

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСХОДОВ ВЛЕКОМЫХ НАНОСОВ ДЛЯ РЕК С ГРАВИЙНЫМ РУСЛОМ (НА ПРИМЕРЕ р. ТОМИ)

Д.А. Вершинин, С.Г. Копысов, П.Н. Лещенко
Томский государственный университет

В статье рассматриваются натурные методы наблюдений за стоком влекомых наносов и гранулометрическим составом донных отложений с применением экспериментальных приборов на реках с гравийным руслом

Известно, что расходы донных наносов – важный параметр при исследовании русловых деформаций. На современном этапе их определяют либо по эмпирическим формулам, либо косвенными методами (планы деформаций и т.п.) В своих исследованиях 2000 г. мы впервые попытались их измерить с помощью батометра – сетки новой конструкции. Исследования эти только еще начались, до осмысления их – далеко. Здесь мы хотели показать лишь первые их результаты, поставить вопросы и наметить пути их решения.

1. ОПИСАНИЕ УЧАСТКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Реска Томь берет начало на западных склонах Абаканского хребта.

Равнинная часть бассейна отличается хорошо выраженными надпойменными террасами и поймой.

Русло галечное, слабо деформирующееся. Участки однорукавного русла сменяются участками с хорошо развитой сетью русловых и пойменных протоков. Протока Светлая отделяется от основного русла на 105 км от устья, а на 94 км они сходятся. В протоке можно выделить две слабообразованные излучины: первую в верхней части, в районе подмываемого берега и вторую выше старых карьеров, на 5–6 км от устья протоки, называемом в дальнейшем быстротоком. Остальные участки: верхняя часть протоки и разработанные карьеры являются относительно прямолинейными.

Рассматриваемый участок представляет собой типичную пойму, сложенную аллювиальными отложениями, частично нарушенную добычей гравия. Лишь на одном участке, между 6 и 8 км от устья протоки, вода подмывает берег, сложенный суглинистыми породами.

Добыча гравия началась с 1983 г. Первоначально была раскопана устьевая часть протоки, а затем выше до протоки Крутовиха, которая впадает на 3 км от устья, и выше. В этом году добыча гравия из русла протоки велась на двух участках: между 4 и 5 км, ниже второй излучины и в верхней части на 7–8 км, выше первой излучины. Протока Крутовиха очень сильно нарушена и полностью потеряла естественный вид. Это привело к увеличению ее пропускной способности. В меженный период связь с Калтайской протокой, на участке между излучинами отсутствует.

Гидравлический режим протоки не однороден. Отработанные карьеры представляют собой в межень наиболее широкие (около 300 м) и глубокие (от 2 до 3,5 м) участки с низкими скоростями течения (0,2–0,25 м/с), мало изменяющимися по ширине и глубине (рис. 1).

В верхней части протоки, где добыча гравия не производилась, в этот же период глубины не превышают 1–1,5 м, наблюдаются большие уклоны водной поверхности, и ширина обычно не превышает 150 м. При этом максимальные скорости на стрежне достигают 1,5 м/с и значительно изменяются по ширине и глубине потока. Распределение скоростей приведено на рис. 2.

Из-за русловой добычи гравия также утеряла естественный вид береговая линия, став более изрезанной. Берега лишились естественной растительности и приобрели большую крутизну. В нижней части протоки сильно изменилась конфигурация русла.

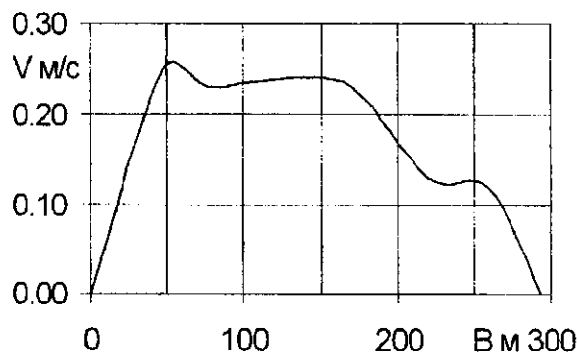


Рис. 1. Распределение средних скоростей течения в отработанных карьерах

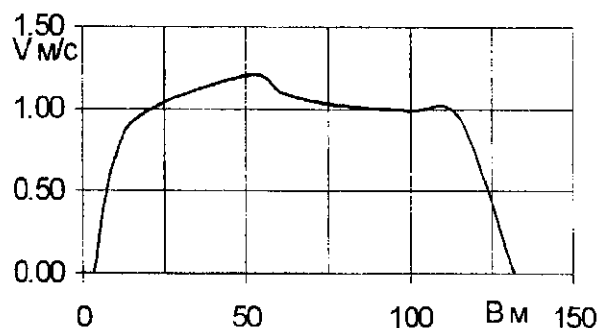


Рис. 2. Распределение средних скоростей течения в верхней части

Такое различие скоростей течения потока, и, как будет отмечено в дальнейшем, и гранулометрического состава аллювия на таком коротком участке позволяет исследовать достаточно широкий диапазон факторов, влияющих на сток влекомых наносов

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Отбор проб донных отложений для последующего их анализа обычно производится с помощью дночерпателя ДЧ-0,025 или грунтоотборника ГР-91. Эти приборы широко применяются изыскательскими организациями, но, по нашему мнению, искажают результаты гранулометрического состава донных отложений на речах с гравелистыми и галечными отложениями. Например, размеры ковша прибора ГР-91 составляют 70×55 мм, тогда как размеры частиц, наблюдаемых в р. Томь, часто превышают эти значения. Что касается дночерпателя, то его конструктивные особенности порой не позволяют захватить достаточного количества донного материала для получения достоверных сведений о крупности отложений – кромки ковша скользят по крупной гальке, не захватывая более мелкие частицы, часто происходит зажим частиц между ковшами, при этом дночерпатель не закрывается полностью и в процессе подъема на поверхность часть пробы вымывается, особенно мелкие фракции. Ошибка определения как среднего, так и действующего диаметра донных отложений в 1 мм при максимальной крупности в 70–80 мм дает погрешность определения расхода донных наносов на вертикали по формуле Гончарова [1] до 10%.

Для отбора проб донных отложений нами применялось достаточно простое устройство в виде ковша шириной 15 см с сетчатым мешком вместо задней стенки. Ячейка такой сетки не превышает 0,25 мм, поэтому минимизируются потери при извлечении пробы со дна. Нескольким измененным был и механизм забора пробы – ковшом снимался слой аллювия площадью около 300 см² (15×20 см) и толщиной 2–4 см в зависимости от гранулометрического состава определенного визуальным способом. При больших глубинах приходилось прибегать к помощи водолазов. Крупность отложений определялась ситовым методом. Здесь также возникают трудности с определением диаметров частиц крупнее 10 мм, а в донных отложениях Томи они имеют преимущество. Дело в том, что стандартный набор сит имеет наибольший диаметр в 10 мм. При расчетах наиболее важны средний (50% обеспеченности) и действующий (5% обеспеченности) диаметры, которые являются основными характеристиками крупности и определяются по кривым непревышения, причем последний из них – в правой части кривой, которая оказывается наименее освещенной данными ввиду крупности донных отложений. Авторам пришлось использовать подручные средства для более точного обоснования кривых гранулометрического состава отобранных проб.

Анализ распределения крупности донных отложений по протоке Светлой подтверждает, что наибольший средний диаметр наносов соответствует вертикалям с наибольшими средними скоростями течения воды. Значит, от берегов к стрежню происходит закономерное увеличение средней крупности. В бывших карьерах средний диаметр мало меняется по ширине и не превышает 10–20 мм. В местах, пока не подверженных разработке, он не менее 15 мм, а на стрежне достигает 35 мм (рис. 3.).

Зависимость действующего диаметра от скоростей течения воды менее однозначна, но в целом подтверждает зависимость. В карьерах он в среднем 20–40 мм, а на нетронутых участках 35–60 мм.

Распределение среднего диаметра по длине протоки показывает уменьшение его вниз по течению от 25 до 7 мм, аналогично ведет себя действующий диаметр от 45 до 25 мм (рис. 4.).

Это объясняется вымыванием наиболее мелких фракций в верхней части протоки, где наблюдаются высокие скорости течения около 1 м/с в межень, и их отложением в карьерах, где в этот же период наблю-

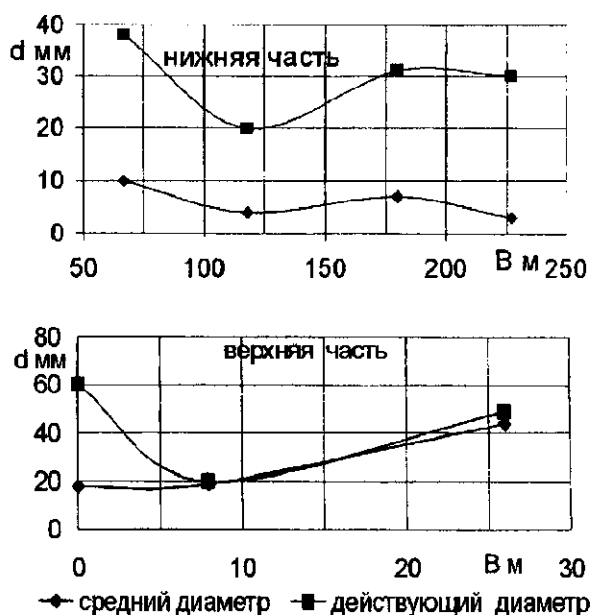


Рис. 3. Распределение гранулометрического состава донных отложений по ширине

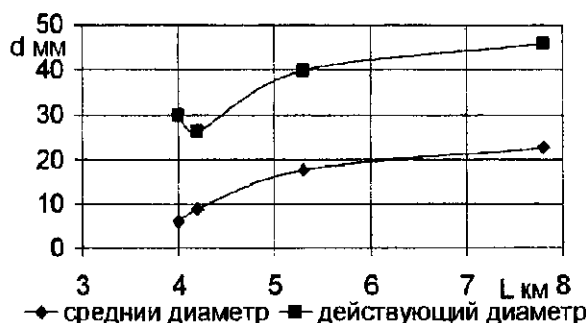


Рис. 4. Распределение крупности донных отложений по длине протоки

даются низкие скорости 0,2–0,3 м/с. Это является проявлением формирования профиля динамического равновесия, при резком увеличении площади живого сечения.

3. ИССЛЕДОВАНИЯ СТОКА ВЛЕКОМЫХ НАНОСОВ

Определение стока влекомых наносов задача очень сложная и до настоящего времени не существует универсальной методики, дающей приемлемые результаты с ошибкой менее 50% [3].

В то же время знание стока влекомых наносов необходимо, так как определяет максимально допустимый объем выборки песчано-гравийной смеси из русла за один год при заданном условии ее минимально ущербной добычи. Также возможность оценки стока влекомых наносов позволяет прогнозировать занесение судоходных прорезей и русловых карьеров.

Для наблюдений за влекомыми наносами, сотрудниками лаборатории гидравлики ТГУ в этом году, была создана ловушка оригинальной конструкции. Она представляет собой жестяное корыто, длиной 35 см и шириной 16 см, высотой боковых стенок 8 см. Вместо задней стенки натянута сетка, передняя стенка отсутствует и имеет небольшой наклонный выступ. Для удобства установки сверху сделана деревянная ручка, а для удержания ловушки от сноса к ней прикреплены четыре груза.

Еще более десяти лет назад на кафедре гидрологии проходили испытания батометров трех типов: батометр-сетка, вакуумный батометр и ведро-отстойник. Однако тогда батометр-сетка занижал расход влекомых наносов, из-за уменьшения скоростей течения, вызванного сопротивлением сетки, что также вызывало размыв грунта у входа в батометр и приводило к прекращению поступления материала. Вакуумный батометр также не был доведен до практического использования, а ведро-отстойник, хорошо показавший себя и позволяющий работать при глубинах до 3 м, в настоящее время требует восстановления.

При создании ловушки были учтены недостатки батометра-сетки. Поэтому для устранения сопротивления на входе в ловушку, создаваемого сеткой и проявляемого на 2–3 ее длины, она имеет длинный стабилизирующий корпус. Ячей сетки также не превышает 0,25 мм.

Методика применения ловушки проста и сводится к ее правильной установке на дне по оси потока, при этом определяется время нахождения ловушки на дне в рабочем состоянии. Обычно ловушка стоит 5–10 минут, при этом ведутся параллельные наблюдения за скоростями воды на различных горизонтах (придонном, среднем и поверхностном). При незначительных глубинах установка ловушки производится в пешем порядке, в противном случае приходится прибегать к помощи водолазов, ныряющих с лодки. При этом с лодки измеряются скорости. Для плановой стабилизации лодки при

скорости более 1 м/с, необходимо использовать два тяжелых якоря или более крупное судно, чем моторная лодка. В перспективе, необходимо создать систему установки ловушки при больших глубинах, позволяющую обходиться без помощи водолазов.

Пойманные наносы взвешиваются и подвергаются гранулометрической обработке. Определяется удельный расход наносов на единицу ширины, измеряемый в кг/(с×м).

По результатам гранулометрической обработки пойманных проб в прямолинейной верхней части протоки определены их средний и действующий диаметры. Анализ зависимости среднего диаметра влекомых наносов от среднего диаметра донных отложений показывает, что средний диаметр донных отложений несколько больше, чем у пойманных. Причем наибольшая разница наблюдается у наиболее крупных фракций. Для действующих диаметров, 5% обеспеченности, эта зависимость выражена еще ярче.

У мелких фракции, менее 8 мм, наоборот наблюдается большее содержание в пойманных пробах, чем в донных отложениях. Это говорит о дефиците мелких фракций, вымываемых в первую очередь при больших скоростях течения. Именно это является причиной высокой прозрачности воды на рассматриваемых участках, в отличие от карьерных участков, на которых происходит отложение вымытых частиц.

Наблюдения за влекомыми наносами проводились в два этапа при разных расходах, что позволило подобрать две эмпирические формулы, дающие возможность рассчитать сток влекомых наносов при различных расходах в верхней части протоки Светлой, путем линейной интерполяции.

При подборе формулы было сделано допущение, что скорость воды, измеренная в 10 см от дна, близка к сдвигающей скорости наносов (точное определение которой пока затруднено) при соответствующих параметрах потока и крупности наносов. Это предположение вызвано необходимостью расчета стока влекомых наносов лишь по измерениям скоростей течения и гранулометрическому анализу донных отложений, и основано на взаимодействии между потоком и слагающим его руслом. С накоплением материалов и проведением лабораторных исследований, возможно, будет применяться срывающая скорость.

Структура формулы подобрана расчетным путем и является теоретически обоснованной К.В. Гришаниным [2], но с указанным выше допущением:

$$G = a (V_{cp} - V_{дон}) V_{cp}^3 \cdot d \quad (1)$$

где G – удельный расход влекомых наносов (кг/с×м); d – средний диаметр пойманных наносов в мм, определяется по зависимости от среднего диаметра донных отложений; V_{cp} – средняя скорость на вертикали, м/с; $V_{дон}$ – скорость на расстоянии 10 см от дна, м/с; a – эмпирический коэффициент, отражающий несучетные факторы и погрешности.

Разница ($V_{\text{ср}} - V_{\text{дон}}$) характеризует скорость движения наносов. Сомножитель $V_{\text{ср}}^3$ отражает то, что число движущихся частиц (коэффициент динамической сплошности) пропорционально кубу средней скорости потока.

Подобранные коэффициенты и вид полученных зависимостей приведен на рис. 5. Здесь $X = (V_{\text{ср}} - V_{\text{дон}}) V_{\text{ср}}^3 \cdot d$, а коэффициенты уравнения регрессии отражают эмпирический коэффициент a .

Наибольшие ошибки формула дает для мелких проб, у которых велика доля потерь при их сборе и

обработке. В остальных случаях полученные ошибки являются приемлемыми.

Остается неопределенным вопрос о различии коэффициентов при изменении расхода воды в протоке. Ответ может быть дан лишь при накоплении большего объема данных и окончательной отработке методики измерения стока влскомых наносов предлагаемым способом. Пока до конца не уточнено и влияние сетки на изменение скорости – проверить это можно лишь в лабораторных условиях при наличии соответствующих приборов.

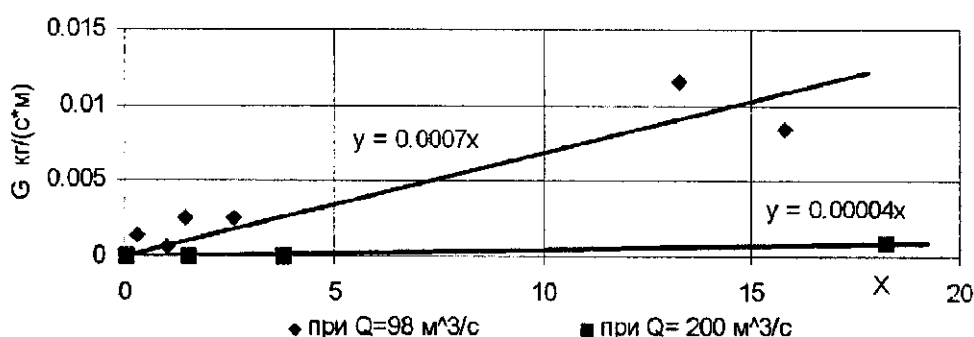


Рис. 5. Зависимость расхода влскомых наносов от скоростей воды и средней крупности наносов

Литература

1. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеониздат, 1962. 373 с.
2. Гришанин К.В. Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеониздат, 1969. 428 с.
3. Каменсков Ю.И. Русловые и пойменные процессы. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1987. 171 с.