библиографический список

1. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций. М.: Изд-во «ДИК», 2007–2010.
2. Атлас русловых процессов в нижнем течении р. Хуанхэ. Чжэнчжоу: Комис. водн. хоз-ва р. Хуанхэ, 1985. 114 л. (на китайском языке).
3. Беркович К.М., Завадский А.С., Чернов А.В. Анализ и учет русловых процессов при разработке СКИОВО // Водное хозяйство России. 2011. № 6. С. 83–95.
4. Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В. Оценка влияния русловых процессов на геоэкологическую ситуацию в речных долинах // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология, геоэкология. 1998. № 2. С. 59–67.
5. Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В. Экологическое русловедение. М.: Геос, 2000. 392 с.
6. Богомолов А.Л., Виноградова Н.Н., Власов Б.Н., Крыленко И.В., Чалов Р.С. Влияние катастрофических селей в г. Тырныаузе на русло р. Баксана // Геоморфология. 2002. № 1. С. 65–74.
7. Виноградова Н.Н., Крыленко И.В., Сурков В.В., Тарбеева А.М. Переформирования русла горной реки в условиях активной селевой деятельности на участках с различным типом русла // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей. М.: РУДН, 2009. С. 284–293.
8. Дедков А.П., Мозжерин В.И. Основные подходы к изучению изменений режима стока и их геоморфологических следствий // Причины и механизм пересыхания малых рек. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1996. С. 9–26.
9. Завадский А.С. Мониторинг эрозийных и русловых процессов на территории г. Москвы и Московской области: результаты, перспективы, схемы реализации // Тр. Акад. водохоз. наук. 2006. Т. 11. С. 106–116.
10. Завадский А.С., Сурков В.В., Чернов А.В., Ботавин Д.В., Головлёв П.П., Морозова Е.А. Природные территориальные комплексы поймы р. Москвы в нижнем течении в условиях интенсивного хозяйственного использования // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2020. № 3. С. 3–13.
11. Иванов В.В., Чалов Р.С., Чернов А.В. Природно-антропогенная система "ЦБК-река" в аспекте русловых процессов (на примере Котласского ЦБК на р. Вычегде) // Экологические проблемы севера Европейской территории России. Апатиты: РАН КНЦ, 1996. С. 57–58.
12. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
13. Махинов А.Н., Завадский А.С., Ким В.И., Чернов А.В., Губарева Е.К. Изменение русла реки Амур после наводнения 2013 года // Изв. Русс. географ. об-ва. 2016. Т. 148. Вып. 3. С. 46–61.
14. Рулева С.Н. Изменение русла большой реки у большого города (Обь у Барнаула) // Тринадцатое пленарное межвуз. совещ. по пробл. эрозийных, русловых и устьевых процессов: матер. и краткие сообщ. Псков, 1998. С. 189–191.
15. Русловой режим рек Северной Евразии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. 336 с.
16. Селенга-Байкал. Эколого-географический атлас-монография // Тр. Байкальской экспедиции. Вып. 1. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2018. 288 с.
17. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т.1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
18. Чалов Р.С., Завадский А.С., Ботавин Д.В., Головлёв П.П., Морозова Е.А., Сурков В.В. Покровско-Якутский водный узел на р. Лене: современные деформации и управление русловыми процессами // Изв. РАН. Сер. географ. 2019. № 1. С. 83–96. URL: <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019683-96>.

Гидрология

Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М.

19. Чалов Р.С., Сурков В.В., Рулева С.Н., Беликов В.В., Ильясов А.К., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Турыкин Л.А. Руслевые процессы на р. Оби в районе г. Колпашево, размыв города, компьютерное моделирование и обоснование оптимального варианта защитных мероприятий // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 18. М.: Изд-во Моск.ун-та, 2012. С. 205–243.
20. Чалов Р.С., Чернов А.В. Идеи К.А. Салищева и картографический метод в русловедении // Университетская школа географической картографии (к 100-летию профессора К.А. Салищева). М.: Аспект-Пресс, 2005. С. 141–149.
21. Чалов Р.С., Чернов А.В. Опасность проявления русловых процессов и её мелкомасштабное картографирование // Тр. Акад. проб. водохоз. наук. Вып. 11. Русловедение и восстановление водных объектов. М.: Изд-во Моск.ун-та, 2006. С. 38–50.
22. Чалов Р.С., Чернов А.В., Беркович К.М., Михайлова Н.М. География опасных проявлений на реках России // Изв. Русс. геогр. об-ва. 2017. Т.149. Вып. 4. С. 13–33.
23. Babinski Z. Wplyw zahjr na procesy korytowe rzek abezialnych. Bydgoszcz. 2002. 186 s.
24. Chernov A., Zlotina L., Zavadsky A. Geomorphic hazards associated with river channel processes - manifestation, frequency, magnitude. // 9-th International Conference on geomorphology. Indian institute on geomorphologists. New Delhi. 2017. P. 323.
25. Ghulam Kibria A.M.M. A short note on the fluvial morphology of the Brahmaputra River in Baungladesh. Geol. Surv. India. Misc. Publ, 1981, no 46. Pp. 11–19.
26. Graf M.L. Fluvial adjastmens to the shred of tamarisk in the Colorado Plateum region. Bull. Geol. Soc. Amer. 1978, V. 89. no 10. pp. 1491–1504.

References

1. Atlas prirodnyh i tekhnogennyh opasnostej i riskov chrezvyčajnyh situacij (2007–2020), [Atlas of natural and man-made hazards and emergency risks], DIC, Moscow, Russia.
2. Atlas ruslovyh processov v nizhnem techenii r. Huanhe (1985), [Atlas of riverbed processes in the lower reaches of the Yellow river], The Commission of water economy of the Yellow river. Zhengzhou. China. (On Chinese).
3. Berkovich, R.M., Zavadskiy, A.S. and Chernov, A.V. (2011), "Analysis and accounting of channel processes in the development of the plans integrated use and protection of water resources", *Vodnoe hozjajstvo Rossii*, no 6, pp. 83–95.
4. Berkovitch, K.M., Chalov, R.S. and Chernov, A.V. (1998), "Assessment of the influence of riverbed processes on the geoecological situation in river valleys", *Geoekologiya. Inzhenemaya geologiya. Hidrogeologiya, geokriologiya*, no. 2, pp. 59–67.
5. Berkovich, K.M., Chalov, R.S. and Chernov, A.V. (2000), *Ekologicheskoe ruslovedenie* [Ecological study of river channels], GEOS, Moscow, Russia.
6. Bogomolov, A.L., Vinogradova, N.N., Vlasov, B.N., Krilenko, I.V. and Chalov, R.S. (2002), "The impact of destructive floods in Tyrnauz on the Baksan river .channel", *Geomorphologiya*, no.1, pp. 65–74.
7. Vinogradova, N.N., Krilenko, I.V., Surkov, V.V. and Tarbeeva, A.M. (2009), "Reshaping of a mountain riverbed in conditions of active mudflow activity in areas with different types of riverbed", *Dinamika i termika rek, vodohranilishch i pribrezhnoj zony morej*, RUFPP, Moscow, Russia, pp. 284–293.
8. Dedkov, A.P. and Mozgerin, V.I. (1996), Main approaches to studying changes in the flow regime and their geomorphological consequences, *Prichiny i mekhanizm peresyhaniya malyh rek*, Kazan State University, Kazan, Russia, pp. 9–26.
9. Zavadskiy, A.S. (2006), "Monitoring of erosion and riverbed processes on the territory of Moscow and the Moscow region: results, prospects, implementation schemes", *Trudy Akademii vodohozjajstvennyh nauk*, v.11, pp. 106–116.
10. Zavadsky, A.S., Surkov, V.V., Chernov, A.V., Botavin, D.M., Golovlev, P.P., Morozova, E.A. (2006), Natural territorial complexes of floodplain in the Moskva River lower reaches under intensive economic development, *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*, vol. 3 (In Russ.).
11. Ivanov, V.V., Chalov, R.S. and Chernov, A.V. (1996), "Natural and anthropogenic system "Pulp and paper mill-river" in the aspect of riverbed processes (on the example of Kotlas Pulp and paper mill on the river Vychehda)". *Ekologicheskie problemy severa Evropejskoj territorii Rossii*, RAS, KSC. Apatity, Russia, pp. 57–58.
12. Makkaveev, N.I. (1955), *Ruslo reki i erozija v ee bassejne* [The river bed and erosion in its basin], AS USSR, Moscow, Russia.
13. Mahinov, A.N., Zavadskiy, A.S., Kim, V.I., Chernov, A.V. and Gubareva, E.K. (2016), "Changing the course of the Amur river after the 2013 flood", *Izvestiya Russkogo geograficheskogo ob-va*, T.148, vol. 3, pp. 46–61.
14. Ruleva, S.N. (1998), "Changing the course of the big river near the big city (Ob near Barnaul)", *Trinadcatoe plenarnoe mezhvuz. soveshch. po probl. erozionnyh, ruslovyh i ust'evykh processov*, Pskov, Russia, pp. 189–191.
15. Chalov, R.S. (ed.) (1994), *Ruslovoj rezhim rek Severnoj Evrazii* [Riverbed regime of the rivers of Northern Eurasia]. Moscow State University, Moscow, Russia.
16. Kasimov, N.S. (ed.). (2018), «Selenga-Bajkal». Ekologo-geograficheskij atlas-monografiya. ["Selenga-Baikal". Ecological and geographical Atlas-monograph], *Tr. Bajkal'skoj ekspedicii. Issue*, Department of Geography Mosc.St.Univer., Moscow, Russia.
17. Chalov, R.S. (2008), *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T.1. Ruslovyje processy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnyh rusel* [Ruslovedenie: theory, geography, practice, vol. 1, Riverbed processes: factors, mechanisms, forms of manifestation and conditions for the formation of riverbeds], LKI, Moscow, Russia.

Гидрология

Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М.

18. Chalov, R.S., Zavadsky, A.S., Botavi, D.V., Golovle, P.P., Morozova, E.A., Surkov, V.V. (2019), Pokrovsko-Yakutsky Reach of the Lena River: Transformation of Complex Conjugated Channel, Recent Deformations and Management of Channel Changes. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, (6):83-96, (In Russ.), available at: <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019683-96>.

19. Chalov, R.S., Surkov, V.V., Ruleva, S.N., Belikov, V.V., Ik'asov, A.K., Krilenko, I.V., Krilenko, I.N. and Turikin, L.A. (2012), "Riverbed processes on the river Obi in the area of Kolpashevo, city erosion, computer modeling and justification of the optimal variant of protective measures", *Eroziya pochv i ruslovye processy*, Vyp. 18, MSU, Moscow, Russia, pp. 205–243.

20. Chalov, R.S. and Chernov, A.V. (2005), "Salishchev's ideas and cartographic method in Russian studies of channel processes", *Universitetskaya shkola geograficheskoy kartografii* (k 100-letiyu professora K.A. Salishcheva), Aspect-Press, Moscow, Russia, pp. 141–149.

21. Chalov, R.S. and Chernov, A.V. (2006), "The danger of riverbed processes and its small-scale mapping", *Tr. Akad. problem vodohozhaystvennykh nauk. Vypusk 11. Ruslovedenie i vosstanovlenie vodnykh ob"ektov*, Geography department MSU, Moscow, Russia, pp. 38–50.

22. Chalov, R.S., Chernov, A.V., Berkovitch, K.M. and Mikhailova, N.M. (2017), "Geography of dangerous occurrences on Russian rivers", *Izvestiya Russkogo geograficheskogo ob-va*, T.149, vol. 4, pp. 13–33.

23. Babinski, Z. (2002), *Wplyw zahjr na procesy korytowe rzek abezialnych* [The influence of zahjr on the abezial River drainage processes.], Bydgoszcz, Poland.

24. Chernov, A., Zlotina, L., Zavadsky, A. (2017), Geomorphic hazards associated with river channel processes – manifestation, frequency, magnitude, *9-th International Conference on geomorphology, Indian institute on geomorphologists*. New Delhi, pp. 323.

25. Ghulam Kibria, A.M.M. (1981), "A short note on the fluvial morphology of the Brahmaputra River in Bangladesh", *Geol. Surv. India. Misc. Publ.*, no 46, pp. 11–19.

26. Graf, M.L. (1978), "Fluvial adjustments to the shred of tamarisk in the Colorado Plateau region", *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 89, no 10, pp. 1491–1504.

Поступила в редакцию 18.07.2020.

Сведения об авторах**Роман Сергеевич Чалов**

доктор географических наук, профессор кафедры гидрологии суши, заведующий НИ лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета Московского государственного университета; 119991, Россия, Москва, Ленинские Горы дом 1, МГУ, географический факультет.

About the authors**Roman S.Chalov**

Doctor of Geographical Sciences, Professor at the Department of Land Hydrology, Head of the Laboratory for Soil Erosion and Fluvial Processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;

1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

e-mail: rschalov@mail.ru

Алексей Владимирович Чернов

доктор географических наук, ведущий научный сотрудник НИ лабораторией эрозии почв и русловых процессов географического факультета Московского государственного университета; 119991, Россия, Москва, Ленинские Горы дом 1, МГУ, географический факультет.

Alexey V.Chernov

Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher, Laboratory for Soil Erosion and Fluvial Processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;

1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

e-mail: Alexey.chernov@inbox.ru

Надежда Михайловна Михайлова

кандидат географических наук, старший научный сотрудник НИ лабораторией эрозии почв и русловых процессов географического факультета Московского государственного университета; 119991, Россия, Москва, Ленинские Горы дом 1, МГУ, географический факультет.

Nadegda M. Mikhailova

Candidate of Geographical Sciences, Senior Research Associate, Laboratory for Soil Erosion and Fluvial Processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;

1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

e-mail: nmmikhailova@yandex.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Чалов Р.С., Чернов А.В., Михайлова Н.М. Опасность русловых процессов на реках России: критерии оценки, картографирование, региональный анализ // Географический вестник = Geographical bulletin. 2021. №1(56). С. 53–67. doi 10.17072/2079-7877-2021-1-53-67.

Please cite this article in English as:

Chalov R.S., Chernov A.V., Mikhailova N.M. (2021) Danger of riverbed processes on Russian rivers: assessment criteria, mapping, regional analysis. *Geographical Bulletin*, No. 1(56). Pp. 53–67. doi 10.17072/2079-7877-2021-1-53-67.