

На правах рукописи



ГУЛЯЕВА (БЕСПАЛОВА) ЮЛИЯ ВЛАДИМИРОВНА

**ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
И ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД  
ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО МЕГАБАССЕЙНА  
(на примере Тобольского, Средне-Обского и Тазовского бассейнов стока  
подземных вод)**

Специальность 25.00.07 - Гидрогеология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Тюмень – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский индустриальный университет»

Научный руководитель:

**Курчиков Аркадий Романович** - доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, директор Западно-Сибирского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, г. Тюмень

Официальные оппоненты:

**Алексеева Людмила Павловна** - доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрогеологии, Институт земной коры Сибирское отделение Российской академии наук, г. Иркутск

**Сидкина Евгения Сергеевна** - кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией ГЕОХИ РАН, г. Москва

Ведущая организация:

ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа природных ресурсов, отделение геологии, г. Томск

Защита диссертации состоится 4 декабря 2018 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 212.273.05 на базе Тюменского индустриального университета по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 56, Институт геологии и нефтегазодобычи, аудитория 113.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотечно-информационном центре ТИУ по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72, и на сайте ТИУ [www.tyuiu.ru](http://www.tyuiu.ru).

Автореферат диссертации разослан 20 октября 2018 г.

Отзывы, заверенные печатью учреждения, в двух экземплярах просим направлять по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.273.05. Факс: 8 (3452) 39-03-46, e-mail: [semenovav@tyuiu.ru](mailto:semenovav@tyuiu.ru)

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Семенова Татьяна Владимировна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследования

В данной диссертационной работе затронута глобальная проблема гидрогеологии – защита подземных вод от загрязнения. В настоящее время особую актуальность приобретают исследования по региональной оценке подверженности подземных вод различным техногенным воздействиям, в результате которых формируются техногенные гидрогеологические системы с различными полями параметров, существенно отличающиеся от природных.

Техногенные гидрогеологические системы (ТГГС) – это совокупность тесно связанных между собой и обуславливающих друг друга гидрогеологических и инженерно-геологических процессов, проявляющихся особенно интенсивно вследствие антропогенного воздействия, определяющих изменение геологической и окружающей среды, с маркерами-загрязнителями, сопутствующими каждому типу ТГГС.

Выделяемые маркеры - загрязнители в каждом из типов ТГГС в работе понимаются как локальные скопления в подземных водах компонентов, обладающих антропогенным генезисом, и отличающихся от фоновых значений природного гидрогеохимического поля.

Согласно Матусевичу В.М., отличительными чертами техногенного поля от естественных физических полей являются его гетерогенность и полиморфность. Оно включает в себя все признаки существующих физических полей, но в зависимости от способов воздействия человека на недра, трансформирует естественные поля, проникая в каждое из них.

В работе акцентировано внимание на факторах техногенного преобразования гидрогеологического поля трех бассейнов стока подземных вод (БС ПВ) в Западной Сибири: Тобольского, Средне-Обского, Тазовского. В каждом конкретном случае выделяются типы ТГГС и определены основные маркеры - загрязнители. В пределах изучаемых бассейнов стока подземных вод механизм проявления техногенеза различен, в связи с этим изменяется сама структура и последствия негативного воздействия.

В границах бассейнов стока подземных вод, совпадающих с бассейнами рек, происходит зарождение и формирование потоков подземных вод зоны дренирования равнины. Данная закономерность, выявленная и рассмотренная Ю.К. Смоленцевым в 1965 г., позволила предложить в качестве резервуара подземных вод для зон интенсивного и слегка затрудненного водообмена термин «бассейны стока подземных вод».

С помощью результатов моделирования на региональной модели водоносных комплексов центральной части Средне-Обского БС ПВ получены предельные размеры зоны захвата фильтрационного потока водозаборных

скважин. Они дают возможность оценить условия загрязнения эксплуатируемых водоносных комплексов, с учётом пространственной локализации потенциальных источников загрязнения. Составленная схема районирования позволяет выбрать те участки, где поверхностное или глубинное загрязнение может попасть в зону захвата водозаборной скважины и указать территории или площади, в пределах которых очаги загрязнения не могут ухудшить работу эксплуатационных скважин ни при каких условиях.

В настоящее время сохранение качества подземных вод питьевого назначения является актуальной задачей. В связи с этим, в работе изучен вопрос оценки защищенности подземных вод от загрязнения в условиях непрерывной техногенной нагрузки нефтедобывающего типа (Средне-Обский БС ПВ), представлен методологический подход. С целью подтверждения результатов оценки защищенности применялся анализ расчетов, так называемых индексов проникновения ( $I_{вз}^3$ ), упоминаемых в работах Белоусовой А.П. в 2011 г., которые характеризуют взаимодействие подземных вод с другими компонентами геологической среды, подвергшихся загрязнению. В работе приведена результирующая карта уязвимости ПВ.

Уточнение оценки защищенности пресных подземных вод атлым-новомихайловского водоносного комплекса с позиций сорбционных свойств - сложная и актуальная задача, которая позволяет дать объективную характеристику перекрывающих отложений, способных «противостоять» просачиванию загрязняющих веществ.

#### **Степень разработанности темы исследования**

Проблема техногенеза, его «прораствание» в геологическую среду Западно-Сибирского мегабассейна (ЗСМБ) изучена и описана во многих работах: Гольдберг В.М., Питьева К.Е., Тютюнова Ф.И., Матусевич В.М., Ковяткина Л.А., Торгованова В.Б., Барс Е.А., Гаев А.Я., Алексеева Л.П., Бешенцев В.А., Семенова Т.В., Фокина Л.М. и др. В перечисленных работах рассматриваются общее понятие и формирование ТГГС, их классификация и свойства. В настоящей работе изучен данный вопрос сквозь призму основных маркеров - загрязнителей, которые имеют принципиальное отличие в каждом БС ПВ в зависимости от вида техногенной нагрузки.

В условиях техногенной нагрузки на геологическую среду необходимым условием является оценка естественной защищенности пресных подземных вод от загрязнителей. Как показывает предварительный обзор статей по данной теме, работ много: Гольдберг В.М., Забузов А.А., Лапшин Н.Н., Орадовская А.Е., Шестаков В.М., Поздняков С.П., Белоусова А. П., Гаев А.Я., Михневич Г.С. и др. В то же время, до сих пор нет общепринятой типизации факторов защищенности водоносных горизонтов. Автор данной диссертационной работы оперирует

параметром сорбционной способности слабопроницаемых отложений в методике оценки природной защищенности пресных подземных вод хозяйственно-питьевого назначения от просачивания загрязнителей «сверху».

В условиях непрерывной техногенной нагрузки весьма актуально моделирование пространственного распространения загрязняющих веществ в ПВ. Такие задачи решаются с помощью численного моделирования фильтрационных потоков ПВ. Вопросы моделирования изучались в работах таких авторов как: Мироненко В.А., Кузеванов К.И., Палкин С.С., Поздняков С.П., Шутов М.С., Плавник А.Г., Wang H F and Anderson M P, Young H L, Barlow P and Moench A, Tomlin C D and Berry J K. В данной работе по результатам моделирования построена региональная карта ореолов загрязнения пресных ПВ.

### **Цель работы**

Повышение надежности прогнозов защищенности подземных вод питьевого назначения от загрязнения, с учетом влияния природных и техногенных факторов.

### **Основные задачи исследований**

1. Изучить гидрогеологические особенности формирования пресных подземных вод в системе «вода-порода» в пределах Тобольского, Средне-Обского и Тазовского бассейнов стока подземных вод.
2. Выявить основные типы техногенных гидрогеологических систем Тобольского, Средне-Обского и Тазовского бассейнов стока подземных вод.
3. Провести моделирование ореолов загрязнения пресных подземных вод.
4. Определить наиболее часто встречаемые в пресных подземных водах маркеры -загрязнители в каждом типе техногенных гидрогеологических систем.
5. Проанализировать существующие методы оценки природной защищенности ПВ.
6. Определить методологический подход к расчету времени проникновения загрязнений.
7. Лабораторным путем определить сорбционную способность слабопроницаемых отложений.
8. Оценить защищенность пресных подземных вод с учетом сорбции в условиях ТГГС нефтедобывающего типа.

В перечисленных задачах рассмотрены как научные, так и прикладные аспекты: выделение типов ТГГС, региональное математическое моделирование, методологический подход к оценке защищенности подземных вод. Они относятся к приоритетному направлению развития науки, технологий и техники «Рациональное природопользование», а также к Перечню критических технологий РФ (п.19-21), утвержденных Указом Президента РФ от 07 июля 2011 г. №899.

### **Научная новизна**

В условиях постоянной техногенной нагрузки на геологическую среду автором впервые для территории Тобольского, Средне-Обского и Тазовского бассейнов стока подземных вод выделены основные типы техногенных гидрогеологических систем, дана их сравнительная характеристика, выявлены основные маркеры - загрязнители.

На примере центральной части Средне-Обского бассейна стока подземных вод в соавторстве с Кузевановым К.И. и Поповым В.К. создана трехслойная региональная гидрогеодинамическая модель. Получено решение в виде прогнозной гидрогеодинамической задачи послойного распределения напоров, с расчетом всех балансовых характеристик. Впервые, на основании данных, представленных во втором защищаемом положении, смоделированы потенциальные очаги загрязнения, прогноз их вертикальной миграции вблизи одиночной водозаборной скважины.

На основании изучения природных особенностей формирования химического состава пресных подземных вод определена степень естественной защищенности продуктивного водоносного комплекса, и обоснован прогноз возможности проникновения загрязнений с поверхности до добываемых для хозяйственно-питьевых целей вод в нарушенных техногенезом условиях. Автором впервые построена карта естественной защищенности подземных вод атлым-новомихайловского гидрогеологического комплекса в пределах центральной части Средне-Обского БС ПВ, учитывающая в расчетах времени проникновения загрязнения через зону аэрации сорбционные свойства слабопроницаемых отложений.

Выявление пространственной дифференциации территории по степени естественной защищенности от загрязнения позволяет выполнить оптимизацию расположения контрольных пунктов наблюдения за состоянием подземных вод, дополняющих существующую сеть мониторинга на участках, не защищенных или слабозащищенных от загрязнения.

В ходе работы построена карта уязвимости подземных вод изучаемого района, которая отражает наиболее устойчивое/неустойчивое состояние объекта исследования к техногенным воздействиям.

Впервые, для слабопроницаемых отложений тавдинской свиты, лабораторным путем определены сорбционные свойства пород по методике Каппена-Гильковица, даны авторские рекомендации по определению суммы обменных оснований в глинистых отложениях, проведен анализ полученных результатов. С помощью микроскопических исследований установлен состав породообразующих минералов глинистых отложений, подтвержденный рентгеноструктурным анализом.

### **Теоретическая значимость работы**

В результате выполненной работы изучена важнейшая проблема определения основных маркеров - загрязнителей в районах наибольшей урбанизации, эксплуатации нефтяных и газовых месторождений на примере Тобольского, Средне-Обского и Тазовского бассейнов стока подземных вод.

Выполненное гидродинамическое моделирование с теоретических позиций представляет интерес для выявления связи граничных условий с техническими параметрами работы эксплуатационных скважин.

Определен методологический подход к вопросу оценки естественной защищенности подземных вод от загрязнителей. Предложены авторские рекомендации по проведению лабораторного анализа по определению обменных оснований слабопроницаемых отложений.

### **Практическая значимость работы**

Численное моделирование позволяет проводить оценку развития потенциального загрязнения подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Модель носит рекомендательный характер по расположению точек наблюдательной сети.

Авторские методические рекомендации по определению суммы обменных оснований в глинистых отложениях используются для проведения практических занятий в лабораториях Тюменского индустриального университета.

Предложенный методологический подход во втором защищаемом положении, учет сорбционной способности слабопроницаемых отложений, может использоваться на предприятиях для оценки естественной защищенности подземных вод от загрязнений при составлении отчетов по темам «Подсчет запасов пресных подземных вод».

С финансовых позиций, максимальный экономический эффект от компетентно расставленной сети мониторинговых наблюдений составит 32 млн. руб. - 59 % от суммы, заложенной на природоохранные мероприятия. Так, например, по проекту «Обустройство скважин Бавлинского нефтяного месторождения» в 2014 г. затраты на реализацию природоохранных мероприятий по защите водных ресурсов составили 54 млн. руб.

Результаты исследований применяются при проведении учебных занятий со студентами по курсам «Экологическая гидрогеология», «Гидрогеохимия», а также при написании курсовых и дипломных работ по специализации «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания».

### **Объект исследования**

Объектом исследования являются воды олигоцен-четвертичного гидрогеологического комплекса. **Предмет** - гидрогеологические характеристики изучаемого комплекса. **Территория исследований** - Тобольский, Средне-Обский

и Тазовский бассейны стока подземных вод Западно-Сибирского мегабассейна, испытывающие непрерывную техногенную нагрузку.

### **Фактический материал**

В обосновании первого защищаемого положения изучен большой объем фактического материала, полученного как в результате собственных рекогносцировочных обследований, так и по литературным данным прошлых лет. Проанализировано более ста проб поверхностных вод, водных вытяжек и пресных подземных вод в пределах изучаемых бассейнов стока подземных вод.

В основу регионального моделирования положены результаты обобщения данных опробования тридцати опорных гидрогеологических скважин, фондовые картографические и отчетные материалы.

Второе защищаемое положение разработано при учете трех наиболее известных методик расчета времени фильтрации предполагаемых загрязнителей «сверху». Гидрогеологические параметры изучены по результатам восьмидесяти скважин, каптирующих атлым-новомихайловский водоносный комплекс в пределах Вартовского НГР, полученных в ходе работ (Вашурина М.В., 2011). Для определения сорбционных свойств слабопроницаемых отложений автором было отобрано девять образцов глин тавдинской свиты, в естественном залегании массой шесть килограмм на территории Кыштырлинского карьера (г. Тюмень). Лабораторные исследования по определению сорбции и химического состава водной вытяжки проводились в аккредитованной лаборатории НОЦ «Вода» на базе Национального исследовательского Томского политехнического университета (г. Томск) в рамках научного проекта № 16-35-50181, осуществленного при поддержке Гранта РФФИ.

Изучен большой объем фондовой и опубликованной литературы по теме диссертации.

### **Методология и методы исследования**

Выделение основных маркеров - загрязнителей в пределах изучаемых бассейнов стока подземных вод основывалось на результатах многолетних наблюдений химического состава поверхностных вод, почв и подземных вод.

Теоретические основы моделирования процессов фильтрации связаны с решением нестационарной геофильтрационной задачи для неоднородного по фильтрационным свойствам водоносного горизонта по методу конечных разностей. Цифровые географические основы подготовлены с использованием программного обеспечения ArcView и ArcGIS.

В данной работе автором выполнены расчеты времени фильтрации ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ) загрязняющих компонентов «сверху» до основного источника водоснабжения по методикам (Забузов А.А.), (Лапшин Н.Н., Орадовская А.Е.) и (Шестаков В.М., Поздняков С.П.). Автором предложены категории естественной защищенности

для изучаемой территории, учитывающие расчетное время эксплуатации водоносных горизонтов, которое на практике составляет 25-50 лет. В программном комплексе Surfer на примере Вартовского НГР Гуляевой Ю.В. построена карта уязвимости и защищенности пресных подземных вод с учетом сорбционной способности слабопроницаемых отложений. Сумма обменных оснований в глинистых отложениях определялась по методу Каппена-Гильковица. В расчетах времени просачивания загрязнений вместо активной пористости предложено оперировать эффективной пористостью, которая учитывает сорбционную способность слабопроницаемых отложений.

#### **Положения, выносимые на защиту**

1. В условиях постоянной техногенной нагрузки на подземные воды, выделяются три типа техногенных гидрогеологических систем, с характерными маркерами - загрязнителями: урбанизационный тип (Тобольский БС ПВ), нефтедобывающего типа (Средне-Обского БС ПВ), газодобывающий тип (Тазовский БС ПВ).
2. Учет сорбционной способности слабопроницаемых отложений при оценке защищенности пресных подземных вод от поверхностных загрязнений позволяет увеличить расчетное время просачивания загрязнений в 2 раза и более, и повышает надежность прогноза защищенности водоносных горизонтов.

#### **Личный вклад**

Автором проведены рекогносцировочные обследования на территории Тобольского БС ПВ (выбран Ленинский АО г.Тюмени, как центральная, наиболее техногенно нагруженная часть бассейна стока), произведены отбор проб воды, почв, лабораторным путем определён химический состав вод и водных вытяжек, интерпретированы полученные результаты.

Гуляева Ю.В. принимала участие в создании трехслойной региональной гидрогеодинамической модели под руководством к.г. - м.н., доцента НИ ТПУ Кузеванова К.И., д. г. - м.н. Попова В.К., при выполнении проекта № 16-35-50181, осуществленного при поддержке Гранта РФФИ.

Автором рассчитано время проникновения загрязнения до основного водоносного комплекса по трем наиболее известным методикам, с учетом сорбционной способности, тем самым дан современный анализ оценки природной защищенности пресных подземных вод. Построена карта категориальной оценки естественной защищенности подземных вод, предложена авторская градация по баллам. Составлена модель уязвимости подземных вод Вартовского НГР в программном комплексе Surfer.

Гуляева Ю.В. на базе лаборатории НОЦ «Вода» в НИ ТПУ, под руководством к.г.- м.н. Н.Г. Наливайко провела лабораторные исследования по

определению суммы обменных оснований в слабопроницаемых отложениях на примере глин тавдинской свиты. Отбор образцов, пробоподготовка и статистическая обработка материалов также осуществлялись автором диссертационной работы.

### **Степень достоверности**

Степень достоверности защищаемых положений обеспечена статистически значимым количеством проб пресных подземных вод, качественной методикой их отбора и пробоподготовки, высокоточными аналитическими методами исследования химического состава вод, проводимыми в аккредитованной лаборатории НОЦ «Вода» (№ РОСС RU.0001.511901 от 09.09.2013 г.). Основные научные результаты по теме диссертационного исследования опубликованы в журналах из перечня ВАК и индексируемых в базе Scopus. Проведена обширная проработка фактического материала и специальной литературы по теме диссертации. Анализ и обработка эмпирических данных проводились с использованием программ MSExcel, CorelDraw, Surfer, GMS, ArcGis, MODFLOW.

### **Апробация работы**

Основные результаты работы по теме диссертации регулярно докладывались на Международных и Всероссийских научно-практических конференциях: XIV международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территорий» Новосибирск, 2009; Санкт-Петербургский университет, 2011 г.; Tenth International Conference on Permafrost, Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia, June 25–29 2012; Первая Киевская международная научная конференция «Научные и методологические основы медицинской геологии», 17-18 апреля 2013 года Институт Тутковского, Украина; Всероссийская с международным участием научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Новые технологии-нефтегазовому региону», Тюмень: ТюмГНГУ, 2014; III Всероссийская научная конференция (с международным участием), посвященная 90-летию А.А. Карцева «Фундаментальные и прикладные вопросы гидрогеологии нефтегазоносных бассейнов», ИПНГ РАН, 29-31 октября 2015, г. Москва; «Проблемы геологии и освоения недр» XX Международный симпозиум имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых ТПУ, г. Томск, 4-8 апреля 2016 г.; Всероссийская молодежная научно-практическая конференция (с международным участием) «Научная и производственная деятельность – средство формирования среды обитания человечества» 26-27 апреля 2016 г., г.Тюмень; IV Всероссийская молодежная научно-практическая школа-конференция, геологический полигон «Шира», науки о Земле, современное состояние, Республика Хакасия, Россия, 31 июля – 6 августа 2017 г.

## **Публикации**

Основное содержание и научные положения по диссертации изложены в 24 статьях и тезисах докладов, в том числе 8 статей опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, журнале, индексируемом в базе Scopus (одна статья).

**Структура и объем работы** Содержательная часть диссертации изложена на 150 страницах, проиллюстрирована 72 рисунками, 24 таблицами.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы и проведенных исследований. Определены цель и задачи диссертации, приведены основные результаты, научная новизна и практическая значимость результатов исследований, обозначен личный вклад автора и апробация работы.

**В первой главе «Гидрогеологические условия изучаемых бассейнов стока подземных вод»** дано описание гидрогеологических условий изучаемых бассейнов стока подземных вод, основанное на ранее проведенных исследованиях, изложенных в томе XVI «Гидрогеология СССР. Западно-Сибирская равнина», а также в работах В.А. Бешенцева, Ю.К. Смоленцева, М.В. Вашуриной, ТЦ «Тюменьгеомониторинг».

**Вторая глава «Формирование техногенных гидрогеологических систем изучаемых бассейнов стока подземных вод»** содержит сведения о типах ТГГС изучаемых бассейнов стока подземных вод, определены маркеры - загрязнители в каждом из них (Рисунок 1), автор дает свое видение понятия техногенной гидрогеологической системы и техногенеза, проведен ретроспективный анализ истории изучения ТГГС. В главе приведена сравнительная характеристика химического состава поверхностных вод, водных вытяжек, пресных подземных вод хозяйственно-питьевого назначения.

В данной работе ТГГС рассматриваются как объективная и в тоже время субъективная модель негативного воздействия на геологическую среду, с одной стороны для обозначения антропогенного воздействия, а с другой - как метод изучения и представления техногенной нагрузки исследуемых бассейнов стока подземных вод с выделением маркеров-загрязнителей, то есть как субъективная модель.

Тобольский БС ПВ наиболее подвержен урбанизационной загруженности территории, Средне-Обский является самым масштабным по площади БС ПВ, в котором львиную долю на состояние подземных вод оказывает эксплуатация нефтяных месторождений. Техногенез Тазовского БС ПВ характеризуется эксплуатацией в основном газовых месторождений.

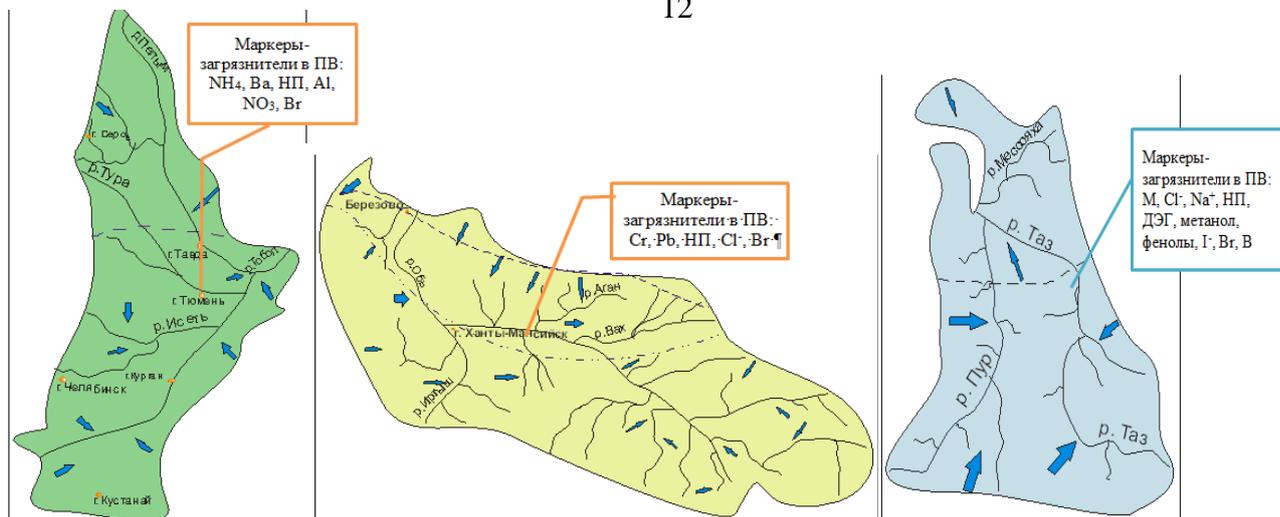


Рисунок 1 - Маркеры - загрязнители в пресных подземных водах изучаемых бассейнов стока подземных вод

Учитывая набор компонентов, превышающих ПДК в подземных водах, условия развития, характер антропогенной нагрузки можно отнести территорию Тобольского БС ПВ к урбанизационной техногенной гидрогеологической системе. Предопределяющим фактором формирования которой является: непрерывная техногенная нагрузка на геологическую среду за счет урбанизационной загруженности территории. Наблюдается превышение ПДК в подземных водах таких элементов как: аммоний, барий, нефтепродукты, алюминий, нитраты, бром (Рисунок 1).

На территории Средне-Обского БС ПВ развиты техногенные гидрогеологические системы нефтедобывающего типа, предопределяющим фактором которых является: непрерывная техногенная нагрузка на недра, связанная с разработкой и эксплуатацией, в основном, нефтяных месторождений. В подземных водах отмечается превышение относительно ПДК таких элементов как: хром, свинец, нефтепродукты, хлор, бром (Рисунок 1).

В пределах Тазовского БС ПВ сформировались техногенные гидрогеологические системы газодобывающего типа, предопределяющими факторами которых являются: наличие в разрезе ММП (как положительный, так и отрицательный фактор), непрерывная нагрузка на геологическую среду, вследствие интенсивной эксплуатации газовых месторождений. Загрязнение подземных вод отмечается такими компонентами как: общая минерализация, хлор, натрий, нефтепродукты, диэтиленгликоль, метанол, фенолы, йод, бром, бор (Рисунок 1).

Стоит обратить внимание на то, что изучаемые техногенные воздействия имеют локальный характер распространения, и в эволюционном отношении ТГГС отмечаются на разных этапах: дотехногенный – когда система не испытывает существенного влияния техногенеза; обратимых изменений – при снятии техногенной нагрузки система сама восстанавливает естественное состояние

(Самотлорское месторождение); необратимых изменений – когда для возврата в естественное, либо благоприятное для жизнедеятельности человека состояние, необходимы существенные финансовые, материальные и трудовые затраты; катастрофических изменений – система трансформирована. Данные этапы упомянуты в работе Б.И. Писарского, 1994 г.

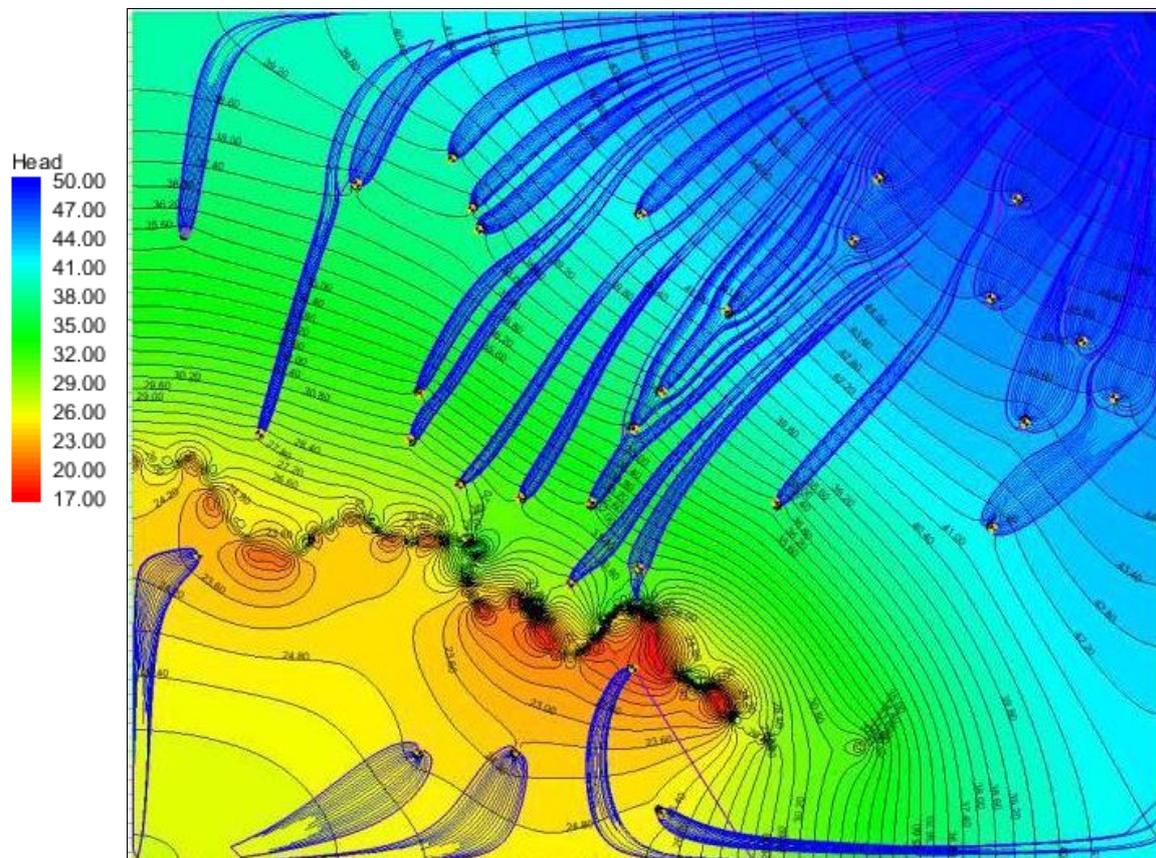
Значимость территории, оставленной нам в наследие, не должна оцениваться лишь величиной запасов полезных ископаемых, извлекаемых из недр, ее величие обязует нас формировать экологическое сознание людей в рамках единой концепции гармоничного существования в системе «человек - геологическая среда». Загрязнение подземных вод отрицательно сказывается на здоровье населения, избыток либо недостаток компонентов приводят к серьезным заболеваниям. В связи с этим сохранение качества вод является важнейшей задачей в настоящее время.

В условиях непрерывной техногенной нагрузки весьма актуально моделирование пространственного распространения загрязняющих веществ в подземных водах. Такие задачи решаются с помощью численного моделирования фильтрационных потоков подземных вод.

В основу работы положены результаты обобщения данных опробования 30-ти опорных гидрогеологических, фондовые картографические и отчетные материалы по Средне-Обскому БС ПВ (на примере Вартовского нефтегазоносного района), включающего порядка десяти лицензионных участков (Северо-Покурский, Ватинский, Мегионский, Орехово-Ермаковский, Мыхпайский, Самотлорский, Аганский, Лор-Еганский, Сороминский, Ершовый). Обработка данных была направлена на использование возможностей численного моделирования для оценки условий развития потенциального загрязнения с целью пространственного ориентирования ореолов загрязнения подземных вод.

На рисунке 2 приведены результаты моделирования ореолов загрязнения пресных ПВ на примере центральной части Средне-Обского БС ПВ. Прогнозные поля напоров дают возможность оценить условия загрязнения эксплуатационных водоносных горизонтов с учётом пространственной локализации потенциальных источников загрязнения. Основное преимущество применения моделирования заключается в возможности учета таких элементов строения гидрогеологического разреза, как слоистое залегание водовмещающих пород и разделяющих толщ, сложная форма внешних границ области фильтрации, пространственная неоднородность фильтрационных параметров, сложный характер работы возмущающих скважин и др., которые не могут быть учтены в рамках схематизации гидрогеологических условий для целей аналитических гидродинамических расчётов.

Результаты численного моделирования позволяют проводить оценку развития потенциального загрязнения подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения.



Условные обозначения:



- линии тока;



- напоры и их отметки;

Рисунок 2 - Карта ореолов загрязнения пресных подземных вод (показаны предельные размеры зон захвата фильтрационного потока эксплуатационными скважинами). Масштаб 1:50000

На основе прогнозного поля напоров на региональной модели получены предельные размеры зоны захвата фильтрационного потока водозаборных скважин. Они дают возможность оценить условия загрязнения эксплуатационных водоносных горизонтов, с учётом пространственной локализации потенциальных источников загрязнения. Схема районирования позволяет выбрать те участки, где поверхностное или глубинное загрязнение может попасть в зону захвата водозаборной скважины и указать территории или площади, в пределах которых очаги загрязнения не могут ухудшить работу эксплуатационных скважин (Рисунок 2) ни при каких условиях.

Приведённая карта позволяет оценить опасность любого потенциального источника загрязнения по его географическим координатам. Если местоположение источника загрязнения оказывается за пределами участков,

заняты линиями тока, то он не способен ухудшить условия эксплуатации водозабора. И наоборот, если потенциальный источник загрязнения попадает в границы поля линий тока, то загрязнение водозабора неизбежно.

Таким образом, в условиях техногенной нагрузки на ПВ использование региональной модели ореола распространения загрязняющих веществ позволяет оценить опасность любого потенциального источника загрязнения по его географическим координатам, тем самым грамотно организовать наблюдательную сеть мониторинговых исследований.

С целью сохранения качества вод, используемых для хозяйственно-питьевых целей, необходимо оценивать защищенность их от загрязнения.

**Третья глава «Оценка естественной защищенности пресных подземных вод хозяйственно-питьевого назначения от загрязнения»** посвящена методологическому подходу к оценке естественной защищенности/уязвимости пресных питьевых подземных вод от загрязнения, лабораторным исследованиям сорбционной способности слабопроницаемых отложений, составлению современной карты защищенности подземных вод на примере центральной части Средне-Обского БС ПВ с учетом сорбции в расчетах времени просачивания загрязнений «сверху».

Под защищенностью подземных вод от загрязнения понимается перекрытость водоносного горизонта отложениями (прежде всего слабопроницаемыми), препятствующими проникновению загрязняющих веществ с поверхности земли в подземные воды, т.е. способность перекрывающих отложений противостоять загрязнениям «сверху».

Понятию защищенности подземных вод уделяется очень много внимания, однако данный вопрос окончательно и досконально еще не изучен. В главе представлено авторское видение методики оценки защищенности с учетом сорбции в расчетах времени просачивания загрязнений.

В данной работе автором выполнены расчеты по трем методикам определения времени фильтрации загрязняющих компонентов до основного источника водоснабжения. Первая методика учитывает кроме основных геологических параметров (коэффициент фильтрации, мощность перекрывающих отложений, пористость водоупорных пород) и разность уровней грунтовых вод и нижезалегающего горизонта:

$$T_1 = \frac{m^2 * n}{k * \Delta H} \quad (1)$$

где  $\Delta H = H_1 - H_2$ ,  $H_1$  – уровень вышележащего горизонта;  $H_2$  – уровень исследуемого (нижележащего) горизонта;  $n$  – пористость водоупорных пород;  $m$  – мощность отложений, перекрывающих основной водоносный горизонт;  $k$  – коэффициент фильтрации.

Вторая методика учитывает модуль естественных ресурсов и слой стока подземных вод:

$$T_2 = \frac{n_0 * m_0}{\sqrt[3]{(E^2 * k_i)}} \quad (2)$$

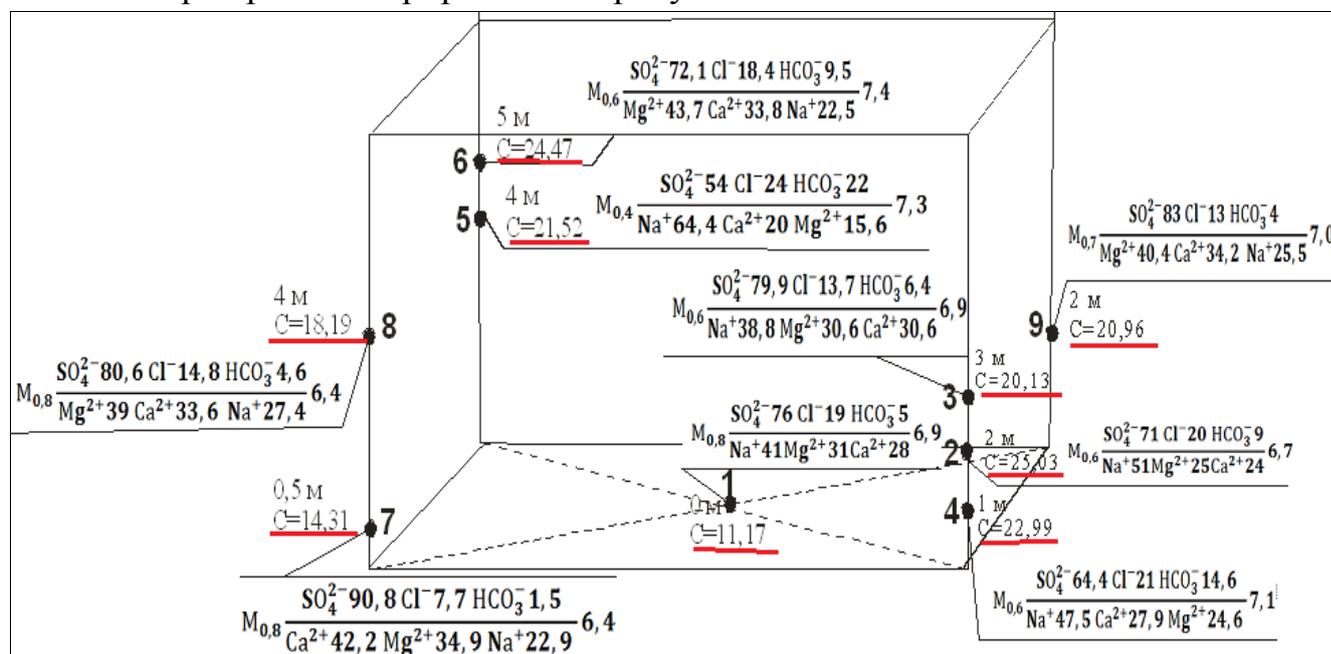
где  $n_0$ - активная пористость пород туртасской разделяющей толщи принимается, по литературным данным,  $m_0$ - мощность пород, перекрывающих атлым-новомихайловский водоносный комплекс,  $k_i$ - коэффициент вертикальной фильтрации.

Согласно третьей методике отличительным показателем является интенсивность инфильтрационного питания:

$$T_3 = \frac{\sqrt[4]{W^3 * k_0}}{\mu} \quad (3)$$

где  $W$ -интенсивность инфильтрационного питания исследуемой территории,  $k_0$ -вертикальный коэффициент фильтрации,  $\mu$ -активная пористость пород.

В главе описаны результаты исследований сорбционной способности глинистых отложений на примере Кыштырлинского карьера (г. Тюмень, 31 км Ялуторовского тракта). Всего было отобрано девять образцов по методу конверта. Результаты химического анализа водных вытяжек и значения сорбции в каждой точке отбора проиллюстрированы на рисунке 3.



Условные обозначения: 1 – номер отбора пробы;

C – среднее значение сорбционной способности образца, мг-экв/100 г;

$M_{0,8} \frac{SO_4^{2-} 76 \text{ Cl}^- 19 \text{ HCO}_3^- 5}{Na^+ 41 \text{ Mg}^{2+} 31 \text{ Ca}^{2+} 28} 6,9$  - формула Курлова

Рисунок 3 - Графическое изображение результатов полевых и лабораторных исследований сорбционных свойств пород

Среднее значение для глинистых отложений по всем пробам составило 16,6 мг-экв/100 г. Данное низкое значение сорбционной способности характерно для глин групп каолинита и гидрослюды, что подтверждается микроскопическими и рентгеноструктурным анализами, проведенными при помощи и консультации Малых А.Г.

В работе Шестакова В.М., 1961 г. говорится о введении в расчеты вместо активной пористости ( $n_0$ ) эффективной пористости, определяемой по формуле:

$$n_{\text{э}} = n_0 \cdot (1 + N) \quad (4)$$

где  $N$  - приведенная сорбционная емкость (в нашем случае определенная лабораторным путем и выраженная через коэффициент  $A = 1,06$ ).

Соответственно, получаем,

$$n_{\text{э}} = 0,2 \cdot (1 + 1,06) = 0,412 \text{ д.ед.} \quad (5)$$

Диапазон изменения значений активной пористости песков и глин изменяется от 0,15 до 0,55. Полученная в данной диссертационной работе величина эффективной пористости (0,4) попадает в указанный диапазон значений и не противоречит модели ЗСМБ. Тогда, если вместо обычно принимаемого значения пористости (0,15-0,20) по литературным данным, оперировать значением 0,4, то искомая величина  $T_s$  (время проникновения загрязняющих веществ с учетом сорбции) будет в 2 и более раз выше.

Расчеты получены по данным восьмидесяти скважин, расположенным в пределах Вартовского нефтегазоносного района, включающего Лор-Агенаский, Орехово-Ермаковский, Северо-Покурский, Аганский, Самотлорский, Ватинский лицензионные участки, по материалам ЗСФ ИНГГ СО РАН. Минимальные (скв. 14) и максимальные (кр-28) значения времени просачивания по второй и третьей методикам по всем скважинам совпадают. Результаты расчетов (минимум, максимум) по первой методике не коррелируются с другими, однако максимальное время (118999 сут.) соответствует наличию в разрезе многолетнемерзлых пород, а минимальное (3630 сут.) – перекрывающей толще песков. Карта построена в программном комплексе Surfer (Рисунок 4).

Учитывая высокие значения времени просачивания и срок эксплуатации водозаборов (25 и 50 лет), предлагается упрощенная категоризация защищенности по баллам: 1 категория - незащищенные ПВ ( $T_s = 0 - 3000$  сут.); 2 категория – слабозащищенные ПВ ( $T_s = 3000 - 6000$  сут.); 3 категория – защищенные ПВ ( $T_s = 6000 - 10000$  сут.); 4 категория – достаточно защищенные ( $T_s = 10000 - 19000$  сут.); 5 категория – надежно защищенные ( $T_s = \text{более } 19000$  сут.).

Анализируя данную обстановку, можно сделать вывод, что подземные воды изучаемого горизонта в основном достаточно защищены, т.к. время просачивания загрязнений в несколько раз превышает время эксплуатации водозаборов (свыше 25 лет – 9125 сут. и даже 50 лет – 18250 сут.).

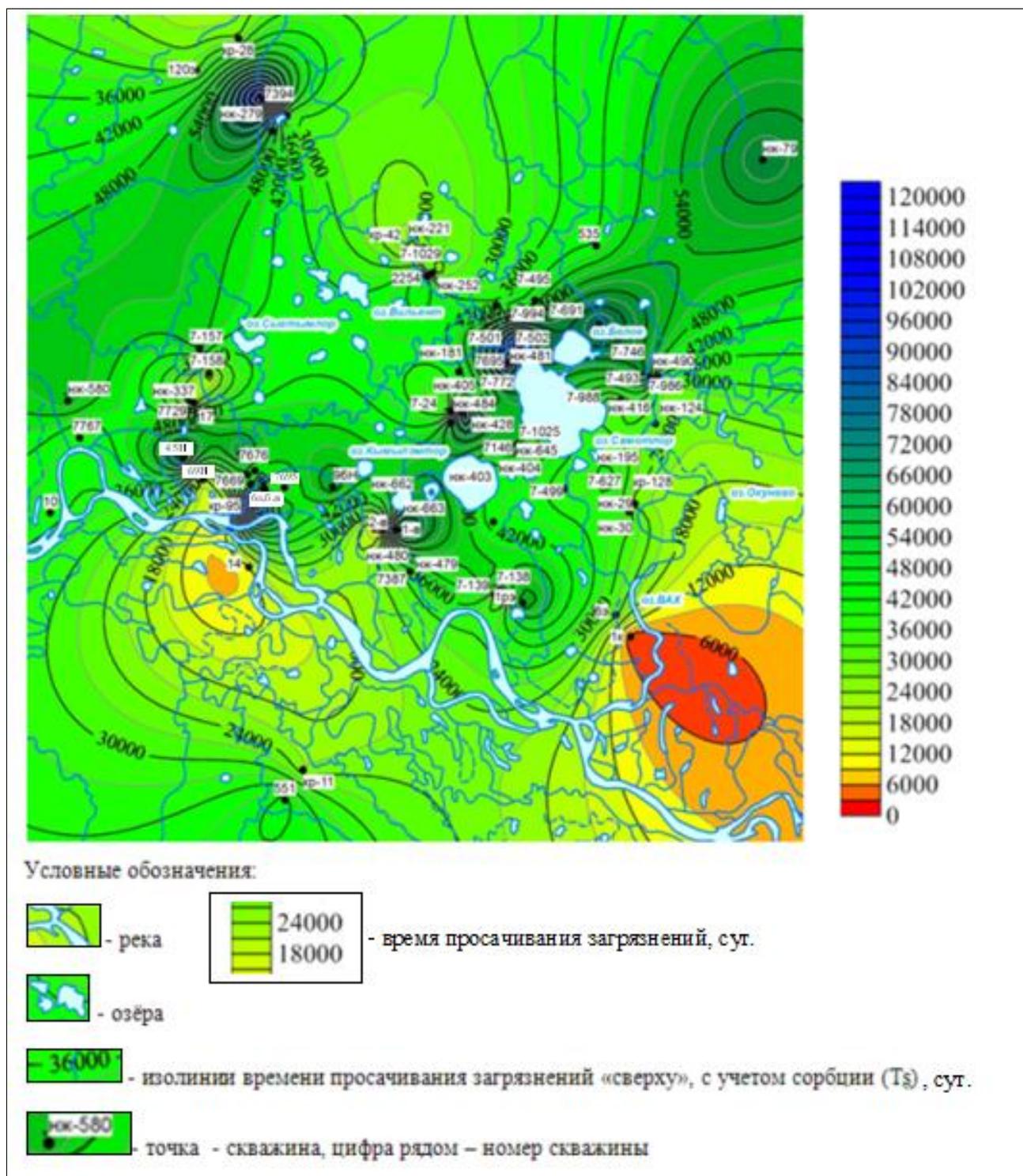


Рисунок 4 - Карта защищенности пресных подземных вод Вартовского нефтегазоносного района. Масштаб 1:50000 (Гуляева Ю.В., 2018 г.)

Тем не менее, в долинах реки Оби и ее притоков отмечаются зоны слабозащищенных вод (в районе скважины 1к - красная и оранжевая зоны на карте, скв. 14), что связано с литологией пород (преобладание в перекрывающей толще песков). В данных условиях необходимо особенно тщательно располагать

мониторинговую сеть наблюдательных скважин, проводить детальный анализ гидрогеохимического состояния пресных ПВ, а также поверхностных вод и почв.

Сорбционная способность слабопроницаемых отложений – это необходимый параметр, характеризующий «барьерные» способности перекрывающих отложений. Оперировать данным параметром важно при оценке защищенности подземных вод. Не смотря на то, что время просачивания загрязнений с учетом сорбции слабопроницаемых отложений  $T_s$  в два и более раз выше времени без учета сорбции  $T_{1,2,3}$  локальные зоны слабозащищенных вод отмечаются на итоговой карте, т.е. учет сорбции в формулах не всегда предопределяет повышенную степень защищенности ПВ, но дает более детальную картину естественной способности геологической среды.

Определение сорбционной способности слабопроницаемых отложений – задача сложная, многофакторная и крайне актуальная в современных экологических условиях. Она требует качественных лабораторных исследований и новых теоретических разработок. Но только таким образом возможно объективно оценить защищенность подземных вод, дать более точную оценку прогнозу загрязнения вод хозяйственно-питьевого назначения.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные и практические результаты диссертационной работы**

1. Каждый бассейн стока характеризуется предопределяющими факторами формирования ТГГС. Для Тобольского бассейна стока - урбанизационная загруженность территории, для Средне-Обского бассейна стока – интенсивная нефтедобыча, транспортировка и переработка сырья, в Тазовском бассейне стока ведущую роль играет интенсивная эксплуатация, прежде всего, газовых месторождений, наличие ММП, ее деградация и вытекающие отсюда последствия.

2. Учитывая данные факторы, можно прогнозировать влияние ключевых факторов техногенных гидрогеологических систем на геологическую среду в дальнейшем. При этом, особое внимание необходимо уделять ключевым маркерам - загрязнителям, проводить ежегодный мониторинг состояния подземных вод. В пределах Тобольского БС ПВ маркерами-загрязнителями являются такие компоненты как: аммоний, барий, бром, нефтепродукты, алюминий, нитраты. Для Средне-Обского - увеличение относительно ПДК значений минерализации, хлоридов, нитратов, кадмия, нефтепродуктов, цинка и свинца. В Тазовском БС ПВ маркеры следующие: хлориды, натрий, нефтепродукты, ДЭГ, метанол, фенолы.

3. В работе предложен методологический подход к оценке защищенности подземных вод от загрязнения – учет трех методик и дополнительного параметра сорбционной способности слабопроницаемых отложений. Выявление пространственной дифференциации территории конкретного нефтегазоносного района по степени естественной защищенности от загрязнения позволяет выполнить оптимизацию расположения контрольных пунктов наблюдения за состоянием подземных вод, дополняющих существующую сеть мониторинга на участках, не защищенных от загрязнения.

4. Выполнена оценка возможности применения численного моделирования для прогноза работы водозаборов хозяйственно-питьевого водоснабжения.

5. По результатам регионального моделирования установлена ведущая роль граничных условий, которые сосредоточены в верхней гидродинамической зоне неоген-четвертичного водоносного комплекса. К этим граничным условиям относятся: развитая гидрографическая сеть, представленная многочисленными водотоками и водоемами и естественное инфильтрационное питание, обеспечивающее восполнение эксплуатационных запасов подземных вод.

Таким образом, при решении научных задач была достигнута поставленная цель диссертационной работы - повышение надежности прогнозов защищенности подземных вод питьевого назначения от загрязнения, с учетом влияния природных и техногенных факторов.

### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

*Публикации в журналах, индексируемых в международных системах цитирования (Web of science, Scopus и др.):*

1. Bepalova (Guliaeva), J. V. Assessment of fresh groundwater vulnerability to contamination caused by production operations in oil and gas fields of Nizhnevartovsk Region (Western Siberia) [Electronic resource] / V. M. Matusевич, V. K. Popov, K. I. Kuzevanov. – Access mode: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – Volume 43. – P.1-6.

*Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ:*

2. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Определяющие факторы техногенеза на примере Тобольского, Средне-Обского, Тазовского бассейнов стока подземных вод / В.М. Матусевич, Л.А. Ковяткина, Ю.В. Беспалова // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – №2. – часть 6. – С. 1238-1241.

3. Беспалова (Гуляева), Ю.В. О многофакторном подходе к оценке защищенности водоносных горизонтов и комплексов при освоении нефтегазоносных районов Западной Сибири / Ю.В. Беспалова // *Известия высших учебных заведений Нефть и Газ*. – 2015. – №3. – С. 6-13.

4. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Медицинская гидрогеология - важнейшая межотраслевая научно-практическая проблема / Ю.В. Беспалова, В.М. Матусевич, В.А. Бешенцев // Известия высших учебных заведений Нефть и Газ. – 2015. – №5. – С. 16-21.
5. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Воздействие нефтегазовых промыслов на почвы криолитозоны севера Западной Сибири / Ю.В. Беспалова, Т.В. Семенова, В.А. Бешенцев // Известия вузов «Нефть и газ». – 2016. – № 2. – С. 23-27.
6. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Гидрогеохимическая характеристика водозаборов пресных подземных вод Тазовского бассейна стока / Ю.В. Беспалова, В.А. Бешенцев, Н.С. Трофимова, Е.А. Лукьяненко // Известия высших учебных заведений Нефть и Газ. – 2016. – №5. – С. 12-18.
7. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Гидрогеохимические условия рюпельско - хаттского водоносного горизонта в юго-западной части Тюменской области / Ю.В. Беспалова, Н.К. Лазутин // Международный Научно-Исследовательский журнал International Research Journal. – Январь 2017. – № 01(55). – Часть 2. – 133 с. – С. 41-43.
8. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Результаты исследований глинистых отложений тавдинской свиты в пределах Кыштырлинского карьера и реконструкция палеоэкологических обстановок их образования / Ю.В. Беспалова, А.А. Масленников, А.Г. Малых // Известия вузов «Нефть и газ». – 2017. – № 4. – С. 20-26.

*Статьи, опубликованные в других изданиях:*

9. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Экологическое состояние геологической среды города Тюмени (Ленинский АО) / Ю.В. Беспалова // Материалы XIV международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территорий». – Новосибирский гос. ун-т. – Новосибирск. – 2009. – 272 с. – С.99-100.
10. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Техногенные гидрогеологические системы г. Тюмени (Ленинский АО) / Ю.В. Беспалова // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Том 1 / под ред. Е.А. Григорьян. – Тюмень: ТюмГНГУ. – 2010. – 364 с. – С. 11-14.
11. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Химическая характеристика почв Ватинского месторождения / Ю.В. Беспалова // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна: материалы VII Всероссийской научно-технической конференции (посвященной 100-летию Байбакова Н.К.) / под общей редакцией Т.В. Семеновой. – Тюмень: ТюмГНГУ. – 2011. – 440 с. – С. 212-215.
12. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Гидрогеохимическая обстановка р.Тура г.Тюмени / Ю.В. Беспалова // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского

мегабассейна: материалы VII Всероссийской научно-технической конференции (посвященной 100-летию Байбакова Н.К.)/под общей редакцией Т.В. Семеновой. – Тюмень: ТюмГНГУ. – 2011. – 440 с. – С. 268-269.

13. Besspalova (Guliaeva), J. V. Monitoring of underground waters in Yamalo-Nenets Autonomous Okrug / M.G. Skrypnikova, J. V. Besspalova // Proceedings of the Tenth International Conference on Permafrost Salekhard. Yamal-Nenets Autonomous District, Russia June 25–29. The Fort Dialog-Iset Publisher Tyumen, Ekaterinburg. – 2012. – Volume 4/2. – С. 557-558.

14. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Влияние хозяйственно-питьевой воды на здоровье населения на примере Урненского, Усть-Тегусского и Тямкинского нефтяных месторождений в Западной Сибири / В.М. Матусевич, Ю.В. Беспалова // Первая Киевская международная научная конференция «Научные и методологические основы медицинской геологии». 17-18 апреля 2013 года. Институт Тутковского. Украина. – 2013.– С.16.

15. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Факторы защищенности подземных вод от загрязнения и истощения в условиях Западно-Сибирского мегабассейна / Ю.В. Беспалова // Академический журнал Западной Сибири. - 2014. – Т. 10, № 2.– С. 17-19.

16. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Факторы защищенности пресных подземных вод Среднеобского бассейна стока / Ю.В. Беспалова // Науки о Земле. Современное состояние: материалы II Всероссийской молодежной науч. - практ. школы-конференции. - Геологический полигон «Шира». – Новосибирск, 2014. – С. 144-145.

17. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Техногенная нагрузка на примере бассейнов стока подземных вод Западно-Сибирского мегабассейна / В.М. Матусевич, Ю.В. Беспалова // Фундаментальные и прикладные вопросы гидрогеологии нефтегазоносных бассейнов. Труды ИПНГ РАН. Серия «Конференций»/Материалы III Всероссийской научной конференции (С международным участием), посвященной 90-летию А.А. Карцева. Вып.1 (1) Москва: ГЕОС. – 2015. – 251 с. ISBN 978-589118-707-8. – С. 230-233.

18. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Воздействие нефтегазоносных промыслов на почвы криолитозоны Севера Западной Сибири / В.А. Бешенцев, Ю.В. Беспалова // Горные ведомости научный журнал. – №11(138). – 2015 – С. 42-52.

19. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Ключевые факторы формирования техногенных гидрогеологических систем Тобольского бассейна стока подземных вод / Ю.В. Беспалова, Р.Н. Абдрашитова // Международная научно-практическая конференция молодых исследователей им. Д. И. Менделеева: материалы конференции. – Тюмень: ТИУ. – 2016 – 486 с. – С. 199-203.

20. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Сорбционные свойства глинистых минералов / Ю.В. Беспалова, Р.Н. Абдрашитова // Академический журнал Западной Сибири. – 2016. – Т. 12, №3. – Том 12. – С. 55-57.
21. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Сорбционные свойства глин – важнейший фактор естественной защищенности подземных вод от загрязнения/ Ю.В. Беспалова // Науки о Земле. Современное состояние: материалы IV Всерос. молодежной науч. - практ. школы-конф. Геологический полигон «Шира», Республика Хакасия, Россия. 31 июля – 6 августа / Новосиб. гос. ун-т; Ин-т нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН; Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН. – Новосибирск: ИПЦ НГУ. – 2017. – 212 с. – ISBN 978-5-4437-0662-7. – С. 108-110.
22. Bespalova (Guliaeva), J.V. Water-stone-man conceptual model of a balanced system by V.I. Vernadsky / J.V. Bespalova, V.M. Matusевич // MedGeo17 7<sup>th</sup> International Conference on Medical Geology August 28- September 01. – Moscow, Russia – 2017. – p. 96. – p. 80-81.
23. Bespalova (Guliaeva), J.V. The impact of medical and geological factors on the wellbeing of the population in the Tyumen and Kaliningrad regions / O.I. Yakushina [и др.]. – Moscow: MedGeo17 7<sup>th</sup> International Conference on Medical Geology, 2017. – p. 96: p. 86-87.
24. Беспалова (Гуляева), Ю.В. Применение методов численного моделирования для оценки условий эксплуатации водозаборов хозяйственно-питьевого назначения в районах эксплуатации нефтяных месторождений / Ю.В. Беспалова [и др.]. – Тюмень: ТИУ, 2017. – 473 с. – С. 332-339.