
ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ

УДК 556.53

**ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ И СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ
РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ,
КЛАССИФИКАЦИИ, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ**

© 2018 г. Роман С. Чалов, Данила И. Школьный*

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

**E-mail: thabigd@gmail.com*

Поступила в редакцию 01.04.2017 г.

Аннотация. В статье даются определения экстремальным и специфическим проявлениям русловых процессов, рассматривается их соотношение между собой и связи с экстремальными и чрезвычайными гидрологическими ситуациями. Основным признаком отнесения русловых процессов к экстремальным является аномальность их проявления, отражающаяся в крайне высоких темпах и длительности развития (значительно превышающих среднемаксимальные значения), неожиданности возникновения, невозможности прогнозирования. Специфические русловые процессы возникают в условиях руслоформирования, отличающихся от типичных для данной реки или рек региона и имеющих ограниченное распространение. Даны критерии, характеризующие экстремальность или специфичность проявлений русловых процессов, их качественные и количественные оценки, место гидрологических, геолого-геоморфологических и антропогенных факторов в их возникновении и развитии. Рассмотрен масштаб проявлений, их повторяемость, негативные социально-экономические последствия и возможности предотвращения, подходы к классификации и оценке опасности для хозяйственной деятельности. Приведены примеры экстремальных и специфических проявлений русловых процессов в различных временных и пространственных масштабах и природных зонах.

Ключевые слова: русловые процессы, опасные гидрологические явления, экстремальность, специфичность, региональные проявления, русловые деформации.

DOI: 10.7868/S2587556618010034

**Extreme and specific manifestations
of channel processes: concepts, classifications, assessment criteria**

Roman S. Chalov and Danila I. Shkolnyi*

Faculty of Geography, Moscow State University, Moscow, Russia

**E-mail: thabigd@gmail.com*

Received April 04, 2017

Abstract. This paper represents definitions of extreme and specific manifestations of channel processes and reviews relationships between themselves and connections with extreme or extraordinary hydrological situations. The main sign for referring channel processes as extreme is the anomaly of their manifestation, which is reflected in extremely high rates and duration of development (significantly exceeding the mean maximum values), unexpectedness of occurrence and difficulties or impossibility of forecasting. Specific channel processes occur in conditions of channel formation, which differ from typical for a river or rivers in the region and have limited distribution. Criteria provided to characterize the extremality or specificity of the manifestations of channel processes, their qualitative and quantitative assessments, as well as the analysis of hydrological, geological, geomorphological and anthropogenic factors of their origin and development are given. The spatial scale of manifestations, their frequency, negative social and economic consequences and the possibility of prevention are considered. An approach to the classification of extreme and specific channel processes and the evaluation of their risk to economic activity is proposed. Typical examples of extreme and specific manifestations of channel processes in various temporal and spatial scales and natural zones are shown.

Keywords: channel processes, hazardous hydrological conditions, extremality, specificity, regional manifestations, channel deformations.

Введение. В последние десятилетия региональные исследования русловых процессов привели к разработке концепции их опасных проявлений [4, 5], среди которых особое внимание обращено на экстремальные ситуации, возникающие при освоении рек и приречных территорий. Наиболее полное их освещение было дано [6] в разделе коллективной монографии “Экстремальные гидрологические ситуации”. В статье [15] рассматриваются вопросы их классификации, критерии и показатели, но русловые процессы не упоминаются. С другой стороны, расширение географии русловых исследований привело к широкому использованию представлений о специфических проявлениях русловых процессов [34], причем экстремальные ситуации нередко рассматриваются как одна из форм их проявления. При этом отсутствуют четкие формулировки понятий экстремальности и специфичности русловых процессов, критерии для их оценки и характеристики, остаются неясными соотношения между ними, что создает неопределенность и неоднозначность отнесения различных проявлений русловых процессов к той или другой категории. Так, из-за возникающей угрозы разрушения инженерного объекта на берегу реки или в самом русле русловые деформации при относительно небольших темпах, но благодаря фактору времени или ошибкам при проектировании (например, при размещении объекта в непосредственной близости от размываемого берега) квалифицируются как экстремальные, хотя в таком случае правильнее говорить о чрезвычайной ситуации, приводящей к аварии или разрушению. Аналогичные последствия возникают, когда вне сферы влияния оказываются условия формирования русла, определяемые местными факторами, несвойственными данной реке, рекам данного региона, или выходящие за рамки общего определения русловых процессов. Это затрудняет решение практических задач, связанных с предотвращением или нейтрализацией опасных последствий русловых процессов, управления ими (регулирование русел) в неординарных условиях при воднотранспортном, водохозяйственном и других видах использования речных ресурсов.

Экстремальные русловые процессы. Экстремальные природные условия обычно подразумевают такие естественные ситуации, которые несут угрозу разрушений и гибели людей или создают неблагоприятные условия для их жизнедеятельности. К ним относятся как многие стихийные природные явления (цунами, землетрясения, и др.), так и территории (заполярье, пустыни, высокогорье), жизнедеятельность в которых сопряжена с рисками для здоровья населения. Экстремальность

гидрологических, в том числе русловых процессов, согласно определению “экстремальности”, приведенному в словарях, – это крайнее, предельное состояние чего-либо, или “выходящее из рамок обычного, чрезвычайное” [11]. В точных науках за экстремальность принимается такое состояние системы, в котором она принимает пороговое значение (как максимальное, так и минимальное). Близкое к особенностям экстремальных процессов определение встречается в термодинамике: “экстремальный принцип” – это такое сочетание факторов, при котором своих наивысших возможных значений достигает энтропия, т.е. вероятность пребывания системы вне состояния равновесия.

Н.И. Коронкевич с соавторами [15, с. 12] под экстремальной гидрологической ситуацией (ЭГС) или явлением понимают “такое количественное или качественное состояние водных объектов, элементов гидрологического режима территории, которое кардинально отличается от общего, общепринятого, среднего”. Поскольку русловые процессы представляют собой завершающее звено в цепочке гидрологических процессов, связанное с воздействием постоянных водных потоков (рек) на поверхность суши [33], это определение может быть трансформировано применительно к ним. Тогда экстремальные русловые процессы следует рассматривать как динамические формы их проявления, отличающиеся очень высокими темпами и длительностью развития, намного превышающими характерные для них среднемаксимальные значения, неожиданностью и кратковременностью возникновения, обуславливающими затруднения или даже невозможность прогнозирования. Отражая естественную направленность процессов, они приводят к существенным по масштабу и скорости переформирования русла, так как определяющие их факторы или причины не соответствуют по своим характеристикам установившимся гидроморфометрическим и гидролого-морфологическим связям между гидравлическими и гидрологическими, с одной стороны, и морфометрическими (ширина b_p , глубина h , соотношение b_p/h , площадь живого сечения ω) и морфологическими (описывающими формы русла) параметрами. Иными словами, экстремальность русловых процессов можно отождествлять с их аномальными проявлениями, которые представляют собой необычные по темпам, неожиданности и кратковременности возникновения, продолжительности деформации русел, превышающие среднемаксимальную норму и неподдающиеся прогнозированию.

Экстремальные проявления русловых процессов не всегда совпадают с экстремальными

гидрологическими ситуациями (ЭГС), связанными с аномально высокими половодьями или паводками. Так, необычайно высокое и продолжительное половодье на Оби и Катунь в 2014 г. сказалось лишь в том, что переформирования их русел, ожидаемые (прогнозируемые), произошли на 2–3 года раньше; на Амуре экстремальные паводки 2013 г. также не привели к заметным изменениям в морфологии русла [20].

На крутых излучинах русла в очень высокие половодья наблюдается снижение скоростей размыва вогнутого берега, т.к. стрежень потока отходит от него к середине русла или ближе к выпуклому берегу, как следствие зависимости радиуса кривизны r от расхода воды $r=f(Q)$. Но именно в экстремальные половодья происходит спрямление излучин или их серий (на Северной Двине, в начале XX в.), зачастую даже не достигших критических значений параметров, а регулярные дождевые паводки в Приамурье, имеющие экстремальный характер, почти всегда сопровождаются крупными, неожиданными перестройками морфологического строения русел [10].

К непредсказуемым последствиям в состоянии русла приводят крупные ледовые заторы. На р. Лене выше слияния с р. Алдан затор в середине 1960-х годов в районе о. Баакыч привел к неожиданному развитию бокового второстепенного рукава — Хайтылаахской протоки, ставшей судовой и бывшей таковой в течении более 40 лет; при этом двурукавное разветвление русла стало трехрукавным с примерно одинаковым (30–40%) распределением расходов воды по рукавам [9]. На Оби сход больших оползней вызывает отклонение потока от 100-метрового уступа Предалтайского степного плато, развитие второстепенных рукавов, лишая населенные пункты и пристани водных подходов.

Экстремальные ситуации возникают также на галечно-валунных перекатах (верхняя Лена, Алдан, Витим) или скальных грядах, пересекающих реку (средняя Лена, Ангара, Енисей) в экстремальные маловодья, когда при понижении уровней ниже проектных возникает их дополнительная посадка из-за эффекта “водослива с широким порогом”, происходит резкое уменьшение глубин и рост скоростей потока [14].

Экстремальные проявления возникают иногда вследствие эволюции форм самого русла и форм руслового рельефа (перекатов) и возникновении при этом нестандартных условий для их развития. Таков очень высокий по темпам и имеющий почти вековую продолжительность размыв правого берега р. Оби у г. Колпашево, приведший

к разрушению почти 1.5-километровой полосы вдоль реки на участке длиной около 4 км. Это явилось следствием развития вписанной излучины, вогнутый берег которой представлен уступом песчаной 20-метровой террасы, а шпора — высокой залесенной поймой, препятствующей спрямлению излучины, несмотря на превышение ею оптимальных параметров ($l/L=2.5$), и прохождения руслоформирующего расхода при затопленной пойме [36]. Скорость отступления берега в отдельные годы достигала 20 м/год, а линейное смещение вершины излучины — 17.5 м/год. Такое долговременное развитие излучины с высокими, хотя и не экстремальными (для Оби) темпами привело к чрезвычайной ситуации из-за разрушения города.

Однако отождествлять экстремальные проявления русловых процессов с чрезвычайными ситуациями неправомерно, так как последние могут возникать как следствие длительности деформаций русла даже при низких их темпах, игнорирования русловых процессов при проектировании сооружений и ошибок в прогнозах.

Основными признаками экстремальных русловых процессов являются: 1) неожиданность и непредсказуемость возникновения; 2) высокие (катастрофические) темпы русловых деформаций; 3) увеличенная или, наоборот, крайне малая продолжительность события; 4) преимущественно разовое возникновение события, или его проявление в периодическом цикле, но с непредсказуемыми темпами. Это приводит к нарушениям устоявшихся связей между параметрами русла и факторов русловых процессов и, как следствие, к неожиданным резким перестройкам русла.

Будучи естественными по своей природе, русловые процессы в той или иной мере подвергаются трансформации под влиянием антропогенных воздействий на их факторы и само русло. Последствия этого также могут иметь экстремальный характер, поскольку вызывают изменения в русле реки, существенно отличающиеся от исходных (бытовых) и вместе с тем проявляющиеся в относительно ограниченные промежутки времени, пока не установятся новые устойчивые соотношения между потоком и руслом. Такова глубинная эрозия в нижних бьефах гидроузлов, благодаря которой скорости понижения отметок дна и посадки уровней достигают в первые годы после ввода гидроузла в эксплуатацию 10–12 см/год (максимум зафиксирован на р. Хандзян в Китае — 75 см/год) [3], со временем прекращаясь или снижаясь до 1 см/год, как на р. Оби ниже Новосибирской ГЭС. Такой экстремальный характер процесса приносит

массу затруднений для водного хозяйства городов, располагающихся в нижних бьефах.

В естественном состоянии подобные по темпам вертикальные деформации наблюдаются только в горах, где отмечено врезание рек со скоростью до 35 см/год (р. Алабуга, приток Нарына на Тянь-Шане) [28]. Интенсивная аккумуляция наносов, сопровождающаяся повышением отметок дна (до 8–10 см/год), формированием обвалованных русел, постоянной угрозой наводнений из-за разрушения противопаводковых дамб, свойственна большим и крупнейшим равнинным рекам юга и юго-востока Азии (Хуанхэ, Янцзы, Меконг, Ганг и др.), предгорных низменностей Предкавказья и Закавказья (Терек, Кура), равнин Средней Азии (Амударья в нижнем течении). Это — уже региональные экстремальные проявления русловых процессов, охватывающие реки на обширных территориях.

Следуя предложенным Н.И. Коронкевичем и др. [15] принципам классификации ЭГС, к экстремальным русловым процессам (ЭРП), следует относить следующие их проявления: *размывы берегов*, оцениваемые в десятки метров в год и приводящие к разрушениям природных, хозяйственных и муниципальных объектов, коммуникаций и т.д.; *образование прирусловых отмелей*, перекрывающих акватории водозаборов, портов, водные подходы к населенным пунктам и предприятиям (показатели те же); *врезание рек (глубинная эрозия)*, сопровождающаяся понижением отметок дна и уровней воды, обсыханием водозаборов, нарушением нормальных условий водообеспечения пойменных земель, подмывом мостовых опор и провисанием подводных переходов, активизацией оползневых процессов и овражной эрозии на коренных берегах (измеряется в первые десятки сантиметров в год); *аккумуляцию наносов*, приводящую к занесению наносами, заилению и деградации малых рек, повышению отметок дна и уровней воды, формированию обвалованных русел средних и больших рек, их обмелению, что способствует угрозе наводнений, подтоплению приречных территорий и т.д. (оценивается сантиметрами в год); *переформирования русла*, проявляющиеся в спрямлении излучин или их серий, развитии одних и обмелении других рукавов в течение одного половодья (паводка); *изменением положения русла* в днище речной долины и его очертаний (в зависимости от размеров рек — от первых десятков–сотен метров для малых рек до десятков, а на Хуанхэ — сотен километров); *смещение перекатов и их побочней* со скоростями в сотни-первые тысячи метров в год (при обычных — десятки–первые сотни метров в год),

что приводит к резким изменениям морфологии русел, изменениям функционирования водных путей, водозаборов и других объектов хозяйственной инфраструктуры.

По своему происхождению в большинстве своем ЭРП определяются природными факторами. Но они могут быть спровоцированы антропогенным вмешательством и иметь смешанный природно-антропогенный характер (размывы русла в нижних бьефах гидроузлов и при разработке карьеров), либо являться следствием техногенного воздействия на реки (при добыче россыпных месторождений, образовании карьерных выемок в русле).

Пространственный масштаб экстремальности (региональный или местный) зависит от условий, в которых русловые процессы развиваются. На р. Хуанхэ направленная аккумуляция наносов (7–8 см/год и больше) охватывает нижнее и часть среднего течения реки в пределах Лёссового плато Великой Китайской равнины [35]. Такой же региональный характер имеют катастрофический размыв берегов на Амударье — дейгиш [2] или перестройки русел малых рек в Приморье [10]. В основном же размывы берегов и другие экстремальные проявления, даже будучи широко распространенными на реках со слабоустойчивым или неустойчивым руслом, приурочены к определенным формам русла, морфологически однородным или перекатным участкам, т.е. являются местными.

По **повторяемости** ЭРП, в зависимости от причин их возникновения, могут быть постоянными (направленная аккумуляция наносов на р. Хуанхэ), регулярными или эпизодическими. Критерии для ее оценки пока не разработаны вследствие слабой изученности самого явления. Также отсутствуют критерии для оценки **скорости образования** экстремальной ситуации, связанной с русловыми процессами.

По **негативным социально-экономическим последствиям** ЭРП следует классифицировать в зависимости от того, какой отрасли хозяйства или условиям жизнедеятельности людей наносится ущерб. Выше упоминалось о разрушении населенных пунктов, потерях лесного и земельного (сельскохозяйственных угодий) фонда вследствие размыва берегов. ЭРП сказываются практически на всей речной и приречной хозяйственной инфраструктуре и имеют не только непосредственный эффект (размыв берега → разрушение → утрата), но и побочный, связанный с взаимосвязанностью различных природных явлений (аккумуляция наносов →

заболачивание поймы; врезание реки → остепнение поймы и т.д.).

Применительно к ЭРП их разделение *по возможности предотвращения*, в первую очередь, определяется по негативным последствиям и ущербу, который они причиняют. При этом следует учитывать, что собственно русловые процессы в их природном экстремальном проявлении во многих случаях являются неустраняемыми, либо для их предотвращения (при знании того, что они могут произойти, постоянно или регулярно происходят) требуются затраты, которые выше величины ожидаемого ущерба. Возможность предотвращения существенно больше при природно-антропогенном или антропогенном генезисе ЭРП.

По *остроте* негативных последствий ЭРП почти всегда относятся к категории опасных и очень опасных [5]. Но в зависимости от степени освоенности реки и приречных территорий они могут быть, как и вообще опасные проявления русловых процессов, потенциальными, которые следует учитывать при перспективном планировании водохозяйственных, транспортных и других мероприятий, и реальными, приводящими к разрушениям или нарушению нормальной жизнедеятельности человека.

Для всех видов экстремальных русловых процессов актуальной является проблема их параметризации, оценки повторяемости, скорости образования и длительности проявления. В этом отношении сделаны пока первые шаги, и, в отличие от таких ЭГС, как наводнения, маловодья, загрязнения, в русловедении оперируют в основном констатацией фактов, качественными характеристиками и описаниями.

Специфические русловые процессы. В ряде случаев экстремальные проявления русловых процессов возникают под влиянием отличающихся от обычных условий формирования русел или факторов, которые не характерны для всей или большей части длины рек. В то же время такие специфические формы проявления русловых процессов не всегда могут быть соотнесены с экстремальными и даже в большинстве своем таковыми не являются.

Понятия специфики и специфичности вошли в русский язык только в XIX в. и, наверное, поэтому этих слов нет в словаре В.И. Даля. Обозначая особенности, присущие только данному предмету, явлению или роду, или существенные признаки, отличающие данный предмет от всех других, смысл их достаточно унифицирован в связи с широтой сфер применения самого понятия и его применения в различных отраслях знаний.

К пониманию специфичности русловых процессов, надо подходить, опираясь на определения самих русловых процессов, которые “следует рассматривать как совокупность явлений, связанных с взаимодействием потока и грунтов, слагающих эти реки, эрозией, транспортом и аккумуляцией наносов, определяющих размывы дна и берегов рек, развитие различных форм русел и форм руслового рельефа, режим их сезонных, многолетних и вековых изменений” [33, с. 29–30]. Исходя из этого, русловые процессы — *это результат взаимодействия речных потоков (любых размеров, разных видов движения и режима), переносящих наносы, с грунтами (горными породами, отложениями, почвами разного состава и физико-химическими свойствами)*. Тогда влияние на взаимодействие потока и русла других факторов будет определять специфичность русловых процессов, отличия в механизмах развития и формах проявления. Вместе с тем экстремально высокие половодья и паводки или маловодья, с одной стороны, или редко встречающиеся, отличные от распространенных, имеющие сугубо местное проявление особенностей геологического строения также обуславливают возникновение условий, которые можно квалифицировать как специфические. То есть, местные факторы, нехарактерные для данного региона или реки, приводят к возникновению особых проявлений русловых процессов, и тогда можно говорить об их специфичности, вызванной местными условиями.

Таким образом, специфические русловые процессы — процессы, возникающие в особых условиях, отличающихся от типичных для данной природной зоны, региона, реки или формы русла и имеющие ограниченное распространение. Их выявление, анализ и описание требуют учета многих факторов, так или иначе влияющих на систему “поток—русло” и определяющих переформирования, отличающиеся от характерных для данного типа русла или нарушающих их закономерный ход.

Общий признак экстремальных и в тоже время специфических русловых процессов — их нехарактерность по сравнению с процессами на реках, сходных по морфометрическим характеристикам, типам русла и зональным гидрологическим факторам. Но ЭРП характеризуются высокими по сравнению со средней максимальной нормой показателями, тогда как специфика процессов заключается в отклонении их от закономерной схемы или модели развития. Экстремум же может быть и у типичного явления при определенном сочетании факторов [29].

Необходимо различать пространственные и временные формы проявления специфики русловых

процессов. Фактор, действующий в пределах ограниченного участка реки, обуславливает местные особенности русловых процессов, отличные от бассейновых или региональных. В зависимости от длительности действия факторов, определяющих специфичность, она может быть постоянной, сказывающейся на протяжении продолжительного времени, периодической, обусловленной периодичностью действия того или иного фактора (в основном, гидрологического: например, переменного подпора в узлах слияния рек) и эпизодической – в течение короткого временного интервала.

По условиям возникновения специфические русловые процессы характерны:

- для устьевых областей рек, где они определяются приливами–отливами, сгонами–нагонами, направленным рассредоточением стока по дельтовым разветвлениям, растеканием потока на устьевом баре, а также формированием кривой спада уровней во время половодья (паводка) [16, 19, 21];

- для узлов слияния рек или при впадении малых рек в средние и большие, где русла формируются в условиях переменного подпора/спада уровней [19, 22, 32, 34];

- для скальных русел, где стеснение живого сечения потока обуславливает рост скоростей потока, отсутствие донных отложений, корродирующее воздействие влекомых наносов на скальное дно, местное проявление кавитации и других гидравлических явлений [34];

- для зарастающих русел рек, отличающихся повышенной шероховатостью и снижением транспортирующей способности потока;

- для рек, по которым проходят селевые потоки или находящихся под их воздействием; в первом случае русловые процессы развиваются в межселевые периоды продолжительностью от первых месяцев до десятков лет, во втором – сели, выходящие из боковых притоков, определяют ступенчатость продольного профиля реки, состав и сортированность руслообразующих наносов, изменения типа горного русла и условий транспорта наносов и т.д. [7, 30];

- для рек вулканических областей, характеризующихся разнообразным набором специфических воздействий на русло [13, 23].

Этот перечень может быть пополнен специфическими проявлениями русловых процессов на реках приледниковых районов высокогорий [8], влиянием лесных заломов и карчехода, особенно на малых реках таежной зоны, а также из-за их

размеров, соизмеримых с корневой системой береговой древесной растительности, на нерестовых реках (ихтиологический фактор) [23] и под влиянием многих других факторов, имеющих местное воздействие на реки.

Такие местные специфические особенности русловых процессов возникают под влиянием геологического строения русел рек. Таково влияние моренных отложений на Северной Двине (в районе Паячных–Коптельских перекатов), подстилающих русло, формирующееся в легко размываемой песчаной толще; в результате река “скользит” по поверхности морены, не врезааясь в нее, обуславливая не характерное для реки блуждание русла и образование самых сложных по режиму деформаций параллельно-рукавного мелкоостровного русла и перекаточного участка [26]. На этой же реке пересечение скального массива у с. Орлецы привело к стеснению русла в несколько раз (до 200 м против 1 км выше по течению), образованию крутого изгиба и глубокой ямы размыва (до 40 м). Аналогичные процессы наблюдаются в низовьях р. Камчатки, где река, пересекая горный массив, в стеснениях формирует ямы глубиной до 21 м. На Оби подстилающие русло коренные грунты иногда обуславливают нарушение закономерного развития сопряженных разветвлений русла [27].

В горах при прорыве подпрудных озер (моренных, ледниковых, лавовых), а также регрессии ледников днища долин заполняются несортированным обломочным материалом с преобладанием крупных фракций. Это создает условия для массового развития деформаций русла вследствие аблювиального эффекта и других специфических явлений в потоке, приводящих к активному перестроению русел, изменениям структуры разветвлений и т.д. Специфика развития скальных русел, связанная с коррозией дна влекомыми наносами, биохимическим разрушением горных пород [12] способствуют формированию врезанных каньонообразных русел и скульптурных разветвлений.

Местные специфические русловые процессы развиваются в условиях неустойчивых берегов. Будучи сложенными мелкодисперсным материалом или слабосвязными отложениями, они во время половодий (паводков), когда мощность потока увеличивается многократно, размываются с экстремально большими среднегодовыми темпами 40–50 м/год и выше. При большом угле встречи потока с таким берегом может происходить размыв его в сотни и даже больше 1000 м в годовом цикле. Пример такого специфического и в то же время экстремального проявления русловых процессов

дает упомянутый выше дейгиш на реках Средней Азии, имеющий скорости размыва до 50 м/час при лёссовом составе грунтов и локальных гидродинамических особенностях потока.

В лесной зоне дополнительными факторами размыва берегов являются разрушение грунтов корневой системой и транспорта попавшей в поток древесины, что, с одной стороны, ускоряет размыв берегов, а с другой — приводит к русловым деформациям в местах заломов. В зависимости от состава леса, общей массы древостоя, степени залуженности/залесенности берегов и высоты берегового уступа над меженным уровнем наличие растительности может как противодействовать размыву, так и значительно ему способствовать [25]. В регионах с повышенным увлажнением высокие скорости формирования пионерной растительности приводят к ускоренному закреплению прирусловых отмелей и снижению их подвижности.

В арктической и субарктической зонах дополнительным фактором является наличие многолетнемерзлых пород и ледяных жил на береговых уступах. Берега разрушаются за счет термоэрозии, что обеспечивает значительное поступление материала в поток при небольшой его водности и образование специфических форм русла, в том числе его четковидности. Такая четковидность, проявляющаяся в озеровидных расширениях, характерна для малых рек в разных природных условиях (тундра, тайга, степи). Их происхождение связывается с термокарстом, карстом, суффозией, влиянием на поток корневой системы деревьев, пронизывающей весь береговой уступ [31], формированием русел в пределах заболоченных долин — марей; они возникают также при спрямлении крутых петлеобразных излучин из-за активного размыва берега в месте сочленения нового и старого русла.

Для условий резко континентального климата характерны процессы наледеобразования. Значительные запасы воды, собирающиеся в наледях (по оценкам, только на реках Северо-востока России наледями формируется в среднем 94 км³ водного стока) обуславливают резкое увеличение водности рек в период таяния, активизацию русловых деформаций и формирование таких специфических форм проявления русловых процессов, как “наледные поляны” [1] и “наледная многорукость” [24].

На реках с абсолютно неустойчивым руслом любые русловые деформации носят труднопрогнозируемый и зачастую экстремальный характер. При этом на них формируются полосы блуждания, в пределах которых положение меженного русла перемещается в течение каждого паводка на

расстояние, значительно превышающее ширину русла. Подобные блуждающие русла (по китайской терминологии) встречаются как на крупнейших реках (р. Хуанхэ, Китай) [35], так и на реках меньших размеров (р. Коси, Индия; р. Буюнда, Магаданская обл.). Они характерны для небольших рек вулканических областей (р. Киргурич, Камчатка, и др.), формирующих внутренние дельты и “сухие русла” вследствие перехода поверхностного стока в подрусловую, и полугорных рек при выходе из гор в предгорьях и приледниковых участков (высокогорья Кавказа и Средней Азии), где они образуют галечные поля (зандры в троговых долинах).

При прочих равных условиях специфические русловые деформации приобретают экстремальный характер на реках с повышенной амплитудой расходов воды и наносов. Резкие изменения мощности потока приводят к неоднократному прохождению в течение года руслоформирующих расходов, что приводит к постоянным перестройкам русел. На малых и средних реках в горных странах, где выпадает значительное количество осадков и происходит интенсивное таяние ледников и снегов, наблюдаются паводки критического объема (flashflood), при которых руслоформирующие расходы соответствуют пикам гидрографа, что не характерно для тех же рек ниже по течению. При их прохождении происходят изменения морфологии русла, сопровождающиеся вертикальными и горизонтальными деформациями [17].

Резкое увеличение стока воды влечет за собой еще больший рост наносов на горных реках с галечно-валунно-глыбовым составом. На спаде уровней мощность потока становится недостаточной для их транспорта, что приводит к быстрой их аккумуляции и изменению морфологического облика русла. Это наблюдается также при интенсивном размыве берегов, селевых выносах, сходе осыпей со склонов и при вулканических событиях, вызывающих местное поступление обломочного материала в реки. Так, взрывное извержение вулкана Безымянный (п-ов Камчатка) с обрушением его конуса привело к поступлению огромного количества твердого материала в речную сеть, были сформированы внутренние дельты при впадении дренирующих вулкан рек и ручьев в р. Камчатку, русло которой претерпело существенные изменения. Одновременно русло принявшей на себя катастрофически высокий паводок реки Хапицы врезалось и сформировало ущелье глубиной до 60 м.

Специфика русловых процессов на реках вулканических областей определяется малой плотностью наносов, состоящих из пирокластического материала, с их высокой пористостью, быстротой

истирания и дробления частиц, что определяет меньшую крупность руслообразующих наносов по сравнению с реками невулканических районов [13].

Извержения вулканов сказываются в специфике развития русел рек, дренирующих их склоны. Происходящее при этом резкое увеличение мощности потока из-за таяния ледников, конденсации осадков, капиллярного подъема грунтовых и ювенильных вод, рост объемов стока наносов, изменение их фракционного состава, что приводит к активизации размыва ниже по течению. При наличии ледников в эруптивной зоне и их взаимодействии с лавой происходят фреатические взрывы с мгновенным таянием значительных объемов льда, что сопровождается формированием новых русел. Это является причиной возникновения лахаров — гиперконцентрированных водных потоков большой мощности, воздействие которых приводит к изменению поперечного сечения русел рек и их продольного профиля. При продолжительной вулканической активности эрозионные врезы заполняются мелкодисперсным изверженным материалом, неустойчивым к размыву [18].

Уникальным является выход талых вод под большим давлением из кальдер вулканов при субледниковой вулканической активности и их разгрузка по существующим рекам с ледниковым питанием (йокульхлауп). При подобных явлениях расход воды может превышать фоновый в тысячи и десятки тысяч раз, что приводит к формированию огромных по размерам аккумулятивных полей из наносов ниже створов выхода вод [37].

Таким образом, в отличие от экстремальных русловых процессов, которые отличаются темпами и масштабами проявления и направленности, специфические русловые процессы в основном представляют собой следствие действия местных факторов, затрагивающих сам участок проявления процесса и весь пойменно-русловой комплекс. Поэтому, учет специфики процессов возможен лишь при региональном синтезе.

Заключение. Экстремальные и специфические проявления русловых процессов охватывают широкий круг явлений, связанных с работой речных потоков по размыву слагающих русла грунтов, переносу (транспорту) и аккумуляции наносов, лишь часть которых была рассмотрена в настоящей статье. Вслед за выводами монографии “Экстремальные гидрологические ситуации” [15] показана актуальность исследований русловых процессов, которые характеризуются: высокой интенсивностью (выше среднемаксимальной нормы), сложностью и кратковременностью переформирования

русел, размывами берегов, в определенных условиях — долговременностью развития, приводящими в освоенных регионах к социально-экономическому ущербу, либо отличаются большим или меньшим отклонением от закономерных схем развития под влиянием различных факторов.

Являясь завершающим звеном в цепочке явлений, связанных со стоком воды, они определяются экстремальными экологическими ситуациями, хотя по своей результативности не всегда с ними коррелируют, и условиями, в которых протекают реки и которые определяют специфику русловых процессов. Некоторые, наиболее распространенные формы проявлений специфических русловых процессов хорошо изучены, но в отношении многих, особенно местных или узко региональных по своей встречаемости, характеризующихся иногда экстремальностью развития и тем более проявляющихся на слабо освоенных территориях, приходится только констатировать факт их существования.

Во многих случаях экстремальность укладывается в рамки схемы естественного развития русел, в других — приводит к их существенным перестройкам. Имея при этом специфический характер, экстремальные русловые процессы оказываются особенно неожиданными, непрогнозируемыми и трудными для исследования.

Вопросами, требующими дальнейшего изучения, являются: совершенствование классификации, а зачастую — ее создание, выявление соотношений между экстремальностью и специфичностью русловых процессов, разработка и систематизация критериев и показателей, их характеризующих (их параметризация), методов и приемов прогнозирования и расчета, картографирование (составление карт на территорию России, крупные регионы или речные бассейны) и на ее основе выявление географических закономерностей, условий развития и факторов, их определяющих, установление связей с другими гидрологическими явлениями, имеющими экстремальный или специфический характер. Представление о распространении и характеристиках экстремальных и специфических русловых процессах, дадут возможность обосновать систему мониторинга ЭРП, который должен быть составной частью мониторинга русловых процессов на реках России, которого в настоящее время не проводится. При решении этих вопросов нужно иметь в виду антропогенную составляющую и происходящие климатические изменения. Конечной целью этих исследований является обоснование и разработка мероприятий, позволяющих снизить ущерб, а, может быть, и предотвратить его.

Благодарности. Выполнено по плану НИР кафедры гидрологии суши и при частичной поддержке РФФИ (проекты 15-05-05515, 16-35-00567), РФФИ-ГФЕН Китая (проект 16-55-53116) и РНФ (проект 14-17-00155).

Acknowledgments. This work was carried out in the framework of Scientific Research Plan of the Department of Hydrology and partly with financial support of the Russian Foundation for Basic Research (projects no. 15-05-05515, 16-35-00567): Russian Foundation for Basic Research and China State Foundation for Natural Sciences (project no. 16-55-53116), and Russian Science Foundation (project no. 14-17-00155).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.Р.* Ландшафтная индикация наледных явлений. Новосибирск: Наука, 2005. 363 с.
2. *Алтуниев В.С., Аннаев С.А., Аширов С.А.* Интенсивные русловые деформации реки Амударьи. Ашхабад: Ылым, 1975. 103 с.
3. *Беркович К.М.* Русловые процессы в сфере влияния водохранилищ. М.: Географический ф-т Моск. ун-та, 2012. 163 с.
4. *Беркович К.М., Кирик О.М., Лодина Р.В., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Опасные проявления русловых процессов (на примере рек России) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1996. № 3. С. 35–41.
5. *Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Экологическое русловедение. М.: ГЕОС, 2000. 382 с.
6. *Беркович К.М., Бондарев В.П., Веретенникова М.В., Завадский А.С., Зорина Е.Ф., Ковалёв С.Н., Никольская И.И., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Экстремальные проявления овражной эрозии и русловых процессов // Экстремальные гидрологические ситуации. М.: Медиа-Пресс, 2010. С. 340–360.
7. *Виноградова Н.Н., Крыленко И.В., Сидорчук А.Ю., Сурков В.В.* Изменения русла р. Баксана в районе г. Тырнауза под влиянием селей и мероприятия по ликвидации их последствий // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 16. М.: Изд-во МГУ, 2008. С. 172–186.
8. *Виноградова Н.Н., Крыленко И.В., Сурков В.В., Тарбеева А.М.* Ледниковые реки Приэльбрусья – условия руслоформирования и взаимосвязь морфодинамики долин и русел // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 18. М.: Географический ф-т Моск. ун-та, 2012. С. 96–115.
9. Водные пути бассейна р. Лены / Под ред. Р.С. Чалова, В.М. Панченко, С.Я. Зернова. М.: МИКИС, 1995. 600 с.
10. *Гарцман Б.И.* Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценка риска. Владивосток: Дальнаука, 2008. 223 с.
11. *Гуськова А.П., Сотин Б.В.* Популярный словарь русского языка: толково-энциклопедический. М.: Дрофа, 2007. 869 с.
12. *Добровольская Н.Г.* Микроорганизмы как компонент речной геосистемы // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 13. М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 133–145.
13. *Ермакова А.С.* Русловые процессы на реках Камчатки. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2009. 26 с.
14. *Зайцев А.А.* Режим уровней и уклонов на валуно-галечных перекатах и скальных выступах в руслах крупных рек // Метеорология и гидрология. 1989. № 12. С. 103–106.
15. *Коронкевич Н.И., Барабанова С.А., Бумакина А.С., Зайцева И.С.* Общие представления об экстремальных гидрологических ситуациях // Экстремальные гидрологические ситуации. М.: Медиа-Пресс, 2010. С. 12–32.
16. *Кортаев В.Н.* Русловые деформации в дельтовых рукавах // Гидрофизические процессы в реках и водохранилищах. М.: Наука, 1985. С. 92–100.
17. *Кузнецова Ю.С., Голосов В.Н., Кукулина Л.В.* Внезапные паводки: факторы формирования, распространение и методы прогнозирования // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Круглый стол. Доклады и выступления. М.: Центр “Антистихия” МЧС России, 2015. С. 207–214.
18. *Лебедева Е.В.* Влияние выбросов пирокластического материала на морфологию долин и развитие речной сети (на примере вулканов Северной группы, Камчатка) // Геоморфология. 2016. № 4. С. 56–69.
19. *Маккаев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
20. *Махинов А.Н., Завадский А.С., Ким В.И., Чернов А.В., Губарева Е.К.* Изменения русла реки Амур после наводнения 2013 года // Изв. РГО. 2016. Т. 148. № 3. С. 46–61.
21. *Михайлов В.Н.* Динамика потока и русла в неприливых устьях рек // Тр. ГОИН. Вып. 102. 1971. 259 с.
22. *Никитина Н.А.* Русловые процессы в узлах слияния рек. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 1989. 21 с.
23. Опасные русловые процессы и среда обитания лососевых рыб на Камчатке / Под ред. С.Р. Чалова, В.Н. Лемана, А.С. Чаловой. М.: Изд-во ВНИРО, 2014. 240 с.
24. *Прокачева В.Г., Сущенко Д.В., Усачёв В.Ф.* Дистанционные методы гидрологического изучения зоны БАМ. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 224 с.
25. *Рубцов М.В.* Защитная функция лесов вдоль таежных рек. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 192 с.
26. Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины. М.: ООО «Журнал “РТ”», 2012. 492 с.
27. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.
28. *Сидорчук А.Ю., Чалов Р.С.* Врезание горных рек: скорости и причины // Природа. 1996. № 12. С. 36–45.
29. *Силов В.Б.* Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО–РЕС, 1995. 228 с.
30. *Сурков В.В., Виноградова Н.Н., Крыленко И.В., Тарбеева А.М.* Горные реки и особенности их

- руслоформирующей деятельности под влиянием селей // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 19. М.: Географический ф-т Моск. ун-та, 2015. С. 145–184.
31. Тарбеева А.М. Образование озеровидных расширений отмирающих русел рек как следствие проявления суффозионно-карстовых процессов // Матер. Всеросс. науч. конф. и XXXI пленарного межвуз. координац. совещ. “Современные проблемы эрозионных, русловых и устьевых процессов”. Архангельск: САФУ, 2016. С. 165–166.
 32. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
 33. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКМ, 2008. 608 с.
 34. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
 35. Чалов Р.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М.: Изд-во МГУ, 2000. 212 с.
 36. Чалов Р.С., Сурков В.В., Рулёва С.Н., Беликов В.В., Завадский А.С., Бондарев В.П., Ильясов А.К., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Турыкин Л.А. Русловые процессы на р. Оби в районе г. Колпашево, размыв города, компьютерное моделирование потока и обоснование оптимального варианта защитных мероприятий // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 18. М.: Географический ф-т Моск. ун-та, 2012. С. 205–243.
 37. Björnsson H. Subglacial lakes and jökulhlaups in Iceland // Global and Planetary Change. 2002. Vol. 35. P. 255–271.
 6. Berkovich K.M., Bondarev V.P., Veretennikova M.V., et al. Extreme Manifestations of Gully Erosion and Channel Processes. In *Ekstremal'nye gidrologicheskie situatsii* [Extreme Hydrological Situations]. Moscow: Media-Press Publ., 2010, pp. 340–360. (In Russ.).
 7. Vinogradova N.N., Krylenko I.V., Sidorchuk A. Yu., and Surkov V.V. Changes in the Baksan Riverbed Near the Town of Tyrnauz under the Influence of Mudflows and the Activities to Eliminate their Consequences. In *Eroziya pochv i ruslovyie protsessy. T. 16* [Soil Erosion and Channel Processes, vol. 16]. Moscow: Faculty of Geography, MSU Publ., 2008, pp. 172–186. (In Russ.).
 8. Vinogradova N.N., Krylenko I.V., Surkov V.V., and Tarbeeva A.M. Glacial rivers of the Elbrus region – the conditions for channel formation and the interrelation between the morphodynamics of valleys and streams. In *Eroziya pochv i ruslovyie protsessy. T. 18* [Soil Erosion and Channel Processes, vol. 18]. Moscow: Faculty of Geography, MSU Publ., 2010, pp. 96–115. (In Russ.).
 9. *Vodnye puti basseina reki Leny* [Waterways of the Lena River Basin], Chalov R.S., Panchenko V.M. and Zernov S. Ya, Eds. Moscow: MIKIS Publ., 1995. 600 p.
 10. Gartsman B.I. *Dozhdevye navodneniya na rekakh yuga Dal'nego Vostoka: metody raschetov, prognozov, otsenka riska* [Rain Floods on Rivers of the South of Far East: Methods of Calculation, Forecasts, Risk Assessment]. Vladivostok: Dalnauka Publ., 2008. 223 p.
 11. Gus'kova A.P., Sotin B.V. *Populyarnyi slovar' russkogo yazyka: tolkovo-entsiklopedicheskii* [Popular Dictionary of the Russian Language: Glossary and Encyclopedic]. Moscow: Drofa Publ., 2007. 869 p.
 12. Dobrovol'skaya N.G. Microorganisms as a Component of the River Geosystem. In *Eroziya pochv i ruslovyie protsessy. T. 13* [Soil Erosion and Channel Processes, vol. 13]. Moscow: Faculty of Geography, MSU Publ., 2001, pp. 133–145. (In Russ.).
 13. Ermakova A.S. Channel processes on the rivers of Kamchatka. Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation. Moscow: Moscow State Univ., 2009. 26 p.
 14. Zaitcev A.A. The regime of levels and slopes on boulder-pebbly shallows and rocky ledges in the channels of large rivers. *Russ. J. Met. Hydr.*, 1989, no. 12, pp. 103–106. (In Russ.).
 15. Koronkevich N.I., Barabanova S.A., Bumakina A.S., and Zaitceva I.S. The General Idea of the Extreme Hydrological Events. In *Ekstremal'nye gidrologicheskie situatsii* [Extreme Hydrological Situations]. Moscow: Media-Press Publ., 2010, pp. 12–32. (In Russ.).
 16. Korotaev V.N. Channel Deformations in Deltaic Branches. In *Gidrofizicheskie protsessy v rekakh i vodokhranilishchakh* [Hydrophysical Processes in Rivers and Reservoirs]. Moscow: Nauka Publ., 1985, pp. 92–100. (In Russ.).
 17. Kuznetsova J.S., Golosov V.N., Kuksina L.V. Flash-floods: Factors of Formation, Distribution and Forecasting Methods. In *Problemy prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsii. Kruglyi stol. Doklady i vystupleniya* [Problems of Forecasting of Emergency

REFERENCES

- Situations. Round Table. Reports and Speeches]. Moscow: Anti-disaster center, EMERCOM of Russia, 2015, pp. 207–214. (In Russ.).
18. Lebedeva E.V. Influence of pyroclastic emission on valley morphology and river network development: the case study of the Northern group volcanoes, Kamchatka. *Geomorphology*, 2016, no. 4, pp. 56–69. (In Russ.).
19. Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v eyo basseine* [River Channel and Erosion in its Basin]. Moscow: Izd. AN SSSR, 1955. 347 p.
20. Makhinov A.N., Zavadskiy A.S., Kim V.I., Chernov A.V., Gubareva E.K. Amur river channel transformation after the flood in 2013. *Izv. RGO*, 2016, vol. 148, no. 3, pp. 46–61. (In Russ.).
21. Mikhailov V.N. Dynamics of the flow and channel in non-tidal estuaries of rivers. *Tr. GOIN*, vol. 102, 1971. 259 p. (In Russ.).
22. Nikitina N.A. Channel processes in the junctions of river confluence. Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation. Moscow: Moscow State Univ., 1989. 21 p.
23. *Opasnye ruslovye protsessy i sreda obitaniya lososyovykh ryb na Kamchatke* [In-channel Processes Hazards and Salmon Habitats at the Kamchatka Peninsula], Chalov S.R., Leman V.N. and Chalova A.S., Eds. Moscow: VNIRO, 2014. 240 p.
24. Prokacheva V.G., Snishchenko D.V., Usachov V.F. *Distantionnye metody gidrologicheskogo izucheniya zony BAM* [Remote Methods of Hydrological Study of the BAM zone]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1982. 224 p.
25. Rubtsov V.M. *Zashchitnaya funktsiya lesov vdol' taezhnykh rek* [The Protective Function of Forests Along the Taiga Rivers]. Moscow: Lesnaya Promyshlennost' Publ., 1983. 192 p.
26. *Ruslovye protsessy i vodnye puti na rekakh basseina Severnoi Dviny* [Channel Processes and Waterways of the Northern Dvina River Basin]. Moscow: Zhurnal RT Publ., 2012. 492 p.
27. *Ruslovye protsessy i vodnye puti na rekakh Obского бассейна* [Channel Processes and Waterways of the Ob River Basin]. Novosibirsk: RIPE'L plyus Publ., 2001. 300 p.
28. Sidorchuk A. Yu., Chalov R.S. Stream Erosion on Mountain Rivers: Speed and Causes. *Priroda*, 1996, no. 12, pp. 36–45. (In Russ.).
29. Silov V.B. *Prinyatie strategicheskikh reshenii v nechetkoi obstanovke* [Strategic Decision-making in a Fuzzy Environment]. Moscow: INPRO-RES Publ., 1995. 228 p.
30. Surkov V.V., Vinogradova N.N., Krylenko I.V., Tarbeeva A.M. Mountain Rivers and Features of their Channel-forming Activity under the Influence of Mudflows. In *Eroziya pochv i ruslovye protsessy. T. 19* [Soil Erosion and Channel Processes, vol. 19]. Moscow: Faculty of Geography, MSU, 2015, pp. 145–184. (In Russ.).
31. Tarbeeva A.M. Formation of Lake-like Extensions of Dying River Beds as a Consequence of the Manifestation of Suffosion-karst Processes. In *Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii i XXXI plenarnogo mezhvuzovskogo koordinatsionnogo soveshchaniya «Sovremennye problemy e'rozionnykh, ruslovnykh i ust'evykh protsessov»* [Proceedings of the Scientific Conference and XXXI Plenary Intercollegiate Coordination Meeting “Modern Problems of Erosion, Fluvial and Estuarine Processes”]. Arkhangel'sk: NARFU, 2016, pp. 165–166. (In Russ.).
32. Chalov R.S. *Geograficheskie issledovaniya ruslovnykh protsessov* [Geographic Studies of Channel Processes]. Moscow: MSU Publ., 1979. 232 p.
33. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. Tom 1. Ruslovye protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel* [Study of River Morphology: Theory, Geography, Practice. Vol. 1. Channel Processes: Factors, Mechanisms, Forms of Manifestation and Conditions for the Formation of River Channels]. Moscow: LKM Publ., 2008. 608 p.
34. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 2. Morfodinamika rechnykh rusel* [Study of River Morphology: Theory, Geography, Practice. Vol. 2. Riverbed Morphodynamics]. Moscow, KRASAND Publ., 2011. 960 p.
35. Chalov R.S., Liu Shuguang, Alekseevskii N.I. *Stok nanosov i ruslovye protsessy na bol'shikh rekakh Rossii i Kitaya* [Sediment Flow and Channel Processes on Large Rivers of Russia and China]. Moscow: MSU, 2000. 212 p.
36. Chalov R.S., Surkov V.V., Ruleva S.N., et al. Channel Processes on the Ob River Near the City of Kolpashevo, Erosion of the City, Computer Simulation of the Flow and Justification of the Optimal Variant of Protective Measures. In *Eroziya pochv i ruslovye protsessy. T. 18* [Soil Erosion and Channel Processes, vol. 18]. Moscow: Faculty of Geography, MSU, 2012, pp. 205–243. (In Russ.).
37. Bjornsson H. Subglacial lakes and jökulhlaups in Iceland. *Global and Planetary Change*, 2002, vol. 35, pp. 255–271.