

**Научные сообщения**

УДК 551.435.1→627.1/.4(282.247.412)

© 2009 г. К.М. БЕРКОВИЧ, Л.В. ЗЛОТИНА, Л.А. ТУРЫКИН

**ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ РУСЛА ОКИ  
В РАЙОНЕ РЯЗАНИ<sup>1</sup>**

В последнее столетие деятельность человека стала заметным фактором функционирования природных систем. Изменениям подверглись многие компоненты природной среды речных бассейнов, которые привели к нарушениям гидрологического режима рек. Вместе с тем производились массовые механические нарушения речных русел, целью которых были защита земель, получение энергии, обеспечение судоходства и, наконец, добыча нерудных строительных (песчано-гравийных) материалов. Многие реки превращаются в природно-антропогенные системы.

Добыча песчано-гравийных материалов (ПГМ) из русловых карьеров является одним из самых заметных видов прямых антропогенных нарушений русел рек. Добываемые из русловых и пойменных месторождений материалы относятся к современным или древним аллювиальным отложениям, реже к другим генетическим типам отложений. Запасы этих материалов в руслах рек определяются историей развития речной долины и эрозионно-аккумулятивными процессами в бассейне реки. Восполнение материала, изъятая при разработке русловых месторождений, может происходить только за счет наносов, переносимых рекой. Однако наблюдения за трансформацией русел рек на участках русловых карьеров на конкретных реках не многочисленны и не всегда являются специальными. Большая часть исследований русловых карьеров проводилась на гидравлических моделях, которые при известной схематизации задачи зачастую не дают объективной картины сложных процессов, происходящих в руслах рек. Также слабо изучены вопросы восстановления руслового рельефа.

Как реакция русла на механические нарушения поперечного сечения, рельефа русла и стока влекомых наносов, так и восстановление исходного состояния зависят от естественных характеристик реки: устойчивости ее русла, его морфологического строения, направленности развития продольного профиля. До настоящего времени много неясного остается в вопросах реакции конкретных рек на разработку русловых карьеров и характере восстановления исходного руслового рельефа.

Река Ока, как и многие другие реки, рассматривалась и рассматривается в настоящее время как источник строительных материалов для Центрального региона России. Отсюда очень значительны механические нарушения русла реки. В наших работах [1] рассматривалась трансформация продольного профиля верхней Оки, обусловленная разработкой русловых карьеров. Добыча песчано-гравийных материалов производилась и на нижней Оке. Так, достоверно известно, что в районе Рязани в 1974–1993 гг. из русла Оки было извлечено почти 30 млн. м<sup>3</sup> аллювиального материала. В 1990-х – начале 2000-х гг. годовой объем добычи снизился примерно втрое.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 07-05-00421) и гранту Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект НШ-790.2008.5).

Исследованный участок русла охватывает более 100 км реки (752–644 км от устья), он ограничен сверху по течению плотной Кузьминской гидроузла, а снизу створом гидропоста Половское (рис. 1). Здесь река входит в пределы Мещерской низменности, и левобережная пойма реки расширяется до 10 км и более. Пойма сложена супесчано-суглинистым материалом с прослоями песков. Высота поймы составляет 4,6–5,0 м над уровнем межи, мощность пойменного аллювия 4–6 м. Мощность современного руслового аллювия составляет 9–15 м.



Рис. 1. Схема реки Оки в районе Рязани  
1 – границы участка исследований, 2 – гидроузлы

Ниже впадения р. Москвы средний многолетний расход воды составляет  $530 \text{ м}^3/\text{с}$ . Наибольший измеренный расход воды превысил  $12000 \text{ м}^3/\text{с}$ . Средний максимальный расход составляет  $4600 \text{ м}^3/\text{с}$ . Белоомутский и Кузьминский гидроузлы, построенные в начале XX в., имеют судоходное назначение и не осуществляют регулирования стока. В период половодья плотины гидроузлов открыты, и поток реки сохраняет свои естественные характеристики. За половодье проходит около 70% годового стока воды и более 80% стока взвешенных наносов. Средние скорости течения в половодье составляют 1,4–1,7 м/с, это позволяет потоку переносить достаточно крупные, гравийные частицы наносов. В межень скорости течения снижаются до 0,3–0,6 м/с. Средний диаметр русловых наносов составляет 0,45–1,10 мм. Объем стока взвешенных наносов немного превышает 1 млн. т/год. Измеренный по параметрам гряд расход влекомых наносов составляет около 150 тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$ .

Ниже Кузьминской плотины река течет преимущественно в пойменных берегах, сложенных супесчано-суглинистым материалом. Русло реки относится к свободно меандрирующим; свободные излуины занимают половину длины исследованного участка. Средний радиус кривизны излучин составляет 700 м. Для них характерна большая степень выраженности (отношение длины русла к шагу излуины) – 1,98 при максимальном значении 2,9, а также значительная развитость в поперечном к оси долины направлении. Такие характеристики излуин свидетельствуют о том, что они, вероятно, спрямляются на поздних стадиях своего развития путем сближения крыльев. Старицы и другие следы меандрирования на пойме подтверждают это предположение. В начале и конце участка, где русло проходит у коренного берега, располагаются участки прямолинейного русла с излуинами динамической оси потока. На них развиты ленточные гряды и побочни, с которыми связаны перекаты. Шаг этих русловых форм составляет около 800 м.

Деформации русла исследовались на основе сравнения лоцманских карт и планов русла 1939, 1973, 1986, 1993 и 2003 гг. По планам вычислялись объемы русла для отрезков длиной 1 км. Границами объема служили: сверху – проектный (обеспеченностью 90–95%) уровень воды (с учетом его изменений), снизу – дно реки на всей ширине русла, сверху и снизу по течению – сечения, перпендикулярные оси русла. Полученные объемы сравнивались между собой. В результате были получены вертикальные деформации русла, измеренные от одной и той же плоскости сравнения. Деление объема деформаций на длину отрезка и ширину русла дает слой деформаций. Для определения горизонтальных деформаций производилось наложение планов русла 1939–1940, 1957–1958, 1972 и 1986 гг. и фиксировалось отступление берегов.

За более чем 40-летний период менялись как природные, так и антропогенные условия формирования русла. Временные срезы можно охарактеризовать следующим образом. С 1939 по 1973 гг., вероятно, преобладали природные деформации русла. Хотя в это время производились регулярные землечерпательные работы, их эффективность на нижней Оке была достаточно велика в силу большой устойчивости русла [2], и поэтому их объемы были невысокими. Спецификой землечерпательных работ является то, что они производятся в узкой полосе русла на фарватере (на Оке – несколько десятков метров), ограничиваясь мелководными участками – перекатами, при их выполнении грунт не удаляется из русла, а перекладывается в другие его части.

В 1973–1974 гг. на участке 740–644 км была начата разработка русловых карьеров, и к 1986 г. объемы добычи стали максимальными (более 2000 тыс. м<sup>3</sup>/год). Средние годовые объемы добычи к 1993 г. составлял 15–20 тыс. м<sup>3</sup> на 1 км русла и существенно превышают удельные объемы землечерпания. Напряженность нарушения руслового рельефа в результате разработки карьеров выше, чем при землечерпании, тем более что в отличие от землечерпания при добыче аллювиальный материал удаляется безвозвратно. Объем добычи к 1993 г. составил 70% объема русла на время начала разработки карьеров. С начала 1990-х гг. по экономическим причинам объемы добычи ПГМ и землечерпания, т.е. напряженность нарушения русла, уменьшились, и возникли условия для его восстановления. Объем добычи снизился до 12% объема русла 1973 г.

Среди природных факторов следует отметить изменение водности. К середине 1930-х гг. продолжительный период повышенной водности сменился маловодным (1935–1950 гг.) и средним по водности (1950–1980 гг.) периодами. Последние 20 лет водность реки незначительно возрастает. Характерно, что в течение всего периода наблюдений на фоне уменьшения максимальных расходов воды, особенно заметного после 1970 г., происходило увеличение минимальных годовых расходов воды.

Интересно сопоставить изменения водности и напряженность нарушений с колебаниями минимального за период открытого русла уровня воды по гидрологическому посту Рязань. В многоводный период начала XX в. уровень воды постепенно понижался: с 1878 по 1939 гг. снижение составило около 1.0 м. Затем уровень воды постоянно повышался, и к 1980 г. он достиг максимума. На это время приходились и самые большие объемы землечерпания (12–18 тыс. м<sup>3</sup>/год на 1 км). После 1980 г. минимальный уровень воды в Рязани интенсивно снижается. В настоящее время отметка минимального уровня приблизилась к наинижнему значению за весь период наблюдений. Понижение уровня сопровождало большую часть периода разработки карьеров (рис. 2).

Н.И. Маккавеев [3] полагал, что произошедшее в 1876–1945 гг. понижение как весенних (на 100–150 см), так и средних погруженных уровней нижней Оки (на 20–30 см) явилось следствием относительного погружения Мещерской низменности. Возможно также, что повышенная водность стимулировала на нижней Оке глубинную эрозию, которая выразилась в понижении минимального уровня воды.

С наступлением периода пониженной водности (середина 1930-х гг.) минимальный уровень воды растет, что может отражать начавшуюся аккумуляцию наносов.

Выделяются четыре морфологически разнородных отрезка (рис. 3): 1) 752–740 км от устья – относительно прямолинейное широкое мелководное русло с меженным уклоном 0.043‰; 2) 740–700 км – серия крутых излучин с глубокими плесовыми лоцинами и короткими перекатами, уклон 0.024‰; 3) 700–680 км – пологие излучины на подходе реки к правому коренному берегу, уклон 0.048‰; 4) 680–644 км – преимущественно прямолинейное русло, проходящее вдоль коренного берега с большим количеством перекатов и мелководными плесами, уклон 0.038‰. Средняя ширина русла меняется мало и составляет 220–240 м. Нарушения русла также были неравномерны. На первом отрезке разработка карьеров не производилась, объем дноуглубительных работ был очень небольшим (до 8 тыс. м<sup>3</sup>/год на 1 км). Условия, близкие к естественным, сохранялись на нем в течение всего периода. Максимальный объем добычи ПГМ, как и максимальная интенсивность землечерпания, в 1973–1993 гг. приходились

Отметка уровня, м

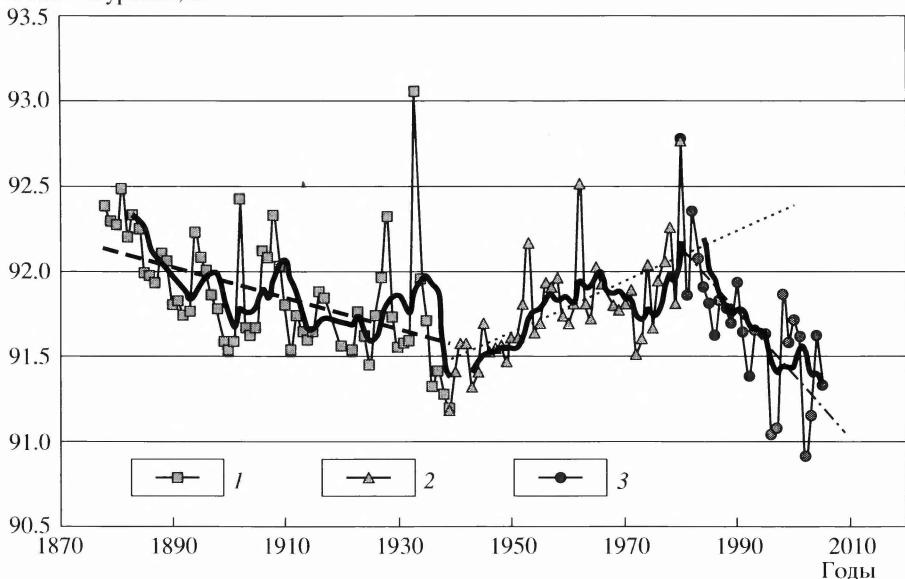


Рис. 2. Изменение минимального уровня воды в р. Оке у Рязани  
1 – 1878–1939 гг., 2 – 1940–1980 гг., 3 – 1981–2005 гг.

на четвертый участок. Учитывая неравномерность антропогенных нарушений, первый отрезок рассматривается отдельно от остальных трех, на которых разрабатывались русловые карьеры.

Интенсивность горизонтальных деформаций оценивалась по величине размыва берегов. Средняя скорость размыва берегов в 1939–1986 гг. составила 2.4 м/год, максимальная – 4 м/год. Суммарная длина фронта размыва достигала 55 км, средняя его длина – 1.7 км. Подсчеты показывают, что от размыва берегов в поток поступало в год более 600 тыс. м<sup>3</sup> аллювиального материала (табл. 1). Однако, ширина русла за весь период практически не изменилась, это означает, что горизонтальные деформации в целом сбалансированы: размывы берегов уравниваются накоплением наносов у противоположных.

Вертикальные деформации русла отличаются ярко выраженной зависимостью от антропогенных нарушений.

Отрезок 752–740 км. Для этого отрезка в течение всего периода с 1939 по 2003 гг. были характерны знакопеременные деформации с преобладанием слабой аккумуляции, которые выразились средним слоем 24 см. Наиболее значительная аккумуляция

Таблица 1

Размывы берегов Оки

Отрезок, км от устья	Длина фронта размыва, км		Средняя скорость размыва, м/год	Объем наносов от размыва, тыс. м <sup>3</sup> /год	
	общая	средняя		общий	на 1 км русла
752–740	5.2	2.6	2.4	62.4	5.2
740–700	15.4	1.3	2.7	207	5.2
700–680	8.4	1.7	2.2	92.4	4.6
680–640	24.5	2	2.1	260	7.2
Весь участок	54.5	1.7	2.4	620	5.7

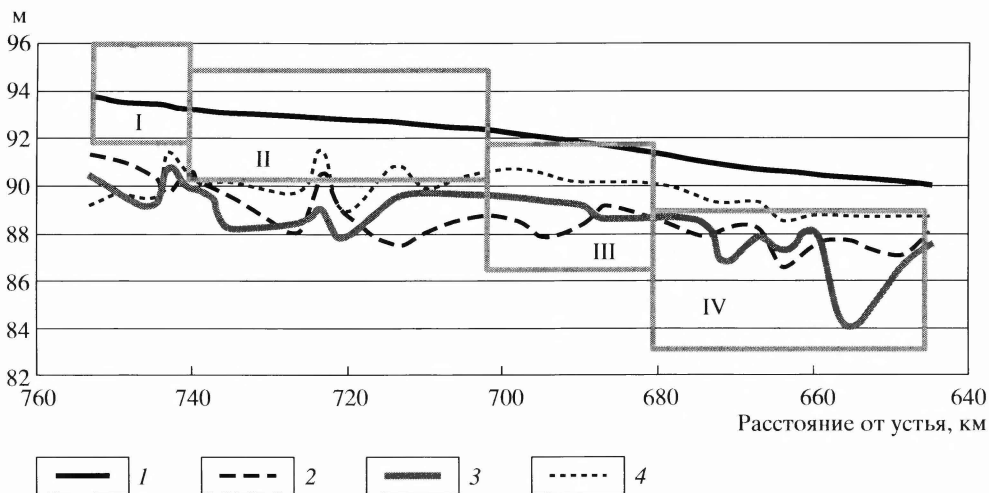


Рис. 3. Продольный профиль р. Оки  
I-IV – номера отрезков. 1 – водная поверхность; дно: 2 – в 2003 г, 3 – в 1993 г, 4 – в 1939 г.

отмечена в 1993–2003 гг., когда почти были прекращены дноуглубительные работы. Аккумуляция наносов также характерна для периода 1973–1986 гг., когда преобладали низкие половодья с расходами 2500–4000 м<sup>3</sup>/с. Удельный объем русла на отрезке (на 1 км длины) уменьшился с 1973 г на 23%. Итогом явилось отложение 680 тыс. м<sup>3</sup> наносов средним слоем в 24 см, хотя за период, когда ниже по течению разрабатывались карьеры, слой аккумуляции существенно больше (табл. 2).

**Отрезок 740–700 км.** Для этого отрезка в целом для всего периода было характерно увеличение объема русла, которое составило с 1939 г. 11.4 млн. м<sup>3</sup>, что соответствует удалению 1.2 м донных отложений. В условно естественный период 1939–1973 гг. на отрезке наблюдалась аккумуляция наносов, в ходе которой было отложено 2.4 млн. м<sup>3</sup> наносов. Мощность накопленного слоя в среднем составила 26 см. Минимальный уровень воды в Рязани вырос при этом на 42 см.

Таблица 2

**Характеристика вертикальных деформаций русла р. Оки  
(знак “–” соответствует понижению дна)**

Участок, км от устья	Деформации	Параметры	Величины за периоды					
			1939–1973	1973–1986	1986–1993	1993–2003	1939–2003	1973–2003
752–740	чистые	объем, млн. м <sup>3</sup>	-1.34	1.04	-0.61	1.59	0.68	2.02
		слой, м	-0.49	0.38	-0.22	0.58	0.24	0.73
740–644	измеренные	объем, млн. м <sup>3</sup>	5.26	-13.9	-14.4	-3.80	-26.8	-32.1
		слой, м	0.24	-0.63	-0.65	-0.17	-1.22	-1.45
	чистые	объем, млн. м <sup>3</sup>	5.26	1.47	1.25	-0.11	8.78	3.22
		слой, м	0.24	0.07	0.06	0.00	0.40	0.15
752–644	измеренные	объем, млн. м <sup>3</sup>	3.91	-12.8	-15.0	-2.22	-26.2	-30.1
		слой, м	0.16	-0.52	-0.61	-0.09	-1.05	-1.21
	чистые	объем, млн. м <sup>3</sup>	3.91	2.51	0.64	1.48	8.54	4.63
		слой, м	0.16	0.10	0.03	0.06	0.34	0.19

В течение периода 1973–2003 гг. на отрезке разрабатывались русловые карьеры, объем русла увеличился, что выразилось в понижении отметки дна в среднем на 1.5 м. Сопоставление измеренных объемов русла и объемов грунта, добытого из русловых карьеров, позволяет оценить “чистые” деформации, т.е. вклад природных факторов. В 1973–1993 гг. объем русла увеличился на 10.2 млн. м<sup>3</sup>, что выразилось в слое около 1.0 м. На русловые карьеры приходится более 60% увеличения объема русла. Эта доля снижается в 1993–2003 гг. (31%). Увеличение объема русла на отрезке за

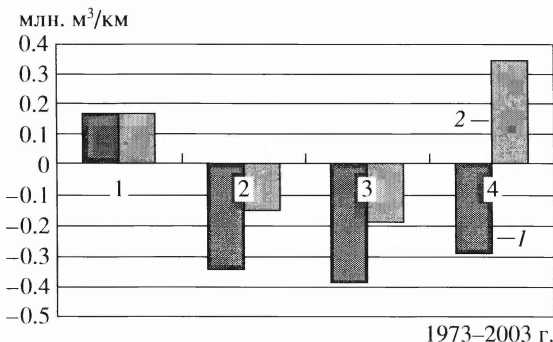


Рис. 4. Измеренные (1) и чистые (2) деформации русла на рязанском участке Оки за 1973–2003 гг. по отрезкам

время разработки карьеров больше, чем объем добычи, что свидетельствует об одновременном развитии эрозии, объем которой к 1993 г. составил 3.9 млн. м<sup>3</sup> и отвечает слою в 43 см. Эрозия продолжилась и в период ослабленной нагрузки (1993–2003 гг.), когда слой эрозии составил 27 см. Таким образом, объем эродированного материала составил в среднем за год около 200 тыс. м<sup>3</sup>.

**Отрезок 700–680 км.** На этом отрезке деформации развивались подобно предыдущему. До начала разработки карьеров на отрезке наблюдалась небольшая аккумуляция, в ходе которой отложилось чуть более 10 см наносов. Объем отрицательных деформаций за период интенсивной разработки карьеров составил 4.6 млн. м<sup>3</sup>, эта величина на 30% превышает объем извлеченного из карьеров материала. Таким образом, и здесь одновременно с разработкой карьеров развивалась эрозия, в ходе которой был удален слой около 25 м. Эрозия продолжилась и в период ослабленного нарушения, когда понижение дна составило 56 см. В итоге за пределы отрезка выносилось ежегодно более 100 тыс. м<sup>3</sup> донных отложений, а чистые деформации эрозионной направленности выразились слоем в 68 см.

**Отрезок 680–644 м.** На этом отрезке, где прямолинейное русло проходит вдоль правого коренного берега, в 1939–1973 гг. наблюдалась небольшая аккумуляция, выразившаяся в слое около 30 см. За период интенсивной разработки карьеров объем русла сильно увеличился, что выразилось в понижении средней отметки дна на 1.6 м. Однако, объем добычи в этот период существенно превышал увеличение объема русла, поэтому чистые деформации имели положительный знак: на отрезке отложилось почти 8 млн. м<sup>3</sup> при среднем слое 95 см. В период ослабленной нагрузки аккумуляция продолжилась, слой ее составил около 60 см. Указанные величины слоя являются осредненными по площади русла на отрезке; на самом деле наносы в большей степени заполняют отработанные карьеры – глубокие выемки в русле. Чистые деформации соответствуют ежегодному отложению более 400 тыс. м<sup>3</sup> наносов. Характер измеренных и чистых деформаций по отрезкам показан на рис. 4.

Вероятно, усиленная аккумуляция на этом отрезке обусловлена поступлением наносов от размыва на вышележащих отрезках, а также снижением здесь транспортирующей способности потока по сравнению с меандрирующим руслом. Действительно, с вышележащих участков в год поступало от размыва дна около 300 тыс. м<sup>3</sup> наносов. Если прибавить к этой величине естественный сток влекомых наносов, то получается величина, близкая к ежегодной аккумуляции на отрезке.

Если рассматривать весь участок 752–644 км, то видно, что в период до нарушения для него была характерна слабая аккумуляция (в среднем 16 см или 110 тыс. м<sup>3</sup>/год). Хотя с началом интенсивной добычи ПГМ объем русла увеличивается, чистые деформации сохраняют положительный знак (табл. 2). В итоге за период нарушения сред-

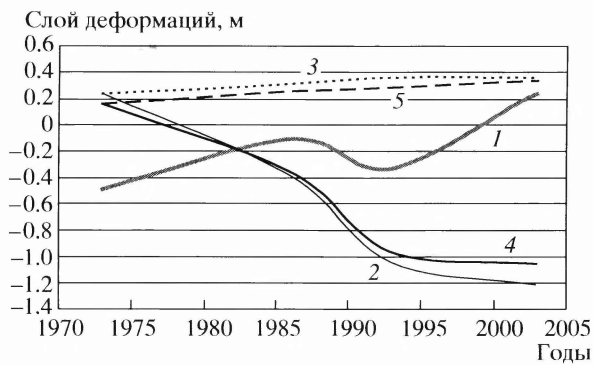


Рис. 5. Деформации русла с нарастающим итогом  
 1 — отрезок, на котором добычка не производилась; деформации: 2 — измеренные на отрезках, на которых разрабатывались карьеры, 3 — чистые на тех же отрезках; 4 — измеренные на всем участке, 5 — чистые на всем участке

рации составил в среднем 24 см — величину, близкую к деформациям ненарушенного отрезка. В 1973–1993 гг. происходило непрерывное увеличение объема русла, обусловленное разработкой карьеров и сопутствующей эрозией, средний слой удаленного аллювия составил 1,2 м (рис. 5). Слой чистой аккумуляции был очень незначительным. Как раз в течение этого периода произошли резкие изменения хода минимального уровня воды в Рязани. Вначале (до 1980 г.) уровень еще продолжал повышаться, однако затем — резко понизился (к 1993 г. — на 1,1–1,3 м). Наконец, в период ослабленного нарушения деформации русла стабилизировались, но понижение минимального уровня продолжалось, хотя и более низкими темпами (за 1993–2003 гг. — на 0,5 м). В итоге с 1980 г. минимальный уровень понизился на 1,3–1,5 м. Кривая хода измеренных деформаций в целом повторяет кривую минимальных уровней воды. Что касается чистых деформаций, то они постоянно положительны, и за период ослабленной нагрузки слой отложившихся наносов достиг 40 см.

### Выводы

Разработка русловых карьеров на рязанском участке Оки проходила на природном фоне слабой аккумуляции, которая проявилась в повышении минимальных уровней с 30-х по 80-е гг. XX в. Эта направленность деформаций сохранилась на отрезке, где карьеры не разрабатывались.

С началом разработки русловых карьеров в 1973–2003 гг. происходит увеличение объема русла. Оно протекало неодинаково на разных отрезках и в разное время. Сопоставление измеренного объема русла с объемом добычки позволяет оценить чистые вертикальные деформации. На участках меандрирующего русла объем измеренных деформаций больше объема добычки, что означает развитие сопутствующей эрозии. Объем эрозии оценивается в 310 тыс. м<sup>3</sup>/год, средний эродированный слой 70 см.

На отрезке прямолинейного русла ниже Рязани объем измеренных деформаций меньше, чем объем материала, удаленного добычей. Это означает одновременную с разработкой карьеров аккумуляцию наносов, слой которой за последнее десятилетие составил около 1 м. Этот отрезок отличается наибольшими темпами горизонтальных деформаций, что указывает на блуждание русла, свойственное участкам аккумуляции.

В целом для участка выявляется сохранение аккумулятивной направленности развития русла, несмотря на его сильное изменение в ходе разработки карьеров, причем размеры аккумуляции в условно естественный период совпадают с чистыми деформациями периода нарушений.

ний слой отложившихся наносов составил около 20 см, а за весь период, охваченный анализом — 34 см, что соответствует отложению 130 тыс. м<sup>3</sup>/год. Это означает, что естественная тенденция к аккумуляции наносов сохраняется и в условиях сильно измененного русла.

Представляет интерес сопоставление характера измеренных и средних деформаций русла на отрезках 2–4 (740–644 км), где разрабатывались карьеры, в условно естественный период (1939–1973 гг.), в период интенсивного нарушения (1973–1993 гг.) и в период ослабленного нарушения (1993–2003 гг.). К началу периода интенсивной разработки карьеров слой аккумуляции

Понижение минимального уровня в Рязани обнаружилось спустя 7–10 лет после начала добычи ПГМ, однако развивалось очень быстро в течение второй половины периода интенсивного нарушения и в период ослабленного нарушения. Величина “посадки” уровня соизмерима с величиной отрицательных деформаций. При этом наблюдается отчетливая асинхронность направленных русловых деформаций и изменения уровней.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беркович К.М. Современная трансформация продольного профиля верхней Оки // Геоморфология. 1993. № 3. С. 43–49.
2. Проектирование судовых ходов на свободных реках / Тр. ЦНИИЭВТ. М.: Транспорт, 1964. Вып. 36. 261 с.
3. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 348 с.

Московский государственный университет  
Географический факультет

Поступила в редакцию  
30.03.2007

#### NATURAL-ANTHROPOGENIC DEFORMATIONS OF THE OKA RIVER BED NEAR RYAZAN'

K.M. BERKOVITCH, L.V. ZLOTINA, L.A. TURKIN

#### S u m m a r y

The trend of channel vertical deformations in the Ryazan' stretch of the Oka river was discovered by analysis of long-term channel volume changes and their comparison with bed sediment excavation volume. Sand excavations are the main factor of channel volume changes, while the natural process remaining under such conditions is weak and corresponds to slow accumulation.

УДК 551.435.4(571.5)

© 2009 г. Ф.И. ЕНИКЕЕВ

### **ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫЕ ОЛЕДЕНЕНИЯ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ И ЮГО-ВОСТОКА СРЕДНЕЙ СИБИРИ**

#### **Исторический обзор**

Взаимоисключающие взгляды на масштабы оледенения Восточной Сибири и Забайкалья, заложенные еще в позапрошлом веке П.А. Кропоткиным и И.Д. Черским, набирая многочисленных сторонников, дожили до настоящего времени. П.А. Кропоткин, анализируя особенности ледникового периода, высказывал глубокое убеждение, что все высокое плоскогорье Восточной Сибири с окраинными хребтами было покрыто льдом [1]. Согласно его докладу в “Британской ассоциации поощрения наук” высоты с абсолютной отметкой свыше 900 м подвергались оледенению, как в Сибири, так и в соседней Монголии [2]. Удивительна прозорливость большого ученого, учитывавая крайне ограниченную фактическую базу того времени и отсутствие необходимой топоосновы, а также аэрокосмического материала для региональных построений. В начале XX в. и до 30-х гг. В.А. Обручев развивал идеи П.А. Кропоткина [3]. В это же время А.К. Мейстер, опираясь на представления А.И. Воейкова, доказывал полную абсурдность формирования значительных по площади оледенений в этой провинции и признавал возможность возникновения только небольших по размеру ледников в карах, расположенных в осевых частях наиболее возвышенных хребтов [4]. В.А. Обру-