

ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Показана предопределенность возникновения и развития гидролого-морфологического направления исследований. Рассматриваются итоги работ применительно к рекам с естественным гидрологическим режимом. Намечаются задачи исследований русловых процессов рек с измененным стоком воды и наносов (в том числе по конкретизации и уточнению основных положений теории, разработке методов расчета и прогноза).

Ежегодно в стране строится большое число инженерных сооружений, требующих учета русловых процессов, надежного научно обоснованного долгосрочного прогноза возможных изменений (деформаций) русел рек. Это касается планирования и реконструкции городов, строительства промышленных предприятий, мостовых переходов, линий электропередач, нефте- и газопроводов, водозаборных и водосбросных сооружений, судоходных и обводнительных каналов, дамб, пристаней и причалов, русловыправительных сооружений и многого другого. Опыт показывает, что при проектировании этих сооружений далеко не всегда надлежащим образом учитываются закономерности русловых процессов, допускаются ошибки и просчеты, в результате которых происходят серьезные аварии. В качестве примера можно отметить относящиеся к неблагоприятным последствиям регулирования речного стока интенсивные размывы русел рек, происходящие в нижних бьефах ГЭС. В результате перестройки русел, иногда на протяжении десятков километров ниже плотины, а также в зоне выклинивания подпора, возникают последствия, отрицательно сказывающиеся на судоходных условиях, на работе водохозяйственных объектов и инженерных сооружений. Из-за недоучета руслового процесса заносятся наносами и временами выходят из строя водозаборы многих городов.

Отсутствие необходимых исходных данных и надежных методов прогноза русловых деформаций при проектировании, строительстве и эксплуатации мно-

гочисленных трубопроводов, линий электропередач нередко приводит: к разрыву труб, к нарушению работы трубопроводов, к потере нефти и газа, к загрязнению рек; к подмыву фундаментов опор ЛЭП и к разрыву ЛЭП, что ведет к прекращению подачи электроэнергии, к остановке работы фабрик и заводов.

В результате размыва и заиления русел ежегодно выходят из строя многие оросительные и осушительные каналы, происходит разрушение дамб, ограждающих от затопления сельскохозяйственные угодья в поймах рек, и многое другое.

Нередки разрушения мостовых переходов, вызывающие прерывания движения автомобильного и железнодорожного транспорта.

Этот перечень можно было бы продолжить, указав на огромный все возрастающий объем дноуглубительных работ при эксплуатации водного транспорта, крупных магистральных каналов, при лесосплаве. Основными причинами ущерба являются: недостаточная изученность сложного многофакторного процесса переформирования русел рек в полевых и лабораторных условиях и отсутствие достаточно разработанных общетеоретических основ русловых процессов, не позволяющее при современном уровне знаний производить надежные инженерные расчеты и составлять долгосрочные прогнозы их развития на десятки лет вперед.

Гидролого-морфологическое направление исследований русловых процессов вызвано к жизни необходимостью учета (наряду с законами гидравлики) при решении русловых задач закономерностей природной среды, в которой они действуют. Учет геоморфологической обстановки и режимных факторов, управляющих процессами, позволяет, например, оценить интенсивность плановых деформаций на участках рек большого протяжения, что не делается при гидродинамическом подходе. Особенно гидролого-морфологический подход эффективен в условиях недостатка детальных исходных данных и на предварительных стадиях проектирования.

Основы учения о динамике естественных водных потоков и русловых процессов заложены еще в конце XIX начале XX столетия В. М. Лохтиным, Н. С. Лелявским, Н. Н. Жуковским и др. в связи с работами по улучшению судоходных условий рек. Результаты этих исследований нашли отражение в трудах ежегодных съездов инженеров-гидротехников (с 1892 по 1893 гг.) и русских деятелей по водным путям (с 1893 по 1913 гг.). В последующем указанные основы развиты в трудах большого числа исследователей и в настоящее время в наиболее полном виде представлены в рамках гидролого-морфологической теории, разрабатываемой в ГГИ, и географического направления исследований в МГУ.

В результате участия гидрологов и геоморфологов в развитии учения о русловых процессах появился целый ряд «законов флювиальной геоморфологии» [1], например, такие, как законы взаимосвязи и взаимообусловленности видов эрозионно-аккумулятивных процессов, закон нелинейности связей, закон факторной относительности, закон взаимной обусловленности потока и русла (или принцип взаимодействия потока и русла), закон (или принцип) ограниченности морфологических комплексов, закон автоматического регулирования транспортирующей способности потока (закон баланса наносов в системе поток—русло).

«Законы» в какой-либо области тогда обращаются в науку [2, 3], когда исследованиями охватывается весь круг вопросов, имеется свой метод и вырабатываются основные положения, определяющие сущность предмета в целом и способные стать основой для разработки деталей. В точных науках эта часть называется аксиоматикой, за которой следует логика. Система аксиом должна быть полной и непротиворечивой с соблюдением условия их независимости. Они должны логически связывать основные понятия. На основе аксиом и определений дедуктивным методом устанавливаются закономерности между явлениями (обобщения, классификации, районирование и т. д.). Однако аксиомы даже строго дедуктивных наук не абсолютны. Они неоспоримы в рамках определенного состояния науки. Гидролого-морфологическая теория русловых процессов, безусловно, не строго дедуктивна. Она может быть построена путем открытий и обобщений новых фактов в области гидрологии, геоморфологии и гидравлики и взаимоотношений между объектами.

Аксиоматика теории русловых процессов создана Н. Е. Кондратьевым и составляет основу гидролого-морфологического направления исследований [2, 3]. Указанное направление возникло в 50-х годах XX века вследствие необходимости учета кроме гидродинамических сил закономерностей изменения среды, в которой эти силы действуют. Возникновение этого направления, учитывающего геоморфологическую обстановку и режимные факторы, управляющие процессами, подтверждает известную истину, что главные ошибки в исследованиях, как и главные резервы новых решений и открытий, следует искать в постановке задачи.

Слабым местом современной теории русловых процессов является недостаточная изученность самих процессов и отсутствие основных формулировок, отображающих их сущность. Отсюда — противоречия в разработке деталей, дискуссии по форме при потере интереса к строгости исходных позиций. Отсюда же и несколько преувеличенный интерес к математическому аппарату, которым подменяется теория. Даже само понятие «русловой процесс» («русловые процессы») представителями разных школ русловиков трактуется по-разному. В гидролого-морфологической теории под русловым процессом понимается видоизменение морфологического строения речного русла и поймы, постоянно происходящее под действием текущей воды. По Н. И. Маккавееву и Р. С. Чалову [4], русловые процессы это совокупность явлений, возникающих при взаимодействии потока и грунтов, из которых складывается ложе реки, явлений, определяющих развитие различных форм рельефа русел и режим их сезонных, многолетних и вековых изменений, влияющих на размыв дна и берегов рек, на транспорт и аккумуляцию наносов. Согласно гидролого-морфологической теории наука о русловых процессах развивается на стыке гидрологии, геоморфологии и гидродинамики (гидравлики). Однако у представителей разных школ русловиков обычно преобладает упор на одну какую-либо из этих наук. Так, в школах МГУ (Н. И. Маккавеев, Р. С. Чалов и др.) в большей мере получили развитие аспекты геоморфологии и географии, в РУДН им. Патриса Лумумбы (Н. А. Ржаницын, Е. К. Рабкова и др.) — аспекты гидрологии, у К. И. Россинского, И. И. Леви и их последователей — гидродинамические (гидравлические) аспекты и т. д.

С созданием общепризнанной системы аксиом в науке о русловых процессах отпадет необходимость в дискуссиях о предмете исследования, о методике науки, о терминологии. Наличие основных положений науки не препятствует ее обычному развитию по пути открытий и толкований новых фактов, а, наоборот, поможет в обобщении накапливающихся данных и в выявлении новых закономерностей.

Не излагая здесь подробно гидролого-морфологической теории, поскольку она достаточно хорошо известна и широко отражена в отечественной и зарубежной литературе, отметим, что главным ее достоинством является переход на позиции дискретности и распределение всего разнообразия проявлений русловых процессов по структурным уровням. Принцип дискретности (целостности русловых образований) применяется, в первую очередь, при общем анализе русловых процессов. Это выражается в распределении всего разнообразия проявлений русловых процессов по так называемым структурным уровням, объединяющим эти проявления в группы в последовательности их подчиненности, причем на каждом выделенном уровне обнаруживается действие своего закона, специфичного для него. Каждый тип русловых процессов, являясь результатом развития предшествующего типа и обладая его чертами (формами движения), в то же время несет в себе зачатки для развития следующего типа. Это же можно отметить и в отношении структурных уровней.

Выделяются, в первую очередь, три основных структурных уровня [2, 3]:

а) малые русловые формы (или микроформы) — мелкие массовые песчаные гряды, воспринимаемые как шероховатость дна, связанные с макротурбулентностью, с потерями энергии и расходом наносов;

б) средние русловые формы (или мезоформы) — большие песчаные скопления, определяющие общую морфологию русла, обладающие значительной инерционностью и определяющие общую конфигурацию скоростного поля потока;

в) большие речные формы (или макроформы) — полный комплекс русловых и пойменных морфологических элементов, образующий единое морфологическое звено, полностью характеризующее тип русловых процессов и отображающее всю совокупность характеристик жидкого и твердого стока.

Н. С. Знаменской [5], а в последующем и А. Ю. Сидорчуком предприняты попытки внедрить в русловые процессы формулировки системного подхода и усилить с их помощью методологию исследований, обосновать иерархию строения русловых форм. Р. С. Чаловым [4] составлена схема иерархии русловых форм.

Положенные в основу гидролого-морфологической теории представления дискретности, структурности и иерархии строения русловых форм отражают роль и значение геоморфологии, гидрологии и гидравлики, на стыке которых изучаются русловые процессы. Они позволяют с приемлемой точностью решать русловые задачи на уровне макроформ и морфологически однородных участков методами гидрологии и геоморфологии.

Важной частью научного обобщения является типизация русловых процессов, в которой расположение типов связывают с изменением транспортирующей способности потока. Типизации в какой-то мере заменяют отсутствие

строгих теоретических методов. Наличие типизации речных русел позволяет перейти к выявлению условий существования рек с определенным типом русловых процессов и к установлению критериальных значений гидравлических и морфометрических характеристик.

Основа современных, наиболее детально разработанных и общепризнанных типизаций русловых процессов ГГИ, МГУ и типизации Бондуранта, официально принятой (Проблемным комитетом по наносам при секции гидравлики Американского общества гражданских инженеров) в США, заложена в работах К. И. Россинского и И. А. Кузьмина [6]. В типизации русловых процессов ГГИ (типизации Н. Е. Кондратьева и И. В. Попова), в зависимости от особенностей деформаций русла и поймы, выделено семь типов русловых процессов (типов макроформ): русловая многорукавность (осередковый тип), ленточно-грядовый, побочневый, ограниченное меандрирование, свободное, незавершенное меандрирование и пойменная многорукавность.

Типизация русловых процессов ГГИ широко применяется при рассмотрении обратимых деформаций. При рассмотрении рек с измененным стоком воды и наносов эту типизацию целесообразно использовать совместно с динамической классификацией А. В. Караушева и И. Ф. Карасева [7, 8], учитывающей направленность русловых переформирований.

Гидролого-морфологическая теория русловых процессов разработана, главным образом, для рек в естественном состоянии. Основное ее назначение — получение фонового прогноза обратимых деформаций с заблаговременностью, равной периоду работы «пассивных» инженерных сооружений [3]. Составленные к настоящему времени в ГГИ нормативные документы по учету русловых деформаций, главным образом, относятся именно к проектированию пассивных инженерных сооружений (трубопроводов, ЛЭП, выпусков сточных вод). Необратимыми деформациями естественных рек вследствие замедленности их развития обычно пренебрегают. При этом прогноз дальнейшего хода русловых процессов предполагает сохранение схемы и темпов русловых переформирований в последующее время.

К. И. Россинский и И. А. Кузьмин отмечали, что исследования русловых процессов должны развиваться в двух направлениях: изменение руслового режима под влиянием регулирования стока рек и разработки методов создания новых русел для переброски речного стока из районов избыточного увлажнения в районы недостатка воды. При этом основной задачей является научиться прогнозировать развитие новых русловых форм, предугадать тип русловых процессов, оценивать пропускную способность русел: такие сложные задачи перед наукой о русле, по их мнению, раньше не стояли и не решались.

Действительно, исследование русловых деформаций в условиях измененного гидрологического и руслового режима (при интенсивном строительстве гидротехнических сооружений и реализации крупных водохозяйственных мероприятий) является сравнительно новым, но приобретающим важное значение и особенно нуждающимся в развитии разделом общей науки о русле [9, 10].

Бассейны рек соединяются каналами, создаются региональные водохозяйственные системы. Реки приобретают такие особенности, что можно говорить об их новых классах: реки с высокой зарегулированностью стока (канализован-

ные реки), реки-доноры (реки с отъемами-стоками), реки-водоприемники, антиреки, искусственные реки-каналы. На участках рек и каналов, выполняющих одни и те же функции в составе водохозяйственных систем, имеется определенная специфика в стоке воды и наносов, что предопределяет в какой-то мере проявление специфичности и в характере русловых переформирований. Постулаты гидролого-морфологической теории руслового процесса при этом нуждаются в уточнении и конкретизации. Законы русловых переформирований остаются неизменными, но проявляется русловой процесс в иной форме. Часто резко возрастает интенсивность однонаправленных деформаций. Значительное развитие получают местные (локальные) деформации вблизи гидротехнических сооружений.

На эмпирической стадии развития науки о русловых переформированиях в условиях измененного режима стока полезны классификации гидротехнических сооружений по степени влияния на русловый процесс, гидрологическая классификация каналов [11, 12].

Указанные классификации, а также комплексная водохозяйственная классификация водотоков и гидролого-морфологическая классификация каналов (включающие схемы классификации русловых процессов), принципы построения которых рассматриваются в работах [10, 12, 13], позволяют систематизировать имеющиеся к настоящему времени сведения о преобразованных реках, каналах в естественных грунтах; сгруппировать однотипные задачи русловых исследований для разработки типовых схем расчета и прогноза русловых деформаций с учетом физико-географических особенностей.

Они полезны при разработке схем регулирования и предотвращения нежелательных последствий руслового процесса, мероприятий и гидротехнических сооружений по его регулированию и стабилизации и позволяют перейти к разработке методов управления русловыми процессами в звеньях водохозяйственных систем.

На основе гидролого-морфологической теории прогнозы деформаций речных русел обычно составляются по ранее наблюдавшимся тенденциям в условиях сложившегося многолетнего режима жидкого и твердого стока. При этом предполагается сохранение средних гидрологических и гидравлических условий в будущем.

В условиях нарушенного стока воды и наносов рек может произойти изменение осредненных морфометрических и гидравлических характеристик и даже смена типов русловых процессов. Поэтому важно располагать критериями зависимостями, характеризующими условия перехода одного типа в другой и зависимостями, определяющими интенсивность (темпы) русловых переформирований. Известно также, что средние темпы не характеризуют реальных скоростей развития конкретных морфологических образований, а следовательно, и русловых деформаций, что вызывает необходимость применения методов статистики и теории вероятности.

Реки с измененным гидрологическим режимом посредством перестройки русла и поймы стремятся вернуться в состояние динамического равновесия. В таких случаях саморегулирование рек проявляется в наиболее яркой форме. При этом находят проявление прямая и обратная связи во взаимодействии про-

цессов эрозионно-аккумулятивного комплекса. Приспособление русла будет происходить в условиях развития однонаправленных, необратимых деформаций (исследованных до сих пор недостаточно) различно на разных участках преобразованных рек.

Так, русловой процесс рек с зарегулированным стоком обычно выражается в размыве и понижении отметок дна и сопровождается посадкой уровня воды, повышением и обсыханием поймы.

На реках-водоприемниках происходит саморазмыв первичных русел, играющих роль пионерных прорезей. При близком залегании к поверхности коренных трудно размываемых пород возможно расширение реки. Формируются новые русла большей пропускной способности, с иным характером русловых процессов.

На реках-донорах вследствие отъемов воды происходит заиление, занесение наносами водохранилищ и снижение интенсивности русловых процессов в нижних бьефах гидроузлов. При большом поступлении наносов через низконапорные гидроузлы возможно их отложение.

Особенности русловых деформаций преобразованных рек различных классов определяют особенности оценки их деформаций — методик расчета и прогнозирования [14–18]. Например, при расчете характеристик пропускной способности и прогнозирования русловых деформаций рек-водоприемников наряду с балансовыми методами могут использоваться морфометрические и гидравлические зависимости, полученные для земляных каналов при саморазмыве. При аналогической оценке рек-доноров применимы балансовые методы и морфометрические зависимости, используемые на предгорных реках с низконапорными гидроузлами при завале их нижних бьефов наносами.

При составлении прогнозов часто не бывает полной ясности в отношении проектных решений, которые не остаются окончательными. Ощущается нехватка исходных данных даже для применения гидроморфологических методов. В таких условиях наибольшее значение приобретают методические разработки и фоновые, а не детальные прогнозные оценки русловых процессов. При этом используются закономерности типов русловых процессов в виде качественных схем развития деформаций, аналогий, корреляционных связей (гидроморфологических зависимостей), комплекса статистических и вероятностных характеристик.

В последнее время стало очевидным, что без надежного расчета расхода донных наносов гидравлические методы количественной оценки (прогнозы и расчеты) русловых деформаций созданы быть не могут [19]. Одновременно признается, что за последние 30–40 лет многократно различными авторами в нашей стране и за рубежом выполнялось сравнение результатов расчетов по существующим рекомендациям и неизменно обнаруживалось расхождение по отдельным формулам в десятки и сотни раз. Отсюда ясно преимущество методов расчета деформаций, включающих приемы и способы математической статистики и теории вероятностей, для применения которых необязательно знание составляющих баланса наносов, расхода наносов и выяснение механизма переформирований.

Расчет и прогноз русловых деформаций не регламентируется до сих пор какими-либо официальными общегосударственными нормативными документами. Имеются лишь многочисленные, обычно недостаточно обоснованные ведомственные рекомендации. Кроме того, существующие типы инженерных и защитных сооружений недостаточно учитывают многообразие типов русловых процессов. Следует отметить также отсутствие систематического надзора со стороны проектных организаций за состоянием построенных по их проектам сооружений.

Разработка научно обоснованных методов управления русловыми процессами и реализация их в виде нормативных документов вызывается необходимостью защиты окружающей среды. Только эта мера позволит найти оптимальное соотношение между водохозяйственным использованием рек и сохранением природы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Проблемы теоретической геоморфологии. М., 1998.
2. Русловой процесс / Под ред. Н. Е. Кондратьева, Л., 1959.
3. *Кондратьев Н. Е., Попов И. В., Снищенко Б. Ф.* Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л., 1982.
4. *Маккавеев Н. И., Чалов Р. С.* Русловые процессы. М., 1986.
5. *Знаменская Н. С.* Системная методология как основа изучения руслового процесса // Динамика и термика рек и водохранилищ. М., 1984. С. 171–194.
6. *Россинский К. И., Кузьмин И. А.* Речное русло // Гидрологические основы речной гидротехники. М.; Л., 1950. С. 52–97.
7. *Караушев А. В.* Общие и некоторые частные вопросы теории русловых процессов и склоновой эрозии // Труды ГГИ. 1972. Вып. 191. С. 5–22.
8. *Карасев И. Ф.* Русловые процессы при переброске стока. Л., 1975.
9. *Антроповский В. И.* Гидролого-морфологические исследования руслового процесса при преобразовании речных систем // Исследование русловых процессов для практики народного хозяйства. М., 1983. С. 23.
10. *Антроповский В. И.* Основные положения гидролого-морфологической теории руслового процесса при исследовании искусственных и преобразованных водотоков // Труды Зап.-Сиб. рег. НИГМИ. 1985. Вып. 72. С. 85–98.
11. *Алтунин В. С.* Мелиоративные каналы в земляных руслах. М., 1979.
12. *Антроповский В. И.* Морфологическая классификация каналов в естественных грунтах // Гидротехническое строительство. 1986. № 9. С. 51–53.
13. *Антроповский В. И.* О классификации и районировании русел преобразованных рек и каналов // Гидротехническое строительство. 1984. № 11. С. 28–34.
14. *Антроповский В. И.* Прогноз общих русловых деформаций притоков при понижении базисов эрозии // Динамика и термика рек, водохранилищ и эстуариев. М., 1984. С. 104–106.
15. *Антроповский В. И.* О прогнозе общих русловых переформирований в узлах слияния рек при изменении водности и режима стока // Современные проблемы географии. Пермь, 1985. С. 109–110.
16. *Антроповский В. И.* Оценка пропускной способности и общих русловых деформаций рек-водоприемников // Мелиорация Нечерноземья. Л., 1986. С. 113–114.
17. *Антроповский В. И.* Оценка пропускной способности и общих русловых деформаций рек с отъемами стока // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. М., 1987. С. 362–363.

-
18. Кузьмин И. А., Викулова Л. И. Проблема русловых процессов при переброске стока // Водные ресурсы. 1974. № 2. С. 49–61.
19. Гришанин К. В. Динамика русловых потоков. Л., 1974.

V. Antropovsky, I. Denisova, A. Izotov

HYDROMORPHOLOGICAL TREND IN CHANNEL PROCESS RESEARCH

The predetermination of the origin and evolution of the hydromorphological research trend is shown. The research results for the rivers with undisturbed hydrological regimes are discussed. The objectives of the research of channel processes in the rivers with disturbed runoff and sediment yield (including clarification of basic principles of the theory and development of methods for computations and forecasting) are outlined.