

*На правах рукописи*

**СЕРГЕЕВ Олег Николаевич**

**ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ РУСЛОВЫХ  
ПРОЦЕССОВ НА УЧАСТКАХ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ  
ТРУБОПРОВОДОВ ЧЕРЕЗ РЕКИ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ (север и центр ЕТР)**

Специальность 25.00.23 – физическая география и биогеография, география почв и  
геохимия ландшафтов

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук**

**Ярославль 2006**

Работа выполнена в Вологодском государственном техническом университете

Научный руководитель: кандидат географических наук, доцент А.Н.Кичигин

Официальные оппоненты:

доктор географических наук, профессор Н.Н. Назаров

кандидат географических наук В.В.Сурков

Ведущая организация: Институт географии РАН

Защита состоится «<sup>4</sup>» декабря 2006 г. в 13.00 час на заседании диссертационного совета К-212.307.07 по специальности 25.00.23 – «Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов» при Ярославском государственном педагогическом университете им К.Д. Ушинского.

Адрес: 150000, г. Ярославль, Которосльская набережная, 46.

E-mail: K212.307.07@mail.ru

kolbowsky@mail.ru

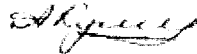
Факс (4852) 72-78-21

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Ярославского государственного педагогического университета им К.Д. Ушинского

Автореферат разослан «<sup>2</sup>» ноября 2006 г

Ученый секретарь диссертационного совета,

кандидат географических наук



А.В.Кулаков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** В России действует большое количество нефте- и газопроводов, многие из которых построены несколько десятилетий назад. В настоящее время ведется прокладка новых трубопроводов, часто в тех же транспортных коридорах. Трубопроводы относятся к объектам повышенной экологической опасности в случае их аварии. Особо уязвимы подводные переходы там, где на трубопровод действует водный поток. Большой объем работ по прокладке магистральных газопроводов осуществляется в северном и центральном регионах Европейской территории России, где высока густота речной сети и где экологическая обстановка является достаточно напряженной. Наиболее велика протяженность магистральных трубопроводов в ландшафтах средней и южной тайги.

Строительство трубопроводов влияет на состояние пересекаемых ими водных преград. Строительство и эксплуатации трубопроводов оказывает максимальное воздействие на русло, пойму, речной сток. Наибольшие изменения при этом характерны для русловых процессов, которые, в свою очередь, воздействуют на ландшафтные изменения прилегающих участков речных долин. На природные процессы здесь накладывается также эффект хозяйственной деятельности, что важно учитывать при оценке масштабов и направленности антропогенных преобразований речного стока, ландшафта водосбора и русел рек, прогнозировании будущего состояния русла в районах организации подводных переходов трубопроводов.

С другой стороны, русловые и гравитационные процессы на участках подводных переходов создают максимальную опасность для трубопроводов. Как вертикальные, так и горизонтальные русловые деформации могут приводить к нарушению устойчивости трубопровода в пределах всей речной долины. Для предупреждения риска повреждения трубопроводов и исключения возникновения аварийных ситуаций необходимо знать причины активизации этих процессов, закономерности их географического распространения и пространственно-временной изменчивости. В настоящее время существуют рекомендации по размещению подводных переходов в виде ведомственных строительных норм, выпущенные в 1985 г («Учет деформаций...», 1985). Действующие рекомендации по размещению переходов и мониторингу окружающей среды при строительстве и эксплуатации подводных переходов (ВСН 163-83, Регламент РД- 51-2-95) при всей положительной роли, которую они сыграли в проектировании существующих подводных переходов, в значительной степени устарели и мало учитывают географическую специфику развития русел рек. Прогноз размещения сооружений, основанный на знании естественных закономерностей развития речных русел в

конкретном регионе, позволяет обосновать инженерные средства организации комплекса сооружений, избежать риска их разрушения и нарушения природной среды.

С авариями на подводных переходах связано ухудшение экологического состояния рек, их русел и пойм. Для предотвращения возникновения аварийных ситуаций важна организация системы наблюдений за состоянием подводных переходов трубопроводов. Структура и содержание мониторинга должны основываться на знании механизма природных процессов формирования речных русел, их специфики в разных природных условиях и влиянии на них хозяйственной деятельности. База данных, полученная на основе натурных наблюдений, может служить основой для проектирования возможных смягчающих, реабилитационных мероприятий. Важной ее частью является информация о масштабах и направленности русловых процессов на этапах строительства и эксплуатации подводных переходов трубопроводов.

В научной литературе практически отсутствуют публикации, посвященные анализу изменения физико-географических процессов при строительстве и эксплуатации подводных переходов трубопроводов. Это затрудняет теоретическое и методологическое обобщение подходов к исследованию данной проблемы. С другой стороны, относительно слабая ее изученность создает перспективы научных исследований в области обеспечения безопасности трубопроводов.

**Целью настоящей работы** является оценка роли физико-географических процессов и обоснование методов обеспечения экологической безопасности при строительстве и функционировании подводных переходов магистральных трубопроводов на основе современных представлений о механизме взаимодействия русловых процессов и инженерных сооружений в таежных ландшафтах северной и центральной частей Европейской России.

**Основные задачи** исследования заключались в следующем:

- 1) рассмотреть общие закономерности влияния строительства и эксплуатации подводных переходов магистральных трубопроводов на прилегающие ландшафты и на физико-географические процессы;
- 2) рассмотреть общие закономерности русловых процессов, влияющие на устойчивость трубопроводов на подводных переходах;
- 3) выявить условия формирования русел, особенности их деформаций и функционирования переходов на реках севера и центра Европейской части России;

- 4) разработать основные положения обеспечения экологической безопасности при строительстве и эксплуатации подводных переходов с учетом русловых процессов;
- 5) разработать структуру и содержание экологического мониторинга речных русел на участках переходов.

В основу исследования положен анализ результатов изысканий и наблюдений при обследовании подводных переходов различных рек России, проводившихся на протяжении ряда лет. В число этих рек входят реки таежной зоны Европейской части России, в частности, реки Вологодской и Ярославской областей. Изучались все формы проявления русловых процессов, выполнялась оценка природных и антропогенных факторов, прогноз развития русла, разрабатывались предложения по обеспечению экологической безопасности при строительстве и эксплуатации трубопроводов.

**Объектом исследования** является динамика физико-географических процессов на участках строительства подводных переходов магистральных трубопроводов в ландшафтах средней и южной тайги на севере и в центре Европейской части России.

**Предметом исследования** являются природные, экологические, социальные и экономические последствия техногенных нагрузок при строительстве и эксплуатации подводных переходов магистральных трубопроводов в долинах рек.

**На защиту выносятся следующие положения:**

1. Состояние речных русел и пойм в зонах строительства и функционирования подводных переходов магистральных трубопроводов на севере и в центре Европейской части России зависит от специфики физико-географических условий средне- и южно-таежных ландшафтов.
2. Безопасность строительства и эксплуатации подводных переходов определена сочетанием зональных и местных физико-географических условий, характерных для участка речных долин.
3. Структура и содержание экологического мониторинга речных русел является важной компонентой обеспечения природной и производственно-технологической безопасности подводных переходов магистральных трубопроводов.

**Научная новизна работы.** В работе впервые выполнен анализ изменения физико-географических процессов на реках таежной зоны Европейской части России под влиянием строительства подводных переходов магистральных нефте- и газопроводов; оценено влияние русловых процессов на экологическую безопасность трубопроводов; разработана методология учета русловых процессов для обеспечения экологической

безопасности прилегающей территории; разработана структура и содержание мониторинга опасных процессов на участках организации подводных переходов трубопроводов.

#### **Методы исследования.**

Концептуальные положения работы основаны на методологии исследования рек и русловых процессов в различных природных условиях, разработанной в Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И.Маккавеева географического факультета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова. Достоверность выводов обеспечивается использованием для анализа конкретных материалов изысканий, полученных инструментальными наблюдениями и последующего камерального анализа. Использовались также действующие в настоящее время рекомендации по размещению переходов и мониторингу окружающей среды при строительстве и эксплуатации подводных переходов (ВСН 163-83, Регламент РД 51 -2-95).

**Фактический материал и личный вклад автора.** В основу диссертации положены результаты научных исследований автора при выполнении инженерно-экологических изысканий и организации производственного экологического мониторинга на трассах магистральных газопроводов СРТО-Торжок, Северо-Европейского газопровода в 2003 – 2006 гг.

**Практическая значимость результатов работы.** Результаты исследований постоянно использовались в практической деятельности по проектированию, обслуживанию и обследованию подводных переходов магистральных газопроводов. В процессе работы вырабатывались рекомендации и предлагались схемы мероприятий по снижению негативных последствий строительства и эксплуатации трубопроводов на участках переходов через реки.

**Реализация и апробация работы.** Результаты работ, полученные автором, доложены на Всероссийских совещаниях и конференциях, региональных научных совещаниях и конференциях. В частности, они докладывались на годовом собрании секции «Русловедение» Академии проблем водохозяйственных наук (Санкт-Петербург, 2005), на 3 и 4 всероссийских научных конференциях «Вузовская наука – региону» (Вологда, 2005, 2006), на 7 научно-технической конференции молодежи ОАО «Северные МН» (Ухта, 2006).

**Публикации.** По теме диссертации автором опубликовано 7 работ, в том числе в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, 5 глав и заключения. Общий объем 127 страниц, в том числе – 17 таблиц, 43 иллюстрации.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** рассматриваются технические и конструктивные характеристики подводных переходов магистральных трубопроводов, а также факторы, которые могут нарушить их безопасное функционирование. В зависимости от причин, вызывающих нарушение надежности работы трубопроводов выделены различные виды безопасности трубопроводов на подводных переходах: *технологическая безопасность*, трактуемая как отсутствие нарушений и отклонений от принятых технологических стандартов создания трубопроводов; *производственно-технологическая безопасность*, связанная с соблюдением норм и правил сооружения и эксплуатации трубопровода. Эти виды дополняются *природной безопасностью* объекта. Она связана с обоснованностью выбора местоположения трубопроводов, обеспечивающего отсутствие и минимальное воздействие природных процессов на надежность эксплуатации технического объекта. Вместе с тем безопасность трубопровода является залогом безопасности окружающей среды.

Основными и наиболее частыми нарушениями при строительстве объектов магистральных газопроводов являются: выезд техники за границы землеотвода, захламенение территории строительным мусором и порубочными остатками, уничтожение, повреждение и загрязнение плодородного слоя почвы и несвоевременное выполнение рекультивационных мероприятий, рубка леса за пределами полосы отвода, невыполнение требований пожарной безопасности, нарушение технологий засыпки траншей, сооружении насыпей и складирования грунта, отсутствие водопропускных сооружений и подпопение земель, нарушение технологии испытаний ниток газопровода и рекультивации земель.

На стадии проектирования проводятся комплексные исследования всех природных процессов, способных негативно влиять на функционирование перехода (атмосферных, гидрологических, в том числе русловых, геологических, гидрогеологических и т. д.). По совокупности требований их минимального воздействия выбирается оптимальное местоположение перехода.

На стадии строительства обеспечивается реализация комплекса защитных мероприятий и ликвидация негативных последствий сооружения трубопровода на природную среду в зоне перехода.

На стадии эксплуатации осуществляется мониторинг за динамикой природных процессов и явлений с целью выявления неблагоприятных тенденций безопасности трубопровода. При обнаружении этих тенденций намечаются и осуществляются меры по их устранению или снижению вредного воздействия вод.

Правильная оценка природных условий позволяет предотвратить ущерб природной среде, населению, производственным объектам, к которому могла бы привести авария трубопровода. На рис. 1 приведена схема объясняющая гидроэкологическую безопасность трубопровода, т.е. безопасность с точки зрения взаимного воздействия гидрологических факторов на состояние трубопровода и влияния прокладки трубопровода на гидрологический объект (реку или водохранилище).

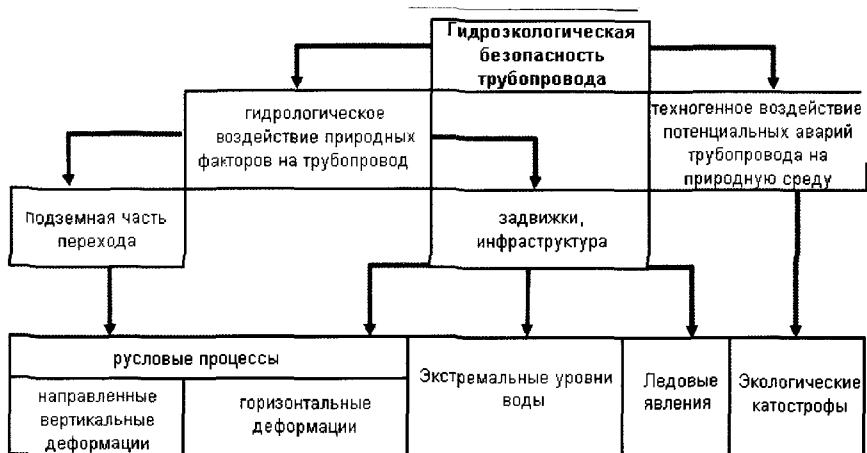


Рис. 1. Схема связей гидрологических и экологических факторов в зоне подводного перехода магистрального трубопровода.

**Во второй главе** рассматриваются физико-географические условия строительства и эксплуатации подводных переходов (рис.2). Речной сток оказывает ведущее влияние на функционирование различных сооружений, расположенных в русле и на пойме реки, в том числе и подводных переходов трубопроводов. Важнейшими характеристиками гидрологического режима являются уровенный режим, режим стока воды и стока наносов. Среди гидрологических факторов особую роль в обеспечении безопасности функционирования подводных переходов играют экстремальные уровни воды, ледовые явления и русловые деформации.

С точки зрения гидроэкологической безопасности экстремальными уровнями воды для подводного перехода, в частности для его инфраструктуры, является уровень воды, который превышает уровень 10%-ной обеспеченности. Экстремальные уровни воды могут негативно воздействовать на инфраструктуру подводного перехода, оказывая на него механическое воздействие. Установление транзитного течения на пойме может



привести к размыву ее поверхности, в частности по ложбинам (Маккавеев, 1955), и механическому нарушению трубопровода. С точки зрения формирования экстремальных уровней воды, опасны переходы через малые реки, отличающиеся высокой неравномерностью стока. На величину подъема уровней может оказывать влияние также характер ландшафта поймы: сильно заросшая пойма увеличивает суммарную шероховатость, что способствует дополнительному повышению уровня. Особенно опасны подъемы уровня, обусловленные ледяными заторами. Важным показателем безопасности функционирования перехода является амплитуда колебания уровней воды. Оптимальный участок для строительства перехода должен отвечать двум противоречивым требованиям – минимальная ширина долины и минимальная амплитуда колебания уровня воды. С одной стороны, ширина долины лимитирует длину подземной части перехода, с другой стороны, она во многом определяет диапазон колебания уровня воды. Для оценки влияния затопления поймы на потенциальное нарушение безопасности перехода используется превышение уровня воды 1%-ной обеспеченности над нижней отметкой дна, т.е. максимальная глубина реки при этом уровне ( $\Delta H_{1\%}$ ). Очевидно, она включает глубину русла до бровки и глубину затопления поймы. Выявляется прямая зависимость между параметром  $\Delta H_{1\%}$  и порядком реки в речной системе: если на реках 2-4 порядка этот параметр равен 2-4, то на крупных реках он достигает 15-16. Глубина затопления пойм при экстремальных паводках и половодьях меняется по порядкам рек и составляет на равнинных реках от 1 до 10 м. Эти зависимости имеют региональный характер.

Реки Вологодской области имеют восточно-европейский тип гидрологического режима. Он отличается хорошо выраженным подъемом и спадом уровней воды весной, устойчивыми и низкими уровнями в период зимней межени. Летом и осенью уровни воды также низкие, но возможно их повышение вследствие дождевых паводков. Максимально возможный размах колебания уровней воды  $\Delta H$  в руслах рек территории, имеющих площадь водосбора 70 – 19100 км<sup>2</sup>, меняется в зависимости от площади водосбора от 1,6 до 7,7 м. Реки территории отличаются относительной многоводностью. Модуль стока по территории изменяется от 7,0 до 10,8 л/(с·км<sup>2</sup>).

Морфология и динамика русла тесно связана с морфологией речной долины, хотя кроме рельефа местности и размываемости пород ложа на облик русла влияют и другие факторы. Водотоки Вологодской области дренируют слабохолмистые и волнистые междуречные равнины с высотами от 100 до 250 м, сложенные, преимущественно суглинками. Для них характерна ступенчатость, предопределенная тектоникой, экзогенно «усиленная» событиями четвертичного времени. На участках с отметками до 120-150 м преобладают низины, соответствующие опущенным блокам земной коры, для них

характерен плоский рельеф озерного, озерно-ледникового, водно-ледникового генезиса. В гипсометрическом интервале 150-200 м в основном распространены волнистые или холмисто-волнистые равнины, где преобладает аккумулятивный ледниковый рельеф (Лавров, Потапенко, 2005). На участках с высотами более 200 м, соответствующим положительным морфоструктурам, преобладает равнинный холмистый рельеф, нередко обремененный своей приподнятостью конечным моренам.

По мере нарастания размеров водосборных бассейнов изменяется морфологический облик речных долин, условия формирования стока. В долинах рек разных размеров и отличающихся по ландшафтными признаками роль факторов безопасности трубопроводов также изменяется. Грунтовые условия отличаются пестротой литологического состава: моренные валунные суглинки, песчаные и крупнообломочные флювиогляциальные отложения, выходы полускальных коренных пород. Особенности геологического строения территории определяют достаточно крупный гранулометрический состав руслообразующего аллювия, который представлен преимущественно галечно-песчаным материалом. Рельеф территории определяет уклоны рек, которые меняются от 0,08 (на средних реках) до 1,3% (на малых реках и ручьях).

Реки, даже крупные, протекающие по низменности, имеют иногда неясно выраженные долины (Сухона в верхнем течении). Исключение представляет среднее и нижнее течение р. Сухоны, где долина реки глубоко врезана в низинную поверхность озерно-ледникового генезиса. Малые реки, протекающие в низинах, также имеют исключительно малые уклоны, широкие заболоченные долины. Эти факторы играют важную роль в изменении условий строительства и эксплуатации трубопроводов.

Третья глава посвящена рассмотрению русловых деформаций. Среди факторов, определяющих состояние и долговременную сохранность подводных переходов магистральных трубопроводов, изменения морфологического строения русла, которые свойственны всем рекам, русловые деформации играют наиболее важную роль. В конкретном створе или на участке реки они выражаются в изменении отметок поверхности дна рек (вертикальные деформации) или географических координат русел рек (горизонтальные деформации). Русловые деформации носят сложный характер, часто вертикальные деформации сопутствуют горизонтальным, когда русло смещается по дну долины, происходит его сужение и расширение. Если отсутствуют литологические факторы, ограничивающие скорость русловых деформаций, основное влияние на масштабы и направленность русловых деформаций оказывает величина и изменчивость стока воды, наносов, уклоны и гранулометрический состав речных отложений.

Выделяют направленные и периодические деформации русла (Чалов, 1979). В зависимости от сочетания руслоформирующих факторов деформации охватывают разные по длине участки русла. Направленные деформации в естественных условиях обычно охватывают большие по протяженности участки рек и речных систем, их называют общими деформациями. На равнинных реках они проявляются крайне медленно. Направленные деформации, вызванные антропогенными нарушениями, могут проявляться на сравнительно коротких участках (например, размывы ниже крупных плотин, на участках разработки русловых карьеров и др.) (Барышников, 1988, Беркович, 2001).

Вертикальные деформации русел рек часто определяют природную безопасность трубопроводов на подводных переходах через реки. Прогноз вертикальных деформаций является основой проектирования размещения трубопровода в речной долине и его заглубления в русловые отложения. Анализ механизмов вертикальных деформаций показал, что изменение уклона в результате тектонических движений в бассейне реки или колебаний базиса эрозии влияет на транспортирующую способность потока и приводит к возникновению направленных деформаций. Такие деформации в естественных условиях равнин осуществляются очень медленно (миллиметры за столетие), поэтому их учет для практических целей не является необходимым.

На многих реках режим стока воды и наносов существенно изменен за последние полвека вследствие строительства плотин, разработки русловых карьеров, судоходных прорезей и выправительных сооружений, урбанизации и других видов деятельности, что воздействует на интенсивность направленных деформаций русла. Скорость глубинной эрозии ниже крупных гидростанций достигает нескольких десятков сантиметров в год, на участках русловых карьеров – нескольких сантиметров в год (Беркович, 2001). Поэтому учет вертикальных деформаций на участках переходов является обязательным.

Общую направленность локальных вертикальных деформаций, обусловленных развитием форм русла, можно оценивать с использованием гидролого-морфометрических соотношений. В соответствии с идеями этой теории взаимодействия между потоком воды и наносов, с одной стороны, и речными отложениями, с другой, приводят к формированию устойчивых гидравлических и морфометрических характеристик системы «поток-русло» (Михайлов, 1971 и др.). В результате однозначно определяются устойчивые значения ширины  $B_0$ , глубины  $h_0$ , скорости потока  $v_0$  и его уклона  $I_0$  как функция руслоформирующего расхода воды  $Q_{рф}$ .

Циклические деформации поверхности дна, сложенной несвязными отложениями, обусловлены изменениями линейных размеров и перемещением грядовых форм рельефа.

Они определяют сезонные и многолетние колебания отметок дна в створе и на участке реки. Так, сезонные колебания отметки дна в створе могут достигать нескольких метров. Если существует возможность оценки изменения их высоты, длины и скорости смещения, то можно прогнозировать ожидаемые циклические деформации дна. Такую возможность предоставляет гидроморфологическая теория руслового процесса (Кондратьев, Снисченко, Попов, 1982), лежащая в основе ВСН 163-83. Характеристики мезоформ и микроформ в этом случае увязывается с фактическими значениями гидравлических элементов потока.

Другую возможность в этом смысле предоставляет методика Н.И.Алексеевского (1998). В соответствии с этой методикой на равнинных реках, русла которых сложены в основном песчаными отложениями, в рельефе дна по размеру выделяется 5 типов гряд. Чем больше размер реки, тем больше высота гряд всех типов. Высота, длина и скорость смещения каждого из этих типов гряд является функцией порядка реки, они меняются по сезонным периодам стока. Для оценки состояния русла в створе подводного перехода ведущую роль играет динамика самых крупных гряд. Их высота определяет заглубление трубопровода в толщу русловых отложений.

Перемещение русла в плане называются (горизонтальные деформации) им ею не меньшее значение для обеспечения производственно-технологической и природной безопасности трубопровода, надежности работы подводного перехода. Потенциально вследствие горизонтальных деформаций русло реки может перемещаться в пониженной части долины на сотни и даже тысячи метров. При этом размываются (разрушаются) одни и намываются (наращиваются) другие участки берега. Разрушение берега включает процесс обрушения монолитов почв, грунтов, слагающих берег и удаления этого материала от подножья берегового склона. Наиболее интенсивно берега размываются на вогнутых берегах относительно пологих излучин меандрирующих рек (Камалова, 1988, Назаров, Егоркина, 2004 и др.). В прямолинейных или слабо извилистых руслах размыву подвергаются вогнутые берега изгибов потока, где он обтекает прирусловые отмели (побочни) (Иванов, 1989 и др.). В разветвленных на рукава руслах размыву подвержены приверхи островов и внешние берега рукавов (Чалов и др., 1998).

Если берег сложен несвязными грунтами, то объем размытого грунта и объем наносов, перемещенных в поперечном направлении равен (Беркович, Власов, 1982) произведению отступления берега  $\Delta B$ , его высоты  $H$  и длины расчетного участка реки  $\Delta L$ , т.е.  $V = \Delta B * H * \Delta L$ . Он определяет скорость отступления берега и содержание минеральных частиц в водном потоке. Продукты размыва берега формируют поперечный и общий расход наносов, а также влияют на условия эксплуатации трубопроводов на

участках пересечения ими речных долин. Чем больше этот объем, тем выше вероятность нарушения безопасности трубопровода.

В четвертой главе рассматриваются морфология и динамика русел рек Вологодской области в связи с условиями для строительства и эксплуатации подводных переходов магистральных трубопроводов (рис.2). Большинство рек, почти 50%, имеют меандрирующее русло, часть рек отличается прямолинейными очертаниями русла, в четверти случаев русло малых рек практически не выражено, располагаясь среди болот и озерных низменностей (Сердитов, 1957, Филенко, 1966 и др.). В диссертации наиболее детально изучена самая крупная река Вологодской области – Сухона, ряд средних рек, а также участки рек Волги и Шексны, находящиеся под влиянием Рыбинского водохранилища и пересекаемые сериями магистральных трубопроводов.



Рис. 2 Схема района исследований

Максимально разнообразны условия для строительства и эксплуатации подводных переходов наблюдаются на р. Сухона. На ее протяжении морфология долины и русла, состав русловых наносов неоднократно меняются, водоносность реки увеличивается. Средние многолетние расходы воды увеличиваются вниз по течению от 140 в верховьях до 460 м<sup>3</sup>/с в устье. К важнейшим особенностям Сухоны относятся отчетливые

морфологические различия ее верхнего, среднего и нижнего течения и выпуклость продольного профиля (Кичигин, Сергеев, 2005). В верхнем течении реки река протекает по днищу древнеозерной впадины. Извилистое русло Сухоны слабо врезано в ее заболоченное днище и отличается здесь исключительно малыми уклонами. Его ширина в среднем 150 м, высота пойменных берегов около 1 м, отложения, слагающие берега и дно русла Сухоны на этом участке, преимущественно глинистые. Отдельные валуны в русле появляются в 6 км от истока на преимущественно песчаном перекате Каменистый. Меженная глубина русла местами достигает 6 м. Для Верхней Сухоны характерно наличие переуглубленных плесов с водоворотами. Пойма верхней Сухоны широкая, ложбинно-гравистая, со старичными озерами. Малые уклоны, обильное поступление в период снеготаяния воды из притоков, определяют формирование в половодье противотечения, направленного в сторону Кубского озера, к истоку реки (Поляков, 2002 и др.). Опасность для трубопроводов на подводных переходах здесь представляет слабая устойчивость берегов к размыву, а также возможность спрямления излучин, в результате которого могут быть разрушены пойменные, менее заглубленные, участки трубопровода.

Ниже по течению коренные борта долины реки все более приближаются к пойме и руслу. При этом высота поймы увеличивается, ширина ее уменьшается, извилистость русла сокращается, а высота береговых откосов возрастает до 10-15 м. Ширина меженного русла реки на прямолинейных участках колеблется от 150 до 300 м. В русле появляются острова, возвышающиеся над меженным уровнем на 0,5-1 м. На отдельных отрезках река пересекает участки распространения каменистых грунтов или образует галечные косы. Встречаются острова, иногда не затапливаемые в половодье.

По мере приближения к устью высота берегов постепенно увеличивается, формируется выпуклый перегиб продольного профиля реки. Русло становится врезанным, беспойменным, ниже впадения притоков в русле Сухоны наблюдаются песчаные и каменистые гряды. Среди русловых наносов появляется песок, слагающий перекаты и острова, особенно много песчаных наносов ниже устьев притоков Сухоны, увеличивается количество отдельных валунов и их скоплений в русле. Высота берегов увеличивается сначала до 25-30 м, а затем до 50-60 м. В береговых обрывах обнажаются пермские красноцветные породы, появляются участки русла со скальным ложем на фарватере, ближе к берегам дно реки устлано многочисленными камнями. Нередко русло стеснено скальными выступами. Оно преимущественно прямолинейное или образует врезанные излучины, нередко подстилается скальными грунтами, прикрытыми слоем гальки и песка мощностью 0,4-1,0 м и более.

Участок врезанного русла предворяется небольшим переходным участком. Извилистость русла в его пределах заметно уменьшается, ширина его колеблется от 80 до 200 м, встречаются переуглубленные плесы. В русле появляются отдельные острова. Высота меженных берегов постепенно возрастает вниз по течению (с 3 м в начале участка до 6 м на его нижней границе). На пойме встречаются береговые валы высотой около 1 м. Дно реки преимущественно глинистое, постепенно содержание песка в русловых отложениях возрастает. На участках песчаных перекаатов русло реки отличается довольно динамичными переформированиями. На подводном переходе газопровода скорость размыва пойменных берегов за последние 40 лет здесь составила более 1 м/год, а интенсивность размыва дна приближалась к 2 см/год.

На участке врезанного русла большую опасность для трубопроводов на подводных переходах представляют интенсивные вертикальные деформации. Это требует значительного заглубления трубопроводов. Важным фактором является также большая амплитуда уровней воды, ставящая под угрозу береговые устройства.

Широкопойменное меандрирующее русло вновь появляется только на нижнем участке Сухоны. Ширина долины заметно увеличивается, в ней появляются ступени террас, сложенные аллювием. Этой части долины соответствует сравнительно пологий участок продольного профиля реки. Ширина русла заметно увеличивается и в г. Великий Устюг достигает 500 м. Вдоль берегов наблюдаются песчаные отмели, встречаются редкие камни-одинцы. Здесь важным условием безопасного функционирования переходов является учет ледовых явлений, периодического подпора при слиянии Сухоны с Югом и интенсивные горизонтальные деформации, обусловленные низкой стабильностью русла и движением крупных песчаных гряд (Антроповский, 1988, Алабян и др., 2005).

Средние по размеру Суда и ее крупный приток Колпь протекают в области чередования свободных и ограниченных условий развития русловых деформаций в пределах плоской озерно-ледниковой равнины. Поверхностные отложения представлены суглинистыми и песчано-галечниковыми ледниковыми осадками с большой долей примеси крупнообломочного материала, которые подстилаются коренными породами.

В верхнем и среднем течении реки имеют широкопойменные, слабоизвилистые или прямолинейные русла. Наличие двух интервалов руслоформирующих расходов воды до выхода потока на пойму сокращают вероятность спрямления излучин, но усиливают интенсивность планового смещения русла и переформирований внутри русла (Маккавеев, 1955, Чалов, 1979). В районе впадения р. Колпи русло Суды становится врезанным. Уклон водной поверхности достигает 0,4-1%, что связано с условиями залегания кровли коренных пород. Здесь Суда прорезала аллювиальную толщу и вскрыла кровлю коренных

доломитов. Русловой аллювий представлен в основном галечно-песчаным материалом с включением валунов, формирующим отмостку. Здесь для русла Суды характерны малые темпы горизонтальных деформаций, так как река глубоко врезана в моренные отложения и размыв берегов осуществляется только в период половодий и паводков, когда в контакт с потоком вступает песчаный уступ берега. Вертикальные деформации русла Суды проявляются в основном в перемещении аккумулятивных образований – песчано-галечно-валунных осередков, которое может вызывать колебания отметок дна до 1 м.

Специфические условия формирования русла рек и размещения подводных переходов складываются на реках Волге, Шексне в зоне влияния Рыбинского водохранилища. Выделяется два вида подобных участков русла рек: в нижних бьефах плотин и в зонах подпора водохранилища. К первым относятся участки Волги в районе г. Рыбинска и Шексны ниже Шекснинского гидроузла. Ко вторым – участок Волги у г. Мышкин.

Шексна ниже Шекснинского гидроузла большую часть года находится в подпоре от Рыбинского водохранилища, поэтому деформации, связанные с попусками через плотину незначительны, носят знакопеременный характер и не превышают десяти сантиметров в год. Более существенны здесь переформирования берегов, обусловленные ветровыми волнами, хотя и они невелики – не более 0,3 м/год. Это связано с литологическим строением берегов – преобладанием суглинистых осадков.

Иные условия существуют на Волге ниже Рыбинского гидроузла. Хотя этот участок реки с конца 50-х годов XXI в. находится в подпоре от Нижегородского водохранилища, тем не менее, величина подпора незначительна. На этом фоне возникли динамичные переформирования участка реки, связанные с резкими суточными колебаниями расходов и уровней воды, обусловленные регулированием нагрузки гидростанции. Сброс воды через турбины вызывает подъем уровня воды, увеличение уклона и скорости течения. От ГЭС волны попусков распространяются вниз по течению, постепенно расплываясь. На фронте волны уклон водной поверхности ниже гидростанции превышает 0,12%. Средняя амплитуда суточных колебаний уровня воды составляет 2,2 м, а максимальная достигает 3,6 м. В настоящее время интенсивные вертикальные деформации наблюдаются в непосредственной близости от плотины, на р. Шексне, до создания Нижегородского водохранилища их скорость достигала 10 см/год. Значительную роль в формировании современного поперечного профиля русла сыграли его механические изменения. Средняя и максимальная глубины русла были увеличены в 2-3 раза в процессе дноуглубительных работ (Беркович, Злотина, Турыкин, 2003).



Наиболее опасными процессами в нижнем бьефе Рыбинской ГЭС являются горизонтальные деформации русла. Средняя скорость отступления берегов Волги в последние 12-15 лет составляла около 3 м/год. Причиной, вызывающей разрушение берегов ниже Рыбинской ГЭС, являются значительные суточные колебания уровней воды, которые способствуют увлажнению грунтов, слагающих берега. Они становятся неустойчивыми и интенсивно разрушаются, хотя в сухом состоянии размыв берегов незначителен.

Иные условия формирования русла характерны для зоны выклинивания подпора Рыбинского водохранилища. Приустьевые участки рек, впадающих в водохранилище, большую часть года находятся в подпоре, переформирования русла замедлены, хотя на подъеме половодья, при сработанном водохранилище, когда в устье реки водная поверхность приобретает вид кривой спада, скорости течения увеличиваются, что приводит к локальным вертикальным и горизонтальным деформациям. Условия подпора и спада чередуются по мере заполнения и сработки водохранилища, а также со сменой фаз гидрологического режима реки. Уклон на приустьевом участке достигает максимальных значений на подъеме половодья при сработанном водохранилище, когда на приустьевом участке рек может происходить размыв дна. Это обстоятельство должно учитываться при задании заглубления трубопровода.

Аналогичные условия характерны для участка Волги в районе г. Мышкин (Волжский плес Рыбинского водохранилища). Особенностью этого участка является крайне редкое возникновение кривой спада водной поверхности. Оно совпадает со сбросом через Угличский гидроузел больших расходов воды и значительной сработкой Рыбинского водохранилища. При этом возникает крупная волна, амплитуда которой достигает 1,8 м. Прохождение подобной волны вызывает существенный рост скоростей течения и размыв дна. Знакопеременные вертикальные деформации достигают 0,5 м/год. Для правого берега, открытого северным и северо-западным ветрам, характерна абразия, провоцирующая оползневые процессы. Таким образом, на участках, где ощущается влияние водохранилища, преобладают горизонтальные деформации, угрожающие сохранности береговых участков трубопроводов.

В соответствующих нормативных документах и научной литературе мало внимания уделяется влиянию деформаций русел малых равнинных рек на условия строительства и эксплуатации трубопроводов, равно как и изменениям русел этих рек в результате прокладки трубопроводов. Вместе с тем, преобладающее число рек региона (, Колбовский, 1992, Рохмистров, 1992), пересекаемых магистральными нефте- и газопроводами, относится к малым рекам и ручьям, длиной менее 100 км и площадью

бассейна менее 2000 км<sup>2</sup>. Поток малых рек, обладая невысокой энергией, редко способен природную безопасность магистрального трубопровода. Тем не менее, значительную опасность для береговой инфраструктуры создают резкие и высокие половодья и паводки. При недостаточном заглублении трубопровода он может подвергаться действию плывущих льдин в период ледохода, стволов деревьев.

Прокладка магистральных трубопроводов сопровождается значительными нарушениями русел и пойм малых рек в ходе земляных работ (разработка и засыпка траншей, рыхление грунтов, разработка карьеров строительного грунта, устройство подъездных дорог, дамб, монтажных площадок). Нередко прокладка траншеи на переходе через малую реку производится без учета морфодинамического типа русла, например, на потенциально опасных участках излучин.

Выделены две главные причины нарушения русел малых рек, влияние которых проявляется по окончании строительства и даже при выполнении рекультивационных работ: недостаточное заглубление трубопровода под дном реки и строительство переездов вдольтрассовых дорог через реки. Первая нарушает условия движения потока вследствие частичного или полного перекрытия русла реки трубопроводом, который вместе с засыпкой представляет собой своего рода глухую плотину высотой до 2 м. В случае многониточного перехода участок реки практически разбивается на несколько бьефов, разделенных короткими участками с очень большими уклонами (рис.3).

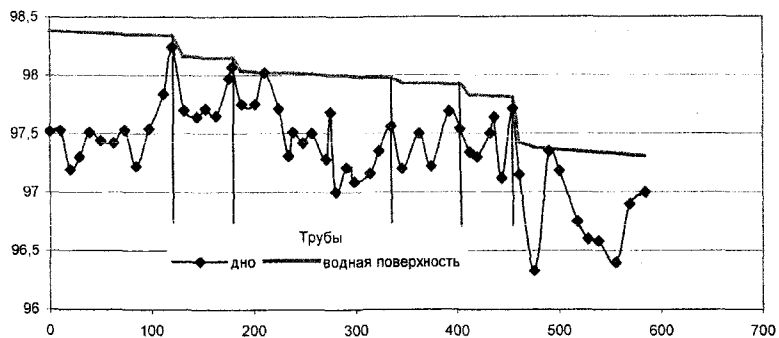


Рис. 3. Продольный профиль малой реки в районе многониточного перехода трубопровода

Вторая причина проявляется в тех частых случаях, когда на переходах газопровода водопропускные сооружения не вмещают весь поступающий сток воды. Эти нарушения не только сказываются на состоянии малых рек, но могут оказаться неблагоприятными для

устойчивого функционирования самих переходов. На переходах через малые реки нередко происходит усиление глубинной и боковой эрозии. Нередко результатом эрозии является полное или частичное разрушение засыпки и даже изоляции трубопровода на участках перехода, что является следствием сокращения площади живого сечения незаглубленным трубопроводом. Пораженность процессами боковой эрозии берегов в техногенно нарушенных условиях составляет для малых рек до 50% протяженности береговой линии. Наиболее интенсивны процессы подмыва берегов на участках рек, сложенных хорошо размываемыми песчаными и супесчаными отложениями. Размывы берегов могут достигать 1,5 м/год, что сопоставимо со скоростями горизонтальных деформаций средних и даже крупных рек.

Для экологического состояния рек неблагоприятным является заболачивание участков речных долин выше переходов трубопроводов, накопление там отложений вместе с принесенными на взвесах с водосборов загрязняющими веществами.

**В пятой главе** рассматриваются вопросы структуры и содержания мониторинга опасных физико-географических процессов на участках подводных переходов магистральных трубопроводов. Экологический мониторинг представляет собой комплексную систему наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений ее состояния под воздействием природных и антропогенных факторов (ст. 1 Закона Российской Федерации «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ от 10.01.2002 г.). Он также является информационной основой экологического контроля, который осуществляется в целях обеспечения мероприятий по охране окружающей среды, рационального использования и восстановления природных ресурсов.

Масштабы физико-географических процессов бывают столь велики, что они могут угрожать техническому состоянию трубопровода, в первую очередь вследствие размывов берегов и дна, а также ледохода. Поэтому важнейшей составной частью системы экологического мониторинга подводных переходов трубопроводов через водные объекты являются наблюдения за динамикой этих процессов. Он обеспечивает получение сведений о неблагоприятных (для безопасности трубопровода) тенденций их изменения. При обнаружении этих тенденций намечаются и осуществляются меры по их устранению или снижению вредного воздействия вод. Одновременно совершенствуется система мониторинга (рис.4).

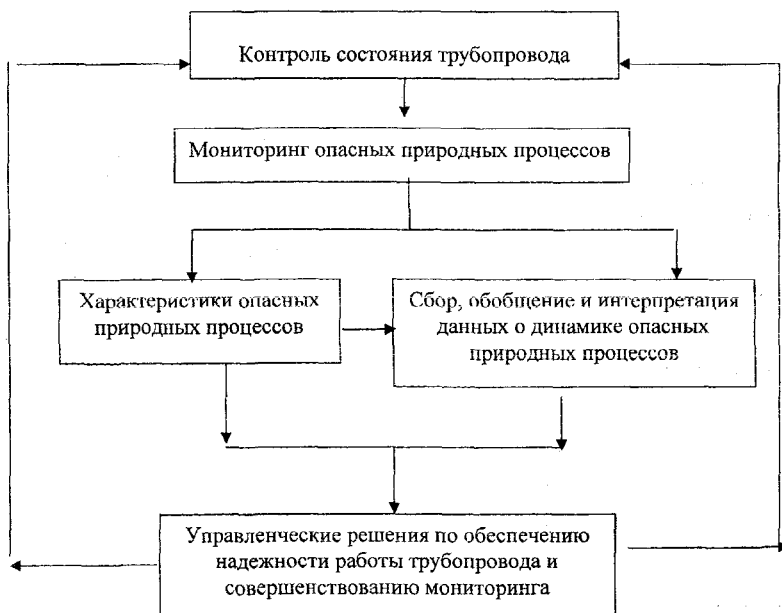


Рис. 4. Схема взаимосвязи “наблюдений” и “управленческих решений” при организации эффективного мониторинга на участках перехода трубопроводов через реки

Основные задачи мониторинга природных процессов на участках подводных трубопроводов заключаются в

- сборе и систематизации базовой информации о гидрологическом и русловом режимах района исследований;
- проведении специализированных научно-исследовательских экспедиционных исследований на речном участке с целью изучения современного гидрологического и руслового режимов реки;
- проведении инженерных изысканий в зоне подводного перехода приборными дистанционными методами гидроакустики и сейсмопрофилирования с целью определения пространственного положения трубопроводов и структуры донных отложений;
- проведении моделирования поля скоростей водного потока и деформаций дна на речном участке в районе подводного перехода для различных сценариев гидрологического режима и положения трубопроводов;

- разработке прогноза русловых деформаций и комплекса практических мер для минимизации негативных последствий современного руслоформирования.

Русловые процессы относятся к числу наиболее опасных процессов, влияющих на безопасность трубопроводов. Их влияние учитывается на стадии проектирования. Одновременно они требуют повышенного внимания и на этапе эксплуатации трубопровода. Это связано с высокой динамичностью переформирования дна и берегов рек. Условия для активизации вертикальных деформаций возникает в руслах рек по разным причинам. Они могут быть связаны со смещением и спрямлением излучин. Причиной «оголения» или провисания трубопровода может быть антропогенная глубинная эрозия или смещение иерархии грядовых форм. Смещение макроформ руслового рельефа – основная причина провисания ниток трубопроводов и их последующего разрушения. Мониторинг за положением макроформ руслового рельефа является базовым элементом всей системы контроля опасных природных процессов в зоне перехода трубопровода. Для предупреждения оголения и провисания трубопровода необходимы систематические наблюдения с периодичностью в 1 раз в год. С учетом требования повышенной заблаговременности прогноза перемещения побочной и осередков вдоль реки периодичность измерений может увеличиваться до 2 раз в год – до и после половодья.

Интенсивность горизонтальных переформирований зависит от литологии пород, слагающих берега рек, физико-географического положения исследуемой территории, влияющего на мерзлотный режим почв и грунтов и интенсивность их оттаивания, амплитуды колебания уровня воды в период половодья, морфодинамического типа русла (относительно прямолинейное, меандрирующее, разветвленное на рукава), размера, уклона и водоносности реки. Контроль горизонтальных деформаций может проводиться ежегодно в районе перехода. Длина участка обследований должна в 5-10 раз превышать ширину реки. Целью работ является выявление локальных зон береговой полосы с максимальными проявлениями разрушения берегов. Другим, более приемлемым, вариантом контроля горизонтальных деформаций является организация специальных контрольных створов. В этом случае организуется система реперов и мониторинг за смещением берегов относительно реперов. Накопление данных о перемещении линии берега за некоторый период времени может обеспечить (при условии проведения комплекса гидрологических, инженерно-геологических и других видов работ) получение расчетной зависимости между скоростью отступления берега и характеристиками определяющих факторов. В дальнейшем она может использоваться для разработки

прогнозных сценариев изменения ситуации в зоне перехода трубопроводов через реки. При отсутствии систематических наблюдений за локальными деформациями берегов оценка их величины может строиться на основе эмпирических связей.

Содержание мониторинга включает: 1) сбор информации о природном объекте и создание хронологического архива пространственно-временных данных; 2) проведение комплекса натурных наблюдений, которые повторяются по мере необходимости; 3) создание электронного паспорта перехода.

Состав мониторинговых наблюдений весьма разнообразен. Он не ограничен лишь натурными исследованиями русловых процессов. Важное место в них занимают вопросы подготовки вспомогательной информации. На ее основе оцениваются существующие и прогнозируются будущие условия эксплуатации перехода по признаку изменения интенсивности и направленности русловых переформирований. Решающее значение при организации мониторинга имеют проблемы выбора границ участка реки, в пределах которых проводятся наблюдения и исследования. Границы мониторинговых наблюдений оптимально увязывать с видом контролируемых процессов, составом основных и вспомогательных видов работ, выбором методов обработки и интерпретации получаемой информации.

В целях минимизации негативного влияния на компоненты природной среды контроль строящихся объектов должен быть, с одной стороны, непрерывным, а с другой – достаточно гибким и учитывающим график производства строительно-монтажных работ и принимаемые в процессе строительства дополнительные проектные решения. Автором обоснована система экологического контроля на объектах магистрального газопровода, которая показала, что несмотря на региональные особенности проведения строительных работ, различия в их объеме и интенсивности на разных объектах, необходимо пользоваться единой классификацией возможных экологических нарушений и их основных признаков. Для обеспечения непрерывности и преемственности экологического контроля строящихся объектов важно использовать разработанную в диссертации унифицированную структуру мониторинга, единый состав контролируемых характеристик на этапе строительства и эксплуатации трубопровода.

Количество и тип нужных дополнительных полевых данных зависит от предполагаемой процедуры руслового анализа, расчета и прогноза. Так как русловые деформации происходят неравномерно во времени, сроки выполнения полевых работ привязываются к фазам гидрологического режима, а на участках с зарегулированным стоком – к фазам пусков. На важнейших переходах могут устанавливаться специальные водомерные посты, связанные с опорными постами гидрометеослужбы.

Рекомендуется предусмотреть ряд мер, направленных на сохранение окружающей среды не только в полосе отвода строительства, но и за ее пределами, в частности, в проектах необходимо разрабатывать дополнительные разделы по охране природных комплексов в районе организации переходов трубопроводов через водные объекты.

## **ВЫВОДЫ**

1. Наряду с технологической и производственно-технологической безопасностью выделена природная безопасность объекта – подводного перехода магистрального нефте- или газопровода. Под ней понимается обоснованность выбора местоположения подводного перехода трубопровода, обеспечивающая отсутствие (или минимальное воздействие) природных процессов на надежность эксплуатации этого технического объекта. Обеспечение природной безопасности трубопровода является залогом безопасности окружающей среды.

2. Хотя физико-географические условия формирования русел рек Вологодской области достаточно однородны, морфологический облик речных долин и условия формирования стока рек изменяются по мере нарастания размеров водосборных бассейнов. Русловые процессы при строительстве и эксплуатации подводных переходов наиболее активны по длине р. Сухона, где отчетливо различаются верхнее, среднее и нижнее течение с присущими им особенностями русловых деформаций. Специфические условия формирования русла рек и размещения подводных переходов складываются на реках Волге, Шексне, в низовьях рек в зоне влияния Рыбинского водохранилища. Выделяется два вида подобных участков русла рек: в нижних бьефах плотин и в зонах подпора водохранилища. К первым относятся участки Волги в районе г. Рыбинска и Шексны ниже Шекснинского гидроузла. Ко вторым – участок Волги у г. Мышкин. Наиболее характерным для таких участков являются горизонтальные деформации, определяющие безопасность переходов трубопроводов.

3. Исследование и оценку опасных природных процессов предлагается производить на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации трубопроводов. В первом случае проводятся комплексные исследования физико-географических процессов и выбирается оптимальное местоположение перехода. На стадии строительства обеспечивается реализация комплекса защитных мероприятий и ликвидация негативных последствий сооружения трубопровода на природную среду. На стадии эксплуатации осуществляется мониторинг за динамикой природных процессов с целью выявления неблагоприятных тенденций их развития для безопасности трубопровода.

4. Основная задача мониторинга природных физико-географических процессов заключается в разработке прогноза русловых деформаций и осуществлении практических мер для минимизации негативных последствий современного руслоформирования. Для этого необходим целенаправленный сбор и систематизация информации о гидрологическом и русловом режимах реки на основе изысканий и компьютерного моделирования.

5. В целях минимизации негативного влияния на компоненты природной среды предлагается организовать непрерывный контроль строящихся объектов, который гибко учитывает график производства строительно-монтажных работ и принимаемые в процессе строительства дополнительные проектные решения. Несмотря на региональные особенности и различия в объеме и интенсивности работ на разных объектах, можно пользоваться единой классификацией возможных экологических нарушений и их основных признаков, что подразумевает унификацию структуры мониторинга.

**Основные результаты исследования изложены в статьях:**

1. Изменения водности и руслового режима рек//Водное хозяйство России. Екатеринбург. 2006. № 2. с. 80-99 (соавторы - Алексеевский Н.И., Власов Б.Н., Кононова А.В., Чалов С.Р.)
2. Общие подходы к учету изменения направленности и интенсивности русловых деформаций при многолетних колебаниях стока воды// Труды Академии проблем водохоз. наук. М. (в печати) (соавторы – Алексеевский Н.И., Власов Б.Н., Кононова А.В., Чалов С.Р.)
3. Опыт экологического сопровождения проектирования и строительства магистральных газопроводов// Вузовская наука - региону. Материалы 3 Всероссийской научно-технической конференции. Вологда. ВоГТУ. 2005. С. 6-9 (соавторы Алабян А.М., Алексеевский Н.И., Власов Б.Н., Старцев Ю.П.)
4. Безопасность строительства и эксплуатации трубопроводного транспорта на участках переходов через реки// Вузовская наука - региону. Материалы 3 Всероссийской научно-технической конференции. Вологда. ВоГТУ. 2005. С. 9-12 (соавторы Алабян А.М., Алексеевский Н.И., Турыкин Л.А.)
5. Кичигин А.Н., Сергеев О.Н. Рельеф поверхности дочетвертичных пород на территории Вологодской области// Вузовская наука – региону. Материалы 3 всероссийской научной конференции. – Вологда, ВоГТУ, 2005. С. 265-269
6. Сергеев О.Н., Кичигин А.Н. Геолого-геоморфологические условия формирования русел и функционирования переходов трубопроводов на реках севера Европейской части



Росси// Вузовская наука – региону. Материалы 4 Всероссийской научно-технической конференции.- Вологда, ВоГТУ, 2006. с.423-425.

7.Сергеев О.Н. Обеспечение экологической безопасности при строительстве и эксплуатации подводных переходов магистральных трубопроводов// Материалы 7 научно-технической конференции молодежи ОАО «Северные МН». – Ухта, 2006 (в печати).

8.Еремеев Ю.Н., Шестернев Н.Р., Сергеев О.Н., Старцев Ю.П. Обеспечение экологической безопасности на основе международных стандартов серии ИСО 14000// Газовая промышленность. Март 2006. Москва. с.76-77.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.