

Обеспечение устойчивости русел судоходных рек

Г. Л. ГЛАДКОВ, докт. техн. наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета водных коммуникаций



Современные методы гидравлических расчетов и русловых прогнозов, а также систематический мониторинг характеристик гидрологического режима и натурные исследования позволяют сохранить устойчивость речного русла при реализации инженерных проектов, связанных с дноуглубительными работами.

Устойчивость речного русла как предмет исследования

Вопросы обеспечения устойчивости деформируемых русел судоходных рек при инженерном вмешательстве в естественный ход развития руслового процесса всегда являлись предметом профессиональной заинтересованности инженеров, работающих в области речной гидротехники. Устойчивость речного русла в значительной степени связана с условиями функционирования системы «поток — подвижное русло», взаимодействие внутри которой осуществляется по принципу обратной связи. До настоящего времени проблема определения устойчивости речных русел не получила строгого теоретического обоснования, специалисты пока не выработали методы обеспечения устойчивости руслового потока с подвижным дном. При этом авторы рассматривали различные аспекты устойчивости речных русел и формулировали для них свои критерии.

В этой области наиболее широкий круг составляют исследования, посвященные вопросам оценки начальной устойчивости частицы несвязного грунта на дне руслового потока. Несмотря на то, что универсальное решение этой проблемы пока не найдено, по результатам выполненных экспериментов физическая природа взаимодействия турбулентного потока и частицы грунта на дне в момент начала движения представляется вполне изученной. На основе многочисленных отечественных и зарубежных экспериментальных исследований установлены критерии, позволяющие оценить критические условия сдвига частицы грунта на дне потока.

Другая группа исследований посвящена вопросам переформирования русел рек под действием текущей воды. С точки зрения практических приложений прогноз русловых переформирований оказывается чрезвычайно важным при проектировании инженерных мероприятий на реках. Для оценки интенсивности изменения различных морфологических элементов русла в ходе естественных переформирований К. В. Гришанин предложил понятие временной устойчивости [1; 2].

Внутренние водные пути сообщения издавна занимали ведущее место в экономической жизни Российского государства. Наличие разветвленной речной сети, обширная территория и слабое развитие средств наземного транспорта в России способствовали развитию водного сообщения. В отдельные регионы Севера, Сибири и Дальнего Востока доставка массовых грузов до сих пор осуществляется исключительно водным транспортом.

На территории Российской Федерации подавляющее большинство судоходных путей (около 85% протяженности внутренних водных путей) — это реки, находящиеся в свободном состоянии. Для поддержания судоходных условий на реках ежегодно осуществляется комплекс путевых работ: дноуглубление (землечерпание) и выправление русел, берегоукрепление, руслоочистка, траление, а также навигационное оборудование водных путей.

Основную долю в общем объеме путевых работ составляют дноуглубительные работы на реках. Это обусловлено большой протяженностью водных путей России, с одной стороны, и спецификой их руслового режима — с другой. Используемые для судоходства русла свободных рек в России сложены преимущественно мелкими легкоразмываемыми грунтами. С помощью высокопроизводительных технических средств дноуглубления в течение длительного времени на реках планомерно увеличивались и поддерживались необходимые судоходные глубины. При этом относительная доля выправительных работ в общем объеме путевых работ была сравнительно небольшой, и в последние годы она имеет тенденцию к снижению.

Несмотря на значительное сокращение объемов транзитного землечерпания за последние 20 лет проблема оценки влияния путевых мероприятий

на морфологию русел и гидравлику речного потока остается по-прежнему актуальной. Более того, отдельные аспекты этой проблемы в современных условиях требуют разработки новых подходов в части научно-методического и организационного обеспечения.

В первую очередь это связано с совершенствованием водного и природоохранного законодательства в стране и необходимостью упорядочивания всех видов водохозяйственной деятельности на обводненных акваториях. К настоящему времени практически на всех судоходных реках Российской Федерации проявились неблагоприятные экологические последствия инженерных мероприятий, проводимых ранее на водных объектах. На некоторых судоходных реках этому способствовало значительное переуглубление перекатов при достижении гарантированных судоходных глубин. Однако в подавляющем большинстве случаев превалирующим оказалось влияние на гидрологический и русловый режимы рек добычи нерудных строительных материалов из русловых карьеров. Поэтому при планировании габаритов водного пути необходимо установить допустимые пределы возможного их увеличения с учетом современного состояния гидрологического и руслового режимов реки.

Недостаточные темпы обновления инфраструктуры путевого хозяйства и ограниченное бюджетное финансирование содержания внутренних водных путей побуждают к поиску наиболее экономичных способов поддержания судоходных условий. Их основу составляют современные методы эффективного выправления и восстановления русел рек, рациональное трассирование землечерпательных прорезей и мероприятия по снижению их заносимости, а также модернизация навигационного оборудования внутренних водных путей.

При этом под устойчивостью в данном случае понимается недеформируемость отдельного участка русла в течение ограниченного периода.

Условия устойчивости речных русел

В общем случае Гришаниным были сформулированы три условия статической устойчивости естественных речных потоков соответственно:

- условие скоростей течения $U_1 < U < U_2$,
- условие ускорений $\int_0^L \frac{\partial U^2}{\partial t} dl \approx 0$, (1)
- условие потерь энергии $\frac{\partial}{\partial t} \int_0^L I_f dl \approx 0$,

где U — средняя скорость течения;
 U_1 и U_2 — соответственно, ее нижний и верхний пределы;
 L — длина участка;
 I_f — уклон трения.

В соответствии с условием скоростей русловой поток, находящийся в устойчивом состоянии, поддерживает средние скорости течения в узком диапазоне. При этом нижняя граница скорости течения является критической величиной, при которой частицы донного материала приходят в движение. При достижении верхней границы происходит массовое взвешивание частиц грунта на дне потока. Внутри указанных пределов русловой поток регулирует условия движения воды и характеристики транспорта наносов, используя имеющиеся в его распоряжении степени свободы — изменяя гидравлические и морфометрические характеристики потока и русла.

Число степеней свободы, в пределах которых характеристики процесса регулируются в естественных условиях, может быть достаточно большим. К ним относятся такие возможности, как сортировка частиц грунта по крупности, включая образование отмостки на дне реки, способность руслового потока изменять параметры микроформ и, соответственно, характеристики гидравлического сопротивления и транспорта наносов. Сюда же можно отнести взаимодействие руслового и подруслового потоков, обмен между транзитными и руслоформирующими наносами, размыв берегов, сезонные деформации перекатов и др. Все это является внешними проявлениями реакции потока на естественные или искусственные изменения условий функционирования системы «поток — подвижное русло».



Условие ускорений заключается в том, что прямолинейные потоки с деформируемым дном оказываются неустойчивыми по отношению к возмущениям с большими длинами волн. Ответная реакция потока на эти возмущения проявляется в образовании мезоформ по длине реки. Таким образом, русловой поток преобразует прямолинейное русло в извилистое, в котором с определенным шагом чередуются перекаты и плесовые лощины. Система переходит от менее устойчивого состояния к более устойчивому, при этом конвективные ускорения по длине реки становятся знакопеременными, в результате чего исключается возможность проявления однонаправленных деформаций на протяженных участках рек.

До настоящего времени в динамике русловых потоков, за исключением отдельных частных решений, нет аппарата для математического описания плановых деформаций русел. Для практических нужд гидроморфологическая теория руслового процесса предлагает систему морфометрических и гидравлично-морфометрических зависимостей, определяющих условия устойчивости руслового потока на уровнях мезоформ и макроформ при разных типах руслового процесса. Общий критерий типа руслового процесса (по Б. Ф. Сنيщенко [3]) записывается в виде

$$A = (I / I_0) \times (B_0 / B),$$

где I_0 и B_0 — уклон дна речной долины и ее ширина;
 I и B — уклон реки и ее ширина в меженных бровках.

Средние значения параметра A изменяются в пределах от $A = 1,97$ для рек с русловой многорукавностью до $A = 36,6$ для свободно меандрирующих речных русел.

Третье выражение представляет собой условие потерь энергии. Оно характеризует слабую изменчивость уклонов свободной поверхности при колебаниях величины жидкого стока. Русловой поток создает русло с такими размерами и формами, которые приспособлены для пропускания расходов воды в широком диапазоне их изменения. При этом уклоны свободной поверхности и отметки уровней воды при колебаниях расходов воды в реке изменяются в минимальных пределах.

Перечисленные условия устойчивости речных русел были выявлены при многолетнем изучении руслового процесса и гидроморфологии русел рек. При отсутствии антропогенного воздействия они позволяют установить статистически устойчивые характеристики потока и русла на конкретном участке реки, выявить основную направленность и тенденции развития руслового процесса в естественном состоянии речного русла. Применительно к прямолинейным и слабоизогнутым плесовым лощинам равнинных рек К. В. Гришанин получил универсальное выражение для локального инварианта подобия в виде $M = H(gB)^{1/4} / Q^{1/2}$.

Данная зависимость является общей аналитической основой всех однозначных кривых расходов, где параметр M является постоянной квазиравномерного движения. Значение этого параметра, полученное по материалам гидрометрических измерений на устойчивых участках рек с мелкозернистыми донными отложениями, составляет в среднем $M \approx 0,9$ и не зависит от колебания уровней воды в реке. На участках рек, где соблюдается это равенство, можно говорить о соблюдении условия устойчивости русел, шероховатость которых создается и регули-



руется протекающими в них потоками. На этой основе в практических целях были разработаны рекомендации по определению размеров устойчивых каналов в несвязных грунтах.

Естественный русловой поток с деформируемым дном является устойчивым, если статистические характеристики его основных гидравлических и морфометрических показателей остаются неизменными в течение определенного времени. Для достижения такого состояния система «поток — русло» реализует широкий спектр имеющихся в ее арсенале возможностей.

Обеспечение устойчивости русла в условиях антропогенного воздействия

Выше были изложены необходимые условия статистической устойчивости русловых потоков, находящихся в естественном состоянии. Для обеспечения устойчивости в условиях инженерного воздействия на русловой процесс этот комплекс критериев должен быть дополнен исходя из соображений достаточности. При этом нужно иметь в виду, что при определенной степени воздействия, пока действует условие скоростей, поток будет в состоянии реагировать на происходящие изменения. Для того чтобы понять, как происходят эти изменения в реке и какой механизм для этого используется, необходимо изучать внутреннюю структуру турбулентного взвесенесущего потока.

В естественных условиях структура потока преобразуется вследствие изменения величины стока воды в реке, а также сезонных и многолетних русловых переформирований. Они заключаются в перестройке поля скоростей те-

чения по глубине и по ширине потока, изменении уклонов свободной поверхности и характеристик турбулентности. В связи с тем, что эти изменения явно или опосредованно связаны с параметрами донных волн и условиями транспорта наносов, значительный объем научных исследований был посвящен изучению характеристик донных гряд в речных руслах.

Инженерные мероприятия вторгаются в естественный ход развития руслового процесса, приводят к нарушению устойчивости русла. В зависимости от степени и продолжительности воздействия изменения характеристик руслового потока могут получить внешние проявления.

Обеспечить устойчивость русла в случае инженерного вмешательства — значит установить такую допустимую степень влияния на русловый процесс, при которой функционирование системы «поток — подвижное русло» заметно не изменится, а реакция потока на искусственные мероприятия в русле реки не затронет определяющих факторов руслового процесса. Результаты исследований и опубликованные данные других авторов свидетельствуют о том, что в подавляющем большинстве случаев ответная реакция потока в результате вмешательства в естественный ход развития руслового процесса направлена на восстановление устойчивости. При этом процесс восстановления, как правило, развивается по закону релаксации.

В начальный момент изменения происходят интенсивно на низших структурных уровнях руслового потока и затрагивают участок ограниченного протяжения. Впоследствии интенсивность развития процесса сни-

жается, однако изменения получают распространение по длине реки. С течением времени система «поток — русло» стабилизируется. При этом полное восстановление гидравлических и морфометрических характеристик потока и русла до исходного уровня, как правило, не происходит. Это значит, что изменения в русле реки, обусловленные антропогенным вмешательством, со временем будут проявляться на более высоких структурных уровнях и в зависимости от степени воздействия станут оказывать влияние на все элементы экосистемы.

Инженерные воднотранспортные мероприятия на реках могут служить пусковыми механизмами для развития необратимых эрозионных процессов. Понижение отметок дна вследствие эрозионного врезания русла приводит к снижению меженных уровней воды со всеми вытекающими отсюда неблагоприятными экологическими последствиями. Поэтому для обеспечения устойчивости русел судоходных рек в условиях антропогенного воздействия проектируемых воднотранспортных мероприятий сформулированы следующие выражения [4]:

$$\begin{aligned} I' / I &\approx 1, \\ \int_0^L \frac{\partial q_s}{\partial l} dl &\approx 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Первое из них устанавливает необходимость сохранения уровней воды при проектировании инженерных мероприятий в русле реки; второе обуславливает необходимость сохранения характеристик твердого стока на участке в зоне влияния мероприятий. Таким образом, совместное выполнение записанных критериев создает необходимые и достаточные условия для обеспечения статистической устойчивости речных русел при инженерном вмешательстве в естественный ход развития руслового процесса.

Определение степени влияния инженерных сооружений на русло

Оценить воздействие проектируемых мероприятий на окружающую среду при условии обеспечения критериев устойчивости представляется возможным в ходе гидравлического и математического моделирования руслового процесса на участке исследований. В отдельных случаях при решении практических задач возникает необходимость получить локальную характеристику устойчивости, определяющую

интенсивность руслового процесса в конкретном створе реки. Для этого используется набор известных коэффициентов и параметров.

Классификация речных инженерных сооружений и мероприятий была разработана Б. Ф. Смищенко [3]. В соответствии со степенью инженерного влияния на определяющие факторы руслового процесса все речные сооружения и мероприятия подразделяются на два класса — активные и пассивные.

В свою очередь, активные сооружения делятся на две категории.

Строительство сооружений категории I приводит к однонаправленному изменению характеристик одного или нескольких определяющих факторов руслового процесса и смене его типа. Реализация объектов гидротехнического строительства данной категории необратимо нарушает устойчивость системы «поток — русло» и однородность гидрологических рядов, а также изменяет условия формирования твердого стока и транспорта наносов на участке реки в зоне влияния сооружения.

Воздействие сооружений категории II приводит к локальному изменению некоторых характеристик определяющих факторов. Такие сооружения, как правило, не затрагивают коренной перестройки типа руслового процесса, а касаются лишь развития русловых образований на уровне мезоформ и микроформ. Поэтому вопросы обеспечения устойчивости русла в этом случае решаются путем установления величины допустимой степени воздействия проектируемых сооружений и мероприятий на русловый режим реки, в пределах которой речным потоком реализуются естественные природные (1) и антропогенно обусловленные (2) условия статистической устойчивости системы «поток — подвижное русло».

Если при строительстве сооружений категории II происходит превышение допустимой степени воздействия на русловый процесс, эти сооружения переходят в категорию I со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями для окружающей среды. Поэтому при проектировании речного инженерного сооружения в каждом конкретном случае основная задача инженера-проектировщика заключается в определении физически обоснованных критериев, ограничивающих допустимую степень воздействия антропогенных факторов на русловый режим реки.

Строительство пассивных сооружений в силу их конструктивных особен-

ностей не приводит к изменению определяющих факторов руслового процесса. Здесь приходится решать обратную задачу, а именно всесторонне учитывать русловый процесс при проектировании таких сооружений с целью обеспечения их нормальной эксплуатации в дальнейшем.

Расчет гидравлически допустимых судоходных глубин

Исследования по оценке влияния дноуглубительных прорезей на гидравлику потока и уровни воды на перекатах показывают, что условия устойчивости русел рек при дноуглублении будут соблюдаться, если степень воздействия на характеристики потока и русла не превысит допустимых пределов. Эти пределы устанавливаются расчетом при определении гидравлически допустимых судоходных глубин.

При проектировании работ по увеличению гарантированной глубины на судоходном плесе реки необходимо предвидеть, что по мере роста глубин на перекатах в результате дноуглубления могут возникать и прогрессировать местные понижения отметок свободной поверхности. По длине реки снизу вверх снижение уровней воды будет нарастать и приведет к неблагоприятным экологическим последствиям. При перспективном планировании габаритов пути на свободных реках такие изменения должны учитываться. Поэтому в проблеме улучшения судоходных условий важное место занимает вопрос определения максимально возможной судоходной глубины, предельной по гидравлическим условиям потока.

Развитие теории руслового процесса и актуальность вопросов охраны окружающей среды обусловили необходимость создания качественно нового метода расчета предельных судоходных глубин. В основу этого метода положены принципиально новые данные, полученные в результате исследования взаимодействия потока и русла в зоне влияния дноуглубительной прорези, которые заключаются в следующем.

Современные исследования в области речной гидравлики показали, что в реках с подвижными донными отложениями связь между уклонами свободной поверхности и глубинами на перекатах проявляется слабее, чем в руслах с гравийно-галечным дном. Это позволяет получить на реках с подвижным дном относительно большой прирост судоходных глубин без заметного снижения бытовых (меженных) уровней воды. Данный вывод убедительно подтверждается результатами исследований влияния дноуглубительных работ на уровеньный режим судоходных рек с различными грунтами донных отложений. Таким образом, новые расчетные зависимости позволили не только выявить физическую природу процессов в русле реки, но и значительно повысить качество и надежность гидравлических расчетов при оценке влияния проектируемых инженерных мероприятий на гидравлику речного потока.

Специфика морфологического строения естественных русел судоходных рек характеризуется чередованием по длине реки перекатов и плесовых ложин. Этот фактор оказывается благоприятным с точки зрения возможного роста судоходных глубин на перекатах.





Снижение уровней воды на перекате, вызванное разработкой дноуглубительной прорези, компенсируется в пределах вышерасположенной плесовой лощины. При этом чем сильнее понижается уровень воды на перекате, тем сравнительно быстрее он восстанавливается в верхней плесовой лощине, а относительно более длинные и менее глубокие плесовые лощины характеризуются более высокой степенью компенсации снижения уровней воды.

На основе экспериментальных и натурных материалов исследовалось влияние дноуглубительной прорези на кинематику потока и параметры транспорта наносов на участке ее размещения в одноканальных и разветвленных руслах. Полученные данные позволили изучить степень и характер изменений гидравлических и морфометрических характеристик потока и русла, происходящих в результате проведения дноуглубительных работ. На основе материалов этих исследований было установлено, что на участке разветвления русла на рукава эффект влияния прорези на гидравлику потока вследствие перераспределения расхода воды между рукавами сказывается слабее, чем в одноканальном русле.

Эти научные результаты нашли отражение в соответствующих разделах расчетного обоснования Методики расчета гидравлически допустимых судоходных глубин на свободных реках. В рамках данной методики были установлены связи между уклонами свободной поверхности и глубинами на перекатах, оценена компенсирующая роль плесовых лощин при дноуглублении, разработаны схематизированные модели для перекатных сечений и судо-

ходного плеса в целом, учтены морфологические аспекты перекатов при дноуглублении и другие вопросы, необходимые для решения основной задачи. Методика прошла успешную апробацию при выполнении гидравлических расчетов для целого ряда судоходных участков равнинных рек России и с учетом дальнейшего совершенствования и развития используется в настоящее время в расчетной практике [5; 6] при составлении разделов по оценке воздействия на окружающую среду в инженерных воднотранспортных проектах.

Требования к проектам по увеличению судоходных глубин

Основные требования, которым необходимо следовать при проектировании мероприятий по увеличению судоходных глубин и русловых карьеров нерудных строительных материалов (НСМ) на реках с учетом обеспечения устойчивости естественных речных русел, заключаются в следующем.

В результате анализа факторов, ограничивающих возможный рост судоходных глубин и извлечение речного аллювия, устанавливается, что неблагоприятные экологические последствия обусловлены в основном возможным снижением уровней воды, поэтому в качестве исходного условия принято требование сохранить в пределах точности измерений существующие проектные уровни путевых работ. Поскольку влияние воднотранспортных мероприятий на реках имеет пространственно-временной характер, это требование должно соблюдаться в течение всего времени восстановления характеристик руслового

процесса в зоне их возможного влияния.

Данное требование может быть выполнено в том случае, если в результате инженерных мероприятий на участке реки не произойдет существенных изменений условий транспорта наносов. Для этого в зоне влияния инженерных мероприятий должен быть обеспечен беспрепятственный транзит русловых фракций наносов в той же мере, как это имело место в бытовом состоянии до их проведения.

Наиболее значительное воздействие на устойчивость естественных русел оказывают путевые мероприятия, связанные с разработкой крупных судоходных прорезей, связанных с переносом судового хода и возведением выправительных сооружений на реках. Мероприятия по переносу судового хода выполняются в случаях отторжения побочной, спрямления излучин, улучшения судоходных условий на участках разветвлений и т.д. При разработке таких прорезей составляется проект, в котором рассматривается целый ряд разделов, связанных с их устойчивостью. Нужно полагать, что в проектах крупных судоходных прорезей должны разрабатываться в полном объеме разделы по оценке воздействия на окружающую среду для обеспечения устойчивости русел в зоне возможного влияния проектируемых мероприятий.

Проектирование выправительных сооружений

Сказанное в полной мере относится к проектированию выправительных сооружений на водных путях. Для решения целого ряда задач, связанных с улучшением судоходных условий на реках, применение выправительных сооружений считается весьма эффективным. С помощью выправительных работ достигается увеличение габаритных размеров судового хода и улучшение плановых очертаний русла за счет использования руслоформирующей деятельности самого потока, направляемой специально построенными выправительными сооружениями. На практике для этого применяются продольные струнаправляющие и наносоуправляющие сооружения, полузапруды и запруды, донные буны, береговые шпоры и другие береговые укрепления.

Выправление русла может приводить к существенным изменениям его пропускной способности, транспортирующей способности потока и морфологии самого русла. Часто выправление

осуществляют посредством разработки капитальных дноуглубительных прорезей, обеспечивающих изменение положения трассы судового хода (отторжение побочней, разработка ранее несудоходных рукавов и т.д.). При этом грунт, извлекаемый из прорезей, используется для намыва выправительных сооружений, повышения отметок побочней, перекрытия вредных емкостей русла.

Выправление русла с разработкой капитальных прорезей производится при необходимости коренного улучшения судоходных условий и в наибольшей степени должно опираться на тенденции естественных русловых переформирований и закономерностей развития крупных элементов руслового рельефа.

Выправительные сооружения оказывают на поток многолетнее регулирующее воздействие, приводя к активному изменению характеристик естественного руслового процесса. Поэтому их проектирование и строительство производится согласно перспективной схеме улучшения судоходных условий или по специальным проектам, которые проходят государственную экологическую экспертизу в том же порядке, что и проекты коренного улучшения судоходных условий.

Проектирование русловых карьеров нерудных строительных материалов

Добыча НСМ из русел судоходных рек оказывает наиболее сильное влияние на их устойчивость. На участках размещения русловых карьеров в значительной степени изменяются гидравлические характеристики потока, ровный режим и условия транспорта наносов. Перехват твердого стока в карьере приводит к проявлению необратимых эрозионных процессов в зоне его влияния. Обеспечить устойчивость русла реки при добыче речного аллювия оказывается труднее, чем при проведении эксплуатационного дноуглубления. Поэтому при проектировании русловых карьеров большое значение приобретают вопросы рационального (с точки зрения охраны окружающей среды) размещения их на реках.

Разрабатываемый в составе проекта карьера на обводненном месторождении НСМ раздел по оценке воздействия на окружающую среду должен иметь комплексный характер. Если на участке реки планируется добыча НСМ на нескольких месторождениях, то следует рассматривать их совместное влияние,

включая вопросы обеспечения водных подходов. Данный раздел проекта должен содержать оценку состояния руслового процесса на участке на момент отработки месторождения и прогноз его развития на перспективу. В случае, если влияние техногенных факторов в районе проектируемого карьера уже имеет место, то в составе проекта необходимо предусматривать комплекс специальных компенсационно-восстановительных мероприятий.

При проектировании русловых карьеров часто возникает вопрос о степени допустимого их воздействия на русловую процесс. Нужно признать, что до настоящего времени ограничительные требования по вопросам разработки обводненных месторождений на реках не имеют достаточного нормативного обеспечения. В прежние годы предельные объемы добычи увязывались с нормой твердого стока, что противоречит сформулированным выше условиям устойчивости русла. В соответствии с установленными требованиями проектируемый карьер должен иметь такие размеры и месторасположение, чтобы к моменту завершения процесса восстановления в зоне его влияния были сохранены бытовые уровни воды, а также характеристики твердого и жидкого стока. С учетом этих соображений необходимо принять за правило, что разработка карьеров в основном русле должна сопровождаться проведением защитных мероприятий, предотвращающих заполнение отработанной емкости русловыми наносами.

Решение вопроса о рациональном размещении карьера определяется, в первую очередь, условиями развития руслового процесса на участке реки. В соответствии с гидроморфологической теорией руслового процесса все равнинные реки подразделяются на шесть типов. На разных реках принципы размещения карьеров НСМ различны. Различается также степень их возможного влияния на русловый режим. Основные принципы размещения русловых карьеров НСМ на реках разного типа были разработаны Государственным гидрологическим институтом и изложены в соответствующих рекомендациях [7].

Здесь не рассматриваются вопросы, связанные с проектированием и расчетом защитных сооружений на участках размещения карьеров НСМ на реках. Это связано, с одной стороны, с тем, что для некоторых типов выправительных сооружений — запруд, полужапруд и

струенаправляющих дамб — такие рекомендации имеются в путевой практике. Влияние на поток и условия транспорта наносов сквозных свайных сооружений и ограждающих дамб к настоящему времени изучено в меньшей степени, и по этим вопросам необходимо проведение дополнительных исследований. То же можно сказать о применении донных сооружений, в особенности сквозной конструкции, которые можно рекомендовать в перспективе для реализации восстановительно-компенсационных мероприятий на реках, подверженных влиянию техногенных факторов.

Анализ материалов натурных наблюдений, выполненных на судоходных реках Российской Федерации, показывает, что проведение путевых мероприятий, связанных с обеспечением судоходных условий, в подавляющем большинстве случаев не приводит к нарушению условий устойчивости естественных русел. На практике можно привести лишь несколько примеров судоходных участков, где достигнутые глубины превысили значения гидравлически допустимых судоходных глубин, в результате чего произошло понижение меженных уровней воды. Примеров негативного влияния карьерных разработок на гидрологический и русловый режимы судоходных рек значительно больше. В отдельных случаях эффект влияния дноуглубительных работ может усиливать влияние карьерных разработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришанин К. В. Устойчивость русел рек и каналов. — Л.: Гидрометеоиздат, 1974.
2. Гришанин К. В. Динамика русловых потоков. — Л.: Гидрометеоиздат, 1979.
3. Кондратьев Н. Е., Попов И. В., Снисенко Б. Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. — Л.: Гидрометеоиздат, 1982.
4. Гладков Г. Л. Гидролого-экологическая безопасность внутренних водных путей. — Безопасность водного транспорта: Тр. междунар. научн.-практич. конф. // Т. 2. — СПб.: ИИЦ СПГУВК, 2003.
5. Руководство по улучшению судоходных условий на свободных реках. — СПб.: ЛИВТ, 1992.
6. Гладков Г. Л., Журавлев М. В., Соколов Ю. П. Оценка воздействия на окружающую среду инженерных мероприятий на судоходных реках. — СПб.: Изд-во А. Кардакова, 2005.
7. Рекомендации по прогнозу деформаций речных русел на участках размещения карьеров и в нижних бьефах гидроузлов. — Л.: Гидрометеоиздат, 1988.

Фото: Б. М. Николаев