

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.435.13(470.57)

© 1999 г.

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

СОВРЕМЕННЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ РУСЛА р. БЕЛОЙ¹

Значительные вертикальные русловые деформации малохарактерны для равнинных рек в естественных условиях. Обычно они носят периодический характер и сосредоточиваются на перекатах, которые испытывают в течение года существенные колебания отметок дна, при этом в среднем за многолетний период отметки водной поверхности и дна реки не меняются. В ряде случаев вертикальные деформации сопровождаются резкими переформированиями излучин: при спрямлении (прорыве) излучин происходит размыв дна на значительном расстоянии выше места прорыва, при этом ниже по течению может происходить временное отложение наносов и повышение отметок дна. По прошествии некоторого времени отметки дна восстанавливаются. Периодичность таких деформаций составляет десятки и сотни лет. Интенсивные переформирования продольных профилей нередко характерны для рек, русла которых находятся под тяжелым антропогенным прессом [1, 2].

Река Белая относится к крупным рекам востока Русской равнины, бассейн и русло которых на протяжении десятилетий подвержены интенсивной антропогенной нагрузке, которая привела к изменениям гидрологического режима, морфологии русла и русловых процессов. В низовьях река находится в зоне подпора Нижнекамского водохранилища, в верховьях река и ее притоки зарегулированы многочисленными плотинами. В настоящее время таких плотин насчитывается более 30. Самое крупное в бассейне водохранилище объемом 1,4 км³ образует Павловская плотина на р. Уфе. Для бассейна характерно развитие орошаемого земледелия, высоки показатели водопотребления и водоотведения в связи с развитием водоемких отраслей промышленности [3]. Интенсивная эрозия почв развивалась, очевидно, с XVI в. – со времени вырубки лесов и распашки территории водосборного бассейна. Эрозия почв способствует сравнительно высокой мутности малых рек и аккумуляции наносов в их долинах. Но на крупных реках (Уфе и Белой) усиление аккумулятивных процессов практически не сказалось. Их мутность находится в пределах зональных значений: в Стерлитамаке за период 1939–1980 гг. – 160 г/м³, в Уфе и Бирске – около 100 г/м³. В нижнем течении реки – между Уфой и Бирском – особенно велика прямая антропогенная нагрузка на русло: добыча нерудных строительных материалов и дноуглубительные путевые работы. На этом участке реки продольный профиль за последние 50 лет претерпел существенные изменения.

Бассейн реки характеризуется сложным сочетанием физико-географических условий, определяющих водный режим рек, особенности формирования стока наносов и переформирования русла. В ландшафтном отношении бассейн Белой приурочен большей частью к лесостепям высокого Заволжья, верховья реки располагаются в отрогах южного Урала. Заселенность большей части бассейна не превышает 30%. Долина нижней Белой врезана в породы верхней перми, которые местами обнажаются в уступах коренных берегов. Глубина долины составляет 110–150 м. Ширина долины достигает 19 км, в среднем составляя 5–6 км. Примерно половину ширины долины занимает пойма и русло реки. Надпойменные террасы

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 97-05-64454, 98-05-64418).

распространены преимущественно на левобережье, они сложены песками, глинами и галечниками и местами подмываются рекой. Пойма реки чаще всего односторонняя, реже двусторонняя. Высота поймы составляет 2–7 м над меженным уровнем воды. Рельеф поверхности поймы преимущественно ложбинно-грядовой.

Река Белая отличается значительной водностью. Средний многолетний расход воды составляет 840 м³/с. Ее режим характеризуется высоким весенним половодьем и низкой летней и зимней меженью. Средний подъем уровней в половодье – 6,5 м. Средний многолетний расход в половодье составляет 6100–6400 м³/м. Объем среднего годового стока в Уфе – 23,4 км³. Более 60% стока проходит в весенний период – с апреля по июнь. К Бирску водность реки увеличивается незначительно, менее чем на 10%. Достаточно большой ряд сетевых наблюдений позволяет проследить многолетние колебания водности реки. Период повышенной водности продолжался с конца XIX в. по 1930 г., затем наступил период пониженной водности, на фоне этих крупномасштабных колебаний водности прослеживаются циклы продолжительностью – 5–10 лет.

Кривая руслоформирующих расходов воды, построенная по методике Н.И. Маккавеева [4] для гидропоста Уфа, обнаруживает три максимума. Все они имеют низкую обеспеченность. Нижний пик кривой приходится на расход воды 4400 м³/с (обеспеченность 4%), соответствующий максимальному расходу половодья в средний по водности год и проходящий ниже бровок пойменных берегов. Другие максимумы кривой приходятся на расходы 7600 и 10000 м³/с обеспеченностью 1,3 и 0,4%.

Средняя мутность потока р. Белой составляет около 100 г/м³, а годового сток взвешенных наносов не превышает 2300–2700 тыс. т. Более 90% стока взвешенных наносов обычно проходит в весенне-летний период (с апреля по июнь). Одним из важнейших условий развития русловых деформаций является сток руслообразующих наносов, которые слагают формы руслового рельефа: перекаты, побокны, осередки, гряды. Наиболее крупные из них переносятся в форме влекомых наносов – сальтацией или перекатыванием по дну. Часть руслообразующих наносов переносится во взвешенном состоянии от одной русловой формы к другой. Анализ гранулометрического состава проб наносов и донных отложений показал, что к руслообразующим относятся наносы крупнее 0,1 мм. Для определения стока руслообразующих наносов был выполнен анализ данных сетевых наблюдений за стоком взвешенных наносов по гидрологическим постам Уфа и Бирск, а также выполнены измерения параметров донных гряд на участках детальных полевых работ. По материалам сетевых наблюдений, содержащих данные о мутности и гранулометрическом составе, была определена доля мутности, относящаяся к руслообразующим наносам, и получена зависимость расхода R_p руслообразующих взвешенных наносов от расхода воды:

$$R_p = kQ^n,$$

где k – равен 1,61 для Уфы и 1,79 для Бирска, n – равен 1,47. Обычно в составе взвешенных находится около 7% наносов, относящихся к руслообразующим, хотя их доля может доходить в половодье до 30%. Годовой сток взвешенных руслообразующих наносов составляет 140–150 тыс. т. Влекомые руслообразующие наносы перемещаются в форме донных гряд. Размеры гряд и скорость их движения меняются в течение года, общий сток руслообразующих наносов составляет 160–230 тыс. т в год. В сумме поток р. Белой переносит за год до 380 тыс. т, или в объемном выражении 200 тыс. км³ наносов, которые участвуют в переформировании руслового рельефа.

Река описывает несколько макроизлучин, опирающихся на уступы коренных берегов и надпойменных террас, их шаг и стрела прогиба составляют 5–6 км. В пределах макроизлучин русло представлено чередованием меандрирующих и прямолинейных участков, последние приурочены к отрезкам, где русло проходит вдоль коренных берегов и занимают более 30% длины изученного участка реки. Сложный морфологический план русла является причиной высокого коэффициента извилистости русла, равного 3. В целом преобладают свободные условия развития русловых деформаций, хотя местами встречаются адаптированные и вынужденные излучины. Уклон реки сравнительно невелик, в среднем на участке Уфа-Бирск он составляет 0,05–0,07‰, хотя на некоторых участках он достигает в межень 0,12‰. Средняя крупность донных отложений составляет 5,8 мм. Она колеблется согласно анализу по 240 пробам от 0,3 до 30 мм. Средняя ширина русла составляет в межень 300–310 м, а в пойменных бровках – 530 м. Эти цифры позволяют характеризовать русло нижней Белой с точки зрения его стабильности: число Лохтина приближается к 100, коэффициент стабильности Н.И. Маккавеева равен 30. Коэффициент Шильдса – В.М. Маккавеева

Средние годовые объемы добычи ПГС (тыс. м³)

| Расстояние от Уфы, км | 1983–1987 гг. | 1988–1990 гг. | 1991–1994 гг. | Среднее на 1 км |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| 0–20 | 500 | 789 | 134 | 15,8 |
| 20–40 | 510 | 454 | 219 | 19,7 |
| 40–60 | 258 | 79,8 | 29,5 | 6,12 |
| 60–80 | 41,4 | 550 | 894 | 24,8 |
| 80–100 | 1938 | 466 | 606 | 50,2 |
| 120–140 | 6,47 | 1331 | 876 | 36,9 |
| 140–180 | 3,50 | 213 | 314 | 8,84 |
| 180–200 | – | – | 49,6 | 2,48 |

составляет 26, что безусловно указывает на то, что в межень русло является практически недеформируемым². В половодье устойчивость русла несколько снижается, но тем не менее оно остается достаточно стабильным – коэффициент Н.И. Маккавеева для этих условий составляет 9–10. Высокая стабильность русла подтверждается также большими величинами руслоформирующих расходов воды.

На исследованном участке реки преобладают прямые нарушения русла, создаваемые добычей песчано-гравийной смеси (ПГС) и дноуглубительными и выправительными путевыми работами. Добыча ПГС – руслового аллювия – ведется на р. Белой с конца 40-х годов. Об объемах изъятия материала из русла до середины 60-х гг. трудно судить, данные об этом отсутствуют. К 1965 г. добывалось уже около 1 млн. м³ грунта, в 1970 г. объем добычи увеличился до 1,5 млн. м³, а в 1980 г. – до 3,5 млн. м³. Суммарный объем добычи ПГС на участке от Уфы до Бирска за 1980–1994 гг. составил около 19 млн. м³, среднегодовой объем добычи составил 1,3 млн. м³. В 70–80 гг. большая часть ПГС добывалась в районе Уфы на протяжении 40–50 км ниже водомерного поста. Еще в 1983 г. на этом участке было добыто более 1500 тыс. м³ материала. Впоследствии объемы добычи на этом участке существенно снизились, а затем добыча там прекратилась (1993–1994 гг.). В 80-е годы наибольшие объемы добычи сосредоточились в 70–120 км от Уфы (табл. 1).

Следствием извлечения большого объема аллювиального материала из речного русла явилось изменение формы поперечного сечения и уклона реки. Возникли глубокие плесовые ложины, нередко длиной до нескольких километров, глубина в них в межень достигает 10 м, а уклон падает практически до нуля. Путевые дноуглубительные и выправительные работы имеют на р. Белой более чем полувековую историю. Первые выправительные сооружения – полузапруды – были построены еще в 30-х гг. Пик их строительства приходится на 60–70-е гг. Сейчас их насчитывается более 200, на некоторых перекатах русло стеснено почти вдвое. Это в значительной мере поддерживало судоходные глубины без производства дноуглубительных работ. Вместе с тем среднегодовой объем дноуглубительных работ составлял в последние 10–15 лет около 12 тыс. м³ на 1 км русла. Наибольшие объемы дноуглубления отмечались в 1980–1982 гг. в районе Уфы. В последние годы заметно уменьшение объема дноуглубления на верхних 50 км и их рост на нижних 50–70 км участка (табл. 2). Нагрузка типа добычи аллювиального материала из русла вызывает специфические нарушения русла: прямые и косвенные. Первые связаны с искусственным изменением формы поперечного сечения русла (ширины и глубины) в пределах участка добычи и его уклона выше участка добычи. Косвенные нарушения выражаются в возникновении дефицита руслообразующих наносов ниже каждого участка добычи. Оба вида нарушений вызывают развитие эрозии – регрессивной выше карьеров и трансгрессивной ниже них. В условиях, когда карьерные выработки расположены изолированно друг от друга и последовательно по длине реки, возникает сложная картина реакции русла – зоны трансгрессивной и регрессивной эрозии взаимно перекрываются.

Общий фон направленных деформаций продольного профиля реки выявляется при анализе минимальных за период открытого русла уровней воды. Наинищие уровни воды

² Число Лохтина: $L = d/H$; коэффициент стабильности Н.И. Маккавеева; $K_c = d/Bl$; коэффициент Шильдса – В.М. Маккавеева; $\psi = d/hl$, здесь d – диаметр донных наносов, H – падение, м/км; h – глубина, B – ширина русла, l – уклон.

Распределение объемов дноуглубительных работ (тыс. м³)

| Расстояние от Уфы, км | 1980–1983 гг. | 1984–1987 гг. | 1991–1994 гг. | Среднее на 1 км |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| 0–20 | 688,6 | 373,6 | 54,5 | 12,4 |
| 20–40 | 390,5 | 245,4 | 267,2 | 15,0 |
| 40–60 | 302,0 | 56,6 | 54,2 | 6,88 |
| / 60–80 | 192,2 | 120,6 | 76,2 | 6,48 |
| 80–100 | 334,4 | 121,0 | 68,1 | 8,72 |
| 100–120 | 181,6 | 112,7 | 131,2 | 7,09 |
| 120–140 | 528,2 | 290,4 | 378,2 | 19,9 |
| 140–160 | 266,2 | 125,2 | 201,8 | 9,89 |
| 160–180 | 536,9 | 328,4 | 394,7 | 21,0 |
| 180–200 | 239,9 | 218,5 | 350,0 | 13,5 |

Таблица 3

Наинищие уровни воды р. Белой

| Год | г. Уфа | г. Бирск | Год | г. Уфа | г. Бирск |
|------|--------|----------|------|--------|----------|
| 1943 | 81,86 | 71,34 | 1975 | 80,43 | 69,93 |
| 1945 | 82,01 | 70,75 | 1982 | 80,17 | 70,04 |
| 1950 | 82,16 | 70,89 | 1985 | 80,55 | 70,48 |
| 1955 | 81,19 | 70,27 | 1989 | 80,47 | 70,45 |
| 1960 | 81,71 | 70,64 | 1990 | 80,83 | 70,79 |
| 1965 | 81,53 | 70,72 | 1995 | 80,43 | 70,41 |
| 1970 | 81,28 | 70,64 | | | |

достаточно хорошо характеризуют изменение отметок дна реки, так как сток в период стояния таких уровней (обычно осенью) формируется в основном за счет грунтового питания, хотя они зависят в известной мере также от метеорологических условий конкретного года. Из данных табл. 3 видно, что наиболее устойчивая тенденция понижения уровней воды прослеживается в Уфе. Уровни начали понижаться с начала 50-х гг., особенно интенсивно это происходило в 70-е гг., когда они понизились более чем на 1 м, в 90-е гг., замедления темпов понижения уровней не обнаруживается. Понижение уровней подтверждается анализом кривых связи расходов воды и уровней. Наибольшая величина понижения уровней относится к расходам воды менее 750 м³/с, в целом понизились уровни при расходах до 4000 м³/с. Относительная величина посадки уровня (отношение отметки текущего года к отметки уровня 1942 г., т.е. до начала нагрузки) для Уфы определяется зависимостью:

$$E = e^{-0,0004t}$$

Достаточно устойчивая тенденция понижения уровней воды прослеживается также на участке в 80–100 км ниже Уфы. В Бирске наинищие уровни более стабильны, хотя тенденция их понижения прослеживается в 70-е и начале 80-х гг. (примерно на 0,5 м). В дальнейшем уровни повысились и достигли отметок 40–50-х гг. Таким образом, обнаруживается существенная и быстрая трансформация продольного профиля реки. Этот процесс во времени характеризовался определенными закономерностями. Как показывает сравнение профилей водной поверхности, полученных повторными нивелировками при расходе воды 90%-ной обеспеченности, в период 1942–1965 гг. понижение минимальных уровней воды сосредоточивалось на участке не более 20 км ниже Уфы. Ниже по течению, в 70–80 км, отмечалось небольшое – до 0,2 м – повышение уровней, очевидно связанное с аккумуляцией здесь наносов. В период 1965–1982 гг. понижение водной поверхности распространялось на 90–100 км ниже Уфы. Вместе с тем, в 1988–1995 гг. отмечается рост уровней ниже по течению в районах с. Кушнаренково (120–140 км). Это согласуется с уменьшением объема дноуглубительных работ на первом из рассмотренных отрезков и их увеличением – на втором.

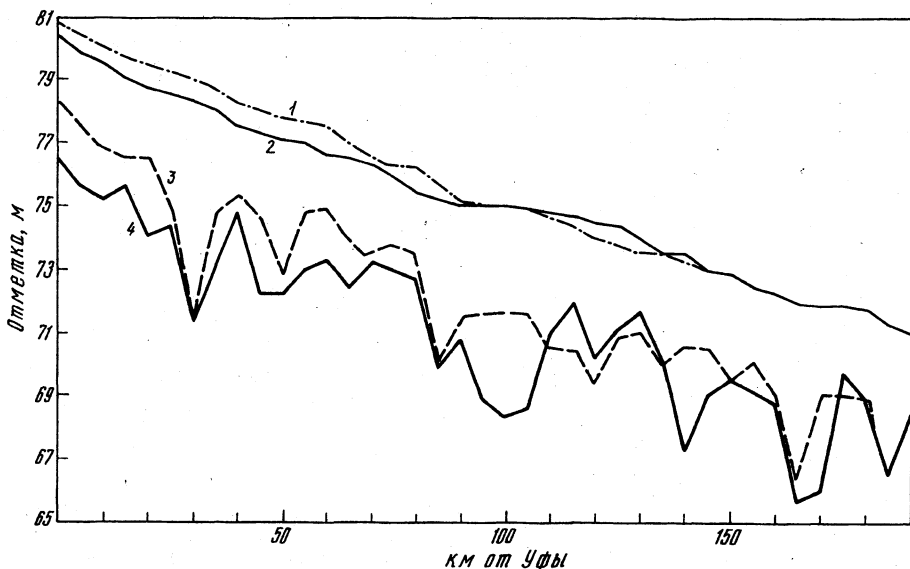


Рис. 1. Продольные профили водной поверхности и дна р. Белой
 Профили водной поверхности: 1 – в 1979 г., 2 – в 1995 г. Профили дна: 3 – в 1979 г., 4 – в 1995 г.

Характер деформаций продольного профиля ярко виден при сравнении данных нивелировок и промеров русла в 1979 и 1995 гг. Нивелировка и промеры 1979 г. выполнены Бельским районом водных путей, данные за 1995 г. получены при полевых работах МГУ. В обоих случаях промеры выполнены по методике, принятой в водно-технических изысканиях, в масштабах 1:5000 и 1:10000. Нивелировки привязаны к одним и тем же реперам, имеющим абсолютные отметки, и к одному и тому же расходу (проектному) воды. За этот почти 20-летний период обнаруживается значительное понижение водной поверхности на участке длиной 90 км ниже Уфы (рис. 1). Среднее понижение отметок водной поверхности составляет здесь 0,6 м. Одновременно на участке 100–140 км отмечено повышение отметок водной поверхности в среднем на 0,4 м. Изменение отметок водной поверхности по длине (рис. 2) описывается зависимостью:

$$\Delta H_l = 0,0095L - 0,97,$$

где L – расстояние от Уфы, км. Понижение отметок водной поверхности уместно связать с изменением отметок дна реки, которое произошло в результате изъятия аллювия и развития глубинной эрозии. Среднее понижение отметок дна составляет 1,4 м. Закономерного распределения изменений отметок дна по длине реки не наблюдается из-за того, что весь рассматриваемый период проводилась добыча аллювия. Если удалить из расчета понижения отметок, обремененные крупным разработкам песчано-гравийного материала (где оно местами превышает 3 м), то средний слой материала, удаленного эрозией, составляет около 1 м. Связь между изменением отметок дна реки и водной поверхности прослеживается только на уровне тенденции. Характерно, что на участке 100–140 км отметки дна выросли в среднем на 0,65 м, что соответствует отложению примерно 7,8 млн. м³ аллювиального материала.

Форма продольного профиля водной поверхности за 1979–1995 гг. практически не изменилась, она описывается линейной зависимостью с высокими коэффициентами корреляции ($R^2 = 0,99$). В то же время при сохранении общей формы продольного профиля дна реки коэффициент корреляции отметок дна по длине резко уменьшился – с 0,87 до 0,78, что свидетельствует об увеличении неравномерности распределения глубин. Если рассматривать весь участок Уфа – Бирск, то средняя максимальная глубина за период 1979–1995 гг. изменилась незначительно – на 0,3 м, однако внутри этого участка обнаруживаются существенные различия. Так, на отрезке от Уфы до 77 км средняя максимальная глубина увеличилась на 0,5 м, на отрезке 77–139 км глубина выросла на 0,7 м, наконец, между 140 и

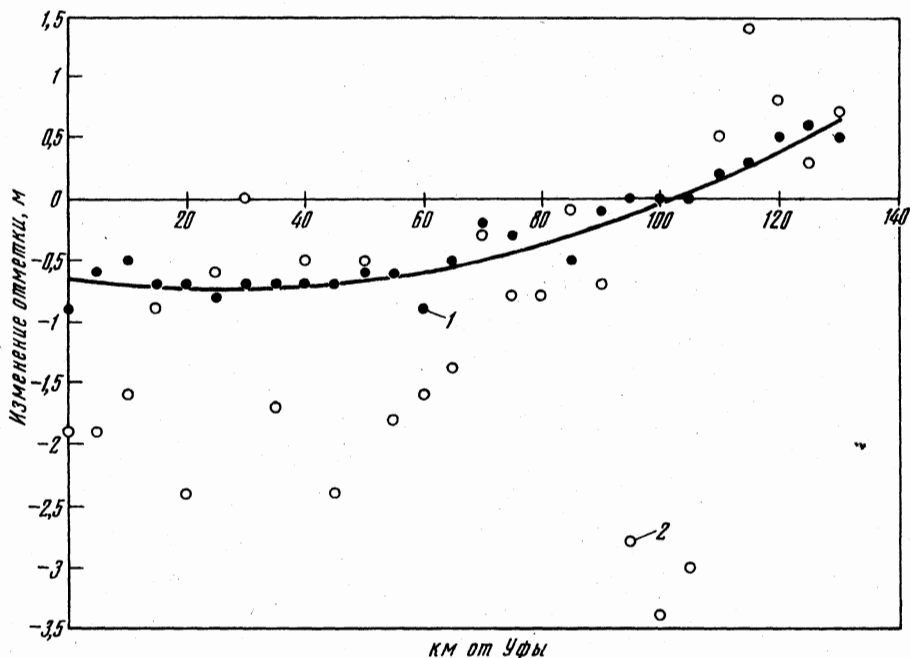


Рис. 2. График изменения отметок водной поверхности и дна р. Белой по длине участка ниже г. Уфы за 1979–1995 гг.

1 — изменения отметок меженного уровня воды, м, 2 — изменение отметок дна, м

200 км — только на 0,2 м. На первом из этих участков до 1989–90 гг. проводилась добыча аллювия, на втором она продолжалась до 1995 г., на третьем добычи не велось. Наибольшее увеличение средней максимальной глубины отмечено в районе 94–106 км от Уфы, где она выросла на 1,3 м. Здесь заметно изменилась плотность распределения глубин. Обычно на участках с малоизменной глубиной максимальная плотность приходится на глубины около 2,5 м, практически повсеместно доля этих глубин уменьшилась в пользу увеличения доли глубин около 3 м, в то же время на отрезке от Уфы до 77 км заметно выросла доля глубин 4,5–5,5 м, между 77 и 94 км выросла доля глубин 7–7,5 м, а в районе 94–106 км — глубин 5–5,5 м и 8 м. Это указывает на то, что на двух последних отрезках существенную роль в морфометрии русла играют карьерные выемки, в то время, как на остальных отрезках изменения морфометрических характеристик (глубины) связаны с эрозией.

Подсчеты показывают, что объем материала, удаленного с участка, где прослеживается понижение водной поверхности, составляет за 1979–1995 гг. не менее 26,5 млн. м³, при этом объем добычи песчано-гравийного аллювия составил около 18 млн. м³, таким образом, на долю эрозии приходится более 8 млн. м³ материала, большая часть которого отложена ниже участка добычи. Учитывая, что объем стока руслообразующих наносов составляет около 200 тыс. м³ в год, можно подсчитать, что за период 1979–1995 гг. на участок поступило 3,2 млн. м³ наносов, что составляет только 12% удаленного материала. Столь низкая величина стока наносов является, вероятно, причиной того, что понижение уровней воды носит незатухающий характер, так как занесение карьерных выемок протекает крайне медленно. Полное восстановление продольного профиля реки может произойти более чем через столетие после прекращения добычи песчано-гравийной смеси из русла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беркович К.М. Современная трансформация продольного профиля верхней Оки // Геоморфология. 1993. № 3. С. 43–49.
2. Simon A. Adjustment and recovery of unstable alluvial channels: intensification and approaches for engineering management // Earth surface processes and forms. 1995. V. 20. P. 611–628.

3. Гареев А.М. Оптимальное планирование водоохранных мероприятий в бассейне реки. Уфа: Изд-во Башк. пед. ин-та, 1989. 83 с.

4. Макавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 249 с.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
10.11.97

RECENT VERTICAL DEFORMATIONS OF BELAYA RIVER CHANNEL

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

S u m m a r y

The reformations of longitudinal profile of Belaya River are under consideration. Those are caused by mining operation of the gravel-sandy mix – river channel alluvium – during decades. Transformations of profile are represented by decreasing of stream surface and bottom elevations and by changing of channel depths distribution. The quantitative characteristics are given, which help to evaluate the velocity of transformations and to forecast its future run.

УДК 551.435.36(262.81)

© 1999 г. В.И. ИГНАТОВ, С.А. ОГОРОДОВ, Г.А. САФЬЯНОВ

ОСОБЕННОСТИ МОРФОДИНАМИКИ АККУМУЛЯТИВНЫХ БЕРЕГОВ КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Проблема колебаний уровня Каспийского моря существовала всегда, но особенно острой она стала за два последних десятилетия. В палеовремени за период 10 тыс. лет положение уровня изменялось более чем на 25 м по амплитуде, а в исторический период за последние 3 тыс. лет зафиксированы колебания уровня на 15 м. Средний сверхвековой уровень, по расчетам Р.К. Клиге [1], близок к отметке – 25 м абс. По некоторым существующим вероятностным прогнозам, к этому положению уровень Каспия будет стремиться и в будущем.

Наиболее достоверные данные по уровню Каспия получены за инструментальный период наблюдений с 1830 г. по настоящее время. Эти материалы свидетельствуют, что в изменении уровня наблюдалось несколько характерных циклов. С 1830 по 1882 гг. (более 50 лет) сохранялось относительно стабильное положение уровня на отметках –25–26 м абс., а затем начинается длительный спад вплоть до 1977 г. на 3 метра (–29,02 м абс.). Понижение уровня сопровождалось осушением широкой полосы прибрежной зоны и интенсивным использованием освободившихся из-под моря земель под городское и промышленное строительство. Существовавшие в этот период вероятностные прогнозы успокаивали общественное мнение и планирующие органы, обнадеживая их перспективами дальнейшего понижения. Однако в 1978 г. процесс понижения уровня сменился неожиданным для многих подъемом.

Последние два десятилетия развитие берегов Каспийского моря проходило на фоне экстраординарного повышения уровня моря [2]. Резкий подъем уровня привел к затоплению и подтоплению берегов, к их размыву и разрушению объектов гражданского и промышленного строительства. Огромный ущерб, наносимый народному хозяйству прибрежной полосы в связи с быстрым подъемом уровня, требует разработки комплекса берегозащитных мероприятий и определяет необходимость исследований природных процессов, вызванных современной трансгрессией. С 1978 по 1997 годы уровень повысился на 2,5 м (рис. 1). Средняя скорость трансгрессии составила 10–15 см в год (рис. 2). Особый интерес представляет динамика и морфология берегов, сложенных рыхлыми отложениями, так как именно они подвергаются наибольшей перестройке. Динамику берегов в условиях повышения уровня моря достаточно хорошо описывает "правило Брууна-Зенковича" [3–5] и его последующие модификации [6–8 и др.].

Применительно к Каспийскому морю реакция берегов на возможное повышение уровня была сформулирована еще в 1949 г. О.К. Леонтьевым [9]. По его представлениям, повы-