

На правах рукописи



Пургина Дарья Валерьевна

**ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ОСВОЕНИИ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ НИКИТИНСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КУЗБАСС)**

Специальность 25.00.07 - «Гидрогеология»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск 2018

Работа выполнена в Инженерной школе природных ресурсов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ г. Томск)

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук,
Кузеванов Константин Иванович

Официальные оппоненты: **Кулаков Валерий Викторович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГБУН Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, главный научный сотрудник лаборатории гидрологии и гидрогеологии

Домрочева Евгения Витальевна кандидат геолого-минералогических наук, ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, научный сотрудник лаборатории гидрогеохимии и геоэкологии

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ ВО ИРНИТУ г. Иркутск)

Защита диссертации состоится «27» ноября 2018 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 999.170.03 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5, 20 корпус, 504 аудитория.

С диссертацией можно ознакомиться в Научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (634050, г. Томск, ул. Белинского, 55) и на сайте:
<http://portal.tpu.ru:7777/council/2799/worklist>.

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат геолого-минералогических наук

Лепокурова Олеся
Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В связи с широким промышленным освоением территории Кузнецкого угольного бассейна остро встаёт проблема рационального использования подземных вод. На протяжении последнего столетия вопросы оценки и прогноза изменения гидрогеологических условий при отработке угольных месторождений не теряют своей актуальности. Последствия борьбы с подземными водами как источником обводнения горных выработок проявляются не только в нарушениях естественной гидродинамической обстановки, но и способны оказывать влияние на формирование эксплуатационных запасов подземных вод, используемых для целей организации водоснабжения.

Современные данные по изученности гидрогеологических условий свидетельствуют о том, что за всю историю освоения Кузнецкого угольного бассейна естественная гидродинамическая обстановка территории претерпела существенные изменения, а гидрогеологические условия, на сегодняшний день, несут, в той или иной степени, следы техногенного воздействия.

Как следствие длительного антропогенного воздействия, в Кузбассе сформировалось достаточно сложное сочетание естественных и искусственных факторов формирования гидродинамических условий, плохо поддающихся количественной оценке в рамках аналитических прогнозов при разработке угольных месторождений, что требует применения современных подходов и методов расчетов, основанных на компьютерных технологиях для решения прогнозных задач в сложных гидрогеологических условиях.

Гидрогеологическая обстановка на угольном месторождении является одним из важнейших факторов, от которого зависят условия его освоения. Часто именно влияние подземных вод во многом определяет технико-экономическую целесообразность разработки месторождения. В Кузбассе отработка угольных месторождений ведется преимущественно подземным способом (65 % от суммарной добычи) с полным обрушением кровли (что может сопровождаться ощутимым увеличением водопритоков). Безопасность и эффективность освоения угольных месторождений напрямую зависит от надежности прогноза изменения гидрогеологических условий. Причиной возникновения значительных и внезапных осложнений при разработке угольных пластов может послужить затопление горных выработок подземными водами. Прогнозные аналитические расчеты не позволяют в полной мере учесть всё разнообразие граничных условий, что приводит к необходимости использования методов численного моделирования при оценке изменения гидрогеологических условий под влиянием горных работ.

Проблема исследования заключается в несовершенстве типовых расчетных схем, описывающих сложные условия отработки угольных месторождений в рамках аналитических расчетов, которые предопределяют высокую степень упрощения гидродинамических условий для выполнения прогнозных аналитических расчетов.

Объект исследования – подземные воды верхнепермских отложений Кузнецкого адартезианского Бассейна в границах Никитинского угольного месторождения.

Изучение гидродинамических условий угольного месторождения осуществляется с **целью** повышения эффективности прогноза их изменения, при подземной отработке, включая оценку ее влияния на эксплуатацию подземных вод для водоснабжения. При достижении поставленной цели были решены следующие **задачи**:

1. Изучены и актуализированы материалы исследования гидрогеологических условий Никитинского угольного месторождения на основе анализа и обобщения

литературных и фондовых материалов по гидрогеологии центральной части Кузбасского угольного бассейна.

2. Выявлены особенности гидрогеологических условий, определяющие формирование водопритоков в подземные горные выработки.

3. Выполнена схематизация гидрогеологических условий и разработана многослойная гидродинамическая модель угольного месторождения.

4. Дана оценка изменения темпов водопритоков в подземные горные выработки во времени и характер перераспределения напорного поля под влиянием планируемого шахтного водоотлива.

5. Оценено влияние шахтного водоотлива на эксплуатацию соседнего месторождения подземных вод, включая возможные изменения пространственных границ зоны санитарной охраны действующего водозабора.

Исходный материал и методы исследования. В основу работы положены материалы геологоразведочных работ на участке «Никитинский 2» Никитинского месторождения. Полевые работы проведены в 2006 - 2007 гг. при непосредственном участии автора в проведении опытно-фильтрационных работ. Исходные материалы включают данные геологоразведочных работ по 324-м скважинам, 32 из которых гидрогеологические. Гидрогеологические исследования охватывали 324 точки элементарных наблюдений, 4 кустовые и 28 одиночных опытных откачек. Гидрогеофизические исследования представлены опытами резистивиметрии и один опытом расходометрии. Использованы и другие производственные материалы, предоставленные сотрудниками ООО «Шахта им. С.Д. Тихова».

При решении поставленных задач применялись современные программные комплексы автоматизированной обработки, используемые для интерпретации данных первичных наблюдений геологосъемочных и геологоразведочных работ. Для моделирования процессов, протекающих в геологической среде при подземной отработки углей, использовалось численное моделирование на основе решения базовых дифференциальных уравнений фильтрации по методу конечных разностей. Работа выполнена с использованием специализированных пакетов компьютерных программ: AutoCad, Surfer, ArcGis, Processing Modflow.

Научная новизна определяется следующими результатами:

✓ для участка исследований установлены факторы, способствующие формированию водопритоков в подземные горные выработки, которые ранжированы по степени влияния;

✓ выявлены закономерности распределения полей фильтрационной неоднородности, представляющие собой упорядоченную структуру как в плане (в зависимости от геоморфологических особенностей), так и в разрезе (в зависимости от глубины), отраженную на погоризонтных планах;

✓ впервые разработана численная геофильтрационная модель для первоочередного участка отработки Никитинского угольного месторождения;

✓ дан прогноз изменения гидрогеологических условий при поэтапном освоении угольного месторождения;

✓ получена оценка влияния шахтного водоотлива на условия эксплуатации действующего водозабора;

✓ сформировано представление о трансформации поясов зоны санитарной охраны подземного водозабора в результате шахтного водоотлива.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Гидродинамические условия Никитинского угольного месторождения определяют водопритоки в подземные горные выработки, которые формируются под влиянием латеральной и вертикальной фильтрационной неоднородности и с ростом площади отработки уменьшаются во времени неравномерно. Шахтный водоотлив на участке отработки угольного месторождения формирует нарушенный режим фильтрации подземных вод, который локализуется на площади 36,5 км².

2. Разработанная четырехслойная численная модель области фильтрации, включающая слой наведенной трещиноватости, позволяет прогнозировать изменение гидрогеологических условий под влиянием разнонаправленных техногенных факторов, связанных шахтным водоотливом и эксплуатацией водозабора подземных вод.

3. Изменение гидрогеологических условий под влиянием отработки угольного месторождения оказывает влияние на эксплуатацию месторождения подземных вод, которое проявляется в существенном изменении формы и границ зон санитарной охраны, что приводит к необходимости пересмотра режима ограничений хозяйственной деятельности в новых очертаниях зоны влияния водозабора.

Практическая и теоретическая значимость работы заключается в разработке методического обеспечения для реализации прогнозирования изменения гидродинамических условий на угольных месторождениях на основе численного гидродинамического моделирования.

При исследовании гидродинамических условий автором разработана численная геофильтрационная модель, которая дает более полное представление о масштабах изменения уровней подземных вод под влиянием шахтного водоотлива на 15-ти летний срок отработки угольного месторождения. Ее использование в режиме постоянно действующей модели при сопровождении горнодобывающих работ позволит оперативно совершенствовать систему режимных наблюдений и корректировать прогнозные оценки водопритоков с учетом вновь полученной информации геологического и гидрогеологического содержания.

Личный вклад. Автором изучены обобщены и актуализированы фондовые материалы по геологическому строению и гидрогеологическим условиям территории исследования. При личном участии в полевых работах на стадии доразведки месторождения выполнен отбор проб на физико-механические свойства горных пород, проведены опытно-фильтрационные работы. Самостоятельно выполнен анализ данных, включая статистическую обработку, картографирование и визуализацию данных. Разработаны постояннодействующие численные гидродинамические модели, на основе которых получен прогноз изменения гидродинамических условий на участке отработки угольного месторождения.

Апробация работы и публикации

Отдельные разделы работы были доложены на: ежегодной Международной конференции имени А.Ф. Терпугова «Информационные технологии и математическое моделирование», (г. Анжеро-Судженск, 2015 г., п. Катунь, 2016 г); ежегодном Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2016, 2017, 2018 гг); Всероссийской научной конференции с международным участием «Информационные технологии в горном деле» (г. Екатеринбург 2015 г); Всероссийской конференции с международным участием «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии

и гидрогеоэкологии Евразии» с элементами научной школы (г. Томск 2015 г.); Всероссийской студенческой конференции «Современные исследования в геологии» (г. Санкт-Петербург 2016 г.); Российской учебно-практической молодежной конференции по геотехнике, НИИОСП им. Герсевича. г. (Москва 2016 г.); Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (г. Москва, 2017 г.); Международной научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные вопросы наук о земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств» (Гомель, 2017 г.).

Результаты работы представлены в 15-ти опубликованных работах, в том числе в трех статьях в изданиях из перечня рекомендованных ВАК, в двух статьях из перечня изданий рецензируемых реферативной базой Scopus.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются:

- ✓ архивными данными съемочных, разведочных, мониторинговых работ, а также данными по подсчету запасов подземных вод, положенных в основу работы и полученных, в том числе при непосредственном участии автора;

- ✓ обоснованностью численного моделирования, верификацией фильтрационной неоднородности, инфильтрационного питания, а также проницаемости подрусловых отложений выполненной на этапе эпигнозного численного моделирования по данным гидрогеологических работ более чем в 20ти скважинах;

- ✓ удовлетворительной сходимостью результатов аналитических расчетов и численных методов, при количественной оценке прогнозных водопритоков и подсчета запасов подземных вод

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав и заключения, общим объемом 177 страниц машинописного текста с 58-ю рисунками, 20-ю таблицами и списком литературных источников из 169-ти наименований.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю кандидату геолого-минералогических наук Константину Ивановичу Кузеванову, за внимание, поддержку и помощь, оказанную при проведении диссертационных исследований. Искреннюю признательность за постоянное внимание, отзывчивость и помощь в работе автор выражает доктору геолого-минералогических наук Строковой Людмиле Александровне, а также руководителю отделения геологии Гусевой Н.В. за неиссякаемые мотивационные подходы к аспирантам, пишущим диссертации. В процессе работы неоценимую помощь оказали консультации и советы профессоров отделения геологии Шварцева С.Л., Попова В.К., Савичева О.Г. и других сотрудников, занимающихся исследованиями в области гидрогеологии и инженерной геологии.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях диссертационной работы:

1. Гидродинамические условия Никитинского угольного месторождения определяют водопритоки в подземные горные выработки, которые формируются под влиянием латеральной и вертикальной фильтрационной неоднородности и с ростом площади отработки уменьшаются во времени неравномерно. Под влиянием шахтного водоотлива на участке отработки угольного месторождения формируется

нарушенный режим фильтрации подземных вод, который локализуется на площади 36,5 км².

Одним из основных вопросов в шахтной гидрогеологии была и остается проблема прогноза изменения гидродинамических условий месторождений и анализа динамики водопритоков в подземные горные выработки. С целью исследования природных гидрогеологических условий и прогноза их изменения в результате освоения подземного пространства было выбрано угольное месторождение Никитинское-2.

Угольное месторождение Никитинское-2 расположено на территории Ленинск-Кузнецкого административного района Кемеровской области, в 10 км от города Ленинск-Кузнецкий. Ближайшими к участку действующими угледобывающими предприятиями в районе являются шахты: «Костромовская», «им. С.М. Кирова», «им. 7 Ноября», «Полысаевская» (рисунок 1).

По геолого-гидрогеологическому районированию рассматриваемый участок приурочен к западной окраине Кузнецкого бассейна пластово-блоковых вод, а в его пределах к площади распространения водоносного комплекса среднепермских отложений ильинской подсерии. Первыми от поверхности залегают верхнечетвертичные современные аллювиальные отложения р. Ур.

Гидрогеологические исследования на участке месторождения проводятся с 1956 года, за это время на территории пробурено 324 скважины, из которых 32 гидрогеологические. Последнее

исследование, в рамках доразведки месторождения проводилось при непосредственном участии автора в проведении комплекса опытно-фильтрационных работ.

На исследуемом участке выделены две гидродинамические зоны по типам режима подземных вод: зона прибрежного типа – приуроченная к долине реки Ур и характеризующаяся тесной связью с поверхностными водотоками, а также зона водораздельного режима с небольшой амплитудой колебания уровня подземных вод.

Границы области фильтрации на участке первоначальной отработки угольного месторождения определены следующим образом (рисунок 2):

1. Восточная и западная граница соответствует граничным условиям (ГУ) II рода, при котором расход постоянен во времени или равен нулю ($Q=0$). Данные границы соответствуют линиям тока, проведены в крест простирания гидроизогипс и являются непроницаемыми.

2. Северо-западная граница, проведенная по гидроизогипсе с отметкой 200 абс. м, по своему влиянию соответствует границе первого рода (ГУ I рода).

3. В западной части участка задана зона с постоянным напором 185 абс.м., которая представляет собой пониженный в рельефе заболоченный участок, выступающий в роли зоны локальной разгрузки.

4. Южная граница представлена ГУ II рода на удалении от реки Ур и проходит по

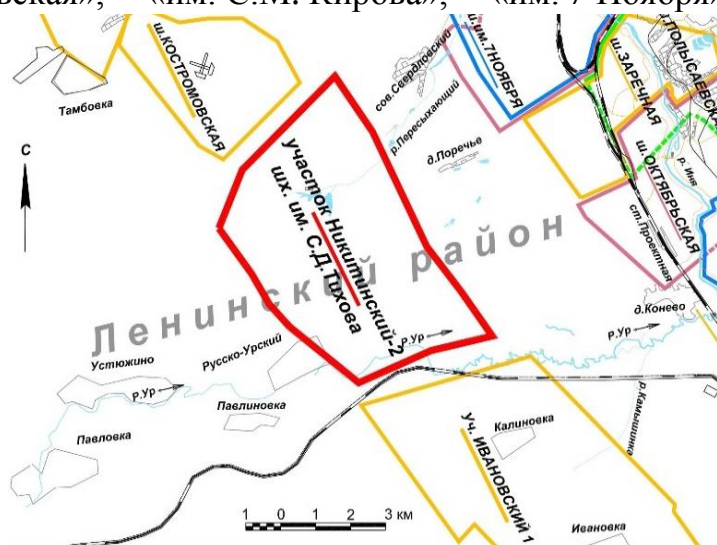


Рисунок 1. План расположения исследуемого участка с прилегающими объектами

— Территория исследования

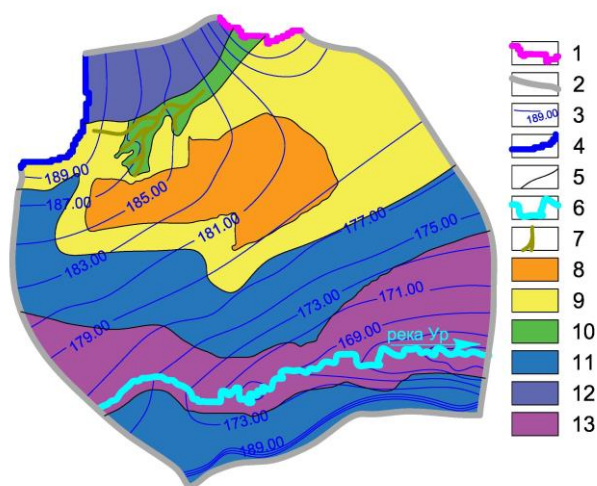
линии локального водораздела.

Внутреннее строение водовмещающей толщи определяется прежде всего, фильтрационной неоднородностью в плане и в разрезе.

В условиях Кузнецкого бассейна подземные воды приурочены, главным образом, к зоне гипергенной трещиноватости пород. Многообразие процессов, формирующих коллекторские свойства пород, приводят к наличию широкого спектра неоднородностей. Неоднородные по фильтрационным свойствам породы, в зависимости от характера изменчивости в пространстве и класса решаемых задач, обычно, приводятся к различного рода моделям фильтрационных полей. Закономерная изменчивость фильтрационных параметров потока, характерная для природных условий Кузбасса, заключается в увеличении значений обводненности горных пород по направлению от водоразделов к долинам рек и тем самым предполагает наличие регионально-корреляционной связи полей водопроницаемости с главными геоморфологическими элементами.

Численное гидрогеологическое моделирование допускает возможность количественного учёта площадной неравномерности инфильтрационного питания. Практическая реализация построения полей неоднородности осуществлялась в процессе проведения серии численных экспериментов по целенаправленному уточнению модели на этапе решения эпигнозной задачи с контролем промежуточных результатов по опорным гидрогеологическим скважинам. Некоторые поля неоднородности показаны для первого (верхнего) расчетного слоя численной модели (рисунок 3).

Латеральная фильтрационная неоднородность в поле численной модели (1-го расчетного слоя)



Условные обозначения

1 – ГУ I рода; 2 – ГУ II рода; 3 – линии равных напоров (гидроизогипсы); 4 – ГУ I рода; 5 – границы фильтрационных полей; 6 – реки (ГУ III рода); 7 – временный водоток (ГУ III рода); 8 – 13 – зоны фильтрационной неоднородности по величине коэффициента фильтрации K_f (8 – 0,4 м/сут; 9 – 0,7 м/сут; 10 – 0,5 м/сут; 11 – 1,0 м/сут; 12 – 2,0 м/сут; 13 – 5,0 м/сут;)

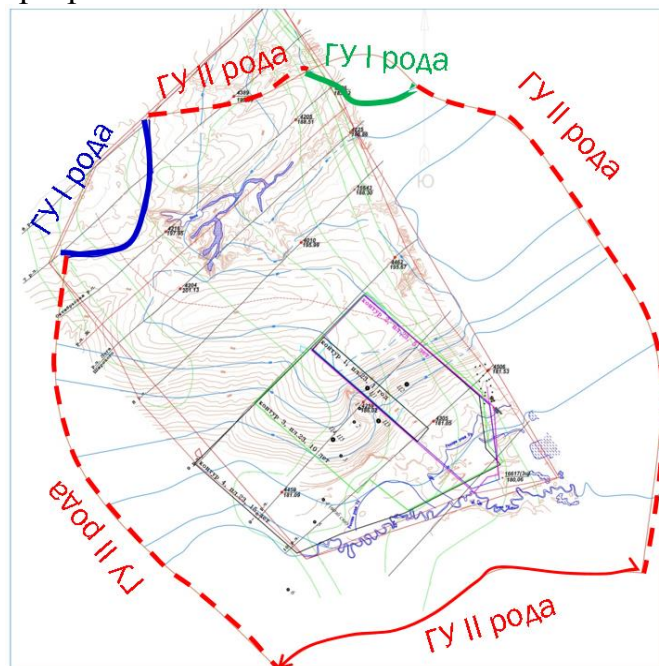
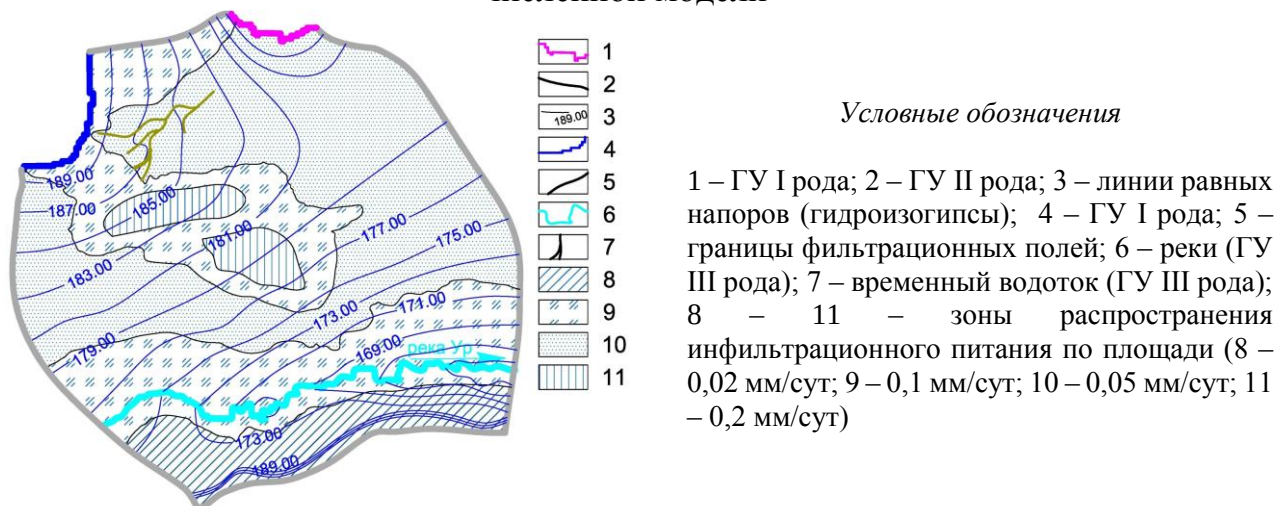


Рисунок 2. Схематизация внешних граничных условий (1-граничные условия (ГУ) I рода, 2-ГУ II рода, 3-ГУ III рода).

Пространственная неоднородность величины инфильтрационного питания в поле численной модели



Параметр Conductance, характеризующий проницаемость подрусловых отложений

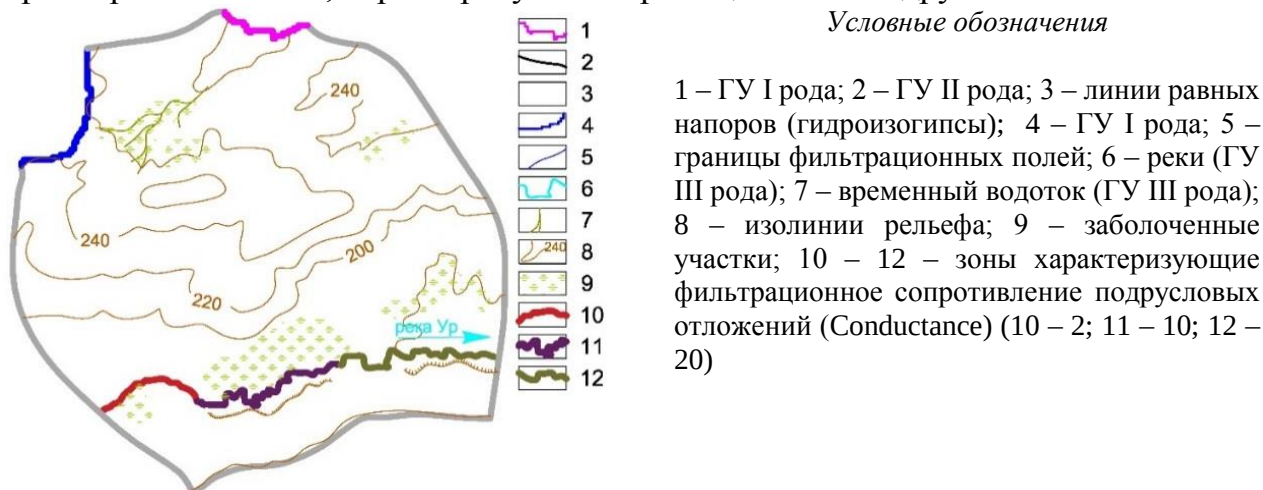


Рисунок 3. Результаты калибровки численной модели

В условиях Кузбасса, при решении прогнозных задач по расчету водопритоков в шахты, автор рекомендует использовать не менее шести расчетных слоев (рисунок 4).

Первый расчетный слой имеет повсеместное распространение и соответствует современным четвертичным отложениям, мощность которых, в центральном Кузбассе, варьирует от 10 до 90 метров. Его поверхность соответствует поверхности рельефа, а отложения представлены террасовым комплексом рек Иня и Ур. Наибольшей проницаемостью обладают пойменные аллювиальные отложения реки Ур, а наименьшей элювиальные отложения, развитые на водораздельных пространствах.

Второй от поверхности расчетный слой, представлен переслаиванием терригенных толщ горных пород (песчаников, аргиллитов, алевролитов) и характеризует зону экзогенной трещиноватости. Кровля слоя совпадает с подошвой четвертичных отложений, средняя мощность составляет 100–120 м. Данный слой является наиболее водообильным, формирующим основные ресурсы подземных вод.

Суммарно первый и второй расчетные слои представляют собой зону активного водообмена, в которой прослеживается наибольшее влияние климатических факторов. Все последующие слои в природных условиях характеризуют зону замедленного водообмена, структурная форма которых напрямую зависит от формы залегания продуктивного угольного пласта. Третий расчетный слой отождествляется с зоной, затухающей

трещиноватости ненарушенного строения, таким образом, в процессе отработки подземного пространства шахтным способом его физические свойства не подвергаются серьезной трансформации. Мощность слоя изменяется от 0 до 100 метров, в зависимости от глубины залегания угольного пласта.

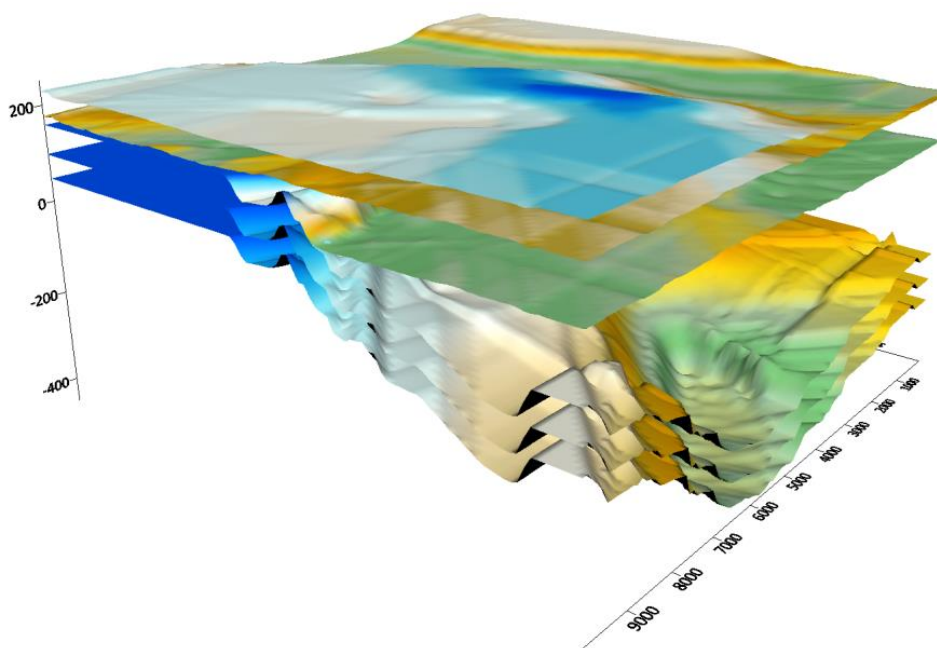


Рисунок 4. Трехмерное представление послойного строения модели

Четвертый расчетный слой, в природных условиях по всем параметрам соответствует предыдущему. Однако, при отработке, сопровождающейся обрушением кровли, в его границах происходит трансформация массива горных пород за счет появления наведенной трещиноватости. Это приводит к повышению проницаемости. Мощность данного слоя, соответствует зоне обрушения и рассчитывается аналитически, исходя из мощности продуктивного угольного пласта.

При средней мощности разрабатываемого угольного пласта 1,58 м модельная мощность четвертого расчетного слоя, характеризующая толщу пород с повышенной водопроницаемостью, составит $1,58 \times 4 + 1,58 \times 40 = 69,5$ м.

Пятый расчетный слой представляет угольный пласт, мощность которого составляет 1,58 метра. Шестой слой – подстилающий, задается с целью повышения точности расчетов (как ГУ III рода), для учета дополнительного питания снизу. Мощность шестого слоя выдержана по всей площади модели и составляет 50 метров.

Третий, четвертый и пятый расчетные слои представлены на исследуемой территории частично, что связано с выходом на поверхность угольного пласта, на востоке участка.

На втором этапе разработки численной модели выполнялась ее калибровка. Уточнение модельных уровней производилась по 20-ти скважинам и расходам в реке Ур, с учетом величины инфильтрационного питания, фильтрационных свойств горных пород, и проницаемости подрусловых отложений. Точность калибровки на модели определялась величиной среднегодовой амплитуды колебания уровней подземных вод в скважинах, которая местами достигает трех метров. В результате была получена карта напоров по результатам эпигнозного моделирования (рисунок 5).

Важнейшей проблемой при отработке подземного пространства шахтным способом является прогнозная оценка водопритоков. В практике геологоразведочных работ, величина водопритоков в подземные горные выработки чаще всего оценивается двумя аналитическими методами – балансовым и гидродинамическим, которые требуют существенного упрощения строения условий. Автором для этих целей использована гидродинамическая модель.

Прогнозный период моделирования был разбит на 4 временных промежутка в соответствии с планом отработки участков. Стартовый период месторождения составил 365 суток, при этом размер сформировавшейся депрессионной воронки достиг 10 км² (4х2,5). Максимальный размер области депрессии установлен в пятом расчетном слое, в котором расположено отработанное пространство, наименьший радиус депрессионной воронки зафиксирован первом расчетном слое.

Протяженность второго расчетного периода составила 5 лет. Сложность его реализации заключалась в необходимости учета обрушения кровли на площади ранее отработанного участка. При увеличении площади отработки второго участка, на ранее отработанной площади увеличивались фильтрационные параметры (гравитационная водоотдача, коэффициент фильтрации и др.). Результаты возмущения на этом этапе показаны на схеме (рисунок 6).

Динамика изменения напоров во времени показана в послойном представлении на прогнозный период продолжительностью 15 лет (рисунок 6). Диаграмма показывает, что на протяжении первых 11-ти лет размер воронки депрессии будет постепенно увеличиваться с течением времени во всех расчетных слоях, достигая, в конечном счете, размера 6,5х6 км (площадью 39 км²). В течении последних пяти лет площадь воронки депрессии постепенно уменьшается до 25 км², что связано с погружением очистных выработок на большие глубины. Это приводит к увеличению влияния зоны затухающей трещиноватости в области формирования водопритоков. Депрессионная воронка приобретает форму усеченного

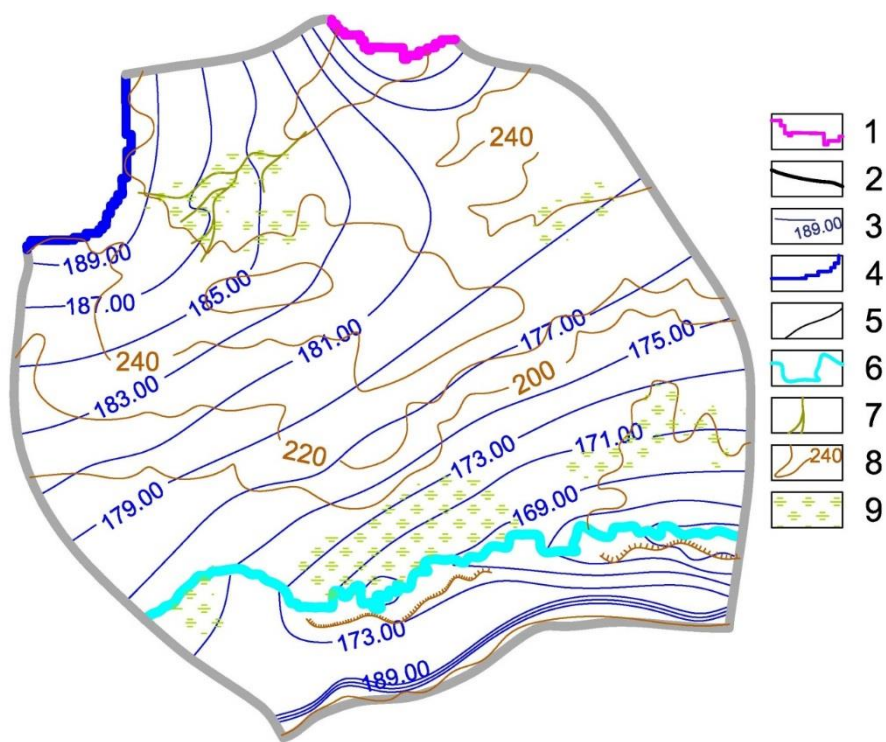


Рисунок 5. Карта напоров, по результатам эпигнозного моделирования

Условные обозначения

- 1 – ГУ I рода; 2 – ГУ II рода; 3 – линии равных напоров (гидроизогипсы); 4 – ГУ I рода; 5 – границы фильтрационных полей; 6 – реки (ГУ III рода); 7 – временный водоток (ГУ III рода); 8- изолинии рельефа; 9 – заболоченные участки.

эллипсоида, тем самым отражая наличие фильтрационной неоднородности горного массива в разрезе.

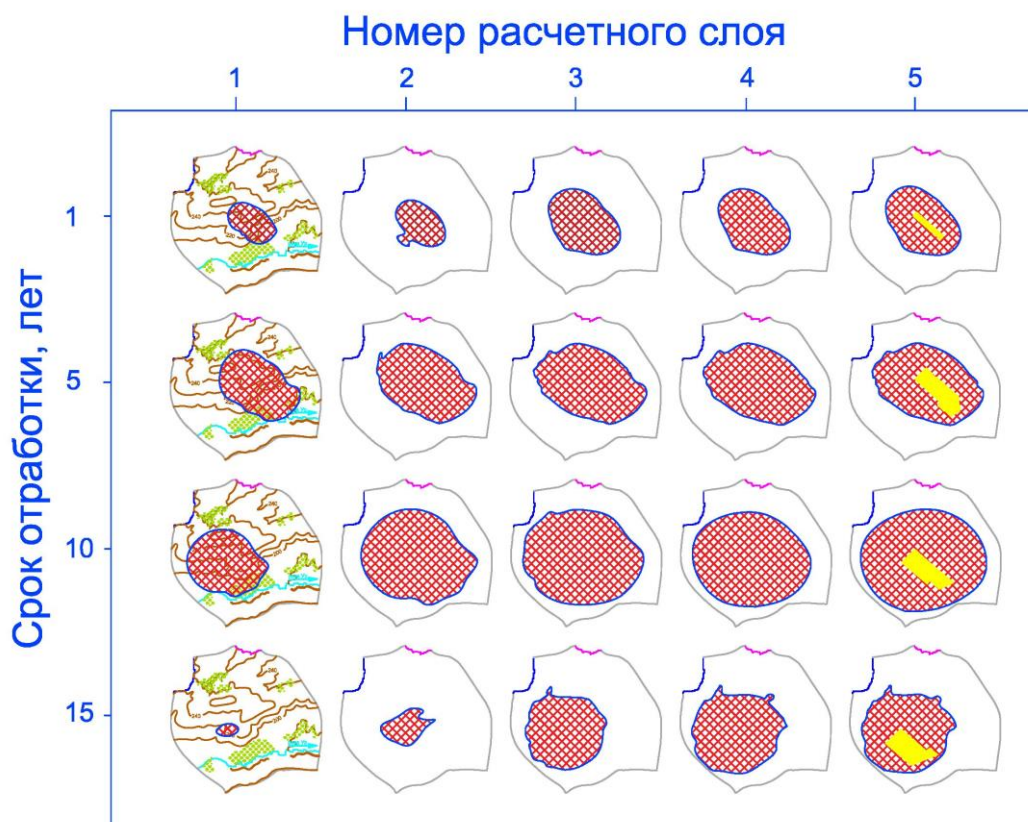


Рисунок 6. Схема прогнозного изменения размера и формы депрессионной воронки под влиянием водоотлива

Прогнозное моделирование позволяет оценить изменение баланса подземных вод в процессе разработки угольного месторождения шахтным способом. Анализ балансовых характеристик фильтрационного потока на каждый расчетный период (1, 5, 10, 15 лет). Показывает постепенное увеличение привлекаемых ресурсов подземных вод. Величина же водопритока со временем уменьшается, что является результатом дренажа ранее не отрабатываемых участков на большей глубине (рисунок 7).

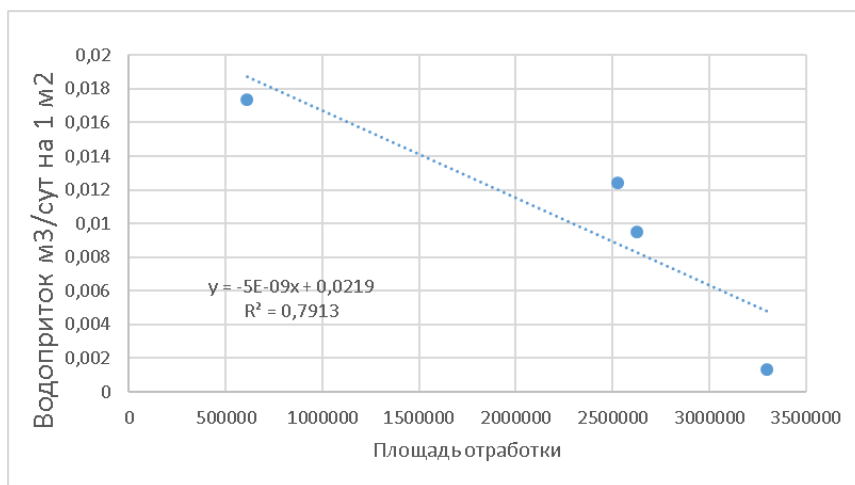


Рисунок 7. Прогноз изменения водопритоков в зависимости от площади отработки

2. Разработанная четырехслойная численная модель области фильтрации, включающая слой наведенной трещиноватости, позволяет прогнозировать изменение

гидрогеологических условий под влиянием разнонаправленных техногенных факторов, связанных шахтным водоотливом и эксплуатацией водозабора подземных вод.

Исследование влияния шахтного водоотлива на эксплуатацию месторождения подземных вод выполнено на участке водозабора, расположенного в непосредственной близости (600 м) от границы поля шахты им. С.Д. Тихова Никитинского угольного месторождения.

В 2014 году Центром гидрогеологических исследований (г. Кемерово) были проведены полевые геологоразведочные работы, подсчитаны и утверждены запасы по категории В на месторождении подземных вод «Никитинский – 4».

Для оценки фильтрационных параметров водовмещающих отложений в процессе проведения полевых работ выполнен комплекс необходимых исследований. Было проведено санитарно-экологическое обследование территории в районе водозаборных скважин ООО «Шахта им. С. Д. Тихова», проведена кустовая откачка из скважины № 4ВСН, а также пробные откачки из трех скважин.

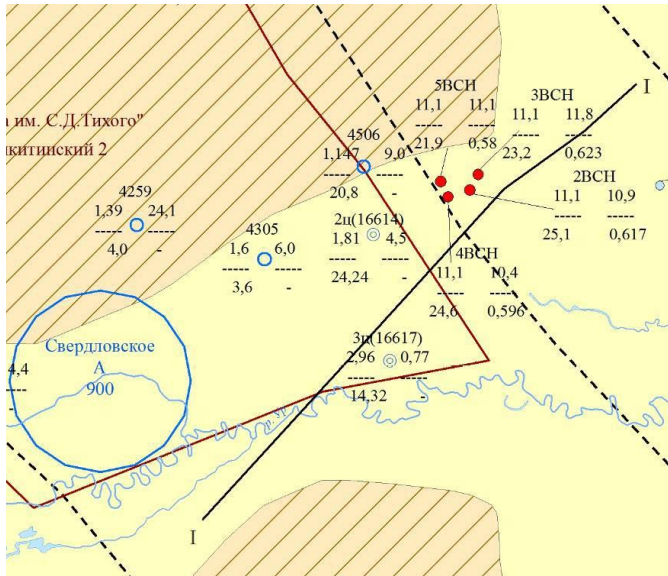
Подсчет эксплуатационных запасов подземных вод, на Никитинском месторождении проводился двумя методами: аналитическим гидродинамическим и методом численного моделирования.

Расчетная схема при использовании гидродинамического метода соответствует ограниченному в плане пласту с непроницаемой границей в районе действующего шахтного поля, и границей с постоянным напором по руслу реки Ур, смещенной с учетом фильтрационного сопротивления подрусловых отложений на 600 м (рисунок 8). Указанная схема учитывает упругие запасы коренных среднепермских пород ильинской подсерии (P_{2il}), и их восполнение за счет ресурсов поверхностных вод. Для определения прогнозного понижения в скважинах на период работы водозабора гидродинамическим методом, продолжительностью 25 лет, задана равномерная нагрузка на скважины (скв. 3ВСН, 5ВСН и 4ВСН) по 500 м³/сут. Максимальное понижение в скважине № 4ВСН составит 38,01 м это меньше допустимого – 67,3 м, а суммарный водоотбор в количестве 1500 м³/сут можно считать обеспеченным.

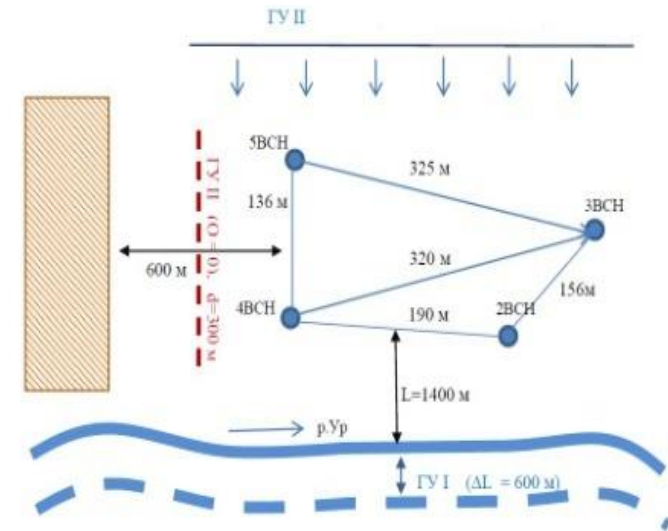
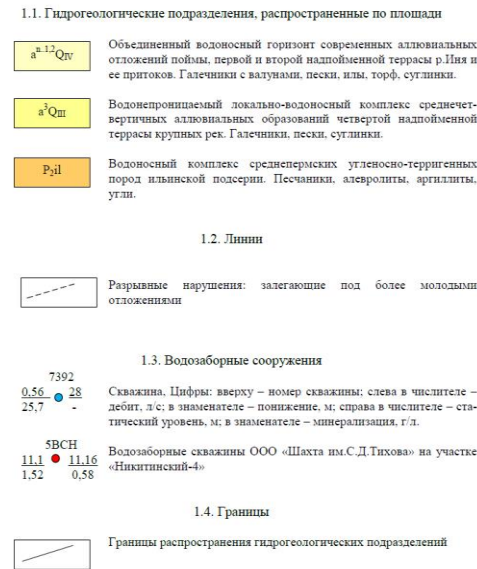
С целью оценки влияния водоотлива из шахты на подземный водозабор автором создана модель на основе в ранее построенную численную модель Никитинского угольного месторождения.

Расчетная схема с использованием метода численного моделирования представляет собой территорию общей площадью 48 км², которая разбита на расчетные блоки размером 50×50 м, разрез представлен четырьмя расчетными слоями. Все внешние границы модели выполнены граничными условиями второго рода, роль внутренней границы играет р. Ур.

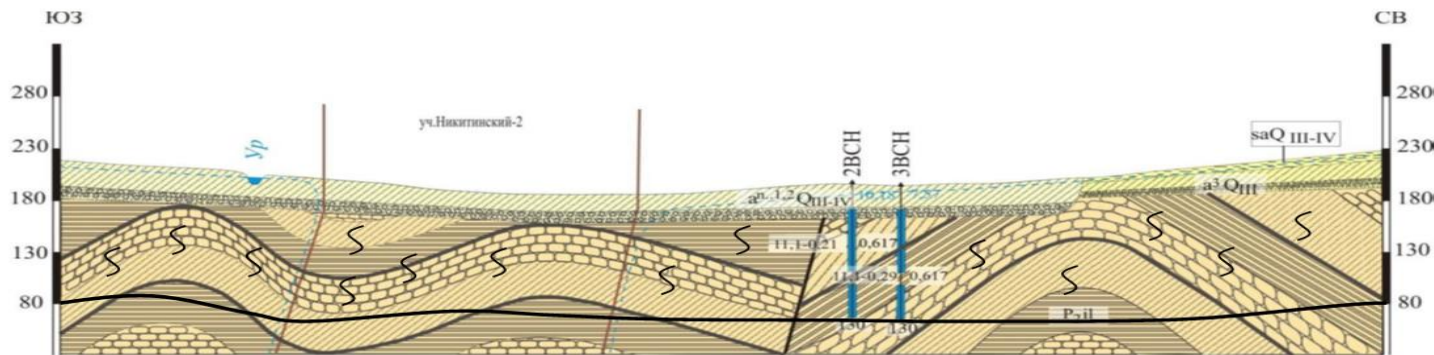
В составе гидродинамической модели область фильтрации представлен четырьмя расчетными слоями. Первый расчетный слой соответствует первой от поверхности напорно-безнапорной водоносной зоне трещиноватых пород, ее мощность варьирует от 170 на водоразделе до 100 м в русле реки Ур, со средним значением водопроводимости 50 м²/сут, и относится к зоне активного водообмена. Второй расчетный слой представляет зону затухания открытой трещиноватости в горно-складчатом массиве пород, имеет мощность 70 м с низкой водопроводимостью, не превышающей 2 м²/сут. Третий расчетный слой представляет зону повышенной трещиноватости за счет ведения горнопроходческих работ с повышенными значениями, водопроводимости, гравитационной и упругой водоотдачами. Его мощность составляет 60 м.



Фрагмент гидрогеологической карты

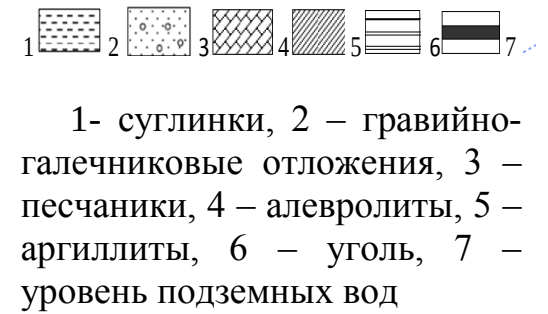


Схематизация ГУ месторождения пв



Схематический гидрогеологический разрез по линии I-I

Рисунок 8. Гидрогеологические условия эксплуатации Никитинского месторождения подземных вод



Четвертый расчетный слой является подстилающим и характеризуется минимальными значениями проницаемости пород.

Отдельные частные значения параметров численной модели уточнялась на этапе калибровки. В качестве основных критериев адекватности модели природным условиям приняты уровни подземных вод в 9-ти наблюдательных скважинах. Калибровка модели осуществлялась при корректировке таких параметров как: инфильтрационное питание (рисунок 10), фильтрационные свойства водоносных водоносных пород (рисунок 9) и проницаемости подрусловых отложений. Уточнены поля фильтрационной неоднородности как в плане, так и в разрезе (Рисунок 8). Они показывают, что фильтрационные свойства зоны активного водообмена зависят от рельефа, наибольшая величина коэффициента фильтрации соответствует участку речной долины, а его минимальные значения характеризует пространство водораздела.

Распределение инфильтрационного питания по площади (рисунок 10), показывает, что максимальная инфильтрация атмосферных осадков формируется на наиболее пологих участках рельефа (в нашем случае представленная водоразделом), минимальное питание водоносный горизонт получает на склонах, что объясняется большими скоростями поверхностного стока.

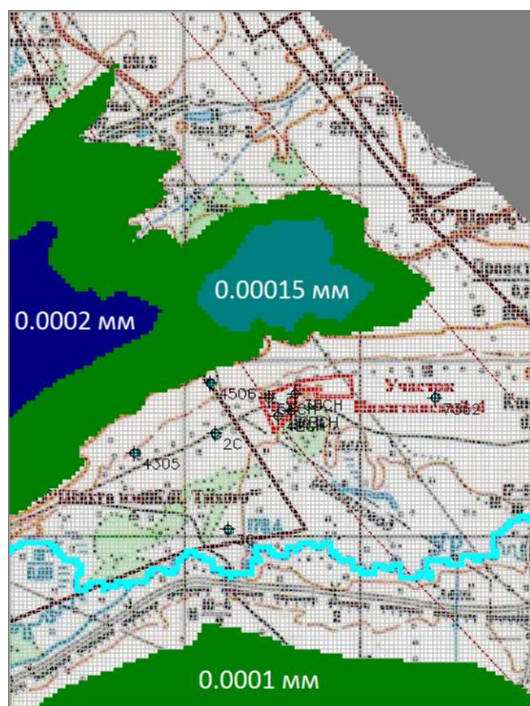


Рисунок 10. Зоны питания водоносного горизонта (мм в сут.)

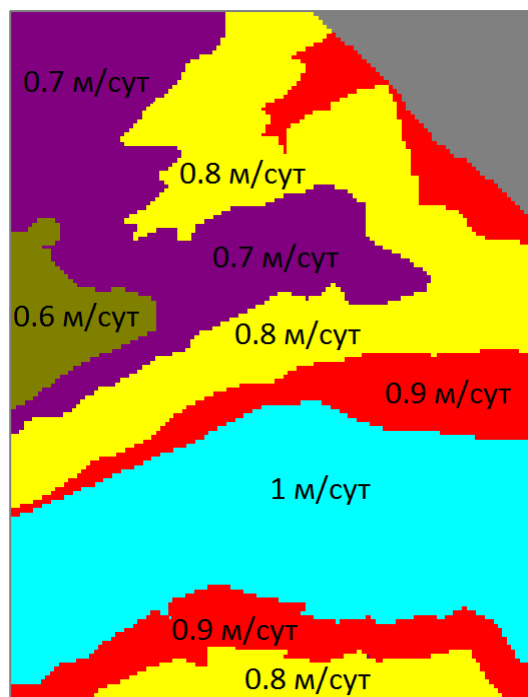
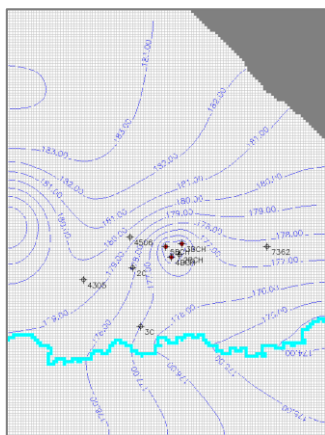


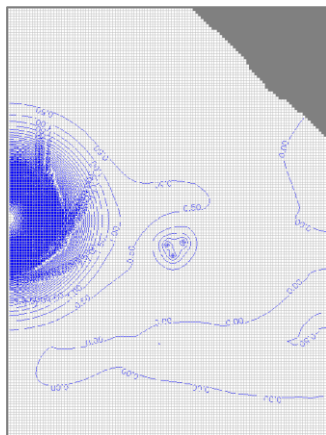
Рисунок 9. Карта распределения зон фильтрационной неоднородности по K_f

Восстановленная на модели естественная обстановка использована автором для подсчета запасов подземных вод. В результате прогнозного моделирования работы водозабора получены значения понижений уровня подземных вод в скважинах № 3ВСН – 15,31 м № 4ВСН – 15,3 м № 5ВСН – 15,53 м, что меньше, чем допустимый предел 67,3 м.

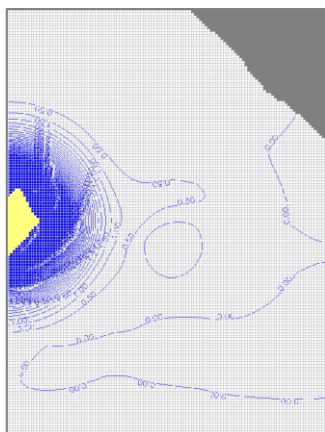
Анализ балансовых характеристик фильтрационного потока численной модели позволяет сделать следующие выводы. Величина естественных ресурсов модели составляет 1679,375 м³/сут. При этом ресурсы формируются за счет инфильтрационного питания, а зоной разгрузки служит русло реки Ур. При введении в эксплуатацию водозабора, возникает величина привлекаемых ресурсов в количестве 993,95 м³/сут. Величина суммарных ресурсов в условиях нарушенного фильтрационного потока на расчетный период 25 лет составляет 2673,58 м³/сут.



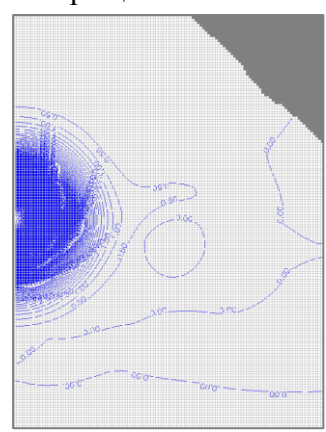
Зона активного водообмена



Зона затухающей трещиноватости



Зона повышенной трещиноватости (ведение горных работ)



Зона затухающей трещиноватости

Рисунок 11. Прогноз изменения понижений уровня на расчетный период 3 года от начала отработки угля и 22 года от начала работы подземного водозабора.

Условные обозначения



линии равных понижений



ГУ – III рода
(река Ур)



ГУ – II рода
(непроницаемая граница)



ГУ – III рода
(дрена-шахта)

Влияние реки Ур на работу скважин водозабора практически не прослеживается. Работа водозабора обеспечивается емкостными запасами водоносного комплекса, восполняемыми инфильтрационным питанием (рисунок 11).

3. Изменение гидрогеологических условий под влиянием отработки угольного месторождения оказывает влияние на эксплуатацию месторождения подземных вод, которое проявляется в существенном изменении формы и границ зон санитарной охраны, что приводит к необходимости пересмотра режима ограничений хозяйственной деятельности в новых очертаниях зоны влияния водозабора.

Под влиянием отработки угольного месторождения меняется структура фильтрационного потока на участке действующего водозабора, что приводит к деформации границ зон санитарной охраны.

Зоны санитарной охраны (ЗСО) предназначены для защиты источника подземного водоснабжения от внешнего загрязнения. ЗСО представляют собой участок территории, на которой ограничено ведение хозяйственной и деятельности. Расчет границ ЗСО осуществляется на стадии подсчета запасов подземных вод, и базируется на существующей гидродинамической обстановке. При введении в эксплуатацию горнодобывающего предприятия после подсчета запасов подземных вод меняется структура фильтрационных потоков, что может приводить к перераспределению областей питания и разгрузки и должно отражаться на режиме эксплуатации водозаборных скважин.

В условиях промышленно развитых районов, охрана и рациональное использование подземных вод от загрязнения, приобретают социально-экономическую значимость и требуют учета дополнительных факторов техногенной нагрузки.

С целью оценки влияния шахтного водоотлива на эксплуатацию соседнего месторождения подземных вод, включая возможные изменения пространственных границ зоны санитарной охраны действующего водозабора, решались следующие задачи:

1. Аналитическим способом и методом численного моделирования определены границы второго и третьего поясов зон санитарной охраны водозабора «Никитинский-4» на момент введения его в эксплуатацию.

2. Выполнена оценка влияния шахтного водоотлива на изменение границ зон санитарной охраны.

3. Проанализировано изменение границ ЗСО под влиянием комплексного воздействия на подземные воды шахтного водоотлива и работы водозабора.

В соответствии с п. 2.2.2.2. СанПиН 2.1.4.1110-02 границы второго и третьего поясов ЗСО определяются гидродинамическими расчетами исходя из условий, что микробное и химическое загрязнения, поступающее в водоносный пласт за пределами границ соответствующих поясов, не достигает водозабора (T_m для второго пояса ЗСО в I ом климатическом районе и защищенных подземных вод принимается равным 200 суток, для третьего пояса ЗСО приравнивается расчетному сроку работы водозабора 25 лет).

Границы второго и третьего поясов ЗСО определены аналитическим методом для расчетной схемы ЗСО водозаборов, находящихся в удалении от поверхностных водотоков. При наличии естественного фильтрационного потока форма границ ЗСО приобретает эллипсовидную форму. В практике гидрогеологических расчетов границы ЗСО (2-го и 3-го поясов) на местности рассчитываются в виде прямоугольника, в который вписываются три характерных размера расчетного эллипса: полуширина – d , расстояние до водозабора вверх по потоку – R , расстояние от водозабора вниз по потоку – $г$.

По результатам аналитических расчетов, границы ЗСО второго и третьего поясов водозаборных скважин ООО «Шахта им. С.Д. Тихова» имеют следующие размеры:

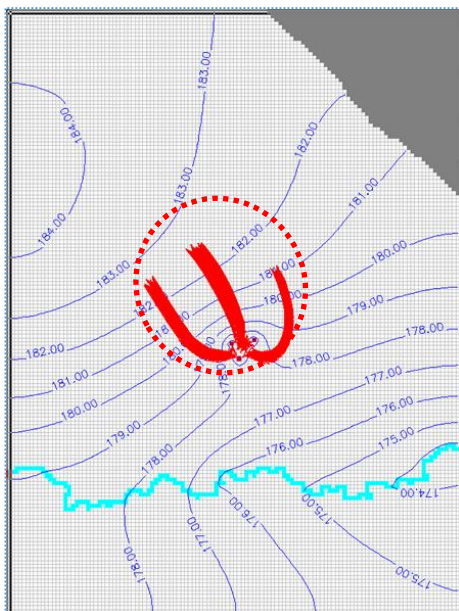
1. ширина 2-го пояса ЗСО – 160 м, длина 2-го пояса ЗСО – 158 м, в том числе:
 - ✓ размер 2-го пояса ЗСО вверх по потоку – 89 м,
 - ✓ размер 2-го пояса ЗСО вниз по потоку – 69 м.
2. ширина 3-го пояса ЗСО – 920 м, длина 3-го пояса ЗСО – 1372 м, в том числе:
 - ✓ размер 3-го пояса ЗСО вверх по потоку – 1153 м,
 - ✓ размер 3-го пояса ЗСО вниз по потоку – 219 м.

По результатам численного моделирования получена уточненная оценка размеров зон санитарной охраны как до начала отработки угольного месторождения, так и при его эксплуатации (Рисунок 12).

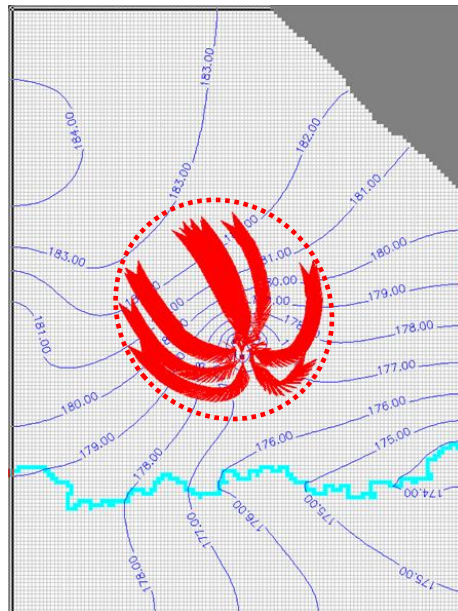
После начала разработки угольного месторождения «Никитинский-2», возникают предпосылки изменения граничных условий расчетной схемы водозабора, и как следствие ожидается изменение формы зон санитарной охраны. Прогноз изменения границ 2-го и 3-го поясов ЗСО расчетным способом затрудняется из-за отсутствия типовой расчетной схемы способной учитывающей новую гидродинамическую обстановку. Сложный характер техногенного воздействия воспроизведен на численной модели в программном модуле ModPath, программного комплекса PMWIN (рисунок 12).

2-ОЙ ПОЯС ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ

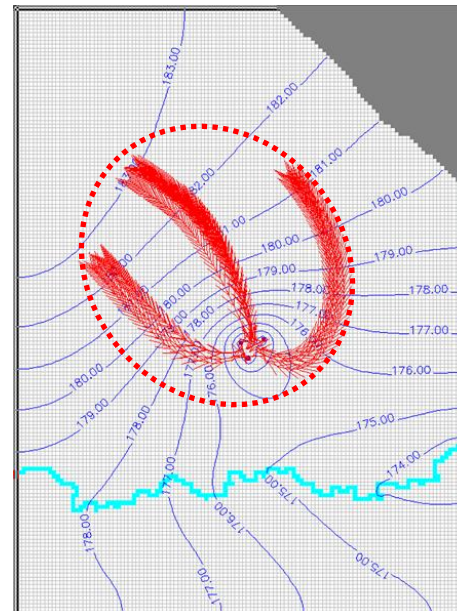
3-ИЙ ПОЯС ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ



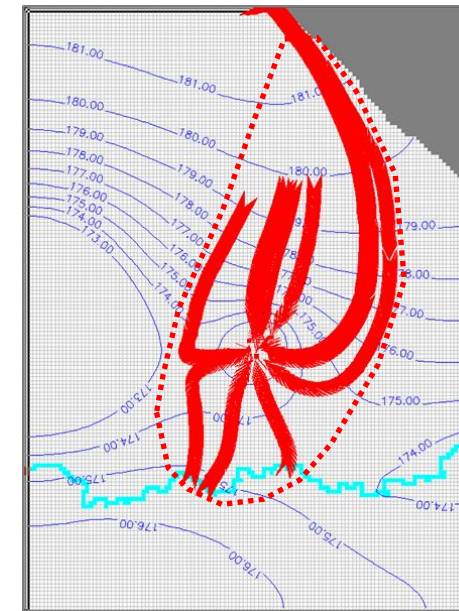
Естественный режим



Нарушенный режим



Естественный режим



Нарушенный режим

Рисунок 12. Размер и форма границ зон санитарной охраны водозабора по результатам моделирования?

Условные обозначения

-  границы зон санитарной охраны
-  линии равных напоров
-  ленты тока на расчетный период (400 сут. – 2й пояс ЗСО, 9125 сут. – 3й пояс ЗСО)
-  ГУ – III рода (река Ур)
-  ГУ – II рода (непроницаемая граница)

Результаты моделирования показывают, что под влиянием водоотлива из шахты им. С.Д. Тихова, изменяются граничные условия. Если раньше расход водозабора формировался за счет перехвата фильтрационного потока с северо-востока, то в связи с влиянием шахтного поля, локальная область питания смещается к северо-западу.

Изменение формы и границ водозахватной области водозаборных скважин требует не только пересмотра границ ЗСО, но и ревизии потенциальных источников загрязнения подземных вод, не учтенных ранее при подсчете запасов подземных вод.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Месторождения подземных вод, являющиеся сложными динамическими системами, объективно изучаются только с учетом подвижности и возобновляемости запасов подземных вод.

2. Характер питания подземных вод за счет рек и водоемов в условиях нарушенного режима, определяется степенью совершенства взаимосвязи поверхностных и подземных вод. В условиях нарушенного режима, в следствии ведения горных работ, поверхностные водоемы и водотоки могут активизироваться как источниками питания водоносных горизонтов.

3. Прогноз изменения режима подземных вод в процессе эксплуатации угольных месторождений может быть детализирован на основе применения методики численного моделирования, учитывающего несовершенство взаимосвязи поверхностных и подземных вод, интенсивность атмосферного питания подземных вод, фильтрационную неоднородность горных пород и развитие фронта горных работ во времени.

4. Закономерности изменения шахтных водопритоков во времени определяются характером трансформации природно-техногенных структур, формирующихся при ведении горных работ.

5. Основными факторами, определяющими технологические решения по обеспечению необходимой скорости подготовки фронта очистных работ на угольных шахтах в сложных гидрогеологических условиях, являются структура и сезонность водопритоков, площадь, вовлеченная в отработку, которые находят наиболее полное отражение в прогнозных расчетах водопритоков на основе численного моделирования.

Рекомендации:

По результатам проведенного исследования автором разработаны научные и практические рекомендации

1. Автором разработана многослойная численная модель области фильтрации, которая учитывает наличие фильтрационной неоднородности массива горных пород как в плане, так и в разрезе; дополнительное питание за счет инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод постоянно действующих водотоков, что повышает надёжность гидрогеологических прогнозов по сравнению с, выполненными ранее, аналитическими расчётами.

2. При схематизации гидрогеологических условий для целей прогноза водопритоков на угольных месторождениях автор предлагает учитывать на численных моделях наличие наведённой трещиноватости за счёт подземной отработки над подрабатываемым пространством в виде дополнительного расчётного слоя модели. Мощность слоя предлагается определять аналитически расчётным путем в зависимости от

горно-геологических условий разработки месторождения.

3. Результаты прогнозного моделирования показывают изменение формы границ зоны санитарной охраны существующего водозабора под влиянием планируемой отработки угольного месторождения. Это требует уточнения ограничений хозяйственной деятельности предприятий, попадающих в зону влияния водозабора. К этим объектам можно отнести такие угледобывающие предприятия как шахты «Заречная» и «7 Ноября». Решение этой задачи требует усиления наблюдений за качеством подземных вод. Для этой цели рекомендуется организовать луч наблюдательных скважин по направлению от водозабора к ранее отработанным участкам шахт «Заречная» и «7 Ноября».

4. Опережающий прогноз изменения качества подземных вод на действующем водозаборе может быть выполнен путём геомиграционного моделирования нарушенного режима фильтрации, на основе имеющейся гидродинамической модели.

5. Разработанную численную гидродинамическую модель области фильтрации рекомендуется использовать на всех этапах разработки Никитинского угольного месторождения, при условии дополнительного и регулярного ее уточнения по результатам горных, геологоразведочных работ и данных локальной системы мониторинга, тем самым превращая модель в постояннодействующую.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК:

1. Пургина Д.В. Анализ методов оценки запасов подземных вод на примере Никитинского месторождения (Кузбасс) / Д.В. Пургина, К.И. Кузеванов // Вестник КузГТУ. - 2018. - №1. - С. 46-57.

2. Пургина Д. В., Кузеванов К. И. Водопритоки в подземные горные выработки под влиянием внешних граничных условий при разработке угольных месторождений (на примере шахты Алексиевская) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2018 - Т. 329 - №. 4. - С. 79-96.

3. Пургина Д. В., Строкова Л. А., Кузеванов К. И. Моделирование гидрогеологических условий для обоснования противооползневых мероприятий на участке набережной реки Кама города Пермь // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2016 - Т. 327 - №. 1. - С. 110-120.

Публикации в зарубежных научных журналах и изданиях, включенных в библиографические базы Web of Science b Scopus

1. Purgina D, Strokova L and Kuzevanov K, Modeling of changing hydrogeological conditions during construction of pier foundations on the Kama river bank // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016 – Vol. 33. - 012046, 6 p (Scopus) – 0,375 п.л.

Работы, опубликованные в других изданиях:

1. Пургина Д.В. Численное моделирование водозабора хозяйственно-питьевого водоснабжения. // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ–2016): материалы XV Международной конференции имени А. Ф. Терпугова (12–16 сентября 2016 г.). – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2016. – Ч. 2. – 204-209 с.

2. Пургина Д.В. Гидрогеологические условия эксплуатации водозабора хозяйственно-питьевого водоснабжения для нужд шахты им. С.А. Тихого // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского

политехнического университета. – Том I; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. Т. 1 - С. 595-597 - 0,188 п.л.

3. Пургина Д. В. Моделирование условий работы водозабора хозяйственно-питьевого водоснабжения в районе отработки угольного месторождения (Кузбасс) // СБОРНИК ТЕЗИСОВ Всероссийская научно-практическая молодежная конференция «Современные исследования в геологии» Санкт-Петербург, 25-27 Марта 2016 г. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2016 – С. 124-125.

4. Кузеванов К. И., Пургина Д. В. Оценка гидрогеологических условий проходки наклонного шахтного ствола с использованием ГИС-технологий (на примере угольного месторождения Кузбасса) // Математическое моделирование, геоинформационные системы и базы данных в гидрогеологии: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 25-27 Сентября 2013. - Москва: Изд-во МИИ, 2013 - С. 47-49.

5. Пургина Д. В. Гидрогеологические условия ш. Алексиевская, расчет водопонижения // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 150-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 130-летию академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы: в 2 т., Томск, 1-6 Апреля 2013. - Томск: Изд-во ТПУ, 2013 - Т. 1 - С. 464-467.

6. Пургина Д. В. Прогноз подтопления набережной реки Кама г. Пермь методом численного моделирования // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии: материалы Всероссийской конференции с международным участием с элементами научной школы, Томск, 23-27 Ноября 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 761-768 - 0,5 п.л.

7. Пургина Д. В. Оценка барражного эффекта в городском строительстве посредством создания численной модели на примере железнодорожной линии Пермь I - Пермь II свердловской железной дороги // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии: материалы Всероссийской конференции с международным участием с элементами научной школы, Томск, 23-27 Ноября 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 768-775 - 0,5 п.л.

8. Пургина Д.В. Оценка изменения элементов климата за многолетний период для прогноза инфильтрационного питания подземных вод // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина Томского политехнического университета. – Том I; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. Т. 1 - С. 493-495.