ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 556.5:551.4.4.04;36.222.5

**Р.С. Чалов**[1]

# ГИДРОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ РУСЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ

В статье дается определение понятия «управление русловыми процессами» как совокупности искусственных воздействий на русла рек для ограничения или предотвращения опасных проявлений русловых процессов и их неблагоприятных изменений, учета руслового режима рек и обеспечения при водохозяйственном, воднотранспортном и других видах использования речных ресурсов, эксплуатации рек и приречных территорий, экологической и гидротехнической безопасности. Дается оценка сложности управления русловыми процессами, приводится классификация рек по условиям управления русловыми процессами, определяемым устойчивостью русел, русловым режимом рек, степенью их хозяйственной освоенности. Рассматриваются особенности подходов к управлению русловыми процессами на равнинных и горных, больших и малых реках, реках с врезанным и широкопойменным руслом, песчаным и галечным составом руслообразующих наносов и т. д. Отмечается значение прогнозов русловых деформаций при изменении природной среды и климата, при выполнении водохозяйственных и воднотранспортных мероприятий.

*Ключевые слова*: регулирование русел, управление, устойчивость, антропогенные воздействия, типы русел, русловой режим рек, водохозяйственные мероприятия, воднотранспортные мероприятия

**Введение.** Водохозяйственное и воднотранспортное освоение рек, прокладка через них коммуникаций, строительство инженерных объектов на берегах и в руслах связано с выполнением системы гидротехнических мероприятий, предназначенных для обеспечения функционирования водозаборов и водных путей, защиты населенных пунктов, промышленных объектов, коммуникаций и земель от угрозы разрушения потоком или вывода из эксплуатационного состояния. В совокупности они представляют собой искусственные воздействия на реки, объединяемые общим понятием – «регулирование русловых процессов». Решение многих задач регулирования связано с управлением русловыми процессами, основывающимися на пространственно-временных закономерностях развития и формах проявления русловых процессов, русловом режиме рек как в их естественном состоянии, так и при различных по масштабу антропогенных изменениях их факторов и самих русел. Под *управлением русловыми процессами* понимается искусственное воздействие на русла рек для ограничения или предотвращения опасных проявлений русловых процессов и их неблагоприятных изменений, использование положительных для жизни и деятельности людей тенденций в развитии русел и закрепление их в этом направлении. Оно имеет целью наиболее полное удовлетворение потребностей водопользователей при сохранении рек как природных объектов, минимизации возможных негативных последствий в состоянии русел при вмешательстве в их жизнь. Таким образом, это система организационно-технических и регуляционных мероприятий, направленных на стабилизацию речных русел, повышение их устойчивости и обеспечение гидротехнической и гидроэкологической безопасности при использовании водных, связанных с ними земельных и минеральных ресурсов, эксплуатации рек как водных путей сообщения, прокладке коммуникаций через реки и освоении приречных территорий.

Управление русловыми процессами предполагает одновременное получение экономического и экологического эффектов при проведении гидротехнических работ на реках. При этом оно должно быть комплексным, учитывающим все возможные виды использования рек, опирающимся на естественный русловой режим рек и научно обоснованные прогнозы русловых деформаций. Несоблюдение этих положений неизбежно приводит к неблагоприятным последствиям, созданию аварийной ситуации на инженерных объектах и сооружениях и, как следствие, к экономическому ущербу и экологической, а иногда и социальной напряженности.

Существует обширная, главным образом техническая и нормативная, литература по учету русловых процессов при проектировании судовых ходов, карьеров аллювиальных стройматериалов, мостовых и трубопроводных переходов через реки, водозаборов, водовыпусков и опор ЛЭП. Однако, будучи ведомственными, за исключением воднопу-

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, профессор; заведующий научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, гл. науч. с., докт. геогр. н.; *e-mail*: rschalov@mail.ru

тейского направления, основывающегося на материалах исследований руслового режима рек и охватывающего всю реку в целом или протяженные ее участки (оно было заложено еще В.М. Лохтиным в конце XIX века и впоследствии развито Н.И. Маккавеевым [Маккавеев, 1949; Проектирование …, 1964] и в работах ГГИ [Попов, 1965]), в них преобладают створные (точечные, местные) подходы. Управление русловыми процессами предполагает учёт пространственно-временных взаимосвязей и соотношений в режиме русловых деформаций на всех структурных уровнях их проявлений в зависимости от сочетания определяющих факторов в конкретных природных и природно-антропогенных условиях. Такой, по существу гидролого-географический подход является абсолютной прерогативой российской школы регулирования русловых процессов, тогда как за рубежом возобладало гидротехническое преобразование речных русел, канализирование рек, приведшие к неблагоприятным гидроэкологическим последствиям и поставившее на повестку дня проблему «природоприближенного» их восстановления (анализ литературы по этому вопросу дан в совместной с немецкими специалистами публикации [Румянцев с соавт., 2001]).

**Объекты и методы исследований.** Данная статья основана на обобщении материалов многолетних исследований русловых процессов при решении прикладных задач, связанных с совершенствованием водных путей, проектированием и обеспечением надёжного функционирования водохозяйственных объектов, переходов через реки и прокладкой вдоль них коммуникаций, предотвращением опасных, вплоть до чрезвычайных, последствий переформирований речных русел и т. д. Благодаря им разрабатывались рекомендации по проектированию мероприятий и строительству инженерных объектов на реках и приречных территориях, опирающиеся на русловой режим конкретных рек, закономерности проявлений русловых процессов в различных природных условиях, с учетом уже существующей антропогенной нагрузки на реки. Объектами натурных исследований явились многие реки России и сопредельных стран (бывш. СССР), а также некоторые реки дальнего зарубежья. При этом использовались архивные и фондовые материалы проектно-изыскательских и производственных организаций, в первую очередь – крупномасштабные карты русел (лоцманские) и планы русла в пределах перекатных участков, аэро- и космические снимки.

**Обсуждение результатов.** Управление русловыми процессами заключается: 1) в искусственном воздействии на русла, в результате чего процессы приобретают заданную направленность; 2) в учете закономерностей руслоформирующей деятельности рек (русловых процессов), что обеспечивает, с одной стороны, максимально возможное сохранение русел рек как природных объектов (т. е. выполняется требование экологической безопасности), а с другой – достижение поставленной цели с наименьшими затратами; 3) в закреплении формы русла в оптимальном положении, что позволяет свести к минимуму опасные и неблагоприятные проявления русловых процессов, предотвратить на определенное время возможные их изменения; 4) в выполнении компенсационных мероприятий для предотвращения нежелательных последствий регулирования, для чего необходимо учитывать современные факторы протекания русловых процессов, а также давать прогнозы о возможном развитии русла в условиях искусственного воздействия; 5) в согласовании разнонаправленных воздействий на русло, осуществляемых для решения не связанных между собой задач. В большинстве своем при регулировании русел как форме управления русловыми процессами следует руководствоваться одновременно не менее чем двумя-тремя из этих положений, причем формы управления определяются местным или общим характером проводимых мероприятий, спецификой задач регулирования для различных отраслей экономики, особенностями руслового режима конкретной реки.

Проведение работ по регулированию русел рек, или в целом техногенные воздействия на реки сопровождаются в той или иной мере изменениями их руслового режима, направленности и темпов русловых деформаций, приобретающих новое качество и количественные характеристики, порой влияющих и на качество водных ресурсов. По этой причине решение водохозяйственных и воднотранспортных задач связано не только с необходимостью учета естественных русловых процессов, но и их антропогенно обусловленных трансформаций, степени и характера искусственных воздействий на русло, которые могут иметь прямо противоположные последствия, зачастую неблагоприятные как для самой реки, так и для других водопользователей. Однако измененность руслового режима рек и их русел различается в зависимости от хозяйственной освоенности самих рек, их бассейнов, регионов и их отдельных частей, особенно на больших и крупнейших реках. Соответственно, возникают различные условия управления русловыми процессами, а эффективность выполняемых регуляционных мероприятий при наличии комплекса антропогенных нагрузок на реки, их русла и факторы русловых процессов, определяются тем, насколько учтены и согласованы между собой все происходящие изменения.

Мероприятия и сооружения всех категорий по взаимоотношению с русловыми процессами неодинаковы в пространственном распространении вызываемых ими изменений, степени и формах учета их воздействий на русла и руслового режима рек. Дноуглубительные работы на перекатах и перекатных участках, выполняемые в целях улучшения условий судоходства, требуют знания руслового режима рек, прогнозных оценок его изменений на участках большой протяженности или на всем протяжении реки, где осуществляется судоходство, т. е. относятся к региональным воздействиям [Чалов, 2017]. Такой же характер имеют крупное гидротехническое строительство на реках, изменяющее русловые процес-

сы и их факторы выше и ниже водохранилищ, массовая разработка русловых карьеров аллювиальных стройматериалов, водозаборы в крупных размерах (в магистральные каналы), сплошное обвалование русел или их канализирование [Беркович, 2001]. Для характеристики их воздействий на русловые процессы на первый план выдвигаются прогнозные оценки трансформации русел и вновь возникающих русловых деформаций, не свойственных рекам в естественном состоянии из-за изменения основных факторов – стока воды и наносов, гидравлических характеристик потока, морфологического строения самого русла. На судоходных реках, на которых сток воды и наносов при выполнении путевых работ остаются неизменными, при обосновании мероприятий по улучшению водного пути и обеспечению навигационных характеристик необходимо знание закономерностей сезонных и многолетних переформирований русла (излучин, разветвлений) и руслового рельефа (перекатов, перекатных участков), определение стадии их развития (оптимальной для состояния водного пути), сопряженности развития смежных русловых форм и морфологически однородных участков с учетом периодических и направленных гидроклиматических изменений, определяющих цикличность процессов или тенденции естественных и антропогенно обусловленных трансформаций русла. Это позволяет, с одной стороны, закрепить и поддерживать русло в наиболее благоприятном для судоходства состоянии, а с другой – своевременно выполнять необходимые для этого мероприятия. Поэтому водные пути сообщения на реках оказались фактически единственной отраслью экономики, требующей изучения и прогнозирования естественных и антропогенно измененных русловых процессов по всей длине судоходных рек.

Мостовые и подводные переходы коммуникаций, водозаборы и водовыпуски, инженерные сооружения на берегах, эксплуатационные прорези на отдельных перекатах, одиночные карьеры стройматериалов оказывают местное воздействие на морфологию, морфометрию русла и его переформирование. Их надежность и устойчивое функционирование зависит от точности местных прогнозов русловых деформаций как естественных, но учитывающих их положение в системе сопряженных в своем развитии русловых форм, так и возникающих вследствие существования самого объекта и обратного его воздействия на русло, в том числе приводящих к изменениям смежных русловых форм и, в обратной связи, сказывающихся на деформациях в створе или на участке расположения инженерного объекта.

В тех случаях, когда на реке выполняется один вид водохозяйственных, воднотранспортных или инженерных мероприятий, возводится одиночный объект (мост, подводный переход трубопровода, водозабор и т. д.) или осуществляется только дноуглубление по трассе водного пути (судового хода), проектирование мероприятий по управлению русловыми процессами ориентируется на потребности одного водопользователя. При наличии двух или большего количества сооружений и мероприятий на участке реки каждое из них по-разному воздействует на русло и, в свою очередь, неодинаково зависит от темпов и направленности русловых деформаций. В этом отношении особое место занимают реки на урбанизированных территориях, где на сравнительно коротких (десятки километров на больших реках) участках концентрируется большое количество различных сооружений, оказывающих местное, но перекрывающее друг друга воздействие на русло, проводится дноуглубление по трассе судового хода, массовая разработка карьеров и т. д. Их одновременное влияние на реку и русловые процессы приводит к непредвиденным и сложно прогнозируемым последствиям [Беркович с соавт., 2000]. Положение усугубляется расположением некоторых городов в нижних бьефах гидроузлов (г. Новосибирск на р. Оби, г. Пермь на р. Каме, г. Волгоград, г. Нижний Новгород, г. Рыбинск на р. Волге), где происходят размывы русла и соответствующие им «посадки» уровней, осложняющие работу водозаборов, шлюзов, водных подходов к объектам промышленной, транспортной и коммунальной инфраструктуры.

Изменение руслового режима под влиянием водохранилищ сказывается на выполнении водохозяйственных и инженерных мероприятий и вне урбанизированных участков рек. Особенно это относится к дноуглубительным работам на судоходных реках, методы и приемы которых приобретают отличительные черты, по сравнению с аналогичными на реках в естественном состоянии [Транспортное …, 1972].

Управление русловыми процессами должно осуществляться в зависимости от морфодинамического типа русла, руслового режима реки и степени ее хозяйственной освоенности:

1. В экономически развитых районах с развитой сетью коммуникаций, многочисленными водохозяйственными объектами, переходами через реки, инженерными и другими сооружениями на берегах и на урбанизированных территориях – в пределах морфологически однородных участков значительной протяженности, где русловые деформации определяются как природными условиями развития русловых деформаций, а именно пространственно-временными трансформациями русла вследствие саморазвития и сопряженности развития его форм, периодическими сезонными и многолетними колебаниями водности и стока наносов, так и антропогенными воздействиями и обусловленными ими изменениями самого русла, водности и стока наносов.

2. При проектировании нескольких водохозяйственных, транспортных, инженерных и других объектов вне таких территорий и районов необходимо осуществлять управление русловыми процессами в пределах русловых форм, развитие которых непосредственно определяет условия и надежность их функционирования. При этом необходимо учитывать воздействие каждого объекта и переформирований русла на его морфологию, а также на русло-

вые деформации в пределах смежных участков выше по течению. Таким образом, станет возможным определение влияния излучин, разветвлений, перекатов на состояние объекта и заложение в проект превентивных мер для предотвращения или нейтрализации неблагоприятных тенденций их развития; ниже и выше по течению – оценка возможных изменений в состоянии водного пути и других хозяйственных объектов после строительства самого объекта или выполнение мероприятий вследствие трансгрессивного и регрессивного распространения вызванных ими трансформаций.

3. На судоходных реках при решении воднотранспортных задач управление русловыми процессами требуется на всем протяжении водного пути, поскольку его устойчивость, условия выполнения дноуглубительных работ и их эффективность, обеспечение гарантированных габаритов на перекатах полностью зависят от того, насколько проект дноуглубления согласован с русловым режимом реки.

4. При проектировании одиночных объектов на реках (мостовые и подводные переходы, водозаборы, выпуски сточных вод и пр.) – в пределах данной формы русла, но с учетом прогнозных оценок переформирований смежных форм (не менее двух-трех) выше и ниже по течению.

Устойчивость русла, его морфодинамический тип, свободные или ограниченные условия развития русловых деформаций, перекатный или плесовый характер русла, степень и формы антропогенных изменений морфологии русла и руслового режима реки, а также существующие виды техногенных воздействий на них определяют степень сложности каждого морфологически однородного участка и формы русла для выполнения работ и определения состава мероприятий по управлению русловыми процессами. Все реки могут быть разделены на несколько категорий, каждой из которых соответствуют свои схемы управления русловыми процессами, методы и возможности прогнозирования русловых деформаций и переформирований перекатов [Чалов, 2017]:

1. Реки, сохранившие естественный гидрологический и русловой режим:

а) реки, на которых хозяйственная деятельность не сказывается на морфологии и динамике их русел, техногенные механические воздействия отсутствуют (например, на судоходных реках осуществляется только расстановка простейших видов плавучей обстановки), либо сводятся к сооружению возле небольших поселений деревянных мостов, не нарушающих русло, или рыболовецких «заезков» и т. д. Бассейны рек остаются практически не освоенными, соответственно факторы русловых процессов также не меняются. Таких рек мало, но они встречаются в экономически слабо развитых районах Севера ЕТР, Средней и Восточной Сибири, северо-востока России; из относительно крупных рек к ним можно отнести р. Анабар, р. Оленёк, р. Анадырь, притоки Подкаменной Тунгуски;

б) реки, на которых антропогенное вмешательство в русловой режим было минимальным, ограниченным эксплуатационным землечерпанием на отдельных перекатах, одиночными мостовыми и подводными переходами (таковы р. Нижняя Печора, р. Мезень, средняя и верхняя Вычегда, средняя и нижняя Лена, средняя и особенно нижняя Обь, р. Яна, р. Индигирка, р. Колыма). К ним можно отнести и относительно короткие по длине участки рек (р. Лена в районе г. Якутска, р. Печора у г. Печоры) в районах городов, промышленных центров и транспортных узлов.

2. Реки с незарегулированным стоком, сохранившие естественный морфологический облик, но подверженные антропогенным воздействиям и частично изменившие свой русловой режим:

а) реки, на которых были выполнены большие по объемам и масштабам работы по коренному улучшению условий судоходства (р. Северная Двина, нижняя Вычегда, отдельные участки верхней Лены, р. Обь от слияния Бии и Катуни до 150 км ниже г. Барнаула [Водные …, 1995; Русловые …, 2001; Русловые …, 2012], р. Печора от г. Печоры до слияния с р. Усой), что привело к общему повышению их устойчивости, снижению опасности проявления не только русловых, но и связанных с ними других гидрологических процессов (наводнений, русловых заторов);

б) реки, подверженные массовой разработке русловых карьеров стройматериалов (р. Ока, р. Вятка, р. Белая, р. Томь), сказавшейся в существенной «посадке» уровней, в том числе вследствие спровоцированного ею врезания русла;

г) реки с шлюзованными участками для повышения уровней воды в межень (р. Ока, р. Москва, верхняя Сухона).

3. Реки или участки рек в нижних бьефах гидроузлов:

а) одиночных или последних в каскаде гидроузлов (р. Обь от Новосибирского гидроузла до устья р. Томи [Русловые …, 2001], р. Волга от Волгоградского гидроузла до устья, р. Енисей ниже г. Красноярска), на которых также были выполнены объемные работы по коренному улучшению условий судоходства, осуществляется массовая разработка карьеров, проводятся другие инженерные мероприятия;

б) разрывающие каскады водохранилищ, образующие нижние бьефы гидроузлов, сопрягающихся с зонами переменного подпора от нижерасположенных водохранилищ (р. Волга между Нижегородским гидроузлом и Чебоксарским водохранилищем, р. Кама между Воткинским и Нижнекамским водохранилищами, р. Енисей между Майнским гидроузлом и Красноярским водохранилищем);

в) ниже одиночных гидроузлов (зарегулированных низконапорными гидроузлами (р. Дон ниже Цимлянского водохранилища).

4. Реки выше одиночных и верхних в каскадах водохранилищ, находящиеся в зонах переменного подпора и под влиянием регрессивной аккумуляции наносов (р. Дон выше Цимлянского, р. Обь выше Новосибирского водохранилища).

5. Участки рек на урбанизированных территориях (р. Обь у г. Новосибирска и г. Барнаула, р. Москва в г. Москве и ближнем Подмосковье, р. Ока и р. Волга у г. Нижнего Новгорода, р. Енисей в районе г. Красноярска, р. Дон у г. Ростова-на-Дону, р. Нева в г. Санкт-Петербурге), где русла или утратили свой естественный облик, или находятся под влиянием многочисленных инженерных сооружений и мероприятий, оказывающих неоднозначное пространственное и разнонаправленное воздействие на морфологию и динамику русла.

На реках, на которых в полной мере и в той иной степени произошли антропогенные изменения русловых процессов, условия управления определяются устойчивостью русла (неустойчивое, слабо устойчивое, относительно устойчивое, устойчивое), сезонными и многолетними его переформированиями, геоморфологическим (врезанное или широкопойменное) и морфодинамическим типом (разветвленное на рукава, извилистое меандрирующее, относительно прямолинейное, неразветвленное и их разновидности), величиной стока наносов и соотношением в нем влекомой и взвешенной составляющих, крупностью руслообразующих наносов (песчано-илистые, песчаные, песчано-галечные, галечно-валунные). К регулированию русел и управлению русловыми процессами следует подходить по-разному на горных, полугорных и равнинных реках, отличающихся формой и механизмами транспорта наносов, крупностью руслообразующих наносов и кинематикой потока.

Методы и приёмы регулирования русел равнинных рек универсальны для каждого типа русловых процессов, морфодинамического типа русла, условий формирования и морфологии перекатов и перекатных участков. Однако их применение, объемы и время разработки дноуглубительных прорезей, комплексность использования, высота и размеры выправительных (регуляционных) сооружений зависят от устойчивости русла, условий прохождения руслоформирующих расходов воды, стока наносов и соотношения в нём взвешенной и влекомой составляющих, различий в особенностях водного режима, свободных и ограниченных условий развития русловых деформаций, сезонного промерзания или наличия в руслах многолетнемерзлых грунтов, ветроволнового режима (на больших и крупнейших реках). Поэтому для определения состава мероприятий, сроков и объемов их выполнения важным является районирование территорий, по которым протекают реки, а для конкретных рек, в основном больших и крупнейших, – ранжирование их участков по русловому режиму рек и условиям управления русловыми процессами [Чалов с соавт., 2016; Чалов с соавт., 2018].

Специфические проблемы возникают на реках со скальным руслом. Будучи устойчивыми или абсолютно устойчивыми, они отличаются своеобразным режимом транспорта наносов, выступами скал на дне и у берегов вплоть до образования скальных плит, на большом протяжении подстилающих русло, шивер и порогов. Для большинства водопользователей и возведения инженерных объектов на берегах такие русла затруднений не представляют, но являются серьезным ограничением для судоходства. Их наличие не позволяет осваивать в полной мере в качестве водных путей р. Онегу, многие реки Восточной Сибири, где движение судов возможно только между порогами. Известно, что до строительства плотины и водохранилища ДнепроГЭС днепровские пороги прерывали сквозное судоходство на р. Днепре. То же самое было на Волхове и Свири. На р. Томи у г. Томска разработка русловых карьеров ПГС и врезание русла привели к образованию порога на скальной гряде, через который возможен проход судов только при высокой воде, а на спаде половодья и в межень он представляет собой водослив с малыми глубинами и большими скоростями течения [Беркович с соавт., 1998]. Образование порога и прекращение сквозного водного пути по р. Томи – результат хозяйственной деятельности, ориентированной на одного потребителя речных ресурсов, и превращения реки в объект горнодобывающей промышленности.

Аналогичные проблемы возникают на реках с галечно-валунным руслом. Для данных рек водное сообщение затруднено вследствие возникновения эффекта водослива с широким порогом на перекатах в маловодные фазы водного режима. На этих перекатах, как и на скальных выступах, в межень возникает добавочное понижение («посадка») уровней, особенно при достижении горизонта воды значений ниже проектных [Зайцев, 1989]. В годы с пониженной водностью это явление становится важным фактором, ограничивающим судоходство на верхней и частично средней Лене, на ее притоках – р. Алдане и р. Витиме, на р. Енисее (Казачинский и Осиновский пороги), в нижнем течении р. Катуни, на р. Амуре (Союзный «перекат»).

Практически на всех реках имеются относительно небольшие населенные пункты, отдельные мостовые переходы, на реках с широкопойменным руслом – с подходными дамбами, пересекающими пойму и изменяющими условия её затопления и, следовательно, взаимодействия пойменного и руслового потоков, водозаборы и прочие инженерные сооружения на берегах, оказывающие местное воздействие на русло. Несмотря на локальный характер, их также необходимо учитывать при оценке направленности и темпов русловых деформаций, разработке приемов, методов и конкретных мероприятий по управлению русловыми процессами. На судоходных реках это во многих случаях сопровождается несовпадениями требований различных водопользователей, условий функционирования инженерных объектов, с одной стороны, и водных путей – с другой.

Специфичность антропогенных воздействий на русловые процессы и, соответственно, управления ими, еще более возрастает на урбанизированных участках рек или рек в промышленно освоенных регионах. Она связана с разнонаправленным воздей-

ствием на русла различных объектов, неоднозначности (противоречивости) требований водопользователей, несовпадения их с задачами обеспечения нормальной эксплуатации водных путей, функционирования водозаборов и водовыпусков, водных подходов к населенным пунктам, портам, акваториям предприятий. Наиболее сложные противоречия возникают в нижних бьефах гидроузлов, где располагаются крупные города и промышленные центры. Приоритет в решении возникающих проблем, как правило, отдается гидроэнергетике, осуществляется массовая разработка карьеров песчано-гравийных стройматериалов.

В нижних бьефах гидроузлов, и особенно в каскадах между гидроузлом и незаполненным до проектных отметок нижерасположенным водохранилищем, возникают неблагоприятные условия практически для всех видов водохозяйственной деятельности и управления русловыми процессами из-за несогласованности задач, стоящих перед водопользователями. Русловые процессы здесь нарушены и зависят от режима наполнения и сработки обоих водохранилищ. В летний маловодный период происходит обмеление перекатов на оставшемся в свободном состоянии участке реки, что обеспечивает серьезные осложнения судоходства даже в Единой глубоководной системе Европейской части России (р. Волга–р. Кама–р. Дон) [Фролов, 2000]. В этих условиях управление русловыми процессами определяется тем стоком, который пропускает верхнее водохранилище, и условиями наполнения и сработки нижерасположенного.

Естественные вертикальные русловые деформации характеризуются незначительными темпами (на равнинных реках – доли миллиметра – первые миллиметры в год) и поэтому, как правило, не учитываются при проектировании, т. к. их результаты сказываются далеко за пределами нормативных сроков. Однако, врезание русел в нижних бьефах гидроузлов и аккумуляция наносов выше водохранилищ, скорость и распространение которых во времени по длине реки требуют их обязательного учета при планировании любых мероприятий на реках и прибрежных территориях и разработки мер по предотвращению негативных последствий для уже существующих объектов (водозаборов, которые обсыхают из-за врезания или занесения наносами; водных путей как следствие обмеления русла выше водохранилищ; мостовых и подводных трубопроводных переходов, которые провисают при врезании рек или в прибрежной зоне при активации размыва берегов). Проблемы, возникающие в нижних бьефах гидроузлов, являются общими для всех рек. Осложнения различаются в зависимости от геолого-геоморфологических условий формирования русел. На р. Енисее и р. Ангаре размывы русел спровоцировали как образование галечно-валунной отмостки, так и обнажение на дне скального ложа реки. Размывы русел встречаются также на р. Оби ниже Новосибирского, на р. Дону – Цимлянского, на р. Волге – Нижегородского и Волгоградского гидроузлов, где русла песчаные, формирующиеся в рыхлых отложениях. Регрессивная аккумуляция наносов проявляется на реках с большим стоком наносов (р. Обь выше Новосибирского, р. Дон выше Цимлянского водохранилищ), но практически незаметна на реках с малым стоком наносов (р. Днепр выше Киевского, р. Кама выше Камского, р. Енисей выше Красноярского и Саяно-Шушенского водохранилищ).

Аналогичные нижним бьефам гидроузлов явления характерны для рек, на которых ведется массовая разработка карьеров ПГС, однако здесь врезание усиливает эффект «посадки» уровней, вызванный самими карьерными выемками. Это – типичный пример односторонней ориентации хозяйственной деятельности на реке (добыча стройматериалов) в ущерб другим водопользователям и отраслям экономики, связанным с рекой. Управление русловыми процессами в этой ситуации должно, с одной стороны, учитывать состоявшиеся изменения в русле, трансформацию и развитие его в новой обстановке и необходимость снижать неблагоприятные последствия самих карьерных разработок. Очевидно, что эти проблемы можно решать при комплексном подходе к использованию речных ресурсов с учетом как специфики потребностей всех водо-, недро- и землепользователей, так и возможных гидро- и геоэкологических последствий, т. е. с позиций управления русловыми процессами и обеспечения экологической безопасности.

В естественных условиях значимые темпы врезания или аккумуляции наносов наблюдаются довольно редко, первые – на реках в горах, вторые – на реках приморских низменностей с большим стоком наносов. На горных реках на эти явления, несмотря на скорости врезания до 1–7 см/год (максимально зафиксированная – 35 см/год) [Панин с соавт., 1990]), долгое время не обращалось внимание из-за слабой освоенности территорий и акцентирования на прочие опасные процессы. Лишь во второй половине XX в. экономическое развитие горных районов столкнулось с рядом крупных аварий, обусловленных врезанием рек (разрушение мостов, подмыв и провисание подводных переходов трубопроводов, обсыхание водозаборов). Это повлекло за собой не только внесение коррективов в проекты, но и необходимость изучения самого явления.

Управление русловыми процессами в условиях интенсивной направленной аккумуляции наносов – самый древний (со 2-го тысячелетия до н. э.) подход к регулированию русел, связанной с защитой от наводнений и размывами берегов на великих китайских реках (р. Хуанхэ, р. Янцзы). С середины XX в. началось регулирование стока воды и наносов каскадами гидроузлов, изменивших уже в XXI в. ситуацию и, соответственно, подход к управлению русловыми процессами (регулирование осуществляется при решении всех вопросов, связанных с эксплуатацией рек и их ресурсов, комплексными научно-исследовательскими и проектными институтами р. Янцзы в г. Ухани и р. Хуанхэ в г. Чжэнчжоу, организованными по бассейновому принципу). В

России, несмотря на сравнительно невысокие темпы, аккумуляция наносов привела к формированию обвалованного русла, подпору малых рек-притоков, подтоплению приречных территорий на нижнем Тереке, на среднем и нижнем Амуре.

Устойчивость русла, его морфодинамический тип (в том числе широкопойменный или врезанный) и руслоформирующие расходы воды – главные естественные условия, определяющие сложность и эффективность управления русловыми процессами. От них зависит состав регуляционных мероприятий, их размеры и объемы. Данные процедуры должны опираться на прогнозные оценки русловых деформаций, в том числе при периодических и направленных естественных (глобальных) и антропогенно обусловленных изменениях водности и стока наносов, учитывать степень влияния существующих и проектируемых сооружений и мероприятий на русло.

На горных реках условия управления русловыми процессами связаны с высокой кинетичностью потоков, значительными скоростями течения, галечно-валунным или валунно-глыбовым составом наносов, специфическими особенностями их транспорта и аккумуляции во врезанном и широкопойменном (во внутригорных котловинах) русле. Помимо врезания рек, затруднения для их освоения создаются прижимами бурного потока к крутым скальным берегам, селевой деятельностью на притоках, обвалами, осыпями, лавинами. В расширениях долин при снижении уклонов русло становится разбросанным, неустойчивым, переформировывающимся при прохождении каждого паводка, с активными размывами берегов при постоянном изменении положения фронта размыва. На таких участках происходит аккумуляция наносов, выносимых из ущелий, что еще более осложняет возможности управления русловыми процессами, включающими в себя борьбу с наводнениями (обычно в котловинах располагаются населенные пункты), размывами берегов, обеспечение работы водозаборов, надежность переходов через реку и ее рукава, мелиорацию пойменных земель и т. д. На горных реках Камчатки необходимо учитывать влияние вулканогенного фактора на формирование русел [Ермакова, 2009]. На горных реках Урала, Восточной Сибири, Забайкалья, Камчатки, северо-востока России, задачи управления русловыми процессами связаны с разработкой россыпных месторождений полезных ископаемых, снижением возникшей экологической напряженности, восстановлением или сохранением их рыбохозяйственной значимости [Маккавеев, 2014].

Условия управления русловыми процессами на малых равнинных реках неодинаковы для регионов с уникальными природными условиями, разной освоенностью территории, в пределах которых находятся их бассейны, и антропогенными воздействиями на сами реки. Малые реки юга лесной, лесостепной и степной зон европейской территории России (ЕТР) преобразованы многочисленными прудами различного назначения и во многом утратили свой естественный облик. На реках, протекающих по староосвоенным в сельскохозяйственном отношении территориям, массовое спрямление русел или разрушение мельничных плотин привело к врезанию рек и избыточному осушению бывших пойменных земель [Чалов с соавт., 2018]. Для условий заиления и деградации малых рек, их полной мелиоративной преобразованности речь может идти не столько об управлении русловыми процессами, сколько о восстановлении рек, применяя при этом принятый в зарубежной (европейской) литературе термин «природоприближенное», т. к. изменения русловых процессов на этих реках приобрели необратимый характер [Румянцев с соавт., 2001].

В то же время русловые процессы на малых реках во многом зависят от местных природных особенностей. В горно-предгорных районах они во многом определяются селевыми явлениями, в условиях резко континентального климата – образованием наледей. В зоне тундры большое влияние на русла рек оказывает мерзлота, определяющая термоэрозионное разрушение берегов. В засушливых южных районах ЕТР реки в летние периоды пересыхают, на севере – перемерзают зимой. В лесной зоне на русла рек большое влияние оказывает карчеход и связанные с ним заломы. Эти и прочие особенности формирования русел должны учитываться при освоении территории и управлении русловыми процессами при проектировании водохозяйственных и защитных (противопаводковых, берегозащитных и других) мероприятий.

Важной составной частью управления русловыми процессами является прогнозирование русловых деформаций. Возможные изменения русловых форм определяют пространственно-временную изменчивость методов и приемов управления русловыми процессами, которые зависят как от стадии развития русловых форм (излучин, разветвлений) и крупных форм руслового рельефа (перекатов), так и от цикла в периодических колебаниях стока воды и наносов. При направленном изменении водности и стока наносов трансформации становится необратимыми. Учет возможных изменений в морфодинамике русла и сроков их осуществления обусловливает специфику подхода к проектированию водохозяйственных или воднотранспортных мероприятий, выбору методов регулирования русла.

**Выводы:**

– управление русловыми процессами, основанное на выявленных особенностях рек и опирающееся на прогнозные оценки их развития, учитывающее в комплексе все возможные виды антропогенных воздействий на русла рек и факторы русловых процессов, обеспечивает экономическую эффективность и гидроэкологическую безопасность водохозяйственных и воднотранспортных мероприятий, прокладку через реки коммуникаций, освоение приречных территорий;

– схемы управления русловыми процессами, время, объемы выполнения и совокупность регуляционных мероприятий определяются русловым и

водным режимами рек, устойчивостью русел, стоком, составом и крупностью руслообразующих наносов, морфодинамическим типом русла, а также степенью водохозяйственного и транспортного освоения рек, техногенной преобразованности их русел;

– воднотранспортные, водохозяйственные и другие мероприятия на реке должны проектироваться таким образом, чтобы максимально учитывать тенденции в развитии русловых деформаций, многолетний и сезонный режимы. Сопряженность в переформированиях смежных русловых форм нужно рассматривать с прогнозными оценками их изменений в пределах морфологически однородных участков, принимая во внимание взаимосвязь между ними;

– гидротехнические мероприятия, направленные по своей сути на решение конкретных задач, объективно выполняют природоохранные функции, снижают вероятность возникновения опасных гидрологических ситуаций. При их проектировании опираются на естественный русловой режим рек, направленность деформаций, закономерности руслоформирующей деятельности рек в конкретных природных условиях.

***Благодарности***. Работа выполнена по планам НИР кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева при поддержке РНФ (проекты № 18-17-00086 – управление русловыми процессами на реках с разветвленным руслом; и 14-17-00155 – обоснование параметров русловых процессов ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Беркович К.М.* Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001. 164 с.

*Беркович К.М., Рулева С.Н., Сурков В.В., Чалов Р.С.* Русловые процессы и антропогенные переформирования русла нижней Томи и их влияние на ландшафты поймы // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1998. Вып. 11. С. 215–240.

*Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Экологическое русловедение. М.: ГЕОС, 2000. 332 с.

Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС, 1995. 600 с.

*Ермакова А.С.* Русловые процессы на реках Камчатки. Автореф. дис. канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2009. 26 с.

*Зайцев А.А.* Режим уровней и уклонов на валунно-галечных перекатах и скальных выступах в руслах крупных рек // Метеорология и гидрология. 1989. № 12. С. 102–106.

*Маккавеев Н.И.* Русловой режим рек и трассирование прорезей. М.: Речиздат, 1949. 202 с.

Опасные русловые процессы и среда обитания лососевых рыб на реках Камчатки. М.: ВНИРО, 2014. 240 с.

*Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чалов Р.С.* Катастрофические скорости формирования флювиального рельефа // Геоморфология. 1990. № 2. С. 3–11.

*Попов И.В.* Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 328 с.

Проектирование судовых ходов на свободных реках / Труды ЦНИИЭВТ. М.: Транспорт, 1964. Вып. 36. 262 с.

*Румянцев И.С., Чалов Р.С., Нестманн Ф., Кромер Р.* Природоприближенное восстановление водных объектов. М.: МГУП, 2001. 286 с.

Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины. М.: ООО «Журнал «РТ», 2012. 492 с.

Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.

Транспортное использование водохранилищ. М.: Транспорт, 1972. 224 с.

*Фролов Р.Д.* Улучшение судоходного состояния Волги в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС путем корректировки режима регулирования речного стока каскадом Верхневолжских водохранилищ // Эрозионные и русловые процессы. М.: МГУ, 2000. Вып. 3. С. 190–200.

*Чалов Р.С.* Классификация рек по условиям управления русловыми процессами при решении водохозяйственных и воднотранспортных задач // Вопросы географии. Сб. 145. Гидрологические изменения. М.: Кодекс, 2017. С. 169–182.

*Чалов Р.С., Ботавин Д.В., Варёнов А.Л., Завадский А.С., Тарбеева А.М.* Формирование русел малых рек Приволжской возвышенности в условиях многовекового сельскохозяйственного освоения // География и природные ресурсы. 2018. № 3. С. 86–94.

*Чалов Р.С., Рулёва С.Н., Михайлова Н.М.* Оценка морфодинамической сложности русла большой реки при планировании водохозяйственных мероприятий (на примере р. Оби) // География и природные ресурсы. 2016. № 1. С. 29–37.

*Чалов Р.С., Чалова А.С., Сахаров А.И., Кузьмина Е.М.* Оценка сложности русловых процессов на р. Лена и управления ими для обеспечения нормальных условий судоходства // Речной транспорт (XXI век). 2018. № 3. С. 49–56.

Поступила в редакцию 15.05.2019
После доработки 28.06.2019
Принята к публикации 28.06.2019

**R.S. Chalov**[1]

**HYDROLOGICAL AND GEOGRAPHICAL ASPECTS OF CHANNEL PROCESSES MANAGEMENT**

The paper gives a definition of «channel processes management» as a complex of human influences on river channels to minimize or prevent hazard occurrences of channel processes and their negative changes, to account river channels regime and to support hydroecological safety in the process of rivers and riverine territories exploitation, water economy and water transport use of river resources. Problems of channel

[2] Lomonosov Moscov State Univtrsity, Faculty of Geography, Departament of Land Hydrology, Professor; Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Chief Scientific Researcher, D. Sc. In Geography; *e-mail*: rachalov@mail.ru

processes management are evaluated, rivers are classified according to the conditions of channel processes management with due account of the channel stability, channel regime and degree of their economic development. Different approaches for channel processes management on plain and mountain rivers, big and small rivers, rivers with incised and wide-floodplain channels, rivers with sand and pebble bed-material load, etc. are described The importance of predicting the channels deformation due to environment and climate changes and under water economy and water transport activities is emphasized.

*Key words*: channel regulation, management, channel stability, human impact, channel types, river channel regime, water economy activities, water transport activities

***Acknowledgments.*** The paper is prepared according to the plan of scientific research of the Department of Land Hydrology and the Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes with financial support of the Russian Science Foundation (projects № 18-17-00086 and 14-17-00155).

REFERENCES

*Berkovich K.M.* Geograficheskij analiz antropogennyh izmenenij ruslovyh processov [Geographical analysis of anthropogenic changes in channel processes]. M.: GEOS, 2001. 164 p. (in Russian).

*Berkovich K.M., Chalov R.S., Chernov A.V.* Ekologicheskoe ruslovedenie [Ecological channel processes study]. M.: GEOS. 2000. 332 p. (in Russian)

*Berkovich K.M., Ruleva S.N., Surkov V.V., Chalov R.S.* Ruslovye processy i antropogennye pereformirovaniya rusla nizhnej Tomi i ih vliyanie na landschafty pojmy [Channel processes human caused channel changes of the lower Tom' and their influence on the floodplain landscapes] // Eroziya pochv i ruslovye processy. Vyp. 11. M.: Izd-vo MGU. 1998. P. 215–240. (in Russian)

*Chalov R.S.* Klassifikaciya rek po usloviyam upravleniya ruslovymi processami pri reschenii vodohozyajstvennyh i vodnotransportnyh zadach [Classification of rivers to the cjnditions of channel processes management in hydroeconomic and water transport problems solution] // Voprosy geografii. Sb. 145. Gidrologicheskie issledovniya. M.: Kodeks. 2017. P. 169–182. (in Russian)

*Chalov R.S., Botavin D.V., Varenov A.L., Zavadskij A.S., Tarbeeva A.M.* Formirovanie rusel malyh rek Privolzhskoj vozvyschennosti v usloviyah mnogovekovogo selskohozyaistvennogo osvoeniya [Formation of small river channels of the Volga upland in conditions of centuries-long agricultural development] // Geografiya i prirodnye resursy. 2018. № 3. P. 84–94. (in Russian)

*Chalov R.S., Chalova A.S., Saharov A.I., Kuz2 mina E.M.* Ocenka slozhnosti ruslovyh processov na r. Lena i upravlenija imi dlya obespecheniya normalnyh uslovij sudohodstva [Evaluation of the channel processes complexity of the Lena River and their management for the safe navigation support] // Rechnoj transport (XXI vek). 2018. № 3. P. 49–56. (in Russian)

*Chalov R.S., Ruleva S.N., Mihailova N.M.* Ocenka morfodinamicheskoj slozhnosti rusla bolschoj reki pri planirovanii vodohozyajstvennyh meropriyatij (na primere r. Obi) [Evaluation of the channel morphology complexity of the big river while water economy activities planning (the Ob' River case study)] // Geografiya i prirodnye resursy. 2016. № 1. P. 29–37. (in Russian)

*Ermakova A.S.* Ruslovye processy na rekah Kamchatki [Channel processes of the Kamchatka peninsula rivers]. Avtoref. dis. kand. geogr. nauk. M.: MGU, 2009. 26 p. (in Russian)

*Frolov R.D.* Uluchschenie sudohodnogo sostoyaniya Volgi v nizhnem b2 efe Nizhegorodskoj GES putem korrektirovki rezhima stoka kaskadom Verhnevolzhskih vodohranilishch [Improvement of navigation of the Volga River downstream the Nijegorodskaya Hydropower Station due to correction of water flow regime regulation with the cascade of water-reservoirs of the Upper Volga] // Erozionnye i ruslovye processy. Vyp. 3. M.: MGU. 2000. P. 190–200. (in Russian)

*Makkaveev N.I.* Ruslovoj rezhim rek i trassirovanie prorezej [River bed mode and cuts tracing]. Moscow: Rechizdat, 1949. 202 p. (in Russian)

Opasnye ruslovye processy i sreda obitaniya lososevyh ryb na rekah Kamchatki [In-channel hrocesses hazards and salmon habitats at the Kamchatka peninsula]. M.: VNIRO. 2014. 240 p. (in Russian)

*Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Chalov R.S.* Katastroficheskie skorosti formirovaniya flyuvialnogo rel2 efa [Catastrophic temps of the fluvial relief formation] // Geomorfologiya. 1990. № 2. P. 3–11. (in Russian)

*Popov I.V.* Deformacii rechnyh rusel i gidrotehnicheskoe stroitelstvo [Deformations of the riverbeds and hydrotechnical construction]. L.: Gidrometeoizdat, 1965. 328 p. (in Russian)

Proektirovanie sudovyh hodov na svobodnyh rekah [Designing ship operations on free rivers] / Tr. ZNIIEWT. Vyp. 36. 1964. 262 s. (in Russian)

*Rumyancev I.S., Chalov R.S., Kromer R., Nestmann F.* Prirodopriblizhennoe vosstanovlenie i ekspluatacija vodnyh ob'ektov [Close to nature restoration and maintenance of waterbodies]. M.: MGU, 2001. 286 p. (in Russian)

Ruslovye processy i wodnye puti na rekah bassejna Severnoj Dviny [Channel processes and navigable waterway of the Severnaya Dvina River basin]. M.: OOO «Zhurnal RT». 2012. 492 p. (in Russian)

Ruslovye processy i wodnye puti na rekah Obskogo bassejna [Channel processes and navigable waterway of the Ob' River basin]. Novosibirsk: RIPEL plus, 2001. 300 p. (in Russian)

Transportnoe ispolzovanie vodohranilishch [Transport water reservoirs utilization]. M.: Transport, 1972. 223 p. (in Russian)

Vodnye puti bassejna Leny [Waterways of the Lena River basin]. M.: MIKIS, 1995. 600 p. (in Russian)

*Zaicev A.A.* Rezhim urovnej i uklonov na galechno-valunnyh perekatah i skalnyh vystupah v ruslah krupnyh rek [Water level and stream slope regime on the pebble-boulder riffles and bedrock reaches of the large rivers] // Meteorologiya i gidrologiya. 1989. № 12. P. 102–106. (in Russian)

Received 15.05.2019
Revised 28.06.2019
Accepted 28.06.2019