



На правах рукописи

Пикинеров Павел Васильевич

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ
ВОДОТОКОВ ДЛЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ И НОРМИРОВАНИЯ
ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Специальность 25.00.36 – геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

1 0 ДЕК 2009

Тюмень - 2009

Работа выполнена в Институте криосферы Земли Сибирского отделения РАН.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
И.Г. Соловьев

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
А.А. Вакулин

кандидат географических наук
Н.А. Скорбилин

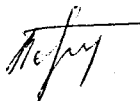
Ведущая организация: Институт проблем освоения Севера
СО РАН

Защита состоится «24» декабря 2009 г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.273.02 при Тюменском государственном нефтегазовом университете по адресу: г.Тюмень, ул.Володарского, 38.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке ТюмГНГУ по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72,

Автореферат разослан 24 ноября

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук



В.И. Берг

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Актуальность проблемы нормирования и контроля воздействий на водные объекты весьма высока. Для региона Западной Сибири можно выделить ряд специфичных влияющих факторов: интенсивная нагрузка на водные объекты, как вследствие прямых воздействий, так и вследствие аварийных ситуаций; недостаточная гибкость действующего регламента нормирования к быстроменяющимся условиям (неравномерность сбросов); низкая степень самовосстановления биоты, связанная с длительными периодами ледостава и высоким уровнем загрязненности; сезонный характер влияния нефтезагрязненных пойменных зон обусловленный поступлением загрязняющих веществ с поверхностным стоком; большое количество водных объектов (в том числе и малых рек); низкая степень информационной обеспеченности, ввиду отсутствия данных гидрометеорологических измерений.

Качественные показатели состояния природных вод свидетельствуют о сложной экологической ситуации в районах Западной Сибири. Основная доля загрязнений поверхностных вод региона имеет промышленное происхождение. Можно выделить ряд объективных причин сложившейся ситуации: интенсивное воздействие источников сброса сточных вод, несовершенство применяемых очистных технологий, высокие показатели аварийности в процессах транспортировки и добычи нефтепродуктов.

Дополнительной сложностью в вопросах нормирования является ограниченная способность водоемов к использованию в качестве приемников сточных вод (ассимилирующая способность), что обуславливает поиск компромисса между удовлетворением потребностей предприятия в водном ресурсе (экономический аспект) и сохранением нормативного качества воды водных объектов (экологический аспект).

Действующей системой контроля не учитывается сложная природа взаимодействий между водотоком и прилегающими к нему кумулятивными зонами, в частности действие механизмов вторичного

загрязнения (смыв загрязнителя с береговой полосы поверхностным стоком), что усложняет задачу определения факта и объемов ненормативного воздействия.

Одним из потенциальных подходов решения вышеобозначенных проблем может являться комплексное рассмотрение процессов взаимодействия между водотоком и прилегающими зонами на основе методов гидродинамического и гидрохимического моделирования.

Цель работы: Разработка математических схем и геоинформационных средств для задач совершенствования государственного регламента контроля и нормирования воздействий на водотоки в условиях Севера Западной Сибири с учетом динамики водности, вторичных источников загрязнений и поверхностного стока.

Основные задачи исследования:

1. Анализ современного состояния вопросов по контролю и управлению загрязненностью рек, практика, регламенты, нормативы и подзаконные акты по водопользованию в северных районах Западной Сибири.
2. Поиск путей и средств совершенствования методик нормирования воздействий и контроля качества водной среды на основе создания математических моделей динамики водных балансов и массообмена с учетом факторов вторичных загрязнений.
3. Разработка алгоритма геоинформационного конструирования ландшафтно-камерных моделей малых рек и основанных на них моделей миграции примесей в условиях длительных периодов ледостава.
4. Разработка алгоритмов и программ оценивания параметров передач в моделях миграции, ассимиляции и массообмена нефтезагрязнений с окаймляющими русло кумулятивными зонами.

Научная новизна:

1. В развитие метода гидрологической аналогий предложен новый подход к расчету гидрографов малых рек с различными уставками

обеспеченности. Реализованная технология ландшафтно-камерного моделирования поверхностного водосбора применительно к малоизученным рекам Западной Сибири позволяет рационально планировать предельные нормы сбросов на основе текущего прогноза гидроресурса по фону и водности.

2. Разработана оригинальная технология адаптивного вычислительного контроля состояния нефтезагрязненности антропогенно нагруженных участков рек с длительными периодами ледостава, учитывающая внутригодовую динамику скрытых (сверхлимитных) стоков и механизмов вторичных загрязнений.

Объектом исследований является система государственного управления охраной поверхностных вод регионального и локального уровней с учетом природно-климатической специфики Севера Западной Сибири.

Предметом исследований являются математические и геоинформационные модели ландшафтной гидрохимии водотоков, модели контроля загрязненности и нормирования сбросов.

Методы исследований и достоверность результатов. Решение поставленных задач осуществлялось с помощью численных математических методов, методов системного анализа эколого-географической и картографической информации. Численная реализация моделей гидродинамики и гидрохимии осуществлялась с помощью математического пакета «MatLAB 7». Обработка картографической информации осуществлялась средствами пакета «MapInfo 7».

Достоверность полученных результатов основана на использовании фундаментальных законов сохранения, подтверждается совпадением модельных данных со среднестатистическими данными малых рек.

Основные защищаемые положения:

1. Алгоритм геоинформационного конструирования ландшафтно-камерных моделей поверхностного водосбора малых рек Севера Западной Сибири и связанная с ними технология вычислительного

контроля и прогнозирования водности, как основы метода динамического нормирования сбросов.

2. Технологическая схема и алгоритм идентификации осредненных параметров передач процессов миграции, ассимиляции и массообмена примесей участка водотока с окаймляющими кумулятивными зонами (дно, берег, ледовый покров) по данным аналитического контроля.

Практическая значимость. Работа направлена на совершенствование действующего регламента нормирования сбросов в водотоки на основе рационального распределения объемов выпусков в соответствии с динамикой водности. Технология геоинформационного конструирования ландшафтно-камерной модели была использована при построении соответствующей гидродинамической модели р.Васьеган, в задаче расчета ПДС для КОС-7000/14000 г.Салехард.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на Международной конференции «Теория и практика оценки состояния криосферы Земли и прогноз ее изменения» (Тюмень, 2006); Международной конференции «Криогенные ресурсы полярных регионов» (Салехард, 2007; Тюмень, 2008); Всероссийской научно-технической конференции «Нефть и газ Западной Сибири» (Тюмень, 2007).

Публикации. По результатам исследования автором опубликовано 13 научных работ, в том числе 8 тезисов докладов и 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы и 1 приложения, содержит 154 страницы текста, 39 рисунков и 8 таблиц, список использованных источников состоит из 114 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении описана актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель и определены задачи исследования. Представлена научная новизна и указана практическая значимость работы.

В первом разделе диссертации рассмотрены основные положения действующего регламента нормирования воздействий на водные объекты. Отражается специфика факторов, осложняющих задачу нормирования для рек Западной Сибири. Отмечается невозможность обеспечения оперативного управления текущим уровнем воздействия на водные объекты в рамках действующей нормативной базы. Отмечается особая роль водотока как индикатора текущего состояния загрязненности прилегающей территории. Отмечается проблема управляемости экологическим ресурсом (водоток) за счет введения временных нормативов на долгосрочной перспективе.

В развитие действующих методов нормирования и контроля воздействий на водные объекты, с учетом принятой практики динамического нормирования и использования технологий адаптивного наблюдения разработан системный подход комплексного рассмотрения водного объекта и совокупности прилегающих кумулятивных зон как в задачах нормирования, так и в задачах контроля. Главными составляющими представленного подхода является создание ландшафтно-камерной гидродинамической модели, позволяющей восстанавливать гидродинамические характеристики исследуемого участка реки; и создание гидрохимической модели, учитывающей многофакторный динамический характер групповых источников воздействий и их взаимовлияния и позволяющей воспроизводить динамику загрязненности водотока и прилегающих к нему кумулятивных сред (береговая полоса, дно).

Выделены основные области применения гидродинамической и гидрохимической моделей водотока, при этом первая модель является основой метода динамического нормирования воздействий на водные

объекты (норматив воздействия определяется в соответствии с графиком расхода), а вторая, использующая результаты работы первой, является основой методов адаптивного наблюдения за состоянием загрязненности.

Во втором разделе диссертации рассмотрены основные положения построения гидродинамической модели. Разработанная модель относится к классу камерных моделей и развивает основные положения метода гидрологической аналогии. Основные положения камерного моделирования, в частности, сформулированы в работах Л.С. Кучмента. В рамках подобного описания рассматриваемый участок водотока разделяется на более мелкие участки – камеры, в пределах которых состояния и параметры природного объекта осредняются и характеризуются набором конечных чисел. В разработанной модели учитываются механизмы взаимодействия и влияния между водотоком и прилегающими кумулятивными зонами: грунтами, поверхностью и частично растительным покровом. Объявляется вектор состояния гидродинамики водотока в пределах i -ой камеры:

$$h_i(t) = [h_i(t) \quad hP_i(t) \quad hG_i(t)]^T,$$

где $h_i(t)$ - уровень воды в водотоке; $hP_i(t)$ – уровень поверхностной влаги; $hG_i(t)$ - уровень грунтовой влаги.

Функциональная схема гидродинамической модели условного участка водотока, в пределах которого выделяется n камер, приведена на рисунке 1. Каждый из выделенных сегментов характеризуется вектором состояния $h_i(t)$. Выходно-выходными переменными функциями являются $q_{i-1}(t)$, $q_i(t)$ – объемные расходы на входе и выходе камеры. Общими для всех камер участка водотока являются следующие входные переменные: $r(t)$ - функция интенсивности «осадки-испарение» на единицу площади горизонтали; $pV(t)$ - функция интенсивности перехвата влаги растительностью; $\Theta(t)$ - функция годового хода поверхностной температуры; $q_0(t)$ - объемный расход воды на входе первой камеры; $h_{n+1}(t)$ - изменение уровня воды в последующей за n камере.

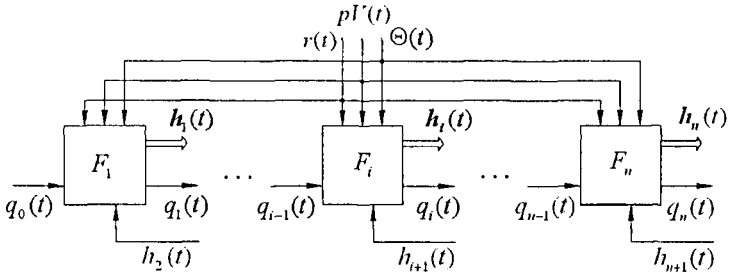


Рисунок 1 – Функциональная схема гидродинамической модели.

Приводится общий вид системы дифференциальных уравнений, описывающих состояние модели:

$$\begin{cases} \dot{V}_i(t) = q_{i-1}(t) - q_i(t) + qP(t) + qR(t) + e(t), \\ \dot{VP}_i(t) = -qP(t) - qG(t) - qLP(t) + eS(t), \\ \dot{VG}_i(t) = -qR(t) - qLG(t) + qG(t), \end{cases}$$

где $V_i(t)$ - объем воды в водотоке; $VP_i(t)$ - объем воды на поверхности; $VG_i(t)$ - объем воды в грунтах; $qP(t)$ - функция стока поверхностной влаги в водоток; $qG(t)$ - функция инфильтрации поверхностной влаги в грунты; $qR(t)$ - функция перетока влаги из грунтового резервуара в водоток и обратно; $qLP(t)/qLG(t)$ - функция забора поверхностной/грунтовой влаги растительностью; $eS(t)/e(t)$ - функция выпадения осадков, за вычетом испарения, приходящихся на площадь водосбора/площадь зеркала воды.

Механизмы стока в математическом виде описываются в виде линеаризованных функций с использованием настроечных параметров. Данные параметры можно мультипликативно разделить на две составляющие:

$$\alpha_* = \alpha_{*0} \cdot \alpha_{*1},$$

где первый множитель (α_{*0}) характеризует геометрические параметры объекта (протяженность, площадь, уклоны) и определяется по данным картографического анализа; а второй (α_{*1}) - физические параметры механизмов фильтрации и поверхностного стока. Можно полагать, что

первая составляющая параметров является индивидуальной характеристикой водотока, а вторая – общей для водных объектов, рассматриваемой географической зоны.

В третьем разделе диссертации в развитие вышеприведенных методов гидродинамического описания, с целью упрощения процедуры определения геометрических параметров модели разработана автоматизированная технология геоинформационного конструирования ландшафтно-камерных моделей малых рек на основе данных картографического анализа.

Разработанная технология включает в себя выполнение нескольких этапов. На первом этапе производится векторизация исходного картографического образа: путем оконтуривания определенных элементов (водные объекты, растительность, морфология) типовой топоосновы соответствующего масштаба (1:5000 – 1:50000) формируется массив оцифрованных слоев, каждый из которых соответствует определенной составляющей картографического образа, имеет свое наименование и обладает набором атрибутивной информации (длина, площадь, положение в пространстве).

На втором этапе в рамках полученного векторизованного образа осуществляется разделение водотока на участки – камеры, каждая из которых будет характеризоваться своими параметрами (площадь водосбора (sw_i), длина ($w_{i,j}$)), представление однородных уровней рельефа в виде полигональных структур, затем осуществляется выделение границ площадей водосбора для выделенных участков водотока. На третьем этапе осуществляется параметризация исходных мозаичных камеральных структур в виде спрямленных прямоугольных образов, эквивалентных по своим основным характеристикам (протяженность, площадь) исходному прообразу. В результате исходная структура представляется в виде прямоугольника (b, l_i), площадь которого соответствует площади водосбора (sw_i), и который включает в себя множество «вложенных»

прямоугольников, соответствующих уровням рельефа в пределах рассматриваемого участка и соответствующих их площадям. В общем виде типизированная схема построения гидрологической модели представлена на рисунке 2.

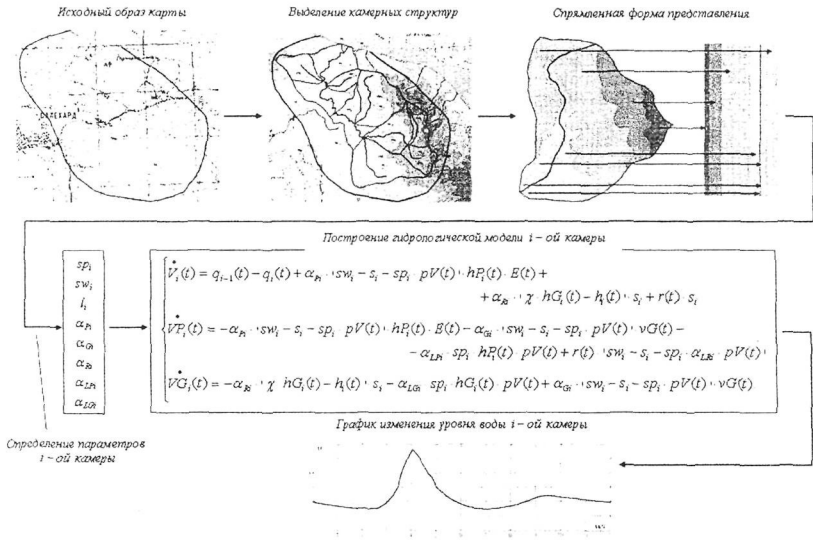


Рисунок 2 – Типизированная схема построения гидрологической модели.

Результаты работы алгоритма используются для восстановления индивидуальных составляющих основных параметров гидродинамической модели водотока. Использование актуальной картографической информации позволяет учесть особенности рассматриваемого водотока, получить надежные оценки основных параметров модели.

В четвертом разделе диссертации рассматриваются основные вопросы и положения построения гидрохимической модели водотока. Особенность нефти как фактора загрязнения: способность образовывать пленку на поверхности водного объекта, равно как и способность выпадать на дно в виде тяжелых фракций углеводородов, - предъявляет свои требования к описанию массообменных процессов. В этой связи разработанная математическая модель миграции примесей в водотоке (гидрохимическая модель) развивает и дополняет известные положения о

моделях камерного типа расчетными схемами оценки состояния загрязненности прилегающих кумулятивных сред: донные отложения ($M_1(t)$), ледовый покров ($M_3(t)$), береговая полоса ($M_2(t)$). Топологическая схема массообменных процессов представлена на рисунке 3.

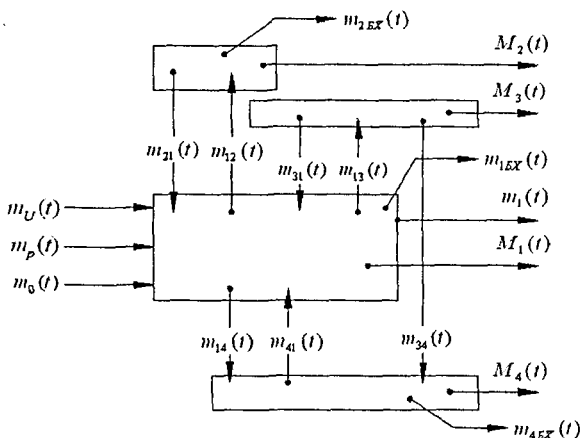


Рисунок 3 – Топологическая схема массообменных процессов.

На приведенном рисунке: $m_0(t)$ - масса нефтезагрязнителя во входном потоке; $m_1(t)$ - масса нефтезагрязнителя в выходном потоке; $m_U(t)$ - контролируемое поступление массы нефтезагрязнителя в водоток; $m_P(t)$ - априорно неизвестное поступление нефтезагрязнителя; $m_{1EX}(t)$, $m_{2EX}(t)$, $m_{4EX}(t)$ - расходы массы загрязнителя, вследствие действия механизмов биохимической деструкции; $m_{21}(t)$, $m_{31}(t)$, $m_{41}(t)$ - расходы массы загрязнителя, перешедшей в водную среду, вследствие отдачи с береговой зоны, ледового покрова и дна; $m_{12}(t)$ и $m_{13}(t)$ - расходы массы загрязнителя, перешедшей из водной среды на береговую зону и ледовый покров, вследствие сорбции; $m_{14}(t)$ и $m_{34}(t)$ - расходы массы загрязнителя, перешедшей на дно из водной среды и со льда вследствие осаждения.

Заложенные механизмы трансформации говорят о том, что со временем распределенная по зонам масса «подвижного» (участвующего в

массообменных процессах) загрязнителя либо покидает камеру, либо в силу биохимических распадов и иных деструкционных механизмов переходит условно в «неподвижное» состояние, т.е. выводится из массообменного оборота.

В рамках введенных обозначений объединенная динамика массообменных процессов в водотоке описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \dot{M}_1(t) = m_0(t) + m_U(t) + m_p(t) - m_1(t) - m_{1EX}(t) - \\ \quad - m_{12}(t) - m_{13}(t) - m_{14}(t) + m_{21}(t) + m_{31}(t) + m_{41}(t), \\ \dot{M}_2(t) = -m_{2EX}(t) + m_{12}(t) - m_{21}(t), \\ \dot{M}_3(t) = -m_{31}(t) + m_{13}(t) - m_{34}(t), \\ \dot{M}_4(t) = -m_{4EX}(t) + m_{14}(t) - m_{41}(t), \end{cases}$$

С целью оценки реакции системы «водная среда – кумулятивные зоны» на факт ненормативного воздействия (аварийный разлив) был проведен вычислительный эксперимент на основе разработанных моделей. Результаты модельного эксперимента, в ходе которого оценивалась реакция системы на прохождение однотипного аварийного разлива, произошедшего в различные сезонные периоды года, показали, что на одинаковом промежутке оценивания (2 года) итоговые пропорции между остаточным количеством «подвижного» загрязнителя, трансформируемого и вынесенного неодинаковы. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что для надежного опознавания объемов воздействий недостаточно обособленных данных контроля качества водной среды, необходимо создание модельных технологий оценивания состояния загрязненности примыкающих к водотоку кумулятивных зон, в частности представленной гидрохимической модели.

В пятом разделе диссертации излагаются основные положения алгоритма идентификации параметров гидрохимической модели водотока по данным регулярных наблюдений качества воды во входо-выходных створах, с целью практической реализации представленной технологии оценивания.

Особенностью представленного алгоритма является декомпозиция исходной модели, по учету сезонных влияющих факторов и сред воздействия на более простые, что позволяет упростить общую задачу идентификации за счет сокращения размерностей векторов оцениваемых параметров. Учитывая разнотемповость массообменных процессов, происходящих в водной среде и в пределах дна, первоначально на основе данных редких измерений идентифицируются параметры модели донных отложений, а затем на основе полученных результатов решается задача оценки параметров модели «водная среда – берег».

Логика работы алгоритма идентификации построена по принципу последовательных приближений с использованием фильтров осреднения, которые восстанавливают недостающие составляющие векторов состояния регрессионных переменных. Работоспособность алгоритма идентификации проверялась на основе модельных данных, имитирующих реальную практику контроля качества водной среды. При формировании выборки измерений полагалось, что измерения загрязненности воды производились ежесуточно, а донных отложений – один раз в двадцать дней.

В ходе проведенных численных экспериментов было установлено, что представленный алгоритм идентификации имеет широкие диапазоны сходимости: ошибка начального оценивания искомым параметров достигала 300%, количество итераций алгоритма идентификации составляло 50 шагов, при этом погрешность оценивания не превышала 5%. Сходимость процесса идентификации для модели «водная среда – берег» представлена на рисунке 4.

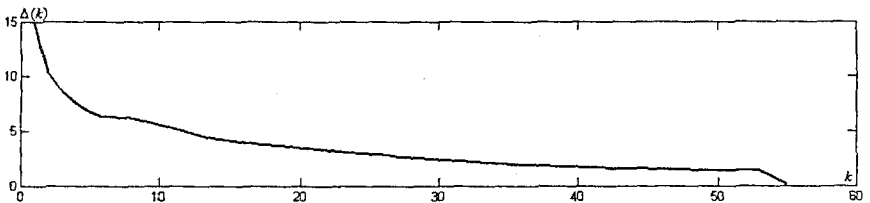


Рисунок 4 – Динамика изменения среднеквадратического отклонения (Δ),
 k - шаг итерации алгоритма оценивания.

В определенной степени представленный алгоритм оценивания параметров формулирует требования к регламенту проведения замеров качества водной среды и донных отложений для создания модельных технологий контроля состояния загрязненности.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. На основе анализа современного состояния вопросов по контролю и управлению загрязненностью рек, обозначены основные проблемы, возникающие в рамках эксплуатационно-хозяйственной деятельности между предприятиями-водопользователями и органами экологического контроля. Формулируются основные направления совершенствования методик нормирования и контроля воздействий на основе методов гидродинамического и гидрохимического моделирования.
2. Разработан алгоритм геоинформационного конструирования ландшафтно-камерных моделей поверхностного водосбора малых рек Севера Западной Сибири. Особенностью модели является использование данных картографического анализа для восстановления основных параметров рассматриваемых процессов. Представлена технология вычислительного контроля и прогнозирования водности, как основы метода динамического нормирования сбросов.
3. Представлена математическая модель миграции примесей в водотоке, развивающая и дополняющая известные положения о моделях камерного типа расчетными схемами оценки состояния загрязненности прилегающих кумулятивных сред: береговой полосы, ледового покрова и дна.
4. Представлена технологическая схема и алгоритм идентификации параметров гидрохимической модели по данным аналитического контроля. Приведенный алгоритм оценивания параметров формулирует требования к регламенту проведения замеров качества водной среды и донных отложений для создания модельных технологий контроля состояния загрязненности прилегающих водосборных территорий.

16

17

**Основные положения диссертационной работы опубликованы:
в журналах, рекомендованных ВАК РФ:**

1. Пикинеров П.В. Математические методы контроля нефтезагрязненности водотоков на месторождениях с длительными периодами ледостава: Модель. I / Соловьев И.Г., Пикинеров П.В., Шмелева Т.А. // Криосфера Земли, 2008, т. XIV, №2, С.28-35.
2. Пикинеров П.В. Математические методы контроля нефтезагрязненности водотоков на месторождениях с длительными периодами ледостава: Идентификация. II / Соловьев И.Г., Пикинеров П.В. // Криосфера Земли, 2008, т. XV, №3, С.25-31.

в следующих работах:

1. Пикинеров П.В. Гидродинамическая модель загрязнения водотоков / Шмелева Т.А., Пикинеров П.В. // Вестн. кибернетики. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2005. №4. С.29-35.
2. Пикинеров П.В. Моделирование нефтезагрязненности водотоков, расположенных на территории месторождений / Пикинеров П.В., Шмелева Т.А. // Вестн. кибернетики. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2006. №5. С.10-15.
3. Пикинеров П.В. Идентификация параметров гидрохимической модели нефтезагрязненности дна водотока / Пикинеров П.В., Шмелева Т.А. // Вестн. кибернетики. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2007, №6 С.11-17.
4. Пикинеров П.В. Геоинформационные технологии в расчете графиков ПДС / Пикинеров П.В., Власов Е.В., Соловьев И.Г. // Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф. Тезисы IX Всероссийской конференции, Барнаул, 2007, С.90.
5. Пикинеров П.В. Идентификация параметров гидрохимической модели загрязненности водотока с учетом сезонно-климатических факторов // Криогенные ресурсы полярных регионов. Состояние и перспективы инженерного мерзлотоведения. Материалы международной конференции, Тюмень, 2008, С. 474-478.

Подписано в печать 10.11.09г. Формат 60х90 1/16. Усл. печ. л. 1,0
Тираж 100 экз. Заказ №352.

Издательство государственного образовательного учреждения высшего
профессионального образования
«Тюменский государственный нефтегазовый университет».
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

Отдел оперативной полиграфии издательства.
625039, г. Тюмень, ул. Киевская, 52.