

**GEOMORPHOLOGICAL ASPECTS OF NATURAL-TECHNOGENIC  
CRISES-CATASTROPHS WITHIN ZONES  
OF CONTINENT-OCEAN TRANSITION**

S. M. ALEKSANDROV

S u m m a r y

Significant differences in the intensity of the present-day genetically different geomorphic processes should be taken into account when classifying natural hazards; some catastrophic processes, such as unfrequent but extreme (in wave height) storms, and even more so tsunamis, cause damage comparable to that resulting from long-term marine erosion by medium-high waves. Natural-technogenic processes are close in their destructive power over short time interval to anomalous and catastrophic natural phenomena.

УДК 551.435.11

© 1993 г. К. М. БЕРКОВИЧ

**СОВРЕМЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ  
ВЕРХНЕЙ ОКИ**

Продольный профиль реки очень чувствителен ко всем изменениям природной среды, которые прямо или косвенно вызывают изменения режима стока воды и наносов. Естественные изменения продольного профиля равнинных рек, протекающие при изменениях климата или колебательных тектонических движениях, протекают медленно, охватывая тысячелетия. Согласно экспериментам Н. И. Маккавеева и др. [1], увеличение концентрации наносов в потоке в 8 раз привело к росту уклона в 1,6 раза, при этом мощность отложившихся наносов составила около 5 м, а процесс трансгрессивной аккумуляции (в пересчете на натуру) длился 17 тыс. лет. В естественных условиях русла рек на протяжении речной системы приспособляются к определенному количеству наносов, поступающих с водосбора. Продольные профили рек степной зоны отличаются в среднем и нижнем течении в 1,5—2 раза большим уклоном, чем реки лесной зоны с той же площадью бассейна, сохраняя при этом выработанность продольного профиля [2].

Значительно быстрее осуществляются преобразования продольных профилей рек, обусловленные хозяйственной деятельностью человека. Эти процессы привлекают в настоящее время все большее внимание исследователей, так как влекут за собой нередко тяжелые и непредвиденные последствия как для различных инженерных объектов, так и для экологического состояния реки.

Продольный профиль верхней Оки на протяжении сотен лет испытывает воздействие все усиливающегося антропогенного пресса. Считается, что последняя существенная смена климата в бассейне произошла 2—2,5 тыс. лет назад в субатлантический период. Вероятно, ко времени формирования современных ландшафтов природная среда испытала уже некоторые изменения, так как человек появился в бассейне верхней Оки в верхнем палеолите (около 23 тыс. лет назад) [3].

Естественные условия формирования стока воды и наносов сохраняются, очевидно, до IX—X вв. [4]. Верховья Оки находятся в зоне интенсивного развития эрозионных процессов, обусловленных природными факторами: устойчивым поднятием Воронежской антеклизы, расчлененным рельефом, непрочностью поверхностных пород, быстрым таянием снежного покрова, сильными летними ливнями. Это создает условия для поступления в русло реки большого количества наносов. По мнению Г. В. Обедиентовой [5], в плейстоцене и голоцене реки Русской равнины, в том числе и Ока, врезались, что связывается с преобладающим тектоническим поднятием.

Модули стока насосов рек бассейна Оки (по данным [7])

Река	Гидропост	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Средний модуль насосов, т/км <sup>2</sup> · год		Уклон, ‰	Лесистость, %	Овражность, км/км <sup>2</sup>	Распаханность, %
			река	склоны				
Ока	Вендереево	513	55	464	11,8	7	59	75
»	Калуга	54900	19	435	4,4	23	46	55
»	Муром	188 000	7,5	317	2,4	35	42	59
Зуша	Мценск	6000	53	454	11,7	7	68	67
Упа	Орлово	8210	20	461	4,4	8	60	55
Жиздра	Козельск	6940	8,5	181	4,7	46	59	30
Таруса	Похвистнево	872	19	218	8,8	46	12	29
Протва	Спас-Загорье	3640	7,5	273	2,7	49	12	27

Таблица 2

Изменения отметок уровней воды

Годы	Отметки уровней, средние за пятилетие, м (на гидропостах)			Модульный коэффициент стока
	Белев	Калуга	Серпухов	
1881—1885	127,15	115,67	107,43	0,95
1911—1915	127,27	115,63	—	0,92
1916—1920	—	115,71	107,54	1,08
1946—1950	127,38	115,66	107,08	1,01
1961—1965	127,25	115,73	106,76	0,95
1966—1970	127,25	115,35	106,50	0,96
1971—1975	127,23	114,87	106,22	0,96
1981—1985	127,58	114,90	106,22	
1986—1990	—	114,73	105,89	

С тех пор, как человек перешел от охотничьего хозяйства к скотоводству и земледелию, важным фактором, воздействующим на продольный профиль Оки, стало усиление эрозии почв на водосборе. Н. И. Маккавеев [2] приводит данные исследований 20—40-х годов, которые свидетельствуют о том, что за последние 3—4 тыс. лет русла рек Русской равнины повысились на 3—4 м. Русло реки у г. Орла поднималось со скоростью 1,5—2 см в год, с такой же скоростью поднималось русло р. Зуши у г. Мценска. Русло Оки ниже Орла поднималось медленнее — до 0,6 м в тысячелетие. Вероятно, в период естественного формирования стока смыв с водосбора был сопоставим с наблюдаемым в настоящее время на целинных участках — 0,1—0,5 т/км<sup>2</sup> [4]. На обрабатываемых землях смыв мог достичь 6—12 т/км<sup>2</sup> в год.

Значительно увеличилась пашня в бассейне верхней Оки в XVI—XIX вв., когда площадь лесов сократилась в среднем с 53 до 22%, достигнув современного уровня. Сведения лесов изменяет внутригодовое распределение стока в сторону увеличения расходов половодья [6], что могло бы привести к эрозии в русле реки, если бы не усиление сноса с водосбора и не снижение водности в межень.

В начале 30-х годов происходят качественные изменения технологии обработки земли — увеличиваются глубины вспашки. Смыв почвы в бассейне верхней

Оки возрастает до 15—100 т/км<sup>2</sup> и более. Современное (за последние 10 лет) развитие эрозионных процессов характеризуют данные В. Н. Голосова [7] (табл. 1). Видно, что склоновый смыв в бассейнах рек лесостепи превышает 400 т/км<sup>2</sup>, а лесной зоны — 180—300 т/км<sup>2</sup> в год, причем модули стока рек составляют от 2,5 до 12% склонового смыва.

Таблица 3

Понижение уровней воды в Калуге

Годы	Снижение уровня, см	Скорость снижения, см/год
1963—1967	10	2,5
1967—1971	45	11,0
1971—1983	26	2,0
1983—1988	28	5,5
1988—1991	15	5,0

Столь значительный рост стока наносов за исторический период должен был привести к их аккумуляции и повышению дна русла. Это позволяет провести детальный анализ минимальных годовых уровней на нескольких гидрологических постах р. Оки. Для анализа были выбраны периоды со средней водностью, о чем свидетельствуют модульные коэффициенты наименьших 30-суточных расходов воды за период открытого русла (табл. 2). Ход минимальных уровней на гидропостах был в целом синхронным с конца XIX в. до середины или конца 50-х годов. В г. Белеве уровни повышались до начала 40-х годов, общее повышение уровней составило 30 см, а его скорость — 0,5 см/год. Примерно такие же цифры приводит Н. И. Маккавеев [2] для средних годовых уровней воды. Затем наступает этап некоторого понижения уровней, охвативший 40—50-е годы, а последние 20 лет вновь идет повышение до 0,7 см в год. Это согласуется с ростом склонового смыва в бассейне верхней Оки. В Калуге с 80-х годов XIX в. до начала 30-х годов XX в. (т. е. в доколхозный период) минимальные уровни воды были в целом стабильны, а с начала 30-х до начала 50-х годов они повышались в среднем на 1,5 см/год, что, вероятно, также было связано с аккумуляцией наносов, поступавших с водосбора. С начала 50-х годов идет быстрое понижение уровней. Это отчетливо проявляется в смещении кривой связи расходов и уровней воды. В табл. 3 приведены величины понижения уровней воды в Оке у Калуги при одном и том же расходе — 220 м<sup>3</sup>/с. Общая величина понижения уровней для средних по водности лет составила 1,2 м.

В Серпухове аккумулятивная фаза развития продольного профиля не проявляется, наоборот, с конца XIX в. до середины 20-х годов уровни воды понизились на 30 см. Такова, вероятно, была естественная направленность развития продольного профиля. Этот факт отметил Н. И. Маккавеев [2], установивший понижение уровней также в Рязани и Касимове, составлявшее от 0,5 до 2,3 см/год. Стабилизация и даже небольшое повышение уровней отмечается с начала 20-х до начала 40-х годов. Это совпало с резким повышением уровней воды у Белева и Калуги. В последующий период уровни воды понижаются, сначала медленно, а затем все более быстрыми темпами.

Таким образом, за период сельскохозяйственного освоения бассейна верхней Оки для реки было характерно постепенное повышение уровней воды в результате аккумуляции наносов и повышения отметки дна, к 40-м годам аккумуляция распространилась до Серпухова, где возобладала над природной тенденцией понижения дна реки. С 40-х годов только в Белеве и выше по течению сохраняется тенденция к повышению русла, а в Калуге и Серпухове дно реки резко снижается. Это совпало с периодом восстановления народного хозяйства после Отечественной войны и началом массового жилищного строительства.

Причины столь значительных изменений продольного профиля реки заключа-

Габариты карьеров в русле р. Оки

Расстояние от Серпухова, км	Отношение ширины выемки к ширине русла	Максимальная глубина выемки, м	Скорость течения, м/с	
			половодье	межень
123—120	0,85	8,8	1,21	0,15
118—117	0,76	11,0	0,97	0,13
73—70	0,85	8,0	1,34	0,18
63—60	1,00	5,5	1,36	0,18
59—54	0,90	6,0	1,25	0,17
51—48	0,90	13,0	0,82	0,11
14—12	0,90	9,0	0,92	0,12

ются в антропогенной нагрузке, приуроченной непосредственно к руслу реки. Это добыча нерудных строительных материалов (НСМ) — аллювиальных песков и галечников — из русла и дноуглубительные работы, необходимые для обеспечения судоходства.

Добыча НСМ из русла Оки ведется с конца 40-х годов, первоначально она сосредотачивалась в районе городов Каширы, Серпухова, Калуги. Только за период 1953—1965 гг. из русла реки было извлечено не менее 25 млн. м<sup>3</sup> песков и гальки, всего же на участке от Калуги до Каширы на строительные нужды изъятие аллювия превысило 50 млн. м<sup>3</sup>. Объем русла реки между Калугой и Серпуховым за 1980—1990 гг. увеличился, согласно повторным промерам, примерно на 20 млн. м<sup>3</sup>, т. е. на четверть. Годовой объем добычи на этом участке в среднем составлял в 80-е годы 1,5—2 млн. м<sup>3</sup>. Интересно сопоставить эти величины со стоком наносов, перемещаемых потоком за год. Мутность потока Оки постепенно убывает вниз по течению: в Орле она составляет около 400 г/м<sup>3</sup>, в Калуге — 114 г/м<sup>3</sup>, в Муроме — 45 г/м<sup>3</sup>. На участок Калуга—Серпухов поступает за год в среднем около 1,1 млн. м<sup>3</sup> взвешенных наносов. За половодье проходит до 80—85% годового стока наносов, что приводит к перегрузке потока наносами. Г. И. Шамов [8] обращает внимание на одну особенность взвешенных наносов Оки: 70% их состава представлены частицами мельче 0,01 мм, около 25% — частицами размером 0,01—0,05 мм и лишь около 5% — более крупными частицами. Он связывает это с тем, что взвешенные наносы Оки формируются за счет эрозии склонов, так как русловые отложения отличаются крупным составом, а берега устойчивы к размыву.

В период половодья в карьерах, несмотря на увеличение площади поперечного сечения выработкой (по сравнению с бытовой — естественной), сохраняются скорости течения, достаточные для переноса всего состава взвешенных наносов (табл. 4). В межень в карьерах могут оседать наносы крупнее 0,03 мм, что примерно соответствует 35—40 тыс. м<sup>3</sup>. Годовой слой осадка составляет в среднем около 1,5 см.

Сток руслообразующих наносов формируется из песчаных и гравийных частиц. Эти наносы перемещаются в основном в форме гряд высотой от 0,3 до 1 м. Скорость смещения гряд в половодье достигает 8—10 м/сутки. Годовой объем стока руслообразующих наносов на участках рек, не затронутых добычей, достигает 150 тыс. м<sup>3</sup>. В общей сложности, как видно, объем добычи аллювия в 10 раз превышает количество наносов, переносимых рекой, причем часто добывается более крупный аллювий, чем современный руслоформирующий.

Механизм воздействия руслового карьера на продольный профиль реки заключается в следующем. Изъятие большого объема аллювия и формирование глубоких выемок, занимающих большую часть ширины русла, резко увеличивают площадь поперечного сечения и соответственно пропускную способность русла. Скорости течения, особенно в межень, падают. В районах добычи нередко на большом протяжении уничтожаются формы руслового рельефа — перекаты,

Изменения продольного профиля Оки на участке Калуга — Серпухов

Номер участка	Расстояние от Серпухова, км	Уклон, ‰		Понижение уровня, см	Примечание
		1987	1991		
1	107,1—101,5	0,084	0,096	18	
2	101,5—92,3	0,055	0,060	26	
3	92,3—85,4	0,036	0,078	43	
4	85,4—73,6	0,105	0,142	62	
5	73,6—64,4	0,104	0,029	49	Участок добычи 1989—1990 гг.
6	64,4—54,4	0,012	0,022	36	
7	54,4—45,2	0,020	0,014	36	Участок добычи 1980—1988 г.
8	45,2—39,2	0,103	0,076	15	
9	39,2—34,6	0,096	0,123	21	Перекатный участок
10	34,6—28,3	0,071	0,064	23	
11	28,3—21,0	0,053	0,035	20	
12	21,0—13,4	0,091	0,125	34	
13	13,4—11,9	0,027	0,047	41	Участок добычи 1989—1991 гг.
14	11,9—6,4	0,176	0,120	26	
15	6,4—0	0,081	0,080	9	Перекатный участок с выправлением

побочни, осередки. Все это способствует существенному снижению гидравлических сопротивлений, и уклон реки резко убывает, а вместе с этим понижаются уровни воды. Так, в зоне карьера, разработанного в 1989—1990 гг., уклон уменьшился с 0,104 до 0,029‰, а уровни воды при расходе 200 м<sup>3</sup>/с понизились почти на 1 м. Благодаря уменьшению транспортирующей способности потока карьеры перехватывают полностью сток руслообразующих и часть стока взвешенных наносов. Это причина развития ниже карьеров трансгрессивной эрозии, которая продолжается весь период занесения карьера после окончания его разработки. Интенсивность эрозии постепенно убывает по мере уменьшения уклона. Она развивается неравномерно из-за неоднородности строения речного дна и укрупнения наносов. Формирование аллювиальной отмостки нередко замедляет или даже останавливает эрозию [9].

Выше карьеров также развивается эрозия, распространяющаяся регрессивно. Она обусловлена местным увеличением уклона водной поверхности. Так, выше вновь разработанных карьеров на 1043 км от устья р. Оки (73 км от Серпухова), на участке длиной более 30 км уклон реки вырос за период с 1987 по 1991 г. с 0,074 до 0,099‰. Локальное приращение уклонов еще больше, на отдельных отрезках, на перекатах, уклон достигает 0,3—0,4‰.

Эрозия, распространяющаяся выше и ниже участков добычи — фактор трансформации продольного профиля реки. Если добыча не прекращается, то эрозия продолжается до тех пор, пока не сформируется выработанный в соответствии с морфометрическими, гидравлическими и грунтовыми условиями продольный профиль. После окончания добычи происходит восстановление естественного профиля, однако это занимает очень длительное время. В случае верхней Оки только занесение существующих карьеров займет не менее 100 лет. Современные деформации продольного профиля осуществляются довольно быстро. Как показало сравнение продольных профилей, построенных по данным нивелировок 1987 и

1991 г., при одном и том же расходе воды понижение уровней составило от 8—10 см до 1 м. Осредненные значения уклонов водной поверхности и понижения уровня представлены в табл. 5. Наиболее заметное уменьшение уклона наблюдается в верхней по течению части протяженного участка, где добыча НСМ производилась в 70—80-е годы. В пределах сравнительно короткого карьера длиной 1,5 км уклон, несмотря на понижение уровня, несколько увеличился (участок 13). Выше участков добычи уклон тоже увеличился (участки 4 и 12), так как эрозия там еще не завершилась. Непосредственно ниже участков добычи, на протяжении 5—6 км уклон несколько уменьшается. Вместе с тем продольный профиль реки ступенчатый из-за чередования плесов и перекатов, также подвергающихся размыву; на участках 1—5 в 1987—1991 г. скорость размыва составляла 5—10 см в год. По мере размыва аллювий на перекатах укрупняется и размыв замедляется. Они представляют собой местные базисы эрозии, что видно из больших уклонов на перекатах (участки 9 и 14).

Так как в карьерах продолжается изменение уровней воды, обусловленное изменением размеров и формы поперечного сечения русла, а перекаты становятся трудноразмываемыми, то глубина на них в межень уменьшается. Это приводит к необходимости дноуглубительных работ, которые в данных условиях становятся еще одним фактором трансформации продольного профиля. На перекатах разрабатываются прорезы — искусственные ложбины с глубиной, достаточной для прохода судов. Чем меньше глубина на перекате, тем более глубокой должна быть прорезь. Между объемом добычи НСМ, понижением уровней и объемом дноуглубительных работ на верхней Оке отчетливой связи не наблюдается. В 1971—1975 г., когда добыча на участке Калуга — Серпухов велась еще в небольших масштабах, за навигацию на перекатах извлекалось 1,1 млн. м<sup>3</sup>, или 8,6 тыс. м<sup>3</sup> грунта на 1 км русла. В 1987—1990 г. при значительном росте объема добычи за год на перекатах из прорезей извлечено в среднем 1,4 млн. м<sup>3</sup> (10,7 тыс. м<sup>3</sup>/км) грунта. При этом судоходные глубины не увеличивались. Вместе с тем объемы дноуглубительных работ по длине реки распределены неравномерно. Резкий прирост объемов характерен для перекатов, расположенных непосредственно за кромками карьеров — нижней и верхней по течению. Так, на перекатах участков 5, 8, 9, 12 (табл. 5) объемы работ выросли за десятилетие вдвое—втрое. Дноуглубительные работы способствуют распространению эрозии по длине реки, уничтожая местные базисы эрозии. В результате разработки прорези отметка дна на перекате понижается. Средняя величина понижения отметки дна при современных объемах дноуглубления составляет около 0,75 м, достигая на отдельных перекатах 1,5—2 м (в полосе русла, равной ширине судового хода, — 30—40 м). Хотя грунт, извлеченный из прорези, складывается недалеко от нее в русле, тем не менее меняется форма поперечного сечения, разрушается слой отмостки и эрозия получает возможность продвижения по реке.

Таким образом, современная трансформация продольного профиля верхней Оки осуществляется под влиянием антропогенных факторов. В последние 30 лет основную роль в этих процессах играет добыча НСМ, в результате которой инициируется глубинная эрозия. Она стимулируется к тому же дноуглубительными работами. Замедление эрозионных процессов, сопряженных с понижением дна реки и уровней воды, — важная природоохранная и сельскохозяйственная задача. Оно возможно при существенном ограничении объема добычи величинами, не превышающими размеры стока руслообразующих наносов, снижении объема дноуглубительных работ при одновременном повышении роли выправительных сооружений, в улучшении условий судоходства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маккавеев Н. И., Хмелева Н. В., Заитов И. Р., Лебедева Н. В. Экспериментальная геоморфология. М.: Изд-во МГУ, 1961. 194 с.
2. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.
3. Мамай И. И., Низовцев В. А., Пучкова Э. И. Современное состояние ландшафтов Московской области // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1987. № 6. С. 45—53.

4. Природные ресурсы Русской равнины в прошлом, настоящем и будущем. М.: Наука, 1976. 379 с.
5. Обедиентова Г. В. Условия развития речных долин платформенных областей и формирование террас // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1985. № 6. С. 68—74.
6. Вендров. С. Л. Изменение максимального стока равнинных рек в связи с преобразованием природы: М.: Изд-во АН СССР, 1953. 130 с.
7. Голосов В. Н. Влияние антропогенных факторов на сток наносов рек бассейна Оки // География и природ. ресурсы. 1989. № 3. С. 46—50.
8. Шамов Г. И. Речные наносы. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 347 с.
9. Galay V. J. Causes of River Bed Degradation // Water Resources Research. 1983. V. 19. № 5. P. 1057—1090.

Московский государственный университет  
Географический факультет

Поступила в редакцию  
16.11.92

## RECENT TRANSFORMATION OF THE OKA RIVER CHANNEL PROFILE IN ITS UPPER REACHES

K. M. BERKOVICH

### Summary

During the cultivation of the upper Oka drainage basin the river's level and channel floor were continuously rising owing to alluviation which resulted from active erosion of watersheds. In the past three decades gravel extraction and dredging initiated bottom erosion. The volume of the gravel extraction is 10 times as large as the total solid discharge of the river. The erosion may slow down on the condition the gravel extraction by channel quarrying does not exceed channel-forming alluvium supply.

УДК 551.435.11

© 1993 г. А. А. ДАРБУТАС, Р. С. ЧАЛОВ

## ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ РУСЛА НЕМАНА И ВЛИЯНИЕ НА НИХ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Современные тенденции развития продольных профилей рек (общие направленные вертикальные деформации речных русел) проявляются в понижении (врезание, глубинная эрозия) или повышении (систематическая аккумуляция наносов) отметок дна русла и соответственно уровней водной поверхности, обуславливая постоянное приближение продольного профиля к выработанному состоянию, когда сток наносов на реке соответствует транспортирующей способности потока [1]. Нарушение этого соответствия происходит постоянно под влиянием тектонических движений, изменений водности реки и природных условий на ее водосборе, в том числе под воздействием антропогенных факторов. Теоретическое обоснование этих процессов было дано Н. И. Маккавеевым [2]. Однако оценка их для конкретных рек в естественных условиях осуществлялась достаточно редко [3—7 и др.], часто на качественной основе и по косвенным морфологическим признакам, что связано с малыми темпами этих процессов и проявлением их в течение длительных (зачастую исторических или геологических) отрезков времени. Более распространено изучение вертикальных деформаций ниже и выше водохранилищ под влиянием искусственного регулирования стока и перехвата ими стока наносов. При этом увеличение или уменьшение стока наносов приводит к существенным изменениям продольного профиля на протяжении первых десятков лет [8—12 и др.] Они выявляются по данным рядов наблюдений на сетевых гидропостах, оцениваются количественно, рассчитываются и прогнозируются с достаточно высокой точностью. В результате очень редки работы, рассматрива-