

УДК 556.537:504.062

К. М. БЕРКОВИЧ, Л. В. ЗЛОТИНА, Л. А. ТУРЫКИН

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

## РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕКИ (НА ПРИМЕРЕ ОКИ)

*На примере части верхнего и среднего течения р. Оки от Калуги до с. Половское Рязанской области показаны последствия антропогенных нарушений речного русла. Установлено, что основную роль в нарушении русла сыграла разработка русловых карьеров стройматериалов, продолжающаяся уже почти 60 лет. Участок исследования делится на две части в соответствии с морфологией и устойчивостью русла, а также реакцией русла на нарушения. На основе анализа минимальных меженных уровней воды выявлены тенденции развития русла до начала и во время действия антропогенных нарушений. Оценен объем безвозвратно удаленного из русла песчано-гравийного материала, относящегося к донным наносам, выявлены величина и темпы направленных деформаций. Предложены рекомендации по регулированию русловой добычи на реке и смягчению последствий для гидрологического режима, инфраструктуры, судоходства.*

Ключевые слова: русловые процессы, речные наносы, техногенные нарушения русел.

*A case study of the upper and middle reaches of the Oka river from Kaluga to the settlement of Polovskoe in Ryazan oblast demonstrated the consequences of anthropogenic disturbances of the river channel. The study revealed that a dominant role in the disturbance of the channel was played by the extraction of building materials from in-stream mines which continues for nearly 60 years now. The study section is divided into two parts in accordance with the morphology and resistance of the channel as well as with the response of the channel to disturbances. Analysis of the minimum low-water flows revealed development tendencies of the channel prior to the start and at the time of anthropogenic disturbances. We estimated the volume of non-renewable sand-and-gravel bed material that was removed from the riverbed, and identified the magnitude and rate of directional deformations. Recommendations are proposed for the regulation of the extraction operations on the river, and for the consequences mitigation in respect of the hydrological regime, infrastructure and navigation.*

Keywords: channel processes, fluvial sediments, technogenic disturbances of channels.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Формирование речного русла — сложный процесс, зависящий не только от стока воды и наносов, но и от целого набора геологических и географических факторов, который река получила «в наследство» от предыдущих эпох, а также от деятельности человека в прошлом и настоящем. К природным ресурсам рек относится не только вода, но и наносы. Они являются естественным элементом любой реки, частью экологической системы. Вместе с тем речные наносы рассматриваются как ресурс, широко востребованный в промышленности и строительстве. Добыча песчано-гравийных материалов из русловых и пойменных карьеров — один из активно развивающихся в последние десятилетия видов использования ресурсов рек. Большая часть запасов таких материалов — это речные наносы, преимущественно влекомые, которые играют значительную роль в устойчивости природной системы. Влияние русловых карьеров на речные русла и экосистему представляет собой глобальную проблему.

Последствия разработки русловых карьеров исследовались начиная с 1970-х гг., хотя они к тому времени уже широко проявились [1–4]. Добыча аллювиальных песчано-гравийных материалов приводит к существенным изменениям речных русел, нарушает непрерывность стока наносов, вызывает серьезные гидрологические последствия, часто создает опасные ситуации для инфраструктуры и сооружений. Все это вызывает серьезную озабоченность и требует принятия мер по стабилизации русла и восстановлению его естественного состояния, что невозможно без всесторонней оценки произошедших изменений и прогноза дальнейшего развития русла.

### ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследований — Ока, второй по величине приток Волги, типичная равнинная река со средним уклоном около 0,1 ‰. Наиболее проблемным отрезком Оки во второй половине XX — на-

чале XXI в. является часть верхнего и среднего ее течения — от Калуги до с. Половское Рязанской области — протяженностью более 450 км. На данном участке реки, лежащем в средней полосе России, находится много крупных городов и промышленных предприятий, для него характерна высокая плотность населения. В силу этих причин он подвергался интенсивным, прежде всего прямым, нарушениям, среди которых выделяется разработка русловых карьеров строительных материалов, продолжающаяся уже почти 60 лет. Исследования русла реки впервые проведены авторами в 1991–1993 гг., когда понижение уровней воды вызвало большую озабоченность водопользователей. С различной периодичностью исследования повторялись до настоящего времени на отдельных, наиболее проблемных участках [5–7].

В состав исследований входили: съемка и промеры русла, выполненные по современным технологиям с использованием спутникового позиционирования; однодневные связки уровня, позволяющие выявить как форму свободной поверхности, так и тенденции ее изменения; отбор и анализ проб донных наносов.

Морфология и строение долины Оки в пределах участка исследований разнообразны. От Калуги до впадения р. Москвы долина реки сравнительно узкая, с выходами коренных пород. Ширина русла в среднем равна 200–250 м, средний уклон — 0,05–0,07 ‰. Русло реки в основном прямолинейное, образует врезанные и адаптированные излучины. Горизонтальные деформации русла медленные и малозаметные, так как берега реки чаще всего сложены трудноразмываемыми породами. Ниже впадения р. Москвы Ока вступает в Мещерскую низменность, и долина реки расширяется до 20–30 км. Морфодинамический тип русла меняется: оно становится типично меандрирующим. Резко уменьшается коэффициент устойчивости русла, увеличиваются темпы горизонтальных деформаций. Литологические особенности строения долины и история ее развития явились причиной того, что руслообразующие наносы верхней Оки представлены крупнозернистыми песками и гравием крупностью местами до 3 мм, в русле встречаются галька и щебень коренных пород, а также глина. В то же время русло средней Оки проходит в мелкозернистых песках, крупность которых составляет 0,4–0,5 мм.

Гидрологический режим Оки типичен для восточноевропейского типа: преимущественно снеговое питание, высокое весеннее половодье, низкие летняя и зимняя межени. Средний многолетний расход воды увеличивается по длине участка с 284 до 539 м<sup>3</sup>/с. Средняя продолжительность половодья составляет от 30 до 45 сут. Максимальный среднесуточный расход за последние 70 лет менялся по длине участка от 2500 до 4600 м<sup>3</sup>/с. В целом с середины 1930-х гг. происходит постепенное снижение водности реки, в основном за счет уменьшения максимальных расходов. При этом минимальные расходы возрастают, что объясняется увеличением доли подземного питания.

Расчет эквивалентного расхода [8] с учетом транспортирующей способности потока во всем диапазоне расходов воды показал, что наибольшую роль в транспорте наносов в последние 20 лет играют расходы воды около 2000 м<sup>3</sup>/с, проходящие при уровне, предшествующем выходу воды на высокую пойму. Обеспеченность диапазона расходов, имеющих руслоформирующее значение, не превышает 3,5 %. Аналогичные результаты получили Б. Н. Власов и Р. С. Чалов [9] в 1960–1970 гг.

Важным условием развития русла и регулирования использования природных минеральных ресурсов является сток руслообразующих наносов, к которым относятся частицы размером более 0,1 мм, а также наносов, переносимых постоянно во влекомом состоянии. Руслообразующие наносы содержатся в потоке в незначительном количестве, хотя в отдельные годы и при расходах воды более 3000 м<sup>3</sup>/с их содержание достигает 30 %. Анализ соотношения динамической скорости и гидравлической крупности наносов показал, что на участке реки от Калуги до Коломны наносы, обнаруженные на дне реки, со средним диаметром 0,5–0,8 мм при всех фазах гидрологического режима, кроме низкой межени (расходы воды менее 200 м<sup>3</sup>/с), перемещаются в форме донного влечения [10]. Измерения на разных участках верхней Оки, сопровождаемые расчетами, основанными на детальном промере русла, позволили оценить объем стока наносов, которые переносятся преимущественно в виде донных гряд, в 220 тыс. м<sup>3</sup> в год.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Песок и гравий, отложенные русловыми потоками за длительную историю существования рек, широко используются как строительные материалы. Во многих местах их добывают непосредственно из русла с помощью тяжелой техники. Русловые песчано-гравийные материалы ценятся за то, что требуют меньше обработки, чем добытые из других источников, их отложения обычно находятся вблизи рынков сбыта или транспортных маршрутов. Мировой опыт оценки последствий использова-

ния этого важного природного ресурса показывает, что оно нуждается в строгом регулировании. Наиболее значительные последствия, с которыми столкнулись на многих реках Европы, Северной Америки, России, связаны с тем, что добыча руслового аллювия осуществлялась без учета закономерностей русловых процессов и стока наносов. Долгое время добычу аллювиальных материалов предлагалось регулировать на основе концепции «восстановления» [2], применяемой в случае открытых поверхностных карьеров, которая предполагает, что влияние на окружающую среду ограничено самим карьером. При этом мероприятия по рекультивации рассматриваются в изоляции от изменения окружающей территории. В рамках этой концепции не учитывались последствия, характерные именно для русловой добычи.

Русловая добыча отличается тем, что ведется в динамичной среде, какой является речное русло, и влияние каждого разработанного карьера распространяется вверх и вниз по течению как во время разработки, так и долгое время после нее. Поток реки постоянно деформирует русло, уничтожая выемки карьеров и создавая обманчивое впечатление, что влияние карьера на русло прекращается, однако это не так. Объем добычи обычно на порядок и больше превышает поступление донных наносов. Удаление наносов из русла нарушает баланс вещества и инициирует процессы деформации, обычно врезание, распространяющееся на значительные расстояния за пределы карьера. Одновременно меняются морфометрические характеристики русла и его отметка, формируются глубокие выемки и неровности дна.

Регулирование использования этого вида ресурсов во многих случаях не осуществляется. Существует два подхода к регулированию. Первый из них — определение так называемой красной черты — минимальной отметки дна русла, ниже которой оно не может опуститься в процессе разработки карьеров и врезания. Определение красной черты базируется на экспериментальных исследованиях и теоретических моделях русловых деформаций. Однако они являются упрощенными, и их применение ограничено ненадежными зависимостями для расхода наносов и гидравлических сопротивлений. Второй подход к регулированию русловой добычи — ограничение объема годовой добычи величиной годового стока донных наносов или ее частью, рассматриваемой как норма компенсации. Норма компенсации должна базироваться на измерениях отложения наносов и меняться от года к году в соответствии с изменениями стока наносов.

В любом случае регулирование этого вида деятельности человека требует строгого учета русловых процессов, на основе которого определяются возможность добычи аллювия вообще, местоположение русловых карьеров, годовой объем добычи, прогноз последствий.

Русло верхней Оки за историческое время испытало значительные изменения, в частности вследствие деятельности человека. Сельскохозяйственное освоение верховьев бассейна привело к развитию аккумуляции в русле реки, которая в первой половине XX в. распространилась на 300–400 км от истоков [8]. Однако далее этот процесс не развивался. Более того, уже ниже Калуги в первой половине XX в. обнаруживались признаки врезания — понижение минимальных уровней воды, хотя и небольшое. В то же время в районе Рязани и ниже по течению в этот период наблюдалось повышение минимальных уровней, которое связывали с тектоническим опусканием Мещерской низменности [8].

Со второй половины XX в. обнаружилась новая тенденция развития русла — быстрое понижение уровней воды, обусловленное исключительно техногенными факторами. Смена тенденции имеет четкие временные рамки (табл. 1), что позволяет связать ее с новым для Оки техногенным фактором — добычей аллювиальных материалов из русла реки. К подобному эффекту могут привести и другие техногенные факторы (плотины, защита берегов от размыва, изменение режима потока), однако в условиях верхней Оки ведущим фактором трансформации русла является добыча. Следует отметить, что это понижение уровней происходило на фоне увеличения минимальных расходов воды, особенно заметного с 1970-х гг.

Таблица 1

**Изменение минимальных уровней воды за период наблюдений**

Расстояние от устья, км	Пункт	Понижение (–) или повышение (+) уровня воды (м) за периоды (годы)					Сумма изменений, м	
		1880–1930	1931–1949	1950–1974	1975–1990	1991–2011	до начала добычи	за период добычи
1100	Калуга	–0,16	+0,06	–0,61	–0,23	–0,36	–0,10	–1,20
970	Серпухов	–0,13	–0,36	–0,94	–0,55	–0,64	–0,49	–2,13
920	Кашира	–0,72	+0,10	–0,91	–0,57	–0,50	–0,62	–1,98
700	Рязань		–0,08	+0,57	–0,11	–2,00	+0,49	–2,11

Объем материала, удаленного из русла верхней и средней Оки за 1950–2012 гг., очень велик. На верхней Оке находится 60 % всех разведанных на реке месторождений песка и песчано-гравийной смеси с запасами почти 500 млн м<sup>3</sup>. О степени трансформации русла можно судить по тому, что большая часть месторождений к 2007 г. уже отработана, аллювий из них удален и использован. Так, на участке от Калуги до с. Половское (ниже Рязани) только в 1970–1980 гг. было извлечено около 100 млн м<sup>3</sup> песчано-гравийных материалов (ПГМ). После 1991 г. объем добычи заметно снизился, хотя она продолжается и в настоящее время. По оценочным данным, на участке добывается около 4 млн м<sup>3</sup> в год.

Главная черта русловых карьеров верхней Оки — их значительная протяженность. Средняя длина отработанных к середине 2000-х гг. месторождений составляет 4 км, а максимальная — 9,9 км. То, что месторождение отработано, означает, что на этом отрезке русла удалены все разведанные запасы. Как правило, формируются выемки глубиной 7–10 м, шириной более 2/3 ширины русла. Расстояние между отработанными месторождениями часто настолько мало (в районе Алексина, Серпухова и Каширы), что карьеры соединяются между собой. В результате многие участки русла превращены в длинные переуглубленные плесовые ложины, а объем вмещающего поток русла многократно увеличивается. Среднее понижение дна на участке от Калуги до Коломны длиной 250 км за период 1937–1991 гг. составило 1,9 м, максимальное — около 10 м (рис. 1). Понижение дна приводит к снижению отметки уровня, причем оно тем больше, чем длиннее выемка, так как пропорционально исходному падению водной поверхности. Поэтому в пределах длинных отработанных месторождений сформировались почти горизонтальные ступени водной поверхности.

На верхней Оке такие ступени чередуются с сохранившимися перекатными участками, на которых уклон резко увеличивается. Очевидно, резкая ступенчатость продольного профиля водной поверхности обусловлена как разработкой длинных и глубоких выемок, так и особенностями геологического строения перекатных участков. Из-за малой мощности аллювия и его большой крупности они не попадали в разряд запасов ПГМ и остались нетронутыми, что до некоторой степени сдерживало распространение посадки уровней. В районе Рязани, где русло песчаное и слабоустойчивое, продольный профиль водной поверхности, несмотря на большие объемы карьеров, не образует отчетливых ступеней, так как перекааты легко размываются, а карьеры были сравнительно короткими.

Характерной чертой руслового рельефа является чередование плесов и перекаатов. Перекааты играют ведущую роль в саморегулировании русла [11]. Выраженность плесов и перекаатов может характеризоваться коэффициентом вариации глубины по длине. Обнаружено, что на участках реки с отчетливо выраженной плес-перекатной структурой дна коэффициент вариации глубин ( $C_v$ ) по оси судового хода, т. е. максимальных межженных глубин, составляет 0,7–0,8 [12], в то время как на участках русла, подвергшихся искусственному углублению, он уменьшается до 0,3–0,4. Анализ распределения максимальных глубин по длине реки показал, что до начала массовой разработки русловых карьеров (в конце 1930-х гг.)  $C_v$  на участке Калуга–Коломна и в районе Рязани превышал 0,7. Сле-

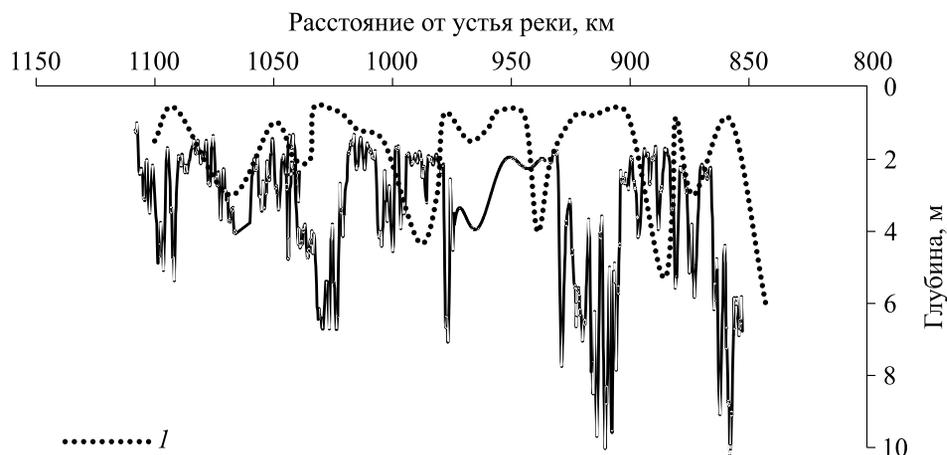


Рис. 1. Продольный профиль дна р. Оки от Калуги до Коломны к 2010–2012 гг. (глубина приведена к одному уровню, соответствующему расходу 150 м<sup>3</sup>/с в Калуге).

I — 1937 г.

Таблица 2

Коэффициенты вариации максимальных меженных глубин

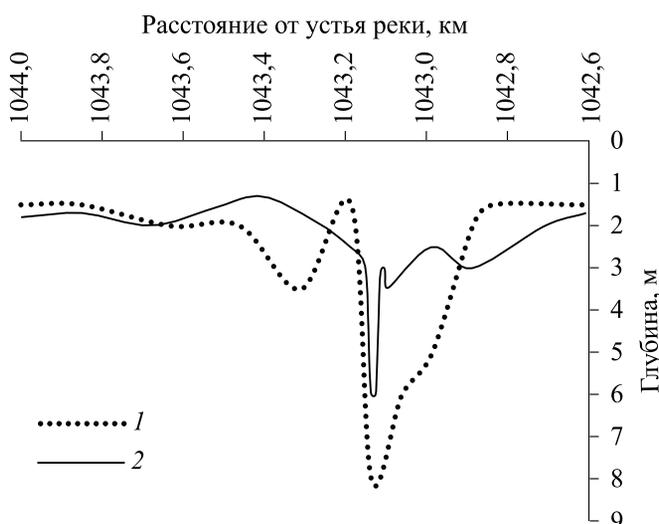
Участок	Длина, км	Годы			
		1937–1939	1973–1979	1991–1993	2003–2012
Калуга–Серпухов	130	0,66	0,44	0,56	0,38
Серпухов–Коломна	120	0,83	0,54	0,53	0,31
Кузьминский–Половское	108	0,75		0,25	0,27

дует отметить, что в то время основным видом нарушений русла были землечерпательные работы, выполнявшиеся в небольших объемах. Регулярное проведение дноуглубительных работ способно в известной мере изменить морфометрические характеристики русла, однако это происходит в тех случаях, когда глубина судового хода увеличивается до величины, превышающей гидравлически допустимую [13]. Расчетная гидравлически допустимая глубина верхней Оки составляет 1,5 м, средней Оки — 2 м. Современная гарантированная глубина (0,7–1,2 и 1,7 м) не превышает допустимой, поэтому можно полагать, что в первой половине XX в. землечерпание не оказало существенного влияния на морфометрию русла.

К началу XXI в. обнаружилось изменение морфометрических характеристик русла, особенно заметные на Рязанском участке реки (табл. 2). Повсеместно наблюдается уменьшение коэффициента вариации максимальных меженных глубин, несмотря на разработку выемок карьеров, что связано с размывом перекатов, в процессе которого они становятся менее выраженными. В результате ослабляется роль перекатов как регулятора уклона водной поверхности, что является причиной непрекращающегося понижения уровней. Наиболее ярко это выражено на сравнительно слабоустойчивом участке русла у Рязани, где скорость понижения уровня в последние два десятилетия наибольшая среди всех проанализированных участков (10 см в год).

Размыв способствовал укрупнению донных отложений, вследствие чего перекаты становились неразрываемыми, в особенности на верхней Оке, где крупность наносов в несколько раз, а местами на порядок больше, чем на средней Оке. Землечерпательные работы все же могут играть определенную роль в трансформации русла, прежде всего на неразрываемых перекатах. В условиях, когда уровни понижаются, глубины на перекатах сильно падают, что влечет за собой дополнительные дноуглубительные работы, а они в свою очередь как бы заменяют собой эрозию.

Особый интерес представляют вопросы занесения русловых карьеров, восстановления руслового рельефа. Они крайне мало изучались в конкретных природных условиях, хотя перехват карьерами стока наносов является важным фактором, определяющим переформирование русла. Источники поступления наносов в отработанный карьер — транзитный сток наносов и материал, поступающий в карьер при размыве его верхней кромки. Занесение карьеров на верхней Оке происходит медленно. В длинных карьерах за 10–20 лет заносится только вершина. Измерения показали, что занесение вершины одного из карьеров выше Каширы длиной несколько километров происходило одновременно с размывом верхней кромки, причем объем наносов, отложившихся в вершине карьера за 20 лет, примерно равен объему грунта, размывотого за тот же период на участке длиной более 2 км выше карьера. Ежегодный объем отложений составлял около 30 тыс. м<sup>3</sup>. Аналогичным образом происходило занесение двух близко расположенных карьеров длиной около 1 км каждый, что равно пятикратной ширине русла. Объем карьеров, раз-



ного из карьеров выше Каширы длиной несколько километров происходило одновременно с размывом верхней кромки, причем объем наносов, отложившихся в вершине карьера за 20 лет, примерно равен объему грунта, размывотого за тот же период на участке длиной более 2 км выше карьера. Ежегодный объем отложений составлял около 30 тыс. м<sup>3</sup>. Аналогичным образом происходило занесение двух близко расположенных карьеров длиной около 1 км каждый, что равно пятикратной ширине русла. Объем карьеров, раз-

Рис. 2. Занесение малого карьера песком и гравием.

1 — 2007 г., 2 — 2011 г.

работанных в 1987–1991 гг., составил 965 тыс. м<sup>3</sup>. За 20 лет в карьерах отложилось в общей сложности 560 тыс. м<sup>3</sup> наносов, или 30 тыс. м<sup>3</sup> в год. При занесении карьеров были частично размывы верхняя кромка и разделяющая карьеры перемычка. Объем размыва не превысил 150 тыс. м<sup>3</sup>, так что занесение происходило преимущественно транзитными наносами. При этом исходная отметка дна не восстановилась: его среднее понижение превысило 2,5 м. Короткие карьеры длиной меньше двукратной ширины русла и объемом, примерно равным стоку влекомых наносов, заносятся практически полностью в течение 2–5 лет. Размыва выше карьера не наблюдается, и занесение идет за счет транзитного стока наносов, причем, как видно, расходуется только незначительная его часть (рис. 2).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксплуатация такого природного ресурса, как русловой аллювий, оказывает большое воздействие на русло реки и весь комплекс природных условий дна речной долины. Особенность добычи аллювиальных материалов заключается в том, что ее последствия продолжаются гораздо дольше, чем требуется для разработки конкретного руслового карьера, и распространяются на большее расстояние, чем длина карьера. Поэтому регулирование этого вида деятельности требует всестороннего анализа русловых процессов.

Среди параметров, учет которых необходим при планировании русловых карьеров, как показывают исследования русла верхней и средней Оки, выделяются следующие.

1. Геоморфологический фон: тенденции развития продольного профиля реки за историческое время — врезание, аккумуляция или относительно стабильное состояние. По этому признаку участок русла верхней Оки, по крайней мере ниже Алексина, неблагоприятен для развития русловой добычи: здесь могли бы разрабатываться только прибрежные (на отмелях) и пойменные месторождения. Более благоприятные условия наблюдались на Рязанском участке, где прослеживались признаки аккумуляции.

2. Состав и строение современного аллювия, наличие источников наносов в бассейне и вдоль реки; сток влекомых наносов. Верхняя Ока отличается крупным составом донных наносов и тенденцией к формированию отмости в случае врезания, однако она имеет ограниченные источники поступления наносов из притоков и от размыва берегов, а также небольшой сток русловых наносов. Для средней Оки характерен песчаный состав наносов, часть которых поступает от размыва берегов.

3. Гидрологический режим и транспортирующая способность потока. По гидрологическим условиям период наиболее активного транспорта наносов относительно короткий, а транспортирующая способность потока в отношении песчано-гравийного руслового аллювия не превышает 200 тыс. м<sup>3</sup> в год.

4. Морфология, устойчивость и деформации русла, размывы берегов. Верхняя Ока отличается прямолинейным, местами врезанным руслом. Большая устойчивость отложений на перекатных участках способствует замедлению и прекращению на них врезания, однако приводит к выраженной ступенчатости продольного профиля. Средняя Ока — типично меандрирующая река с активными горизонтальными деформациями. Это дает возможность частичного восполнения убыли аллювия за счет поступления наносов от размыва берегов. Вместе с тем в силу малой устойчивости русла в условиях дефицита русловых наносов происходит размыв перекатов, снижение гидравлических сопротивлений и интенсивное понижение уровней.

5. История освоения и капитальные инженерные сооружения. Гидрологический режим реки не зарегулирован. До середины XX в. нарушения русла заключались лишь в небольших объемах дноуглубительных работ на перекатах. Среди капитальных сооружений выделяются два низконапорных гидроузла судоходного назначения, расположенных на границе верхней и средней Оки. С точки зрения уровневого режима водохранилища, образуемые плотинами, являются сравнительно благоприятными местами русловой добычи, так как в них в межень поддерживается постоянный уровень воды. Во второй половине XX — начале XXI в. из русла реки удалено количество аллювия, равноценное 500-летнему объему влекомых наносов. Значительная протяженность русловых карьеров служит важным и до сих пор не учитываемым фактором трансформации русла и уровневого режима. Ограничение длины разрабатываемых карьеров вместе с уменьшением объема добычи может способствовать минимизации их влияния на русло реки.

В целом анализ материалов исследования показывает, что верхняя Ока с точки зрения комплекса факторов, определяющих русловые процессы, изначально не была благоприятной для развития добычи аллювиальных материалов. На ее освоении сказалась близость Москвы и других крупных центров, требовавших большого количества строительных материалов. Последовавшее в ходе активной

и необоснованной добычи изменение русла и уровневого режима привело реку к состоянию, близкому к критическому, в том числе для коммуникаций. Рекомендации по смягчению последствий, основанные на знании русловых процессов, включают в себя следующие меры: перевод части добычи в пойменные карьеры, по возможности полностью изолированные от русла; разработку русловых карьеров в водохранилищах низконапорных гидроузлов; осуществление добычи из небольших карьеров длиной не более 1,5–2 км, шириной не более 1/3–1/2 ширины русла. В этом случае автоматически соблюдается принцип компенсации добытого материала стоком наносов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для поддержки ведущих научных школ (1010.2014.5).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Galay V. J. Causes of river bed degradation // Water Res. Res. — 1983. — N 19 (5). — P. 1057–1090.
2. Kondolf G. M. Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining // Landscape Urban Planning. — 1994. — Vol. 28. — P. 225–243.
3. Rinaldi M., Wyżga B., Surian N. Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives // River Research and Application. — 2005. — 21. — P. 805–828.
4. Беркович К. М. Русловые процессы и русловые карьеры. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. — 109 с.
5. Беркович К. М. Современная трансформация продольного профиля верхней Оки // Геоморфология. — 1993. — № 3. — С. 43–49.
6. Беркович К. М., Злотина Л. В., Турыкин Л. А. Верхняя Ока: механические изменения и деформации русла // Эрозия почв и русловые процессы. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. — Вып. 12. — С. 118–129.
7. Беркович К. М., Злотина Л. В., Турыкин Л. А. Природно-антропогенные деформации русла р. Оки в районе Рязани // Геоморфология. — 2009. — № 2. — С. 26–33.
8. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1955. — 353 с.
9. Власов Б. Н., Чалов Р. С. Районирование европейской части СССР по условиям прохождения руслоформирующих расходов воды в реках // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. — 1991. — № 6. — С. 32–42.
10. Рекомендации по прогнозу трансформации русла в нижних бьефах гидроузлов. СО 34.21.204–2005. — СПб.: Изд-во Всерос. НИИ гидротехники, 2007. — 60 с.
11. Барышников Н. Б. Динамика русловых потоков: Учебник. — СПб.: Изд-во Рос. гидромет. ун-та, 2007. — 314 с.
12. Gostner W. The hydro-morphological index of diversity: a planning tool for river restoration projects: Communications du Laboratoire de Constructions Hydrauliques. — Lausanne, 2012. — 219 p.
13. Гришанин К. В., Дегтярёв В. В., Селезнёв В. М. Водные пути. — М.: Транспорт, 1986. — 400 с.

*Поступила в редакцию 1 апреля 2014 г.*