

ГЕОМОРФОЛОГИЯ И НАРОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 551.435.11

© 1999 г. В.И. АНТРОПОВСКИЙ

**МОРФОЛОГИЯ РУСЛА НИМАНА (БАССЕЙН Р. БУРЕИ)
И ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ЕГО ОБЩИХ ДЕФОРМАЦИЙ В НИЖНЕМ
БЬЕФЕ ПРОЕКТИРУЕМОЙ УРГАЛЬСКОЙ ГЭС-1**

Водный режим Нимана, как и других рек с дальневосточным типом гидрологического режима, характеризуется частыми, мощными и длительными паводками, затрудняющими комплексное использование водных ресурсов и приносящими значительный ущерб народному хозяйству. Характер русловых деформаций рассматриваемой реки практически не изучен. И уже вовсе неясно, как будут развиваться русловые деформации в условиях эксплуатации Нижнениманской ГЭС и разработки карьеров на устьевом участке Нимана с целью добычи аллювиальных грунтов для строительных целей.

Краткие сведения о водном режиме, стоке воды и наносов

Рассмотрение этих руслообразующих факторов необходимо как для анализа русловых переформирований в бытовых условиях, так и для прогнозирования русловых деформаций в проектных условиях. Интерес, прежде всего, представляют максимальные (особенно руслоформирующие) расходы воды, сведения о стоке наносов и характере подстилающих грунтов.

Для Нимана и Буреи характерен паводочный режим в теплую часть года (с мая по сентябрь) и низкая устойчивая межень в зимний период, что предопределяет значительную неравномерность распределения стока в году.

Весенний подъем уровня начинается в начале апреля при ледоставе [1]. Вскрытие в 20–30% случаев сопровождается заторами. Ледоход проходит в конце апреля – первой половине мая, как правило, на подъеме или пике весеннего половодья. Во время ледохода и после его прохождения на берегах рек образуются навалы льда. Заторные уровни не являются наивысшими годовыми. Нередко на спад весеннего половодья накладываются дождевые паводки. Число весенне-летне-осенних дождевых паводков в разные годы колеблется от 4–5 до 10–12. Наиболее значительные паводки проходят чаще в июле и августе, реже в мае-июне и сентябре и, как правило, превышают весеннее половодье. Именно при их прохождении наблюдаются наивысшие в году уровни воды. Время прохождения пиков дождевых паводков в указанных створах на рр. Нимане и Буреи в большинстве случаев совпадает. Паводочный период обычно длится около 150 дней, в отдельные годы 130–175 дней. Паводки имеют сложную форму и образуются путем наложения друг на друга нескольких паводочных волн. Между паводками наблюдаются кратковременные периоды низкого стока продолжи-

тельностью преимущественно от одного-пяти дней до нескольких недель в редкие маловодные годы.

Муссонные ливни иногда охватывают обширные площади и вызывают катастрофические паводки и наводнения. Большие паводки, обуславливающие сильные наводнения на р. Буре, за период с 1911 по 1988 гг. имели место в 1915, 1917, 1946, 1953, 1961, 1972, 1975, 1984 гг. На р. Ниман наивысшие уровни воды за последние 40 лет наблюдались в 1953, 1972, 1976 гг.

Спад уровней начинается в октябре, в отдельные годы в конце сентября и продолжается до начала ледообразования (середина октября). Ледостав наступает в конце октября – начале ноября. Зимняя межень низкая, устойчивая, длится с ноября по апрель. Река Буре в верхнем течении и р. Ниман по наблюдениям в створе 12 км ниже устья р. Акишмы перемерзают, и сток по ним полностью прекращается.

Средний годовой расход взвешенных наносов, по результатам измерений на р. Ниман в створе, расположенном в 0,2 км выше устья р. Алонка (27,3 км от устья), равен 11,5 кг/с, чему соответствуют средняя многолетняя мутность 54 г/м³ и годовой объем наносов 184 тыс.м³.

Сток донных (влекомых) наносов, на основании расчетов по формулам И.И. Леви и К.И. Россинского, принят равным 20% от стока взвешенных наносов и составляет 2,0 кг/с. Годовой объем донных наносов соответственно равен 32 тыс.м³. Средняя крупность донных отложений на участке гидроствора принята равной 230 мм. Более мелкие фракции грунтов, слагающих русло, представлены гравием, галькой и крупным песком.

Морфология и русловые процессы на устьевом участке Нимана

Ниман в нижнем течении пересекает границу двух геоморфологических районов – Туранского хребта и Верхнебуреинской котловины – и характеризуется, по терминологии Р.С. Чалова [2, 3], сменой условий ограниченного развития деформаций во врезанном русле условиями свободного развития широкопойменного русла. Сверху вниз по течению долина реки расширяется, уменьшается крупность аллювия (от галечно-валунного до песчаного), меняются характер и интенсивность русловых деформаций.

Долина реки асимметричная, V-образной формы [4]. Правый склон долины крутой, со скальными выходами, левый – пологий, сложен валунно-галечным аллювием с примесью песка. Ширина долины по дну 200–225 м, а на высоте 100 м над урезом воды – около 600–800 м. Мощность делювиальных суглинков и дресвяно-щебнистых отложений, покрывающих склоны, изменяется в основном от 1 до 3 м и достигает местами 8 м. Встречаются скопления щебнисто-глыбового материала (курумов) мощностью до 3–5 м. На левом склоне долины имеется в виде локальных пятен вечная мерзлота [5]. Правый склон долины находится целиком в мерзлом состоянии. В русловой части наблюдается сквозной талик. Многолетняя мерзлота мощностью от 20 до 80 м занимает 24–50% общей площади. Мощность сезонного оттаивания изменяется от 0,5 до 5 м.

Местами прослеживается высокая пойма и надпойменная терраса высотой от 7 до 12 м при максимальной ширине до 75 м. На левом берегу терраса протягивается на 1,2 км выше устья руч. Половинка. На правом берегу она начинается напротив устья указанного ручья и прослеживается вниз по течению на 0,6 км. В пределах ее наблюдаются мелкие пылеватые пески мощностью до 5 м, лежащие на галечниках с песчаным-заполнителем до 20%. В местах развития высокой поймы и надпойменной террасы между хорошо выраженным в рельефе уступом и урезом воды в межень обнажается валунно-галечниковый бечевник шириной до 50–70 м.

На правом берегу в верхней части участка местами отмечаются выходы скальных пород. Почти непрерывное обнажение их имеется в центральной части (27–28 км). По левому берегу (в верхней по течению части участка) опять же местами встречаются скальные обнажения высотой от 1,5 до 3 м, местами до 5 м.

Обеспеченные значения глубин по фарватеру (м) на участке р. Нимана (от 27,3 км до устья) при меженном (срезочном) уровне воды и при уровне, соответствующем среднему максимальному расходу воды за многолетний период

Уровень воды	Обеспеченность, P %										
	5	10	25	30	40	50	60	70	80	90	95
Меженный (срезочный)	4,40	4714	3,65	3,55	3,33	3,13	2,95	2,75	2,50	2,15	1,85
Максимальный (в средний по водности год)	9,10	8,60	8,00	7,85	7,63	7,40	7,25	7,00	6,75	6,40	6,15

Русло Нимана в верхней части рассматриваемого участка немеандрирующее [6], слабоизвилистое. В средней его части имеется левосторонняя, с признаками врезанности, излучина, на выпуклом берегу которой и ниже по течению расположены карьеры по добыче гравийно-галечного материала. Русло, за исключением самой нижней части участка, преимущественно валунно-галечное, устойчивое. Галька обычно хорошей и средней окатанности. Заполнитель в количестве от 15 до 20% – мелкий глинистый песок. Мощность русловых отложений 2–5 м. В нижней же части рассматриваемого участка тип русловых процессов определен [7] как русловая многорукавность на фоне вынужденного меандрирования. Берега реки в основном поросли густым смешанным лесом с подлеском из кустарника. Уклон водной поверхности изменяется от 0,3 до 1% и даже более. Ширина русла Нимана на участке преимущественно находится в пределах от 80 до 200 м. Глубины по фарватеру различной обеспеченности на рассматриваемом участке реки при срезочном уровне воды ($P = 95\%$) и при уровне, соответствующем среднему максимальному расходу воды за многолетний период, приведены в таблице. Для определения глубин использованы продольные профили реки, составленные Ленгидропроектом по картам масштаба 1 : 25 000 и откорректированные на основании однодневной связки, выполненной экспедицией Ленгидропроекта в мае – июле 1988 г. Между порогом Каменистым и устьем р. Алонки на Нимане имеются два протяженных переката, один из которых расположен на 27,6–28,0 км выше устья, т.е. непосредственно выше проектируемых сооружений. Глубины в створе сооружений при низких уровнях воды 1,5–2 м. Течение направлено параллельно берегам с наибольшими скоростями до 3,0–3,5 м/с у правого берега при низких и средних уровнях воды.

Основные черты современного облика и динамики русла в верхней и средней частях участка складывались на фоне тектонически обусловленной тенденции к направленному врезанию, на которые накладывается цикличность, связанная с колебаниями водности. Врезание приводит к ограничению плановых деформаций русла коренными склонами долины и уступами террас. Врезанные русла характеризуются малыми темпами деформаций, которыми на практике часто вообще пренебрегают. Врезанные излучины обычно в 2 раза крупнее свободных. Считается, что литология коренных пород на размеры врезанных излучин влияния не оказывает. Во врезанных руслах регулярно чередуются плесовые ложины и перекаты. Перекаты во врезанном русле часто представляют собой выступы коренного ложа, перекрытые маломощным слоем наносов. Галечно-валунные перекаты характеризуются стабильным положением. Транспорт галечно-валунных наносов происходит только во время высоких паводков, когда скорости течения превышают неразмывающие для отмостки [2, 3].

Имеющиеся представления о механизме русловых переформирований в таких случаях сводятся к следующему [2, 3]. На подъеме половодья, когда затопливаются еще промерзшие отмели, поток взвешивает наиболее мелкозернистые частицы. При прохождении пика паводочной волны и в период спада половодья, по мере оттаивания отмелей, начинается активное перемещение донных наносов. В русле происходят наиболее существенные переформирования. Аналогичная картина наблюдается и при

прохождении высоких летних паводков в многоводные годы. С дальнейшим спадом половодья и уменьшением расходов воды наиболее крупнозернистые наносы начинают аккумулироваться на побочнях и отмелях. Движение их продолжается в стрежневой зоне потока, где скорости течения еще достаточны для переноса донных наносов, что приводит к укреплению здесь наносов и обнажению на дне базальных галечников или даже коренного скального ложа. Наконец, при спаде половодья наступает момент, когда происходит резкая остановка движения наиболее крупных наносов, которые бронируют дно, перекрывая его и прекращая перемещение массы разнообразного по крупности материала (смесь от валунов до песка). Остановка наиболее крупных наносов в стрежневой части потока приводит также к образованию осередков, отмелей, кос и перекатов. Аллювиальная отмостка обуславливает недеформируемость русла в течение продолжительных отрезков времени.

Если в галечно-валунных руслах деформации, как правило, сводятся к срыву отдельных частиц, слагающих аллювиальную отмостку, или к движению полосы наносов не по всей ширине русла, то в руслах с преобладанием галечно-песчаных и гравелисто-песчаных наносов и развитой поймой ежегодное смещение русловых форм (осередков, побочней, кос) может достигать нескольких десятков метров в год, а размыв берегов – от нескольких метров до десятка метров в год. Осередки, разделяющие поток на отдельные рукава, в нижнем течении Нимана являются наиболее типичными формами транзита наносов. Вместе с побочневидными образованиями, располагающимися у берегов, они обычно представляют собой подвижные, соразмерные с островами, образования. Если перемещение крупной русловой формы целиком происходит в многоводные периоды, то более мелкие гряды на их поверхности деформируются ежегодно, несколько изменяя этим общие очертания крупных форм.

Кроме водности года, подвижность гряд зависит от их размеров, формы и места расположения (2, 3). Высокие и крупные гряды, находясь в течение длительной зимы вне зоны воздействия потока (обсыхающие), промерзают на глубину до нескольких метров, образуя цементирующее их криогенное ядро. В летние месяцы с низкой меженью высокие образования зарастают кустарником и травой. В результате в маловодные годы обычно происходит "консервация" основных русловых форм, снижение скоростей их смещения и превращение осередков в острова. Следующая обычно за маловодным периодом серия многоводных лет приводит к изменению положения стрежня потока и местоположения максимальных размывов. Вследствие этого происходит перемещение побочней и осередков. Очертания и высота перемещающихся форм рельефа претерпевают существенные изменения.

Развитие грядового рельефа в галечно-валунных руслах лимитируется крупностью донных наносов. При наличии в составе руслообразующего материала достаточного количества относительно мелких частиц наносов возможно формирование галечных гряд. При этом гряды распространены не по всей ширине реки, а локализуются вдоль динамической оси потока.

Оценка возможных деформаций русла Нимана в условиях эксплуатации ГЭС

Нижнениманская ГЭС проектируется на 27,3 км от устья. С ее вводом предусматривается многолетнее, сезонное и суточное регулирование стока р. Нимана с уменьшением весенне-летних паводков и среднемасштабных естественных расходов воды в нижнем бьефе ГЭС. Пропуск паводков предполагается осуществлять через агрегаты ГЭС и четыре пролета поверхностного водосброса, оборудованные сегментными затворами. Расходы притока, меньше пропускной способности ГЭС и водосброса ($6750 \text{ м}^3/\text{с}$), пропускаются транзитом при НПУ – 450 м ; расходы, превышающие пропускную способность гидроузла, будут частично аккумулироваться в водохранилище и повышать его уровень. Сбросной расход при пропуске паводка вероятностью превышения $0,01\%$ с гарантийной поправкой составит 8000 м^3 (в том числе $550 \text{ м}^3/\text{с}$ – через агрегаты ГЭС) при максимальном среднесуточном расходе притока $13\,200 \text{ м}^3/\text{с}$. При пропуске паводка вероятностью превышения $0,1\%$ сбросной расход соответственно

составит $7150 \text{ м}^3/\text{с}$. Форсировка уровня над НПУ при пропуске расхода вероятностью превышения $0,1\%$ составит $0,7 \text{ м}$. Максимальный среднемесячный расход, сбрасываемый в нижний бьеф, будет равен $1313 \text{ м}^3/\text{с}$. В маловодные годы в течение всего летнего периода расходы не превышают $90\text{--}100 \text{ м}^3/\text{с}$. Следовательно, минимальные летние расходы в нижнем бьефе увеличатся по сравнению с естественными на $40 \text{ м}^3/\text{с}$. Проектные расходы в створе ГЭС в зимний период составят $220\text{--}400 \text{ м}^3/\text{с}$ вместо $0,07\text{--}200 \text{ м}^3/\text{с}$, наблюдаемых в естественных условиях. До устья р. Нимана эти расходы изменяться не будут, на Бурее они увеличатся на $1\text{--}30 \text{ м}^3/\text{с}$, в ноябре могут увеличиться на $100 \text{ м}^3/\text{с}$.

Среднемесячные зарегулированные расходы воды зимнего периода с ноября по апрель будут составлять $260 \text{ м}^3/\text{с}$, в особо маловодные годы они могут снижаться до $220 \text{ м}^3/\text{с}$. В естественных условиях средний расход этого периода составлял $19 \text{ м}^3/\text{с}$. На р. Нимане ожидается повышение среднемесячных уровней на $1\text{--}1,5 \text{ м}$; на р. Бурее при впадении Нимана – на $0,5\text{--}1,5 \text{ м}$; в месте выклинивания Бурейского водохранилища – на $1,5\text{--}2 \text{ м}$.

Использование ГЭС для суточного регулирования мощности приведет к колебаниям уровней нижнего бьефа. Непосредственно у ГЭС суточная амплитуда уровней в зимний и летний период может достигать $2\text{--}2,2 \text{ м}$. При выходе в Бурею амплитуда колебания уровней уменьшится до $0,5\text{--}0,6 \text{ м}$, а в районе выклинивания Бурейского водохранилища – до $0,4 \text{ м}$ зимой; $0,2\text{--}0,4 \text{ м}$ – летом.

В качестве руслоформирующего расхода воды р. Ниман в пределах его устьевого участка принят средний из максимальных годовых, равный $3010 \text{ м}^3/\text{с}$. За расчетный "руслоформирующий" расход воды при оценке русловых перестроений в проектных условиях принят

$$Q_p = 3010 \text{ м}^3/\text{с}, \quad K = 2020 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Здесь $K = \frac{1313 \text{ м}^3/\text{с}}{1950 \text{ м}^3/\text{с}} = 0,67$ представляет собой отношение максимальных среднемесячных расходов воды в проектных и естественных условиях.

Влияние регулирования стока р. Нимана наиболее заметно должно проявиться в низовьях реки, где наблюдается смена условий ограниченного развития деформаций во врезанном русле свободным развитием русла с наличием поймы. Как уже отмечалось, врезанные русла формируются при дефиците донных наносов и внешних ограничениях плановых деформаций. Врезание в устойчивые к размытию породы приводит к ограничению плановых деформаций русла коренными склонами долины и уступами террас. Врезанные русла характеризуются малыми темпами деформаций, которыми на практике часто вообще пренебрегают. Появление свободно развивающегося русла с поймой объясняется выходом реки в Верхнебурейскую котловину, заполненную рыхлыми отложениями. Здесь в русле уже появляются осередки и побочневидные образования, способные в наиболее многоводные годы смещаться вниз по течению и изменять свои высотные отметки в связи с сезонной изменчивостью стока.

Уклон Нимана на участке от ГЭС до устья равен $0,89\%$. Оценка типа русловых процессов в проектных условиях проведена с помощью критериального графика [8]

$$\text{ТПР} = f(I_0, Q, V_{cp}),$$

где ТПР – тип руслового процесса; I_0 – уклон дна долины на участке; Q – средний из максимальных годовых расход воды; V_{cp} – средняя по сечению скорость потока.

Точка, соответствующая рассматриваемому участку р. Нимана при указанных значениях $Q = Q_p$ и I_0 , попадает на критериальном графике в зону многорукавных русел. Следовательно, если бы не ограничивающие факторы, то и непосредственно на участке расположения ГЭС имело бы место разветвленное русло. В проектных условиях точка, соответствующая рассматриваемому участку, на критериальном графике остается в той же зоне, хотя и приближается к зоне с незавершенным меандрированием. Это свидетельствует о том, что после сооружения ГЭС русловые процессы на

устьевом участке Нимана могут несколько активизироваться. Однако тип русловых процессов и характер переформирований останутся теми же, что и в естественных условиях.

В нижнем бьефе ГЭС обычно наблюдается общий размыв русла, посредством которого река восстанавливает нарушенный баланс наносов. Нижняя граница зоны размыва со временем перемещается вниз по течению. При разнородном составе наносов размыв продолжается до тех пор, пока в русле не создастся самоотмостка и соответственно скорости течения не снизятся до неразмывающих. В руслах с галькой уклон в начальном створе размыва уменьшается постепенно, редко достигая критических значений. В большинстве случаев процесс общего размыва в начальном створе останавливается за счет самоотмостки дна. Вымываются и уносятся вниз по течению мелкие наносы. Наносы на поверхности русла укрупняются. Сопrotивляемость грунтов размывающему воздействию потока увеличивается, глубинные (высотные) деформации замедляются и при наличии размываемых берегов могут смениться плановыми деформациями.

Для получения представления о возможных направленных деформациях, влияющих на положение продольного профиля Нимана и вызывающих понижение уровня свободной поверхности в нижнем бьефе ГЭС, предпринята попытка приближенного расчета указанных характеристик. Расчеты выполнены с учетом процесса самоотмостки по В.С. Кнорозу [9]. При этом использованы следующие исходные данные: расчетный расход воды (являющийся максимальным сбросным расходом в проектных условиях) $Q_p = 2020 \text{ м}^3/\text{с}$; ширина реки $B = 180 \text{ м}$; средняя глубина $h_{cp} = 3,70 \text{ м}$; уклон реки до размыва $I = 0,00089$.

В результате расчетов получены следующие характеристики рассматриваемого участка Нимана в проектных условиях.

Значение неразмывающей скорости с учетом возможности образования самоотмостки, по В.С. Кнорозу,

$$V_{\text{кон}} = V_0'' \left[k \left(\frac{d_{кр}}{h_{cp}} \right)^{0,75} - 0,008 \frac{1-k}{k} \lg \frac{h_{cp}}{d_{кр}} \right] =$$

$$= 2,75 \left[0,60 \left(\frac{0,058}{3,70} \right)^{0,75} - 0,008 \frac{1-0,60}{0,60} \lg \frac{3,70}{0,058} \right] = 2,66 \text{ м/с}$$

Здесь $V_0'' = 2,75 \text{ м/с}$ – средняя неразмывающая скорость при начальной глубине потока для крупных фракций материала русла установлена по рекомендациям Г.В. Железнякова [10]. Крупная фракция материала русла в данном случае представлена крупной галькой или мелким булыжником с галькой и гравием со средним диаметром материала отмостки $d_{кр} \approx 58 \text{ мм}$.

Коэффициент, характеризующий содержание крупных фракций в размываемом материале русла

$$k = \frac{100 - P_i}{100} = 0,60.$$

Доля мелких фракций в размываемом материале русла (доля заполнителя) согласно описанию характера грунта принята равной $P_i = 40\%$.

Полная глубина размыва в нижнем бьефе гидроузла с учетом отмостки (и величина понижения уровня воды) составит

$$h_p = \Delta H = h_{np} - h_{cp} + \delta h = 4,21 - 3,70 + 0,18 \approx 0,70 \text{ м}.$$

Здесь $h_{np} = \frac{Q_p}{BV_{\text{кон}}} = 4,21 \text{ м}$ – предельная глубина в поперечном сечении, при которой прекращается дальнейший размыв дна.

Приращение глубины за счёт "отсасывания" потоком мелких фракций грунта через еще недостаточно сформировавшееся, но уже ставшее ровным благодаря покрытию крупными фракциями наносов русло:

$$\delta h = m d_{\text{кр}} \frac{1-k}{k} = 3,12 \cdot 0,058 \cdot 0,667 = 0,18 \text{ м.}$$

Параметр, учитывающий число слоев крупных частиц размером $d_{\text{кр}}$, а также сплошность их размещения

$$m = 0,013 \left(\frac{V_{\text{кон}}}{V'_0} \right)^5 = 0,013 \left(\frac{2,66}{0,89} \right)^5 = 3,12.$$

Средняя неразмывающая скорость при начальной глубине потока для мелких фракций наносов: $V'_0 = 0,89$ м/с установлена также по рекомендациям Г.В. Железнякова [10]. Мелкая фракция материала русла в данном случае представлена крупным песком с примесью гравия и среднезернистым песком с глиной со средним диаметром $d = 1,75$ мм.

Для определения остальных характеристик использованы формулы, входящие в состав комбинированного упрощенного балансового метода [11]. Так, уклон в нижнем бьефе по окончании размыва установлен по формуле Шеши

$$I_k = \frac{V_{\text{кон}}^2}{c^2 h_p} = \frac{(2,66)^2}{(52,8)^2 \cdot 4,4} = 0,00058.$$

Коэффициент C вычислен обратным путем по результатам гидрометрических измерений на рассматриваемом участке в естественных условиях

$$C = \frac{Q_p}{B h_{\text{cp}} \sqrt{h_{\text{cp}} I}} = \frac{2020}{180 \cdot 3,70 \cdot \sqrt{3,70 \cdot 0,00089}} = 52,8 \text{ м}^{1/2} / \text{с.}$$

Близкое значение величины I_k получается и по зависимости С.Т. Алтунина [12]

$$I_k = k I = 0,70 \cdot 0,00089 = 0,00062.$$

Длина основного участка размыва составит не менее

$$L = \frac{2 \Delta H}{2I - (I_k + I_l)} = \frac{2 \cdot 0,70}{2 \cdot 0,00089 - (0,00058 + 0,00058)} = 2,26 \text{ км.}$$

При этом принято $I_c \approx I_k$.

Объем вымытого грунта на участке общего размыва по формуле И.И. Леви составит

$$W = \frac{B}{2} [(h_p - h_{\text{cp}})(L - L_l) + \Delta H L] = \frac{160}{2} [(4,40 - 3,70)(2260 - 200) + 0,70 \cdot 2260] = 242 \cdot 10^3 \text{ м}^3.$$

Длина участка местного размыва принята равной $L_l = 200$ м.

Ширина реки в проектных условиях установлена по формуле С.Т. Алтунина [12]

$$B = B_{\text{пр}} = \frac{\rho Q_p^{0,5}}{I_k^{0,2}} = \frac{0,80 \cdot (2020)^{0,5}}{(0,00058)^{0,2}} = 160 \text{ м.}$$

Здесь ρ установлено обратным путем по характеристикам русла, соответствующим руслоформирующему расходу воды

$$\rho = \frac{B \cdot I^{0,2}}{Q^{0,5}} = \frac{180(0,00089)^{0,2}}{(3080)^{0,5}} = 0,80.$$

Время наиболее интенсивных переформирований в нижнем бьефе ГЭС составит

$$T = \frac{W}{W_1} = \frac{242 \cdot 10^3}{32 \cdot 10^3} \approx 7,5 \text{ лет.}$$

Сток данных наносов в проектных условиях за год W_1 принят в размере 20% от общего годового стока наносов и равен примерно $32 \cdot 10^3 \text{ м}^3$. Плотность грунта в донных отложениях принята равной $\rho_{\text{гр}} = 2,2 \text{ т/м}^3$.

Поскольку в верхней и средней части рассматриваемого участка Нимана русло врезано в коренные породы, то аллювиальные отложения здесь не образуют сплошного чехла, а прослеживаются в переуглублениях русла и на прибрежных отмелях. Именно этот аллювий и будет срабатываться в процессе размыва. И даже в нижней части участка Нимана, где на фоне вынужденного меандрирования развита русловая многорукавность, можно ожидать размыва в первую очередь протоков с более легко размываемыми грунтами. Заметного размыва протоков, русла которых сложены более крупнозернистым грунтом, может не произойти. В результате некоторые из них могут создать небольшой подпор, вследствие чего отметки дна русла на перекатах, расположенных выше выхода из протоки, могут повыситься. На нижнем Нимане возможен намыв гребней перекатов (бóльший по сравнению с естественными условиями) вследствие срезки максимальных паводочных расходов и усиления подпора со стороны Буреи. Возможен намыв гребней перекатов на указанном участке и в период повышенной зимней межени.

Карьеры по добыче гравийно-песчаных грунтов на Нимане, по имеющимся скудным данным, пока не являются русловыми, затапливаются при прохождении паводков редкой обеспеченности и существенного влияния на режим наносов и деформации не оказывают. При размещении карьеров в русле реки может произойти дополнительное понижение уровня воды и врезание устьевых участков притоков. Вообще, разрушение отмоксти при проведении дноуглубительных работ приводит к значительным деформациям дна реки, сопровождающимся посадкой уровня на перекате и несколько выше по течению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов В.И. Характеристики наводнений на р. Амуре и его левых притоках, мероприятия по борьбе с ними // Тр. III Всесоюз. гидрологич. съезда. Т. 7. Л.: Гидрометеиздат, 1959. С. 261–267.
2. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.
3. Русловой режим рек Северной Евразии (в пределах бывшего СССР) / Под ред. Чалова Р.С. М.: Изд-во МГУ, 1994. 336 с.
4. Река Бурея // Материалы для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий. 1906. Вып. 14. 80 с.
5. Баканин В.Н., Жуков В.Ф., Мейстер Л.И. Многолетняя мерзлота горных пород и условия строительства в центральной части Буреинской впадины. М.: Изд-во АН СССР. 1954. 205 с.
6. Пиньковский С.И. Типы речных русел Дальнего Востока // Тр. ГГИ, 1967. Вып. 144. С. 77–117.
7. Водные ресурсы рек зоны БАМ / Под ред. Чеботарева А.И. и др. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 272 с.
8. Антроповский В.И. Об исследовании руслового процесса рек бассейна Амура в связи с планируемыми противопаводочными мероприятиями // Материалы научной конференции по проблемам водных ресурсов Дальневосточного экономического района и Забайкалья. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. С. 568–477.
9. Кнороз В.С. Естественная отмокста русел, образованных материалами неоднородной крупности // Изв. ВНИИГ. 1962. Т. 70. С. 21–51.
10. Железняков Г.В. Пропускная способность русел каналов и рек. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 312 с.
11. Антроповский В.И. Упрощенные методы расчета русловых деформаций в нижних бьефах гидроузлов // Гидротехника и мелиорация. 1987. № 1. С. 23–26.
12. Алтушин С.Т. Заиление водохранилищ и размыв русла в нижних бьефах плотин // Тр. III Всесоюз. гидрологич. съезда. Т. 5. Л.: Гидрометеиздат, 1960. С. 25–38.

**MORPHOLOGY OF THE NIMAN RIVER CHANNEL (BASIN OF THE BUREYA RIVER)
AND PROGNOSTIC EVALUATION OF ITS TOTAL DEFORMATIONS
IN THE LOVER POOL OF THE DESIGNED URGALSKAYA-1 WATER POWER PLANT**

V.I. ANTROPOVSKY

S u m m a r y

Possible reformations of Niman River channel in the lover pool of the designed Urgalskaya-1 (Nizhnenimanskaya) water power plant are under consideration.

УДК 551.438.5:625.74(470.311)

© 1999 г. **О.К. КАЛАНТАРОВ, А.Е. ДЕВЯТКИН, М.З. КАНЕВСКИЙ,
Д.В. МИХАЛЕВ, К.И. ШЕВЧЕНКО**

**МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТКОСОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
И ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ЭРОЗИИ
И СКЛОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ (НА ПРИМЕРЕ МКАД)**

Защита откосов дорожных выемок и насыпей от эрозии и склоновых процессов является важной задачей в транспортном строительстве. Неконтролируемое развитие этих процессов может не только привести к разрушению самих откосов, но и, в конечном счете, создать реальную угрозу нормальному функционированию инженерных сооружений автодороги. Все возрастающие в последние годы объемы и темпы дорожного строительства требуют разработки и применения новых альтернативных методов и технологий защиты строительных объектов от опасных природных процессов. Это достаточно убедительно подтверждают результаты обследования и проведенная оценка состояния откосов и инженерных конструкций реконструируемой Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД).

**Воздействие эрозионных и склоновых процессов на откосы
дорожных выемок и насыпей**

Эрозионным и склоновым процессам подвержены, в той или иной степени, все склоны естественного происхождения и искусственно сформированные откосы. В процессе дорожного строительства происходит формирование искусственных склонов (откосов), связанное с отсыпкой дорожных банкетов (насыпей) и выработкой дорожных выемок. Как правило, крутизна таких откосов колеблется от 1/2,5 до 1/1,5 (отношение высоты к заложению), что составляет приблизительно 22–33,5° (СНиП 2.05.02-82 [1] устанавливает наибольшую крутизну откосов насыпей и выемок, соответствующую для различных типов песчаных и глинистых грунтов 1/1,75–1/1,5 или 30–33°). Вместе с тем, встречаются как более пологие, так и более крутые дорожные откосы (чаще всего, откосы выемок). Укрепление и защита от разрушительных процессов крутых откосов представляет собой очень сложную инженерную задачу.

Обычно откосы дорожных насыпей выполняются из дренируемых песчано-гравийных грунтов. Откосы дорожных выемок могут быть сложены грунтами различного состава, что зависит от геологического строения территории. Состав и свойства грунтов, слагающих откос, во многом определяют степень устойчивости откоса по отношению к эрозионным и склоновым процессам.

При отсутствии противоэрозионных мероприятий на дорожных откосах происходит концентрация поверхностного стока, и плоскостной смыв, интенсивность которого