

ИЗМЕНЕНИЕ МУТНОСТИ ВОДЫ НА УЧАСТКАХ СТРОИТЕЛЬСТВА ПЕРЕХОДОВ ТРУБОПРОВОДОВ ЧЕРЕЗ РЕКИ

© 2010 г. Н.И. Алексеевский¹, В.В. Иванов¹, Т.А. Федорова²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

²ООО «Центр практической геоэкологии», г. Красногорск

Ключевые слова: мутность воды, подводные переходы трубопроводов через реки, техногенное взмучивание донных отложений, диффузия и осаждение взвеси, трансформация поля мутности ниже зоны строительства переходов

Выполнен анализ влияния строительства трубопроводов на изменение мутности воды на реках Малая Северная Двина, Сухона, Колпь, Тверца и Логовежь. Проведена оценка техногенного увеличения мутности воды ниже участков строительства подводных переходов газопроводов через реки (с учетом изменчивости содержания в воде взвешенных частиц в различные фазы водного режима) и эффективности существующих расчетных методов определения продольной и поперечной трансформации полей мутности в зависимости от сочетания природных и техногенных факторов.

Введение

Эксплуатация нефте- и газопроводов является одним из наиболее важных видов хозяйственной деятельности в современной России. Этот вид природопользования неизбежно связан с изменениями состояния окружающей среды в процессе строительства и использования трубопроводов. Наиболее чувствительными к техногенному воздействию являются участки трассы, на которых трубопроводы пересекают речные долины [1]. Степень этого воздействия зависит от технологии создания переходов. Строительство подводных переходов в основном производится траншейным способом и методом наклонного бурения. Траншейный способ предполагает разработку подводной траншеи поперек русла, укладку в траншею трубы и обратную ее засыпку. При наклонном бурении труба размещается в тоннеле, пройденном под руслом реки. В любом случае при создании подводного перехода

существует большая или меньшая вероятность негативного изменения качества воды и экологического состояния водотока [2].

Характеристики зоны негативного воздействия подводных работ на водные биоценозы зависят от многих факторов (особенностей скоростного поля потока, типа землеройной техники, гранулометрического состава русловых отложений, извлекаемых из русла реки при создании траншеи для трубопровода). В зависимости от диаметра искусственно взвешиваемых частиц они возвращаются в состав отложений практически мгновенно или на большом удалении от района дноуглубительных работ, под которыми понимаются любые виды подводных земляных работ [3]. По этому признаку состав взвешенных частиц можно разделить на мелкие и крупные фракции. Мелкие фракции транзитом переносятся на нижерасположенные участки реки, где через некоторое время осаждаются, переходят в состав русловых отложений или поступают в приемные водные объекты. Они оказывают решающее влияние на увеличение фоновой сезонной мутности и практически не участвуют в заилении русел рек в непосредственной близости от створа производства дноуглубительных работ. Уменьшение мутности воды по длине реки в этом случае связано не с осадением взвешенных частиц, а с процессами смешения водных масс с различной мутностью, своеобразным «разбавлением» искусственно поступившей в поток массы взвешенных частиц в постепенно возрастающем объеме воды. Осаждение частиц с диаметром меньше 0,01 мм возможно лишь в зонах существенного уменьшения скорости потока.

Цель статьи – изучение техногенного увеличения мутности воды ниже участков строительства подводных переходов газопроводов через реки с учетом изменчивости мутности в различные фазы водного режима, а также оценка эффективности существующих расчетных методов определения продольной и поперечной трансформации полей мутности в зависимости от сочетания природных и техногенных факторов.

Влияние строительства трубопроводов на состояние водотоков

Строительство переходов траншейным способом сопровождается нарушением естественного рельефа дна и взвешиванием частиц русловых отложений. Техногенное изменение содержания в воде взвешенных частиц (мутности) происходит за счет поступления в речной поток дополнительных порций минеральных частиц в результате дноуглубительных работ в створе перехода, а также выполнения других

технологических операций (обратная засыпка, гидроиспытания). Дноуглубление может производиться с помощью землесосов, ковшевых и черпаковых земснарядов. В ряде случаев для этого используется и землеройная техника – экскаваторы (при создании траншей в створах переходов трубопроводов через малые реки, при обустройстве прибрежных частей русла, рис. 1). Тип технических средств, применяемых при строительстве подводного перехода, может влиять на степень изменения подводного рельефа дна рек и естественной сезонной мутности воды.

Использование рефулерных земснарядов при создании траншеи для организации подводного перехода трубопровода через реки с песчаным руслом приводит к возникновению в реке локальной струи воды, насыщенной минеральными частицами разного диаметра (рис. 2). Мутность воды в этой струе существенно превышает сезонные максимумы этой характеристики на участке реки за пределами зоны влияния дноуглубительных работ. При сбросе пульпы на берег некоторый объем изъятых грунтов возвращается в реку вследствие образования временных водотоков на месте складирования изъятых русловых отложений. В результате формируется береговая зона повышенного содержания в воде взвешенных частиц. Длина зоны повышенной мутности определена диаметром частиц, скоростью их осаждения и скоростью потока в береговой области. При проведении работ ковшевыми или черпаковыми земснарядами изъятый грунт грузится на баржи или шаланды, вывозится за пределы участка строительства подводного перехода и складывается в специально выделенных зонах их разгрузки. В этом случае увеличение мутности характерно для района изъятия грунта, вымывания части грунта из ковша в водоток до момента перемещения изъятых отложений на транспортное средство. Вторая зона повышенной мутности формируется в зоне разгрузки барж или шаланд.

Увеличение мутности воды может негативно влиять на состояние гидробионтов ниже по течению от створа создаваемого перехода [4]. При рефулерном способе сброса грунта в воду негативные воздействия на нейстон ограничены площадью сектора расширения струи, а при ковшовом изъятии – площадью ковша. Влияние дноуглубительных работ на организмы планктона носит более сложный характер. При искусственном увеличении содержания в воде минеральных частиц снижается интенсивность фотосинтеза и продуктивность зоопланктона. Процессы смешения речных вод и негативные изменения экологических условий прослеживаются не только в зоне работы земснарядов, но и ниже по течению сразу после попадания техногенных

наносов в поток. Аналогично развиваются процессы диффузии взвешенных частиц на участке реки ниже зон разгрузки шаланд.



Рис. 1. Формирование береговой зоны техногенного увеличения мутности воды.



Рис. 2. Изменение мутности речных вод при работе рефулерных земснарядов.

Воздействие дноуглубительных работ на бентосные организмы выражено наиболее сильно, поскольку они испытывают стрессовые изменения не только в период изъятия грунта, но и в дальнейшем, после их частичного или полного повторного перехода из состава взвеси в состав русловых отложений. Донные биоценозы испытывают механическое воздействие осаждающихся частиц и влияние химических соединений или элементов, химически связанных с взвешенными частицами и оказывающих токсическое воздействие на гидробионтов. Воздействие сбрасываемых грунтов на бентос максимально при взмучивании и последующем осаждении минеральных частиц, загрязненных солями тяжелых металлов и нефтяными углеводородами, поскольку при техногенном их взвешивании возрастает высвобождение, усвоение и утилизация тяжелых металлов. Поступление на дно новых «порций» минеральных частиц может иметь и положительный эффект на условия

обитания водных обитателей. Искусственные положительные формы рельефа дна, как и естественные осередки, способствуют улучшению условий нереста рыб, развития бентосных организмов [5].

Продолжительность процесса осаждения искусственно взвешенных частиц и границы зоны техногенного увеличения мутности воды в общем случае неизвестны. Предполагается, что расстояние $L_{\text{дп}}$, на котором поступившие в поток частицы возвращаются в состав русловых отложений, возрастает при увеличении скорости v и глубины потока h , уменьшении ее гидравлической крупности w . Оно находится по формуле типа [6]

$$L_{\text{дп}} = \frac{ahv}{w}, \quad (1)$$

где $a = 1,3$ – эмпирический коэффициент. Получаемые значения $L_{\text{дп}}$ соответствуют расположению створа достаточного перемешивания, для которого характерна относительная однородность водной массы по содержанию взвешенных частиц, а мутность воды отличается от фоновой мутности менее чем на 10–15%.

В природных условиях мутность воды s на участке реки формируется в результате протекания совокупности эрозивно-аккумулятивных процессов в пределах водосборов. В результате содержание в воде взвешенных частиц испытывает закономерные и случайные изменения. Они прослеживаются в различных масштабах времени и связаны с водностью рек, ландшафтными особенностями водосборов, орографией местности и литологией горных пород, отличающихся противоэрозийными свойствами [7]. На этом фоне формируются сезонные изменения мутности воды. В зависимости от фазы водного режима (половодье, паводок, межень) она возрастает или уменьшается вследствие сезонного сочетания процессов, определяющих поступление в поток минеральных частиц или их переход в состав речных отложений. Локальное влияние на эти процессы может оказывать, например, волновой размыв речных берегов. Наблюдения на Малой Северной Двине показали, что при скорости северо-западного (низового) ветра 3–5 м/с (порывами до 7 м/с) формируются волны высотой от 0,6–0,8 м. Их энергия достаточна для размыва суглинистых берегов реки и увеличения мутности воды до 37–66 г/м³. Мутность воды у берегов в этих условиях превышала фоновые значения в 2–5 раз и была сопоставима с мутностью в районе строительства траншеи для укладки трубопровода. Ширина зоны повышенных значений мутности не превышала первых метров. На расстоянии более 10 м от размываемого берега зона с повышенной концентрацией взвешенных частиц

утрачивала визуально воспринимаемые признаки вследствие смешения более мутных вод с основной водной массой и аккумуляции наиболее крупных частиц взвеси.

Мутность воды изменяется по длине рек в соответствии с ритмикой и объемом поступления наносов с вышерасположенных участков, местного водосбора, а также в зависимости от гидравлических условий переноса частиц вдоль потока, определяющих предельную нагрузку потока минеральными частицами $s_{тр}$. Поэтому даже при постоянном расходе воды ($Q=const$) мутность воды на участке реки может уменьшаться, возрастать или оставаться неизменной в зависимости от соотношения между s и $s_{тр}$. В рамках диффузионной теории движения взвешенных наносов изменение по длине водотока осредненной по его ширине мутности описывается уравнением [8]

$$s_k = s_{тр} - (s_n - s_{тр}) \exp(-Bbw\Delta x/Q), \quad (2)$$

где s_n , s_k – соответственно, начальная и конечная мутность воды на участке реки длиной Δx и шириной B ;

b – параметр.

При неоднородном распределении мутности по ширине потока изменение содержания взвешенных частиц зависит не только от осаждения частиц, но и от процессов их горизонтальной диффузия (дисперсии). Эти закономерности учитывают более сложные модели движения потока воды и примесей по сравнению с уравнением (2).

Изменение мутности по длине участков реки отражает и влияние хозяйственной деятельности. Техногенное увеличение содержания минеральных частиц воде происходит вследствие сведения лесов, распашки целинных земель, ниже зон производства горных работ и т. п. В частности, дополнительное поступление частиц в поток связано с производством дноуглубительных работ. В зависимости от используемой техники, гидравлической крупности частиц в пульпе, гидравлического состояния водного потока повышенные значения мутности фиксируются локально или фиксируются на большой длине рек ниже участка производства дноуглубительных работ. Особенности этого процесса нами изучены на участках пяти рек, расположенных в центральной части Европейской территории России (ЕТР).

Объекты исследования

В работе использованы данные натуральных наблюдений, выполненных летом 2006 г. на реках Малая Северная Двина, Сухона, Колпь, Тверца и Логовежь (табл. 1) ниже створа строительства подводных переходов трубопроводов. Лишь по одному признаку эти реки подобны – по типу водного режима (восточно-европейский тип). Они существенно отличаются по порядкам рек N в 1,2–2,2 раза, площади бассейнов F – 2,6–136 раз и средним многолетним расходам воды Q_0 – 1,55–156 раз. В период межени расходы воды Q_{min} в руслах изученных рек колеблются от 3,4 до 97 м³/с. Мутность воды s в период пониженного стока изменяется от 7 (р. Колпь) до 24 г/м³ (р. Сухона). Сток взвешенных наносов W_R возрастает при увеличении площади водосбора от 1,1 до 454 тыс. т/год.

Таблица 1. Гидрографические и гидрологические характеристики изученных рек

Река – створ	F , км ²	N	Q_0 , м ³ /с	Q_{min} , м ³ /с	Q_{max} , м ³ /с	s , г/м ³	R , кг/с	W_R , тыс. т/год
р. Колпь – д. Верхний Двор	3160	8,2	24,9	6,04	254	7	0,17	5,5
р. Сухона – г. Тотьма	34 900	12,6	465	18	925	24	11,2	352
р. Малая Северная Двина – г. Котлас	89 300	14,8	720	97	11 450	20	14,4	454
р. Тверца – с. Медное	4332	10,3	44,9	3,4	348	11	0,49	15,6
р. Логовежь-створ перехода	653	6,8	4,6	–	–	7,6	0,03	1,1

Изменчивость мутности воды зависит от колебаний расходов воды (рис. 3). Нижняя огибающая характеризует минимальные, а верхняя – максимально возможные значения мутности при фиксированном расходе воды. В межень ($Q = 500$ – 1000 м³/с) на Малой Северной Двине максимальная мутность больше минимальной в 4 раза. В период половодья (при $Q > 5000$ м³/с) максимальная мутность может превышать 250 мг/л. Для Сухоны мутность при прохождении меженных расходов воды (150 – 300 м³/с) изменяется от 5–7 до 40 мг/л, а в половодье ($Q > 3000$ м³/с) – от 40 до 180 мг/л.

Участки изученных рек существенно отличаются между собой по гидравлическим и морфометрическим характеристикам системы поток-русло. Средняя

глубина потока h на участках производства дноуглубительных работ колебалась в пределах 1,6–4,0 м, ширина B в основном песчаного русла – 30–350 м, уклон I – 0,036–0,3 ‰ (табл. 2). Скорость течения изменялась в узком диапазоне значений 0,3–0,5 м/с. Средний диаметр отложений составлял 0,15 мм в русле р. Логовеж и 1,02 мм – в русле р. Тверца. Максимальная неоднородность состава русловых отложений (отношение диаметра частиц, формирующих 10 и 90 % массы русловых отложений) характерна для р. Сухона, а минимальная – для рек Колпь и Логовежь. Для р. Сухона это отношение равно 0,30, а для рек Колпь и Логовежь, соответственно, 0,17 и 0,12.

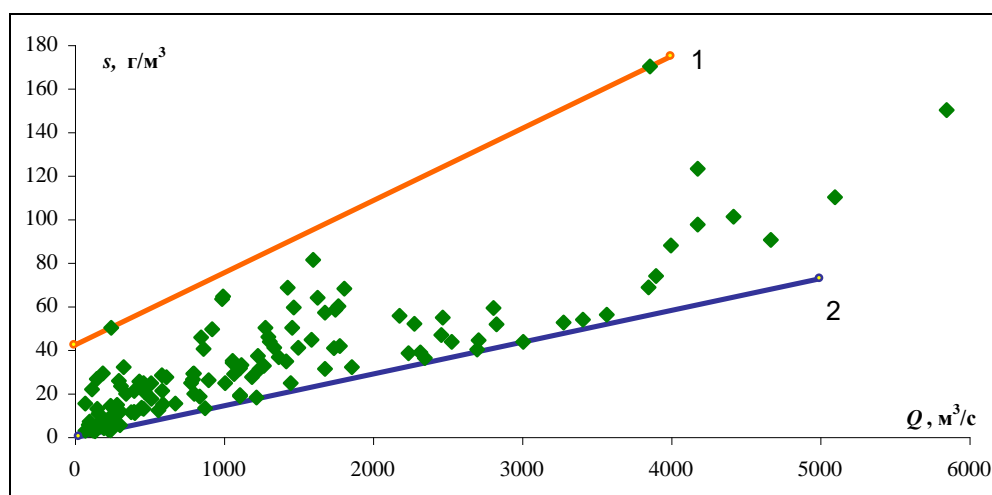


Рис. 3. Предельные значения мутности воды s при сезонном изменении расходов воды Q р. Малая Северная Двина (1 – предельно большие; 2 – предельно малые значения s при $Q = \text{const}$).

Таблица 2. Характеристики системы поток-русло на участках изученных рек

Река	h , м	B , м	v , м/с	I , ‰	d_{cp}	B/h	Fr	Re	G	L
Колпь	2,2	40	0,35	0,250	0,62	18,2	0,0057	7000	0,21	2,5
Сухона	4	130	0,4	0,036	0,49	32,5	0,0041	14 500	0,15	13,6
Малая Северная Двина	2,5	350	0,5	0,100	0,96	140	0,0102	11 400	0,19	9,6
Тверца	2,6	50	0,4	0,300	1,02	19,2	0,0063	9450	0,26	3,4
Логовежь	1,6	30	0,3	0,200	0,15	18,8	0,0057	4360	0,05	0,75

Русла изученных рек имеют примерно одинаковую морфологию (исключение – Малая Северная Двина). Поэтому относительная ширина B/h изменяется для них в

узком (18,2–32,5) диапазоне значений. Участки производства дноуглубительных работ подобны и по состоянию водотоков (число Фруда Fr изменяется в пределах 0,0057–0,0063). В большей степени они отличаются по выраженности турбулентного режима водных потоков (число Рейнольдса Re колеблется от 4360 до 14 500). Величина чисел Лохтина L показывает [9], что русловые отложения участков строительства переходов неустойчивы для р. Логовежь, слабо устойчивы – для рек Колпь и Тверца, устойчивы – для рек Сухона и Малая Северная Двина. За исключением участка р. Логовежь все изученные объекты подобны в отношении критерия транзита взвешенных частиц А.В. Караушева $G = w/v$, где w – гидравлическая крупность взвешенных частиц.

Все полевые работы выполнялись в период летней межени при относительно низком фоновом содержании в воде взвешенных частиц. Пробы воды отбирались в районе производства дноуглубительных работ и ниже по течению (по длине и ширине рек). Географические координаты точек отбора проб определялись с помощью GPS-приемника. Величина начальной (максимальной) мутности, процессы формирования и трансформации зоны повышенной мутности в основном изменялись под влиянием технологии производства работ и морфодинамических факторов участков рек. Относительная мутность воды, равная отношению фактической (в створе переходов, ниже по течению) и фоновой мутности (выше створа перехода), колебалась от 3,5 (р. Сухона) до 54,5 (р. Колпь).

Особенности формирования зон повышенной мутности на изученных участках рек

На участке строительства перехода трубопровода через р. Малая Северная Двина использовалась наиболее традиционная техника извлечения грунта из траншеи – с помощью многочерпакового земснаряда. Извлеченный грунт размещался на баржах и вывозился за пределы района производства дноуглубительных работ. В этих условиях зона повышенной мутности имела четко выраженную верхнюю границу – створ расположения траншеи для укладки трубопроводов. На большей части ширины зоны техногенного увеличения мутности ее фоновые значения превышались в 2–3 раза и меньше. Наибольшие значения мутности (рис. 4) наблюдались в центральной части перехода, где они достигали 450 мг/л (при фоновой мутности 20 мг/л). У берега мутность уменьшалась до 125 мг/л вследствие влияния процессов осаждения части взвешенных частиц на пути их перемещения от источника частиц до берега и процесса их горизонтальной диффузии (дисперсии). В пределах береговой зоны преобладают

процессы осаждения частиц, а в ее центральной части зоны они дополняются горизонтальной диффузией частиц техногенного генезиса. В результате их совместного влияния на первых 60–150 м от створа перехода мутность воды уменьшалась почти в 3 раза. В 300 м ниже по течению содержание в воде взвешенных частиц практически соответствовало сезонным фоновым значениям. Лишь у берегов мутность воды больше примерно в 3 раза, поскольку здесь уменьшается скорость поперечного смешения водных масс. В 700 м от створа перехода ширина зоны техногенного изменения мутности уменьшалась до первых метров, а ее значения практически не отличались от фонового содержания в воде взвешенных частиц.

Эти особенности пространственно-временной изменчивости мутности нарушались при использовании на этой же реке рефулерного землесоса для производства дноуглубительных работ. Землесос производительностью 200 м³/ч осуществлял транспорт грунта по рефулеру в сторону левого берега на расстояние более 300 м. Сброс пульпы (мутность 14 700 мг/л) проводился в левобережную, относительно мелководную (2,5–3,0 м), часть русла реки. В этом случае в месте сброса пульпы формировалась первоначально узкая зона повышенной мутности воды, ее ширина не превышала 10–15 м. Мутность воды в этой зоне составляла 49 мг/л, а за ее пределами не превышала 10 мг/л; в 300 м ниже по течению ширина шлейфа составляла 20–30 м, а на расстоянии около 2 км увеличивалась до 50 м; в 2,6 км от места сброса пульпы нижняя граница зоны исчезала, что соответствовало полному смешению водных масс и месту расположения створа достаточного перемешивания [10]. Относительно небольшая ширина зоны искусственного увеличения мутности свидетельствует о низкой интенсивности поперечной турбулентной дисперсии.

При снижении производительности рефулера землесоса до 100 м³/ч мутность воды уменьшалась до 7,1 мг/л уже в 500 м от створа строительства перехода. Таким образом, поперечное смешение водных масс различной мутности достигалось на расстоянии в 5,2 раза меньшем по сравнению с ситуацией, когда производительность рефулерного землесоса составляла 200 м³/ч. На участке реки длиной 500 м осаждались 99,7 % частиц, поступающих в поток при этой технологии дноуглубительных работ. Толщина техногенного слоя отложений достигала 4 см на первых 100 м от створа перехода.

На р. Сухона при создании подводной траншеи с помощью многочерпакового земснаряда (у левого берега) и экскаватора (у правого берега) поле мутности формировалось под влиянием двух искусственных источников поступления в поток

минеральных частиц (рис. 5). В зоне работы многочерпакового земснаряда мутность воды достигала 82 мг/л и быстро уменьшалась на первых 650–700 м. Ширина зоны искусственного увеличения мутности уменьшалась от 90 м в районе створа перехода до 60 м в 400 м ниже по течению. В 1500 м от створа перехода мутность воды у левого берега не отличалась от фоновых сезонных значений.

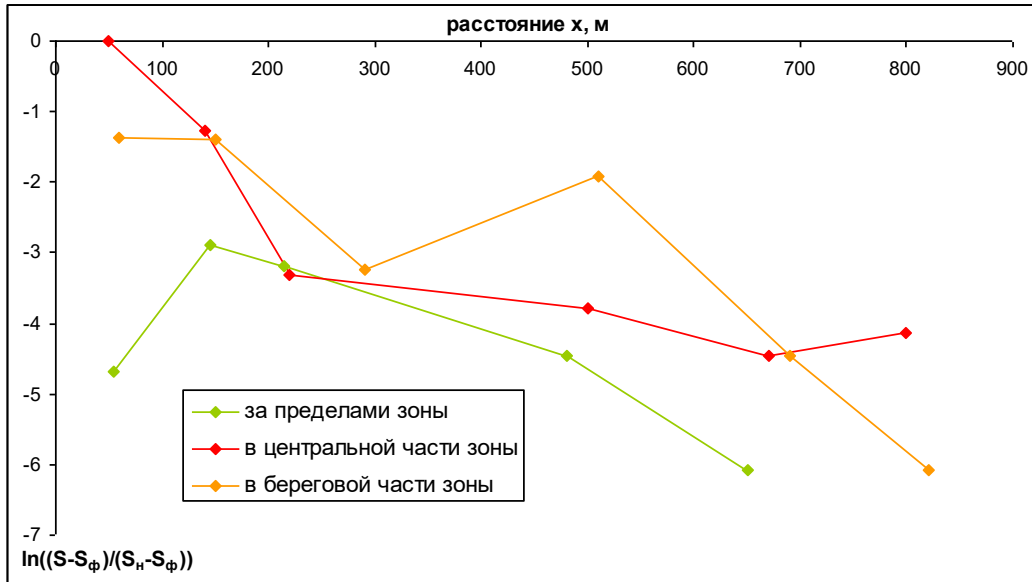


Рис. 4. Продольное изменение мутности воды s (по сравнению с фоном s_n) ниже створа искусственного увеличения содержания взвешенных частиц s_n при строительстве подводного перехода трубопровода через р. Малая Северная Двина.

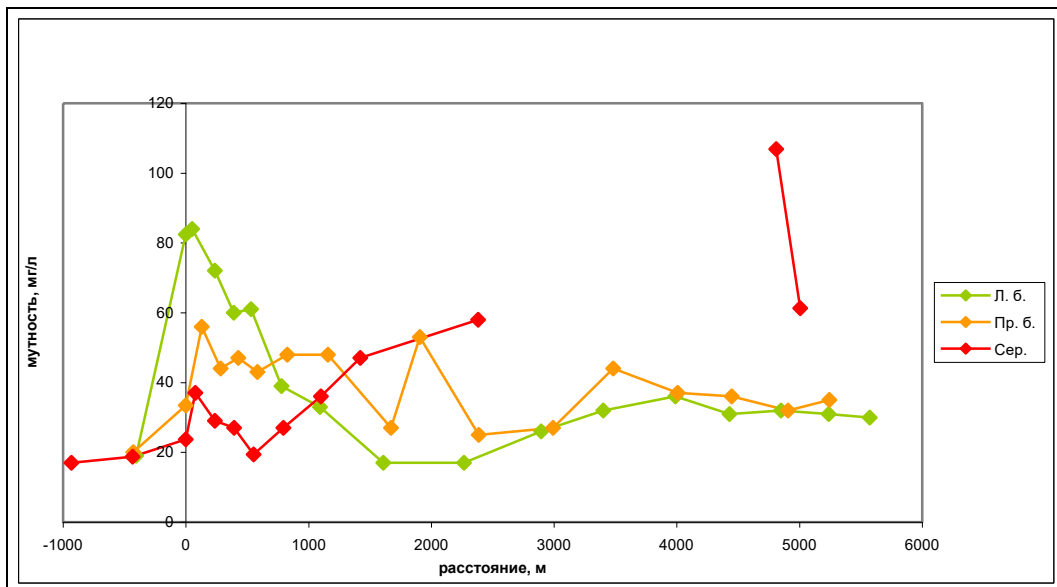


Рис. 5. Изменение мутности воды ниже створа строящегося подводного перехода трубопровода через р. Сухона при наличии двух искусственных источников наносов.

В правобережной части русла максимальная мутность воды составляла 58 мг/л. Мутность воды медленно уменьшалась на первых 2000 м, испытывая значительные флуктуации. Лишь ниже по течению мутность воды постепенно уменьшалась до фоновых значений. Две зоны техногенного увеличения мутности в створе перехода не взаимодействовали между собой на первых 1000 м вследствие относительной маломощности правобережного источника минеральных частиц, его расположения в зоне минимальных скоростей течения. Поэтому в центральной части русла находилось пространство шириной до 70 м, где мутность воды приближалась к значениям, характерным для зон, не испытывающих влияние дноуглубительных работ (19–29 мг/л). На участке в 1–2 км ниже створа перехода смешение вод с разной мутностью привело к увеличению мутности в центральной части потока. В районе складирования изъятых из траншеи грунта (участок 1 на рис. 3) достигался еще один максимум значений мутности. Вследствие небольших скоростей течения она быстро уменьшалась вследствие осаждения взвешенных частиц. На участке реки длиной 300 м мутность снижалась почти в 2 раза.

В целом максимальная мутность в зонах ее искусственного увеличения вследствие работы земснарядов превышает природный максимум мутности (табл. 3). В межень максимальная мутность ниже створа сооружения траншеи для укладки трубопровода через Малую Северную Двину превосходит ее природный максимум в 4,5 раза, а на Сухоне – в 2–2,5 раза. В половодье разница между сопоставляемыми характеристиками для Северной Двины уменьшается в 2–2,5 раз. Максимальная мутность в прибрежной части потока при волновом размыве берегов меньше мутности ниже участка дноуглубительных работ в 3 и меньше раз и существенно превышает величину фоновую мутности воды в центральной части водного потока.

Таблица 3. Соотношение максимальных значений мутности воды в зонах производства дноуглубительных работ и ее сезонных максимумов

<i>Река</i>	<i>Максимальная мутность, мг/л</i>			
	<i>в зоне дноуглубительных работ</i>	<i>у берегов при их волновом размыве</i>	<i>в межень</i>	<i>в половодье</i>
Малая Северная Двина	450	186	100	250
Сухона	92	–	40	180

Закономерности изменения мутности на участках рек ниже строительства переходов трубопроводов

Анализ изменения мутности ниже участков дноуглубительных работ на всех изученных реках показал, что уменьшение мутности ниже перехода можно учесть уравнением типа (2) или упрощенными аналогами. Их вид следует из сопоставления данных о величине мутности воды ниже участков проведения дноуглубительных работ в руслах рек Колпь, Логовежь, Малая Северная Двина, Сухона и Тверца. Нормированная мутность воды ($\tilde{s} = s/s_{\phi}$) и расстояние от створа перехода ($l = x/L$), где L – расстояние, на котором мутность восстанавливается до фоновых значений, изменяются вполне согласованно. Связь между этими переменными в целом носит экспоненциальный характер. Свободный член в уравнении

$$\tilde{s}_l = 1 + \tilde{s}_{l=0} \exp(-\beta l) \quad (3)$$

соответствует относительной мутности на нижней границе зоны смешения, где мутность воды практически равна фоновой мутности. На верхней границе зоны искусственного увеличения мутности ($l = 0$) начальная мутность многократно превышает фоновое содержание в воде взвешенных частиц. Ниже по течению она уменьшается в соответствии с увеличением l и величиной параметра β . Этот параметр зависит от крупности взвешиваемых частиц. Чем крупнее состав русловых отложений, извлекаемых из сооружаемой траншеи, тем больше величина β и интенсивность снижения мутности воды ниже створа производства дноуглубительных работ.

Для изученных рек изменение нормированной мутности \tilde{s}_l в соответствии с уравнением (3) хорошо соответствует фактическим данным при величине параметра $\beta=12$ (рис. 6). Зависимости $\tilde{s} = f(l)$ на отрезке $l = 0 \div 0,4$ для конкретных рек отличаются между собой по угловым коэффициентам. Они являются верхними огибающими поля точек для определенного значения $s_{l=0}$. Расчетные значения \tilde{s} на нижних 60 % длины L практически одинаковы, они мало зависят от начальных условий. При любой начальной мутности условие $s/s_{\phi} = 0,4$ достигается на первых 40 % этой длины. Это означает, что относительная мутность на отрезке $l = 0 \div 0,4$ не будет превышать значений, получаемых по уравнению

$$\tilde{s}_{l \leq 0,4} = 1 + \tilde{s}_{l=0} \cdot \exp(-12l_{\leq 0,4}). \quad (4)$$

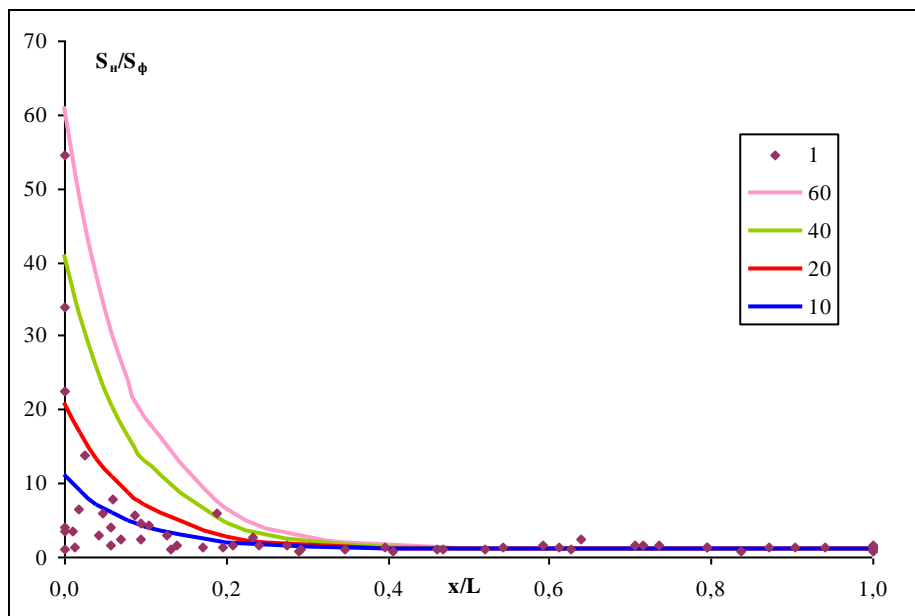


Рис. 6. Расчетное изменение нормированной мутности (при $\tilde{s}_n = 60, 40, 20, 10$) ниже по течению от участков производства дноуглубительных работ на изученных реках и его соответствие фактическим данным (1).

При оценке длины участков рек, на которых еще прослеживается влияние искусственного увеличения мутности воды при строительстве подводных переходов, важно определить время, которое потребуется для достижения относительной мутности определенной величины ниже участка дноуглубительных работ. Продолжительность этого процесса зависит от скорости и времени восстановления фоновой мутности воды. Обработка данных по р. Колпь показала, что после одномоментного поступления искусственной взвеси в русло реки мутность воды в створе, удаленном от участка строительства перехода на расстояние L , является функцией времени t . Чем больше период времени после поступления техногенных наносов в поток, тем меньше мутность воды на этом участке реки. Быстрое уменьшение мутности характерно для первых 40 минут процесса, а уже через 2 часа влияние дноуглубительных работ (после их прекращения) становится незаметным.

Заключение

Таким образом, искусственное увеличение содержания в воде минеральных частиц вследствие дноуглубительных работ сопоставимо с сезонным увеличением мутности речных вод и ее изменением вследствие волнового размыва берегов. Влияние дноуглубительных работ на гидрологическое состояние водотоков во многом определено технологией строительства. Наибольшее изменение естественного поля мутности характерно для технологии использования рефулерных земснарядов, осуществляющих сброс изъятых грунтов непосредственно в русло. Использование многочерпаковых и ковшевых земснарядов с отгрузкой грунта на шаланды или берег уменьшает содержание в воде частиц антропогенного генезиса.

Уменьшение мутности воды ниже участков строительства подводных переходов трубопроводов через реки происходит по экспоненциальному закону. Интенсивность осаждения частиц зависит от их гидравлической крупности и гидравлических характеристик речного потока. Заметное превышение фактической мутности над фоновой мутностью прослеживается на первых 40 % длины зоны искусственного увеличения мутности, т. е. наиболее сильное воздействие дноуглубительных работ на гидрологическое и экологическое состояние водотоков характерно для относительной длины участка реки $x/L < 0,4$. После завершения работ их влияние на режим мутности сохраняется в течение примерно 2 часов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеевский Н.И., Беркович К.М., Иванов В.В., Чалый А.П. К учету опасных природных процессов на переходах трубопроводов через реки // Эрозия почв и русловые процессы. 2008. Вып. 16. С. 147–172.
2. Самойлов Б.В., Ким Б.И., Зоненко В.И., Кленин В.И. Сооружение подводных трубопроводов. М.: Недра, 1995. 304 с.
3. Седых А.И., Чернышов Ф.М., Кабанов А. В. Путевые работы на судоходных реках. М.: Изд-во «Транспорт», 1978. 328 с.
4. Временная методика оценки ущерба, наносимых рыбным запасам в результате строительства, реконструкции и расширения предприятий, сооружений и других объектов и проведения различных видов работ на рыбохозяйственных водоемах. М.: Госкомприрода СССР, 1990. 64 с.
5. Чалов С.Р. Гидрологические функции русловых разветвлений: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2007. 24 с.

6. Понкратов С.Ф. Определение зоны мутности при выемке и перемещении грунта в руслах крупных рек // Сб. науч. тр. Гос. НИИ оз. и реч. рыб. хоз-ва, 1989. № 266. С. 148–156.
7. Караушев А.В. Теория и методы расчета речных наносов. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 272 с.
8. Сток наносов, его изучение и географическое распределение. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 240 с.
9. Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В. Экологическое русловедение. М.: ГЕОС, 2000. 332 с.
10. Алексеевский Н.И. Гидрофизика. М.: Изд. центр «Академия», 2006. 176 с.

Сведения об авторах:

Николай Иванович Алексеевский, д. г. н., профессор, заведующий кафедрой гидрологии суши географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, географический факультет МГУ, кафедра гидрологии суши; e-mail: n_alex50@mail.ru;

Вадим Витальевич Иванов, к. г. н., старший научный сотрудник лаборатории эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: river@river.geogr.msu.su;

Татьяна Александровна Федорова, инженер, ООО «Центр практической геоэкологии», г. Красногорск, Московской области, e-mail: tanyshka@list.ru.