

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(Н И У « Б е л Г У »)

ФАКУЛЬТЕТ ГОРНОГО ДЕЛА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

КАФЕДРА ГЕОГРАФИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ
И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АРЕАЛОВ
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В
СТАРООСКОЛЬСКО-ГУБКИНСКОМ ПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ
БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Магистерская диссертация
обучающегося по направлению подготовки 05.04.02 География
(программа Геоэкология) очной формы обучения, группы 81001612
Зайцевой Натальи Олеговны

Научный руководитель:
к.г.н., доцент
Дроздова Е.А.

Рецензент:
д.т.н., доцент
Черноморец А.А.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Теоретические основы изучения ареалов загрязнения подземных вод	8
1.1. Характеристика Старооскольско-Губкинского промышленного района	8
1.2. Основные факторы техногенного воздействия на подземные воды	17
1.3. Состояние подземных вод на территории Белгородской области.....	19
1.4. Опыт использования методов моделирования состояния подземных вод	22
2. Разработка модели распространения ареалов загрязнения подземных вод ...	25
2.1. Разработка графоаналитического представления динамики распространения подземных вод.....	25
2.2. Разработка графоаналитического представления фильтрационных процессов в различных породах.....	29
3. Реализация имитационной модели течения подземных вод в Старооскольском и Губкинском городском округе	32
3.1. Иерархия объектов модели знаний о динамике уровня подземных вод ...	32
3.2. Разработка метода узлового объекта.....	36
3.3. Модель откачки воды от горно-обогатительных комбинатов	41
3.4. Имитация процесса распространения подземных вод с применением модели.....	45
Заключение	59
Список использованной литературы.....	61

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Разработка месторождений полезных ископаемых и функционирование горно-обогатительных комбинатов приводит к загрязнению окружающей среды и образованию техногенных ландшафтов. Изучение процессов формирования ресурсов подземных вод в условиях открытых горных работ (наличие открытых карьеров, прудов-накопителей (хвостохранилищ), необоснованные водоотборы, уничтожение лесов и пр.) необходимо для прогнозирования состояния водоснабжения регионов и для развития рекреационной инфраструктуры. Подземные воды являются компонентой геологической среды, достаточно уязвимой к влиянию современных антропогенных воздействий, которые нарушают природные гидрогеологические и геоэкологические условия территории [36, 37, 43].

Рассматриваемый район Старооскольско-Губкинского горнодобывающего узла характеризуется значительной техногенной нагрузкой на гидрогеологическую систему, так как на сравнительно небольшой территории располагаются два города (Губкин и Старый Оскол), а также поселок городского типа Чернянка. В совокупности население на обозначенной площади составляет около 400 тысяч человек, что составляет 30 % от общего количества жителей Белгородской области. В Старооскольско-Губкинском районе выявлено 11 крупных месторождений железных руд, 4 из которых разрабатываются в настоящее время, что привело к интенсивному развитию горнодобывающей и металлургической промышленности [49].

На вышеупомянутой территории также находятся месторождения мела и глин, многие из которых разрабатываются. На территории района располагается шахта им. Губкина и два карьера (Лебединский и Стойленский), два гидроотвала (Березовый Лог и Грачев Лог), два хвостохранилища (Лебединского и Стойленского ГОКов), многочисленные отвалы вскрышных и скальных пород. Переработка добытых руд производится на двух горно-обогатительных комбинатах: Лебединском и Стойленском, и на Оскольском

электрометаллургическом комбинате (ОЭМК). Подобного рода объекты оказывают сильное влияние на подземные воды рассматриваемого района. Дренажные работы и водоотбор подземных вод на водозаборах также значительно влияют на режим подземных вод [40].

Белгородская область принадлежит к числу регионов с ограниченными водными ресурсами при достаточно высоком уровне сельскохозяйственного, промышленного и коммунально-бытового водопотребления [40, 41].

В настоящее время в результате интенсивного освоения региона происходит усиление антропогенной нагрузки на окружающую природную среду, что приводит к значительному ухудшению экологического состояния, в частности качественного состояния подземных вод. Следует отметить, что подземные воды являются единственным источником питьевого, бытового и большей частью промышленного водоснабжения области.

Наибольшее влияние на качественные и количественные изменения водных ресурсов оказывают следующие виды хозяйственной деятельности: водопотребление для промышленных и хозяйственно-бытовых целей, сброс отработанных вод (без очистки или с недостаточной степенью очистки), зарегулирование стока рек и создание водохранилищ, сельскохозяйственная мелиорация и т.д. Также стоит отметить, что регион характеризуется высоким уровнем промышленного развития, но распределение техногенной нагрузки на территории области очень неравномерное [21-23, 39-41].

Целью написания магистерской диссертации является разработка модели распространения ареалов загрязнения подземных вод в условиях проведения открытых горных работ, которая может быть использована для анализа состояния естественных водных ресурсов, их защищенности, а также оценки прогнозных эксплуатационных ресурсов для целей водоснабжения.

Объектом исследования был выбран Старооскольско-Губкинский промышленный район Белгородской области.

Предметом исследования являются подземные воды указанного горнопромышленного района

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести обзор и анализ литературных источников;
- произвести выбор методов исследования;
- разработать модель распространения ареалов загрязнения подземных вод;
- провести апробацию модели.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Графоаналитическое представление гидродинамических процессов на исследуемой территории Старооскольско-Губкинского промышленного района при неравномерном разбиении техногенно измененного участка гидрогеологической среды. В качестве элементов графа необходимо рассмотреть отдельные участки территорий, взаимосвязи между которыми определяются гидродинамическими характеристиками распространения подземных вод между ними.

2. Модель динамики распространения подземных вод на основе анализа знаний о гидродинамических свойствах отдельных участков недр путем последовательного решения задачи определения показателей распространения и накопления подземных вод в отдельных участках недр с относительно неизменными гидродинамическими свойствами.

3. Модель распространения ареалов загрязнения подземных вод, обусловленных антропогенной деятельностью в Старооскольско-Губкинском горно-промышленном районе, основанная на графоаналитическом представлении фильтрационных процессов в различных породах.

Апробация результатов исследований, описанных в тексте выпускной квалификационной работы, представлена в следующих работах:

1. Зайцева Н.О., Черноморец А.А. О разработке математической модели динамики распространения подземных вод на основе графоаналитического представления гидрогеологических процессов на

исследуемых территориях. // Инновационные процессы в научной среде: сборник статей Международной научно-практической конференции (8 декабря 2016 г., г. Новосибирск). В 4 ч. Ч.3 / Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2016. - с.43-45.

2. Черноморец А.А., Петина М.А., Коваленко А.Н., Зайцева Н.О. Графоаналитическая модель динамики распространения подземных вод // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Экономика. Информатика. № 2 (251), Выпуск 41, Март 2017, Компьютерное моделирование, с.75-81.

3. Зайцева Н.О., Черноморец А.А. Влияние горнодобывающей промышленности на состояние подземных вод // Наука и образование: сохраняя прошлое, создаем будущее: сборник статей X Международной научно-практической конференции. В 3 ч. Ч.3 – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение». – 2017. – 214 с. С.60-62.

4. Н.О. Зайцева, А.А. Черноморец, А.Г. Жихарев О разработке алгоритма метода узлового объекта в терминах языка описания функциональных объектов // OPEN INNOVATION: сборник статей Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч.1 – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2017. – С.91-95.

Исследования, описанные в тексте магистерской диссертации, выполнялись при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16- 07-00451.

Научно-практическая значимость полученных при написании магистерской диссертации результатов определяется новизной разработанного графоаналитического представления гидродинамических процессов на исследуемых территориях на основе неравномерного разбиения исследуемых участков недр на области с относительно постоянными гидродинамическими показателями, а также новизной построенных на его основе моделей динамики распространения подземных вод и ареалов их загрязнения на основе анализа знаний о гидродинамических свойствах отдельных участков недр.

Структурно магистерская диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения и списка литературы.

В первом разделе дана характеристика Старооскольско-Губкинского промышленного района. Также описываются основные факторы техногенного воздействия на подземные воды на территории Белгородской области и их состояние. Опыт использования методов моделирования состояния подземных вод приведен в заключении данного раздела.

Во втором разделе описывается процесс разработки графоаналитического представления динамики распространения подземных вод и графоаналитического представления фильтрационных процессов в различных породах.

В третьем разделе приведено описание иерархии объектов модели знаний о динамике уровня подземных вод. Основную часть данной главы составляет имитация процесса распространения подземных вод с применением разработанной модели в программном средстве UFO Modeler.

Выпускная квалификационная работа написана на 69 страницах, имеет 32 рисунка.

Студентом-магистрантом выражается благодарность Петину А.Н., Петиной М.А., Черноморцу А.А., Жихареву А.Г. и Коваленко А.Н. за научно-методическое руководство и помощь в проведении исследования.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ АРЕАЛОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

1.1. Характеристика Старооскольско-Губкинского промышленного района

Поверхность Белгородской области представляет собой приподнятую равнину, на которой простираются юго-западные отроги Орловско-Курского плато Среднерусской возвышенности. Главная водораздельная возвышенность области – Сеймско-Северскодонецкая гряда. Она представляет собой возвышенную равнину, простирающуюся в направлении с северо-востока на юго-запад. От нее в южном направлении отходят междуречные плато – плоские пологоволнистые возвышенности, достигающие, в среднем, 200-250 м абсолютной высоты. Максимальная высотная отметка поверхности Белгородской области (276 м) расположена в пределах Сеймско-Северскодонецкой гряды, вблизи поселков Ольховатка и Истобное Губкинского района. Между реками Северский Донец и Оскол в направлении с севера на юг простирается Старооскольский отрог, образующий водораздельную гряду [43, 49, 51].

Гидрографическая сеть Белгородской области представлена на рисунке 1.1.

В Старооскольско-Губкинском промышленном районе годовая сумма осадков ниже и составляет 545 мм. Количество дней с осадками за год колеблется от 140 до 150, причем максимум их приходится на зиму, в то время как общая сумма осадков зимой меньше, чем летом. Средняя годовая температура воздуха составляет +5,6 °С. Самыми холодными месяцами являются январь и февраль, со среднемесячными температурами -8,5 °С. Самый теплый месяц на рассматриваемой территории – июль со среднемесячной температурой +19,4 °С [43, 49, 57].

Речная сеть района представлена бассейном реки Оскол, протекающей в 14 - 16 км к востоку от Лебединского карьера и пересекающей территорию в меридиональном направлении. Ее правые притоки – реки Стуженек, Осколец, Дубенка, Орлик, Ольшанка, Халань; левые – реки Апочка, Герасим, Убля, Котел. Реки типично равнинные с характерным для них меандрированием. Поймы рек двухсторонние, часто заболоченные [41]. Гидрографическое районирование для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения представлено на рисунке 1.2.

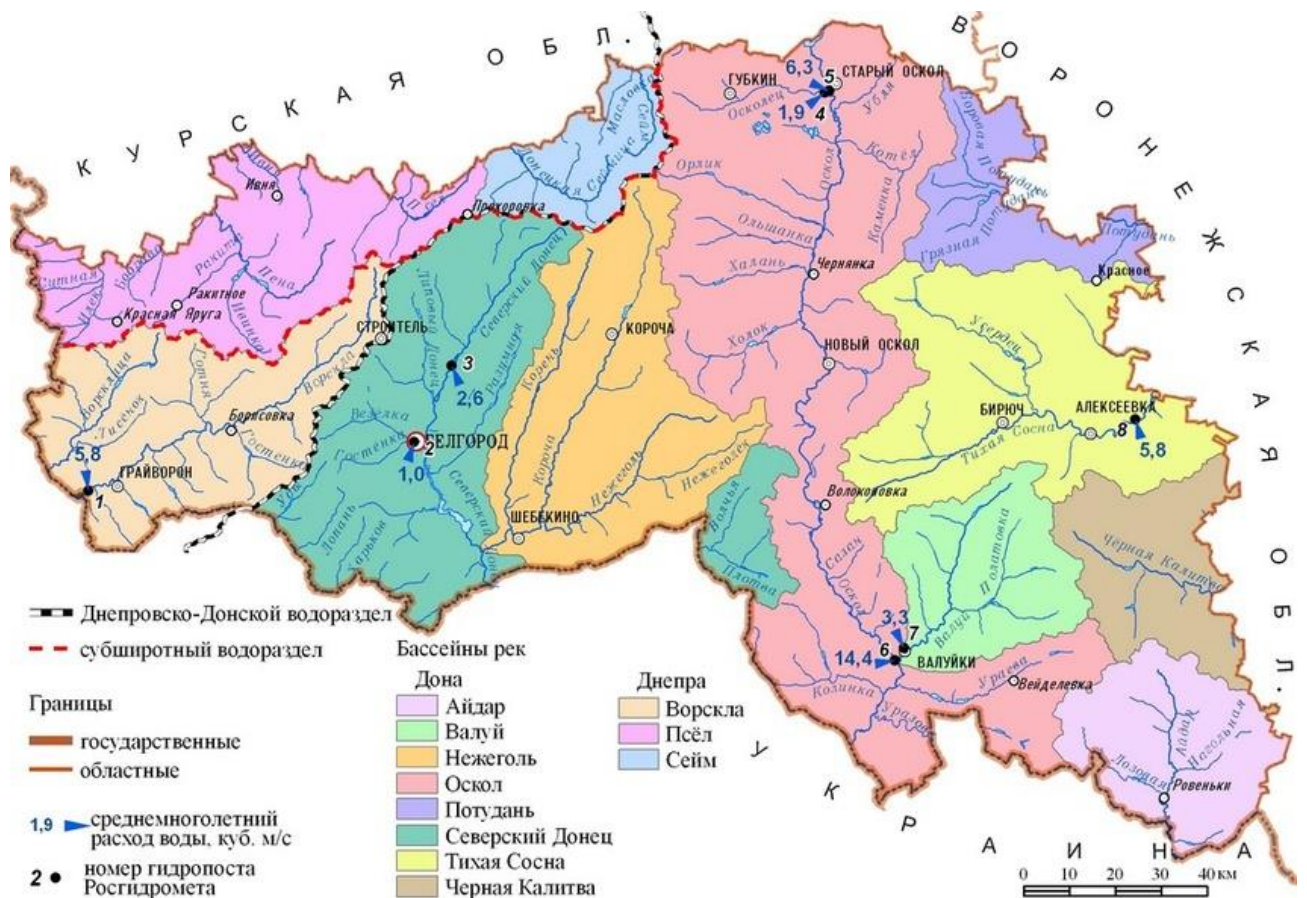


Рис. 1.1 Гидрографическая сеть Белгородской области [41]

В гидрогеологическом отношении рассматриваемая территория приурочена к северо-восточной окраине Донецко-Донского артезианского бассейна, примыкающего к юго-западной склоновой части Воронежского кристаллического массива. Подземные воды содержатся в отложениях осадочной толщи и в зоне трещиноватости докембрийских пород. По условиям

циркуляции и характеру водовмещающих пород развиты пластово-поровые и трещинные воды общей мощностью обводненной зоны 120-250 м, увеличивающейся в юго-западном направлении. По характеру залегания выделяются подземные воды напорные и безнапорные [39, 40, 57].



Рис. 1.2 Гидрографическое районирование для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения [41]

Обводненная толща пород находится в зоне активного водообмена и гидравлически взаимосвязана с поверхностными водотоками. Питание подземных вод осуществляется, в основном, за счет инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод, разгрузка – в дренажные системы карьеров и шахты КМАруда, водозаборы и речную сеть.

Водоупорные породы не имеют сплошного и выдержанного по мощности распространения и наиболее широко развиты в южной части района. Они представлены глинами киевской свиты, верхнего отдела юрской системы, а

также водоупорной толщей среднего отдела юрской системы, каменноугольной и девонской систем [23].

Освоение железорудных месторождений с комплексом осушительных работ на карьерах и устройством значительных по объему технических водоемов, связанных с обогащением полезного ископаемого (хвостохранилища, шламонакопители), привело к серьезным изменениям в естественном водном балансе территорий площадью более 450 км², смешению вод различных водоносных горизонтов, распространенных на данной территории, изменению качества поверхностных вод за счет сброса дренажных и сточных вод. Реками, на которые оказывают воздействие данные предприятия, являются Осколец, Чуфичка, Оскол. Расположение ЛГОК и СГОК в бассейне р. Оскол и схематическое отображение воздействия рудников и сопутствующих инфраструктурных объектов на гидроэкологическую ситуацию (сброс дренажных вод, коммунальный сектор сопутствующих селитебных территорий) показаны на рисунке 1.3 [48].

В пределах района размещения горнодобывающих предприятий выделяют два водоносных комплекса [15]: верхний и нижний, разделенные водоупорной толщей глин юрского возраста.

К верхнему водоносному комплексу относятся современный аллювиальный и средне-верхнечетвертичный водоносные горизонты, харьковско-полтавский, турон-коньякский, альб-сеноманский и неоком-аптский водоносные горизонты. Нижний водоносный комплекс объединяет юрский, каменноугольный, средне-верхнедевонский и архей-протерозойский (руднокристаллический) водоносные горизонты [57].

Современный аллювиальный, средне-верхнечетвертичный, харьковско-полтавский, турон-коньякский, альб-сеноманский и неоком-аптский водоносные горизонты образуют единый надюрский водоносный комплекс (верхний водоносный комплекс). Его питание происходит за счет атмосферных осадков, паводковых вод, подземных вод выше- и нижележащих водоносных горизонтов на участках отсутствия водоупорных слоев и инфильтрации из

являются глинистые пески с прослоями глин, отличающиеся малой водообильностью. Пески залегают на отложениях девонской и каменноугольной систем и в депрессиях рельефа докембрийского основания. Мощность отложений юрского водоносного горизонта изменяется от 0 до 60 м. Питание горизонта происходит, в основном, за счет перетока из вышележащих водоносных горизонтов. Подземные воды имеют гидрокарбонатно-кальциевый или сульфатно-гидрокарбонатный кальциевый состав и минерализацию в пределах 0,5-0,7 г/дм³ [57].

Каменноугольный водоносный горизонт (С1) не имеет повсеместного распространения и развит в юго-западной части района. Он приурочен к трещиноватым известнякам и глинистым пескам мощностью от 0 до 65 м. Коэффициенты фильтрации песков составляют 0,3-5,0 м/сут. Питание подземных вод каменноугольного водоносного горизонта происходит за счет перетекания из вышележащих водоносных горизонтов. По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией до 0,7 г/дм³. Для водоснабжения эти воды не используются [57].

Средне-верхнедевонский водоносный горизонт (D2-3) в районе не имеет повсеместного распространения, он отсутствует на выступах кристаллического фундамента. Мощность водоносного горизонта довольно не выдержана как в плане, так и в разрезе, и в зависимости от рельефа кристаллического массива изменяется от 0,2 до 39,8 м. По химическому составу воды хлоридно-гидрокарбонатные кальциевые, реже хлоридно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые с минерализацией 0,3-0,8 г/дм³. Для хозяйственно-питьевого водоснабжения воды используются совместно с юрским водоносным горизонтом [57].

Архей-протерозойский (руднокристаллический) водоносный горизонт (AR-PR) распространен повсеместно и приурочен к зоне выветривания метаморфических образований докембрия. Водоносный горизонт напорный, величина напора составляет 90-210 м. По химическому составу воды относятся

к гидрокарбонатным кальциево-натриевым или хлоридно-гидрокарбонатным кальциево-натриевым [57].

Как показывает опыт осушения, в обводнении Лебединского и Стойло-Лебединского месторождений основное участие принимают три водоносных горизонта: турон-коньякский, альб-сеноманский и руднокристаллический в зоне выветривания метаморфических образований докембрия, причем надюрский водоносный комплекс является основным в водообеспечении района и в обводнении месторождений [57].

Система осушения Лебединского карьера состоит из внешнего и внутреннего дренажных контуров и карьерного водоотлива [57]:

1) Внешний дренажный контур – это подземный дренажный комплекс, перехватывающий основную часть потока подземных вод за пределами карьера по его периметру. В его состав входят два водоотливных и два вентиляционных шахтных ствола, кольцевые дренажные выработки по внешнему контуру карьера; диагональные выработки, направленные внутрь; восстающие дренажные скважины; сквозные фильтры и шахтный водоотлив. В околоствольном дворе водоотливных шахтных стволов размещаются главные подземные насосные станции с водосборниками.

2) Внутренний дренажный контур представлен прибортовым дренажом, конструктивно состоящим из прибортовых дренажных канав, закрытого дренажа, горизонтальных лучевых скважин, забивных скважин-фильтров, колодцев лучевых дренажей, сбросных скважин и насосной, поверхностного водоотлива. Внутренний дренажный контур предназначен для перехвата «проскока» через внешний дренажный контур подземных вод альб-сеноманского горизонта, сбора и откачки подземных вод архей-протерозойского водоносного горизонта, паводковых вод и атмосферных осадков. Откачка воды, поступающей в зумпф, расположенный на нижнем горизонте карьера, осуществляется насосной станцией поверхностного водоотлива, оборудованной четырьмя насосными агрегатами ЦНС 500-400.

Воды меловых пород турон-коньякского водоносного горизонта за счет наличия окон фильтрации перетекают в нижележащие альб-сеноманские пески, но по периметру карьера сдrenированы. Подземные воды архей-протерозойского водоносного горизонта, паводковые воды и атмосферные осадки собираются в зумпфах на нижнем горизонте карьера -225 м, откуда откачиваются насосной станцией поверхностного водоотлива и подаются по водоводам в приемные зумпфы к водосбросным скважинам, расположенным на горизонт +30 м, +45 м. Для защиты от затопления выработок околоствольных дворов и насосных установок обоих стволов предусмотрены водонепроницаемые перемычки. Сбросы дренажных вод водоотливными стволами шахты в природные водные объекты (р. Осколец) составляют в среднем в год – около 14 млн.м³ с одного, и около 16 млн.м³ с другого ствола [57].

Система осушения Стойленского карьера аналогична для Лебединского. Внутрикарьерные дренажные устройства представляют собой прибортовой дренаж в виде открытых канав и горизонтальных дрен закрытого типа, пройденных в основании альб-сеноманского водоносного горизонта. Проскок дренажных вод через отложения юрской системы и из верхней части выветрелых скальных пород собирается во временные канавы по кварцитным горизонтам и отводится шестью водосбросными скважинами в подземные выработки. Откачка воды на нижних уступах (ниже выработок дренажной системы) производится насосами карьерного водоотлива. Откачка всех дренажных вод и атмосферных осадков производится главным водоотливом ПДК. Общий средний водоприток к карьеру СГОК составляет около 5200 м³/ч [22, 23, 57].

Коробковское железорудное месторождение обрабатывается подземным способом на шахте им. Губкина. В связи с наличием в осадочной толще и в верхних горизонтах руднокристаллического массива водоносных пород, разработка месторождения ведется под защитой предохранительного потолочного целика неокисленных железистых кварцитов. Минимальная его

мощность – 70 м. Отработка запасов осуществляется этажно-камерной системой разработки. Общий водоприток в шахту на настоящее время составляет около 220 м³/ч. Снижение динамического уровня подземных вод на территории Коробковского месторождения привело к значительному уменьшению гидростатического напора, что отразилось на снижении водопритоков в горные выработки шахты, вскрытые в предыдущие годы [57].

Таким образом, состояние подземных вод в Старооскольско-Губкинском горнопромышленном районе характеризуется следующим образом. Гидрогеологические условия в районе Лебединского и Стойло-Лебединского месторождений нарушены ведением работ в карьерах ЛГОК и СГОК, созданием гидротехнических сооружений (Старооскольское водохранилище, хвостохранилища ЛГОК и СГОК), гидроотвалов и отвалов горных пород. Питание подземных вод района осуществляется за счет фильтрационных потерь из вышеназванных гидротехнических сооружений, реки Осколец и инфильтрации атмосферных осадков. Начало формирования нарушенного режима подземных вод связано с осушением Лебединского (с 1957 г.) и Стойленского месторождений (с 1964 г.). Строительство и эксплуатация Лебединского и Стойленского карьеров, создание хвостохранилищ, Старооскольского водохранилища, эксплуатация водозаборов, сооружение отвалов и гидроотвалов в пределах данного района, существенно нарушили естественный гидродинамический режим подземных вод, условия их взаимосвязи с поверхностными водами, питания и разгрузки. Водопонижение на карьерах и шахте им. Губкина, а также эксплуатация водозаборов привели к формированию взаимодействующих воронок депрессии радиусом от 8-10 км до 15 км, площадь которых составляет более 1500 км². В районе влияния карьеров сформировалась зона с пониженным уровнем подземных вод, которая прослеживается вдоль русла р. Осколец полосой шириной 13-22 км и длиной 35 км. Расширение зоны наблюдается в северо-западном направлении под воздействием эксплуатации водозаборов. Площадь зоны со сниженным уровнем подземных вод составляет около 650 км². В этой зоне расположены

крупные водозаборы подземных вод хозяйственно-питьевого водоснабжения, эксплуатирующие, в основном, альб-сеноманский водоносный горизонт ("Теплый Колодезь", "Троицкий", "Городской Парк", "Яр Кочегуры", "Лебеди" и другие). Альб-сеноманский и турон-коньякский водоносные горизонты гидравлически связаны между собой и в фильтрационном отношении представляют собой единую безнапорную систему (верхний водоносный комплекс) общей мощностью 60-70 м, питание которой осуществляется за счет атмосферных осадков, а также инфильтрации из поверхностных водотоков и искусственно созданных технических водоемов. Турон-коньякский водоносный горизонт вокруг Лебединского карьера и к востоку от него в направлении к Стойленскому карьеру полностью сдренирован. Вокруг карьера площадь полностью осушенных мело-мергельных пород в настоящее время превышает 15 км². Основная разгрузка подземных вод за счет фильтрационных потерь из хвостохранилищ происходит в дренажные системы карьеров ЛГОК (юго-западный и южный борт карьера) и СГОК (западный борт карьера) [24, 25, 39-41, 57].

1.2. Основные факторы техногенного воздействия на подземные воды

Белгородская область характеризуется достаточно высоким уровнем промышленного и сельскохозяйственного развития. Распределение техногенной нагрузки на территории области неравномерно. Наиболее сильное воздействие окружающая среда испытывает в промышленно развитых районах области. В пределах урбанизированной территории Белгородской области, где сконцентрировано большое количество предприятий горнодобывающей, металлургической, машиностроительной, химической, пищевой отраслей промышленности, агропромышленные комплексы, полигоны твердых бытовых и промышленных отходов, транспортно-коммуникационные сети, крупные водозаборы, одной из основных проблем геологической среды является загрязнение почв, поверхностных и подземных вод [42, 43]. Карта

месторождений подземных вод на территории Белгородской области представлена на рисунке 1.4.

Основными факторами техногенного воздействия на подземные воды на территории области являются следующие [40, 41]:

- отбор подземных вод и сброс стоков в различного типа гидротехнические объекты;
- формирование в водоносных горизонтах депрессионных воронок и куполов растекания;
- загрязнение подземных и поверхностных вод за счет влияния полей фильтрации, отстойников и полей орошения стоками животноводческих комплексов, хвостохранилищ и других гидродинамически активных объектов загрязнения гидрогеологической системы.

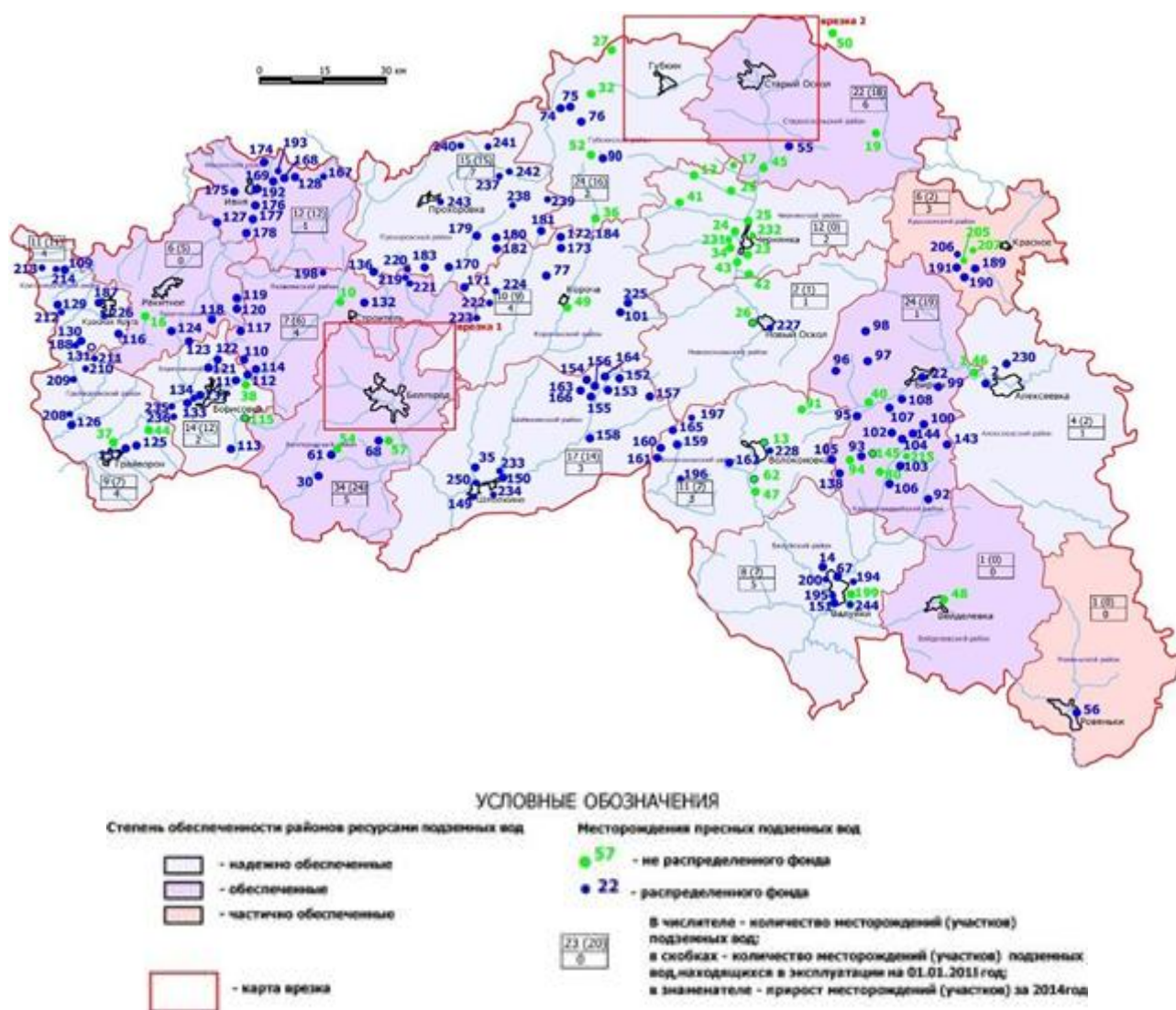




Рис. 1.5 Карта техногенной нагрузки на подземные воды территории Белгородской области [41]

За последнее десятилетие величина общего водоотбора на территории области характеризуется тенденцией на уменьшение от 840 до 773,59 тыс. м³/сут, но в отдельные годы наблюдаются небольшие колебания в сторону увеличения. Предположительно, это связано с уменьшением водоотбора дренажных вод и улучшением контроля за водоотбором на предприятиях и городских водозаборах. В последние годы изменение водоотбора меняется очень незначительно [43, 52].

Одна из основных проблем в обеспечении питьевой водой городов и крупных поселков состоит в том, что такая природная особенность гидрогеологических условий региона как приуроченность перспективных по обеспеченности ресурсами воды участков к речным долинам, которые характеризуются повышенной степенью урбанизации, а, следовательно, наиболее подвержены загрязнению поверхностных, грунтовых и связанных с ними подземных вод эксплуатируемых водоносных горизонтов, мер по защите подземных вод от загрязнения принимается недостаточно [49, 52].

В результате действия всех факторов, влияющих на режим подземных вод, в Старооскольско-Губкинском промышленном районе образовалась довольно значительная зона нарушенного режима размерами около 31–35x31 км. На севере эта зона уходит на территорию Курской области, на востоке она ограничена долиной р. Оскол. В центральной части она представлена

депресссионной воронкой размером от 17 (в западной части) до 10 (в восточной части) x 31 км, образованной за счет работы дренажных систем Лебединского и Стойленского карьеров, шахты им. Губкина, а также водозаборов г. Губкина, расположенных как на территории города, так и западнее него [51, 52, 57]. Депрессионные воронки уровней подземных вод на территории Белгородской области, в частности на территории Старооскольско-Губкинского промышленного района представлены на рисунке 1.7.

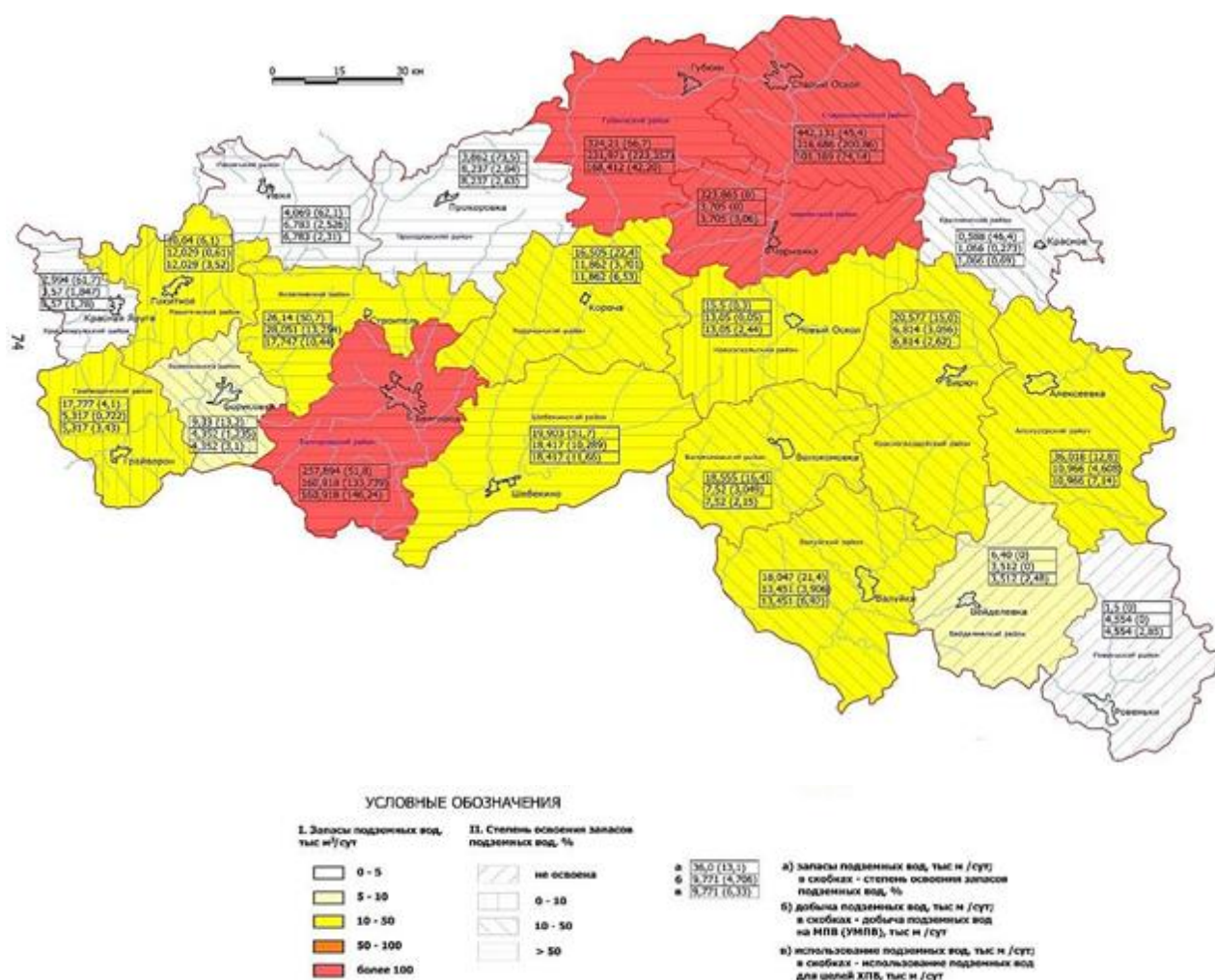


Рис. 1.6 Карта запасов подземных вод и степень их освоения по административным районам Белгородской области [41]

Севернее депрессионной воронки располагается зона повышения уровней подземных вод под влиянием инфильтрации из Старооскольского водохранилища, которая захватывает левый берег р. Оскол.

Мировой уровень решения задач определения состояния подземных вод горнодобывающего узла определяется в настоящее время использованием методов математического моделирования, основанные на численном решении дифференциальных уравнений геофильтрации на основе различных реализаций методов конечных разностей [1-8, 62-71, 73]. В большинстве случаев используется равномерное разбиение исследуемых участков. В настоящее время создано большое количество информационно-аналитических систем для математического моделирования геофильтрации [15, 17, 18, 20, 24-29]. Наиболее распространенными промышленными программными продуктами являются Modflow, разработанный геологической службой США (USGS) и распространяемый в виде программного пакета Visual Modflow (Канада), а также Modtech, разработанный компанией «Геолинк Консалтинг» (Россия). Оба продукта разработаны применительно к схеме плановой фильтрации в слоистых толщах. В них применяются алгоритмы решения системы алгебраических уравнений, которые являются результатом аппроксимации дифференциальных уравнений геофильтрации конечными разностями [62-71, 73].

В большинстве случаев, современные методы позволяют решать лишь отдельные задачи определения состояния подземных вод и не обеспечивают формирование целостного, взаимосвязанного описания гидродинамических процессов на исследуемых территориях [24-29, 30-38]. В отличие от большинства известных подходов в данной выпускной квалификационной работе исследование состояния подземных вод осуществляется на основе интеллектуальной технологии, обеспечивающей приобретение и анализ знаний о гидродинамических процессах в смежных областях гидрогеологической среды [42, 53, 54]. Научно-практическая значимость получаемых при исследованиях результатов определяется новизной разрабатываемого графоаналитического представления гидродинамических процессов на исследуемой территории Старооскольско-Губкинского промышленного района на основе неравномерного разбиения участков недр на области с относительно

постоянными гидродинамическими показателями, а также новизной построенных на его основе математических моделей динамики распространения подземных вод и ареалов их загрязнения на основе анализа знаний о гидродинамических свойствах отдельных участков недр [4-6].

Вопросы, касающиеся особенностей формирования химического состава подземных вод, сведения об основных эколого-гидрогеологических процессах, возникающих в условиях техногенного воздействия на подземную гидросферу, методы эколого-гидрогеологических исследований представлены в работах А.А. Шварца [55], В.М. Шестопалова [56], М.Г. Ясовеева [58-61].

Вопросы применения интеллектуальных информационных технологий для обработки гидрогеологической информации отражены в работах Ю.Е. Капутина [43], Н. В. Дорофеева [29].

Однако, в данных работах недостаточно отражены принципы создания и использования интеллектуальных информационных технологий, которые позволят создать новые описания гидродинамических свойств и отношений между объектами гидрогеологической среды, обеспечивая возможность создания сложных систем высокого уровня моделирования динамики подземных вод. Описываемые в магистерской диссертации модели и методы обработки знаний о состоянии гидрогеологической среды вносят существенный вклад в развитие исследований в области гидрогеологии, обеспечивая новыми инструментами, основанными на системном подходе [9-14, 16, 72]. Таким образом, можно утверждать, что выполняемые разработки находятся на мировом уровне и в некоторых аспектах его превосходят.

2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АРЕАЛОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

2.1. Разработка графоаналитического представления динамики распространения подземных вод

Подземные стоки создаются при просачивании атмосферной воды в более или менее глубокие слои почвы, где вода собирается над водонепроницаемыми пластами, стекает по ним и выходит вновь на поверхность земли в местах выхода этих пластов, сливаясь с поверхностными стоками [16, 53, 54]. Данный процесс представлен на рисунке 2.1.

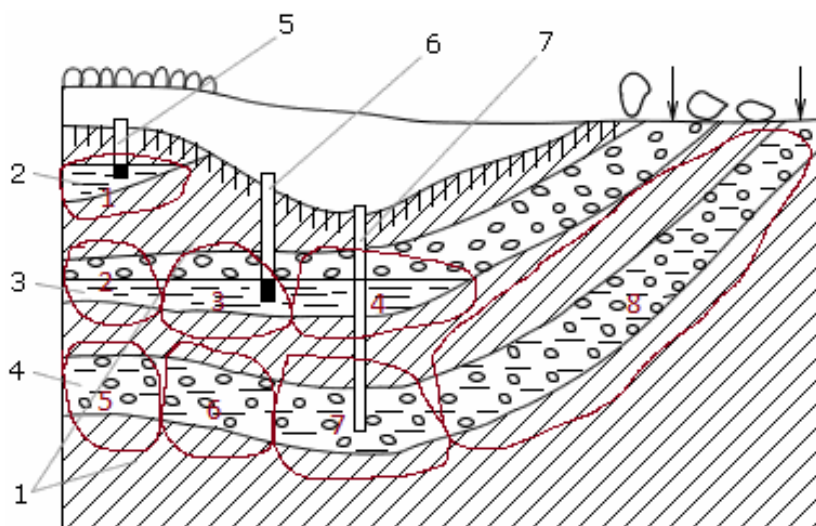


Рис. 2.1. Схема залегания подземных вод [54]

1 – водонепроницаемые пласты; 2 – водоносный горизонт грунтовых вод; 3 – водоносный горизонт межпластовых безнапорных вод; 4 – водоносный горизонт межпластовых напорных (артезианских) вод; 5 – колодец, питающийся грунтовой водой; 6 – колодец, питающийся межпластовой безнапорной водой; 7 – артезианская скважина

Исходя из схемы выше, были выделены восемь областей с однородными гидродинамическими свойствами [16].

Для изучения динамики распространения подземных вод с учетом все возрастающего различия гидродинамических свойств отдельных участков породы, а также динамики воздействия факторов естественных и техногенной нагрузки на гидрогеологическую среду разработано графоаналитическое представление гидродинамических процессов в районе горнодобывающего узла при неравномерном разбиении участка гидрогеологической среды, которое состоит в следующем:

В качестве элементов графа рассматриваются отдельные участки территорий, взаимосвязи между которыми определяются гидродинамическими характеристиками распространения подземных вод между ними, среди которых можно выделить следующие [16, 53, 54]:

- $C = \{c_{ijk}\}$ – скорость прохождения подземных вод в выделенной области a_j ;
- $D = \{d_{ijk}\}$ – размер области распространения a_j ;
- $M = \{m_i\}$ – накопление подземных вод в выделенной области a_j (в %-ном соотношении);
- $W = \{w_{ij}\}$ – весовой коэффициент связи, характеризующий ширину переходной области b_{ij} между относительно постоянными участками a_i и a_j ;
- $V = \{v_{ij}\}$ – скорость распространения в переходной области b_{ij} .

Так на рисунке 2.2 представлен фрагмент графоаналитического представления динамики распространения подземных вод.

Использование подобного графоаналитического представления динамики распространения подземных вод более предпочтительнее по сравнению со структурированной (регулярной) сеткой. Использование структурированных сеток требует больших затрат труда и ресурсов ЭВМ, по сравнению с процедурой построения графового представления динамики распространения подземных вод.

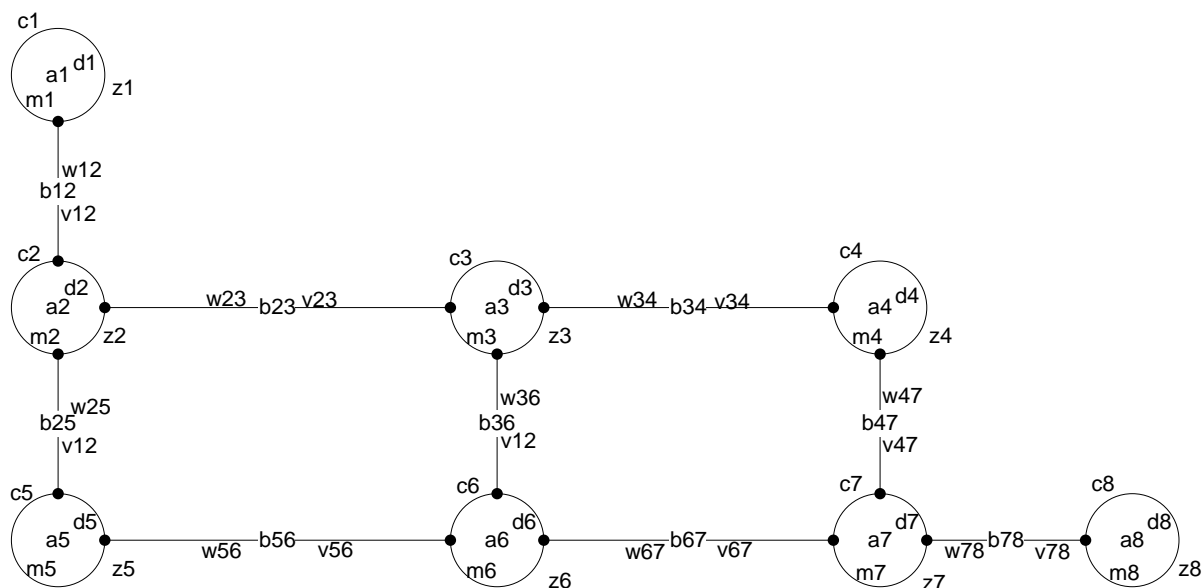


Рис. 2.2 Фрагмент графоаналитического представления динамики распространения подземных вод

Знания, необходимые для решения задачи динамики распространения подземных вод описываются определенными утверждениями на логическом языке. Описание модели основывается на конструктивной логике [42].

Логической модели соответствует графическое отображение в виде графа, вершины которого представляют собой имена областей распространения подземных вод, а дуги обозначают связи между ними. Поиск решения исходной задачи отображается последовательностью обхода вершин графа.

На базе предложенного графоаналитического представления математическую модель динамики распространения подземных вод на основе анализа полученных знаний о гидродинамических свойствах отдельных участков недр можно представить в виде кортежа, состоящего из узлов, направленных ребер, типов и атрибутов, что можно задать в виде логической модели [16, 53, 54].

$N = (A, B, F, D, W, V, M, Z)$ – формальное описание модели динамики распространения подземных вод имеет вид,

где

$A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8\}$ – набор узлов графа;

$B = \{b_{12}, b_{23}, b_{25}, b_{34}, b_{36}, b_{47}, b_{56}, b_{67}, b_{78}\}$ – набор ребер между узлами;

$F = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7, f_8\}$ – параболическое уравнение геофильтрации подземных вод в частных производных, описывающее прохождение подземных вод в выделенной области;

$D = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8\}$ – размер области распространения;

$W = \{w_{12}, w_{23}, w_{25}, w_{34}, w_{36}, w_{47}, w_{56}, w_{67}, w_{78}\}$ – весовой коэффициент связи, характеризующий ширину переходной области между относительно постоянными участками;

$V = \{v_{12}, v_{23}, v_{25}, v_{34}, v_{36}, v_{47}, v_{56}, v_{67}, v_{78}\}$ – параболическое уравнение геофильтрации подземных вод в частных производных, описывающее распространение в переходной области;

$M = \{m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7, m_8\}$ – накопление подземных вод в выделенной области (в %-ном соотношении);

$Z = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8\}$ – знания о фильтрационной неоднородности водовмещающих отложений.

Модель распространения подземных вод также можно представить в виде диаграммы кооперации (рис. 2.3).

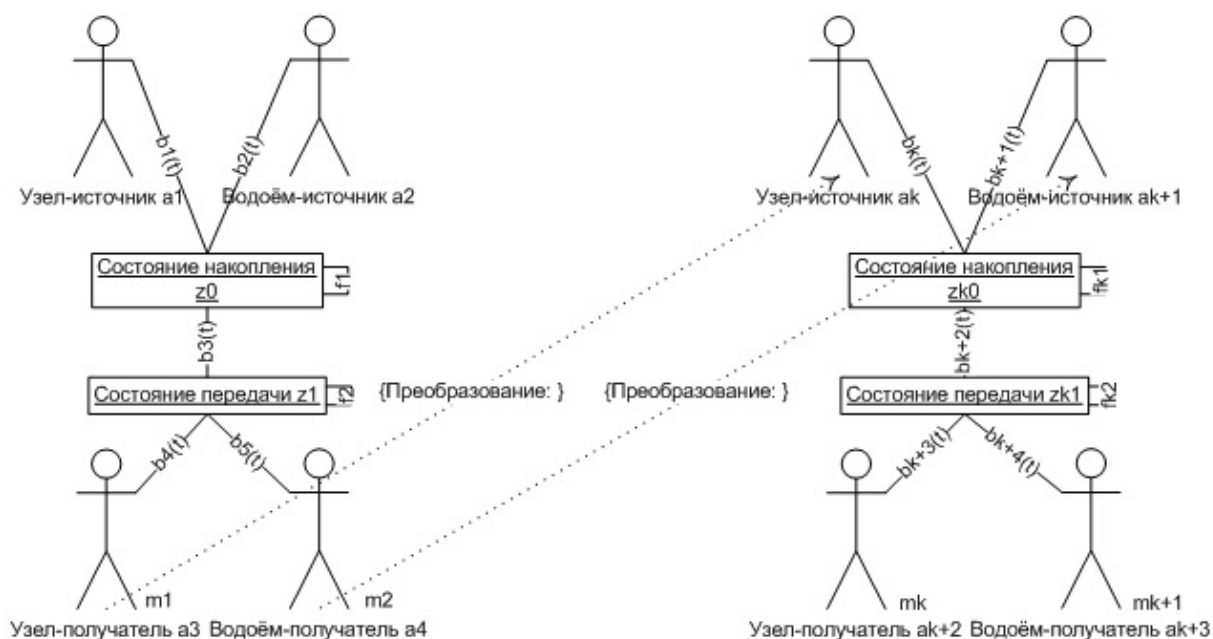


Рис. 2.3 Диаграмма кооперации динамики распространения подземных вод

В качестве актеров диаграммы кооперации были выделены узлы-источники, водоёмы-источники, узлы-получатели и водоёмы-получатели. Связи между узлами обеспечиваются законами распространения подземных вод в переходных средах ($V = \{v_i(t)\}$) и законами распространения подземных вод в узлах ($F = \{f_i(t)\}$). При этом состояние накопления описывается параметром Z_0 , а состояние передачи – Z_1 . При этом узлы-получатели переходят в состояние узла-источника, а водоёмы-получатели – в состояние водоёма-источника.

Разработанные графоаналитическое представление гидрогеологических процессов и математическая модель динамики распространения подземных вод позволяют анализировать воздействие факторов естественной и техногенной нагрузки на гидрогеологическую среду [54].

2.2. Разработка графоаналитического представления фильтрационных процессов в различных породах

Важное значение для изучения загрязнения подземных вод, имеют физико-химические процессы, происходящие при взаимодействии подземных вод с вмещающими их горными породами.

Вода, просачиваясь через грунт, контактирует с различными минеральными солями (NaCl , Na_2SO_4 , MgSO_4 , CaCO_3 , силикатами) и органическими веществами, растворяет или механически захватывает их. При одновременном присутствии в воде кислорода, органических веществ и микроорганизмов (бактерий), находящихся в поверхностных слоях почвы, создаются условия для перевода основных составляющих ряда органических веществ в минеральные кислоты (углерода в угольную, азота в азотную, серы в серную, фосфора в фосфорную и т.п.). Эти образующиеся в подпочвенных водах кислоты взаимодействуют с широко распространенными в природе известняками - карбонатами кальция, железа, доломитами $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ и

другими породами, что приводит к поступлению в воду хорошо растворимых гидрокарбонатов Ca, Mg, Fe [16, 53, 54].

Фильтрация воды через почву частично сопровождается и ионообменной адсорбцией ионогенных примесей; так, почвенные комплексы хорошо задерживают фосфаты, происходит обмен адсорбированного почвой Na^+ на K^+ и т.п.

При разработке модели распространения ареалов загрязнения подземных вод использованы оценки наличия загрязняющих веществ, образующихся при формировании хвостохранилищ, а также учтена фильтрационная неоднородность водовмещающих отложений. За основу была взята математическая модель динамики распространения подземных вод, описанная в четвертом разделе [42, 54].

Графоаналитическое представление фильтрационных процессов в различных породах, представленное на рисунке 2.4, заключается в описании в узлах графа параметров и функций по фильтрации и распространению химических веществ, а также в установлении параметров обмена химическими веществами между смежными участками, а также в установлении параметров обмена химическими веществами между смежными участками [54].

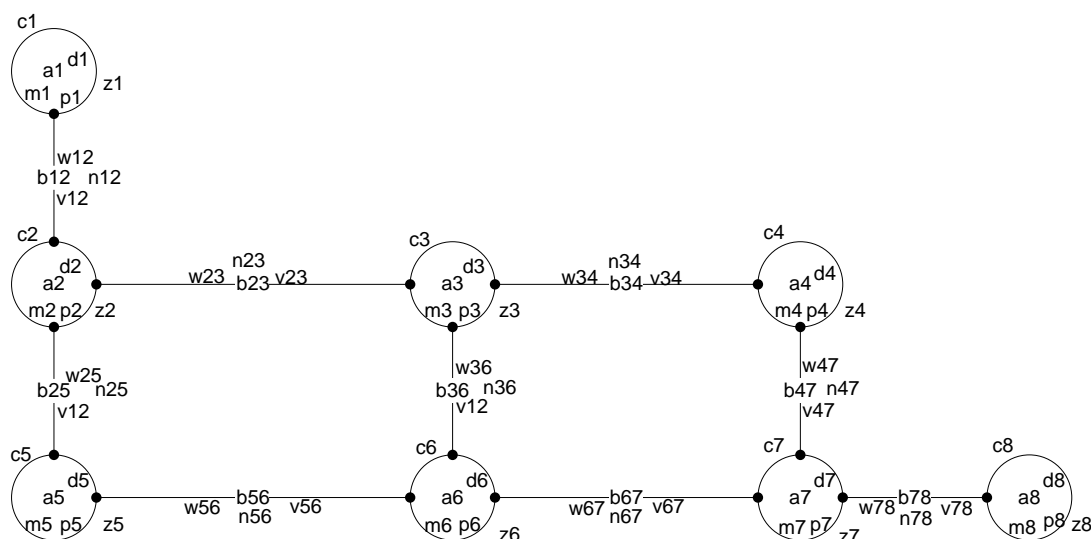


Рис. 2.4 Графоаналитическое представление фильтрационных процессов в различных породах

Модель распространения ареалов загрязнения подземных вод, обусловленных антропогенной деятельностью в горно-промышленном районе, основанная на графоаналитическом представлении фильтрационных процессов в различных породах, будет выглядеть следующим образом [16, 53, 54]:

$$P = \{A, B, F, D, W, V, M, P, N, Z\}$$

где

$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8\}$ – функция по фильтрации и распространению химических веществ в выделенной области;

$N = \{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, n_7, n_8\}$ – параметр обмена химическими веществами между относительно постоянными участками;

$Z = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8\}$ – знания о фильтрационной неоднородности водовмещающих отложений.

Разработанная модель способна к адаптации в условиях изменяющегося техногенного воздействия.

3. РЕАЛИЗАЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕЧЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СТАРООСКОЛЬСКОМ И ГУБКИНСКОМ ГОРОДСКОМ ОКРУГЕ

3.1. Иерархия объектов модели знаний о динамике уровня подземных ВОД

На территории Старооскольского и Губкинского городского округа производится забор питьевой воды в основном из альб-сеноманского водоносного горизонта, и лишь небольшая доля воды используется из турон-маастрихтского водоносного горизонта (рис. 3.1) [42].

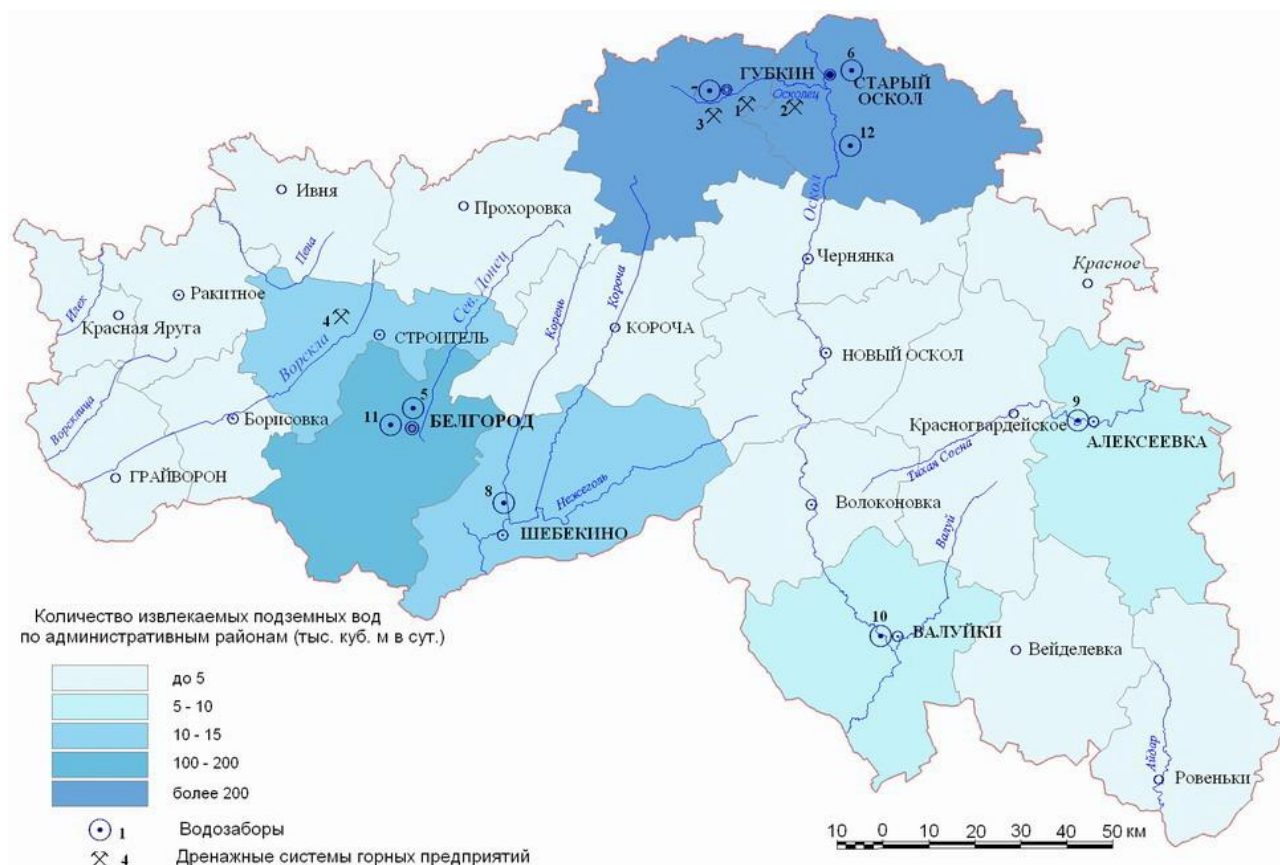


Рис. 3.1 Использование подземных вод на территории Белгородской области

[32]

Рассмотрим иерархию потоковых объектов модели знаний о динамике уровня подземных вод. Выделим в модели вещественный потоковый объект, представляющий собой водную массу, протекающую между точками маршрута в единицу времени. Данный потоковый объект будет характеризоваться следующими параметрами [9-14]:

$$Q=[q_1, h_1, h_2, v], \quad (1)$$

где: q_1 —объем воды, в кубических метрах; h_1 – верхняя граница потока (расстояние от поверхности земли до водяного зеркала в скважине, в метрах); h_2 – нижняя граница потока (расстояние от поверхности земли до нижней границы водоносного горизонта, в метрах); v – скорость движения подземных вод (скорость фильтрации), в метрах в секунду. Данный потоковый объект имеет вещественный тип в иерархии потоковых объектов модели. Фактически это ключевой потоковый объект, который моделирует движение воды в определенной области. Для моделирования процессов водозабора из скважин, и дренажных шахт ГОКов, определим отдельный потоковый объект родитель следующего вида [9-14]:

$$\text{Водоотбор}=[q, q_{max}], \quad (2)$$

где: q —объем воды, отобранный из скважины за сутки, в кубических метрах; q_{max} – максимальный возможный объем отбора воды из скважины в сутки, в кубических метрах. Для данного потокового объекта введем потоковые объекты, которые соответствуют технологическим объектам водозаборов.

Для моделирования влияния климатических условий, введем в модель управляющий потоковый объект, моделирующий изменение климатических условий следующего вида [9-14]:

$$\text{Климат}=[\text{осадки}, \text{засуха}, \text{сезон}], \quad (1)$$

Поля *Климат.осадки* и *Климат.засуха* хранят значение логического типа данных, а поле *Климат.сезон* принимает целое значение от 1 до 4, где 1- зима, 2-весна, 3-лето, 4- осень.

Далее рассмотрим узловые объекты модели. В качестве узловых объектов будем рассматривать следующие виды техногенных сооружений [9-14]:

1. Водозаборы, находящиеся на территории Старооскольского и Губкинского городского округа (рис. 3.2):

- 1) Ильинский водозабор.
- 2) Воротниковский водозабор.
- 3) Незнамовский водозабор.
- 4) Бор-Анпиловский водозабор.
- 5) Гуменский водозабор.
- 6) Водозабор северной промкомзоны.
- 7) Водозабор МУП «ОЖКХ».
- 8) Водозабор «Лебеди».
- 9) Водозабор п. Троицкий.
- 10) Водозабор «Теплый колодезь».
- 11) Водозабор «Парковый».
- 12) Водозабор «Городской парк».
- 13) Водозабор «Яр-Кучугуры».

2. Техногенные сооружения, относящиеся к инфраструктуре Стойленского и Лебединского горно-обогатительных комбинатов (рис. 3.2):

- 1) СГОК.
- 2) ЛГОК.
- 3) Хвостохранилище СГОКа.
- 4) Хвостохранилище ЛГОКа.

В качестве управляющих узловых объектов будем рассматривать:

- 1) Климатический фактор.
- 2) Забор воды.

Водозаборы, представленные в модели, обладают унифицированным функциональным алгоритмом. Рассмотрим их работу на примере Ильинского водозабора. Данный узловой объект на вход принимает управляющий потоковый объект «кл.усл.1» на выходе экземпляр потокового объекта – « Q » и «Водоотбор». Метод узлового объекта является композицией узловых объектов нижнего уровня, так как каждый водозаборный комплекс состоит из

нескольких скважин с различными параметрами, рассмотрим структуру узлового объекта, соответствующего скважине Ильинского водозабора.

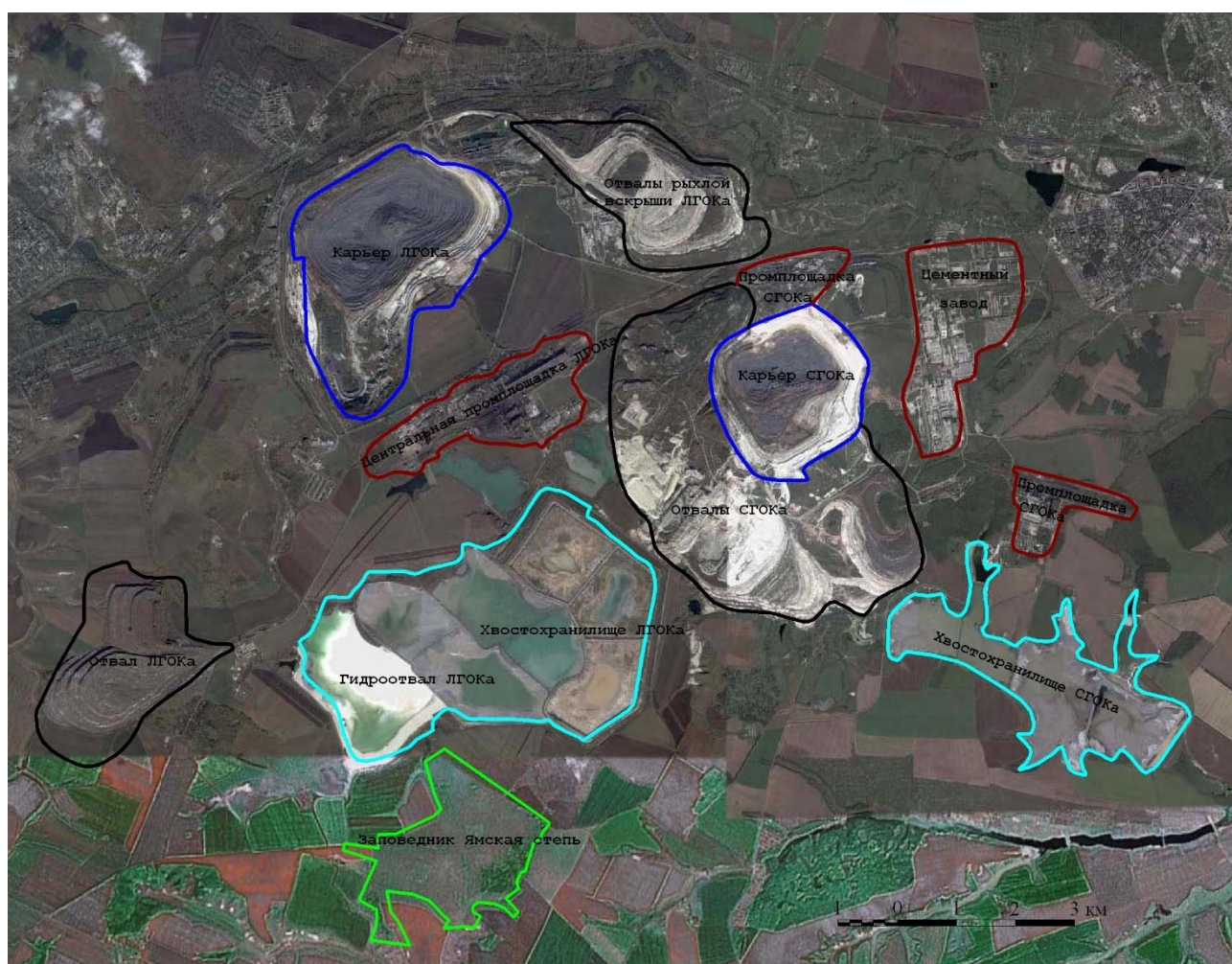


Рис. 3.2 Расположение горнодобывающего кластера на территории Старооскольского и Губкинского городского округа

Рассмотрим подробнее объектные характеристики данного узлового объекта [9-14]:

- q – количество воды, протекающей за сутки в текущей скважине ($\text{м}^3/\text{сут}$);
- h_2 – нижняя граница водоносного горизонта в текущей скважине (м);
- $h_{1_{max}}$ – максимальный уровень подземных вод (м);

- q_{max} – максимальный запас водоносного горизонта (m^3);
- n – порядковый номер скважины текущего водозаборного комплекса;
- k – коэффициент фильтрации породы сквозь которую протекает вода;
- l – расстояние между соседними скважинами;
- $debit_{max}$ – максимальное количество откачиваемой воды;
- $currentDebit$ – количество воды, откаченное за текущие сутки.

Значения, указанные в модели, могут быть изменены для показателей, перечисленных выше с целью осуществления различных экспериментов на модели.

Все представленные выше показатели характеризуют отдельную скважину. Приведенные выше показатели являются компонентами формулы закона Дарси [Ф.М. Бочерев и др, 1969]. Рассмотрим подробнее показатель – коэффициент фильтрации. Данный коэффициент показывает скорость фильтрации при градиенте напора равном единице. Данный показатель зависит от типа почв, из которых состоит водоносный горизонт. Объектные характеристики скважины используются в описании метода данного узлового объекта, который в свою очередь, определяет процесс перетекания подземных вод через текущую точку.

3.2. Разработка метода узлового объекта

Рассмотрим метод узлового объекта «Скважина 1» подробнее [9-14]. Оператор *random* – генерирует случайное число в промежутке от нуля до единицы. По умолчанию уровень воды в скважине задается с помощью *random* в долях от 0,35 до 0,65 от максимального уровня воды в скважине. Переменная «*Q*» метода узлового объекта позволяет рассчитать суточный объем воды, откачиваемый из скважины в кубических метрах. Согласно исходным данным,

значение показателя суточного объема откачиваемой воды «*currentDebit*» для данной скважины варьируется в пределах от 1228 до 1258 кубических метров, при условии, что значение показателя «*currentDebit*» установлено в нуль. Также имеется возможность принудительной установки объема откачиваемой воды «*currentDebit*» до необходимых значений, в таком случае количество откачиваемой воды по умолчанию будет игнорироваться. Переменная «*h1*» содержит рассчитанное значение верхней границы водоносного горизонта. Переменная «*F*» – представляет собой площадь поперечного сечения скважины в квадратных метрах. Переменная «*h2*» записывает нижнюю границу водоносного горизонта, причем для конкретной скважины данный показатель неизменен. Переменная «*v*» позволяет рассчитать, в соответствии с законом Дарси скорость движения подземной воды. Далее осуществляется задержка, равная одним суткам реального времени. Таким образом, данный метод будет срабатывать один раз в сутки модельного времени и осуществлять перерасчет интересующих показателей на основании текущих климатических условий и круглосуточного объема забора воды. Методы скважин всех водозаборов будут иметь подобную структуру за исключением значений объектных характеристик [9-14, 16, 53, 54].

Как видно из модели, представленной на рисунке 3.3 и рисунке 3.4, на контекстной диаграмме расположены: управляющий блок для генерации климатических условий, а также блоки, моделирующие техногенные сооружения, влияющие на уровень подземных вод. Блок «*Климатический фактор*» является генератором и одновременно генерирует на все водозаборы номер сезона. Климатические условия влияют на уровень подземных вод посредством соответствующего потокового объекта. Так же данный блок моделирует естественное пополнение подземных вод осадками, просочившимися через почву.

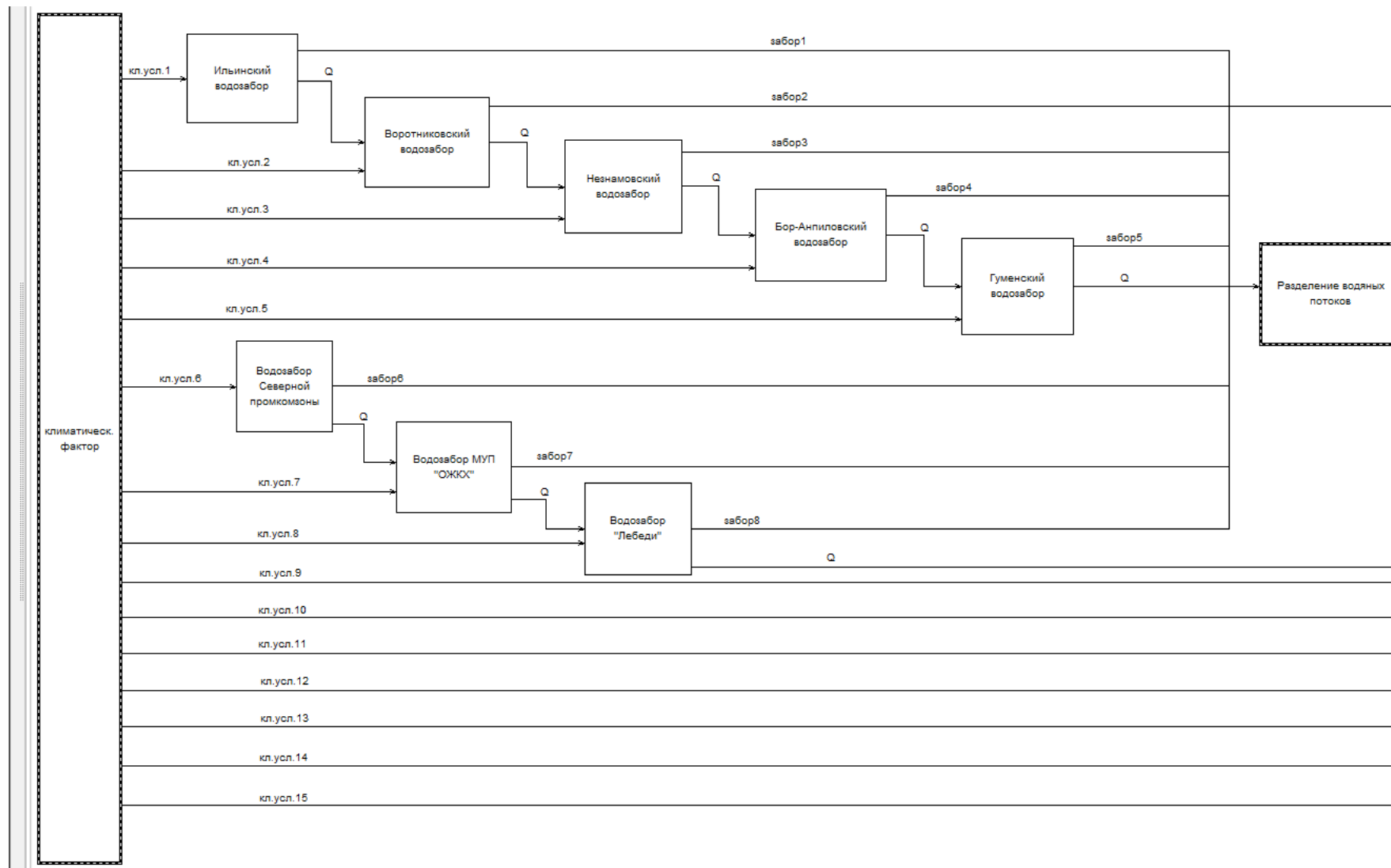


Рис. 3.3 Контекстная модель распространения подземных вод

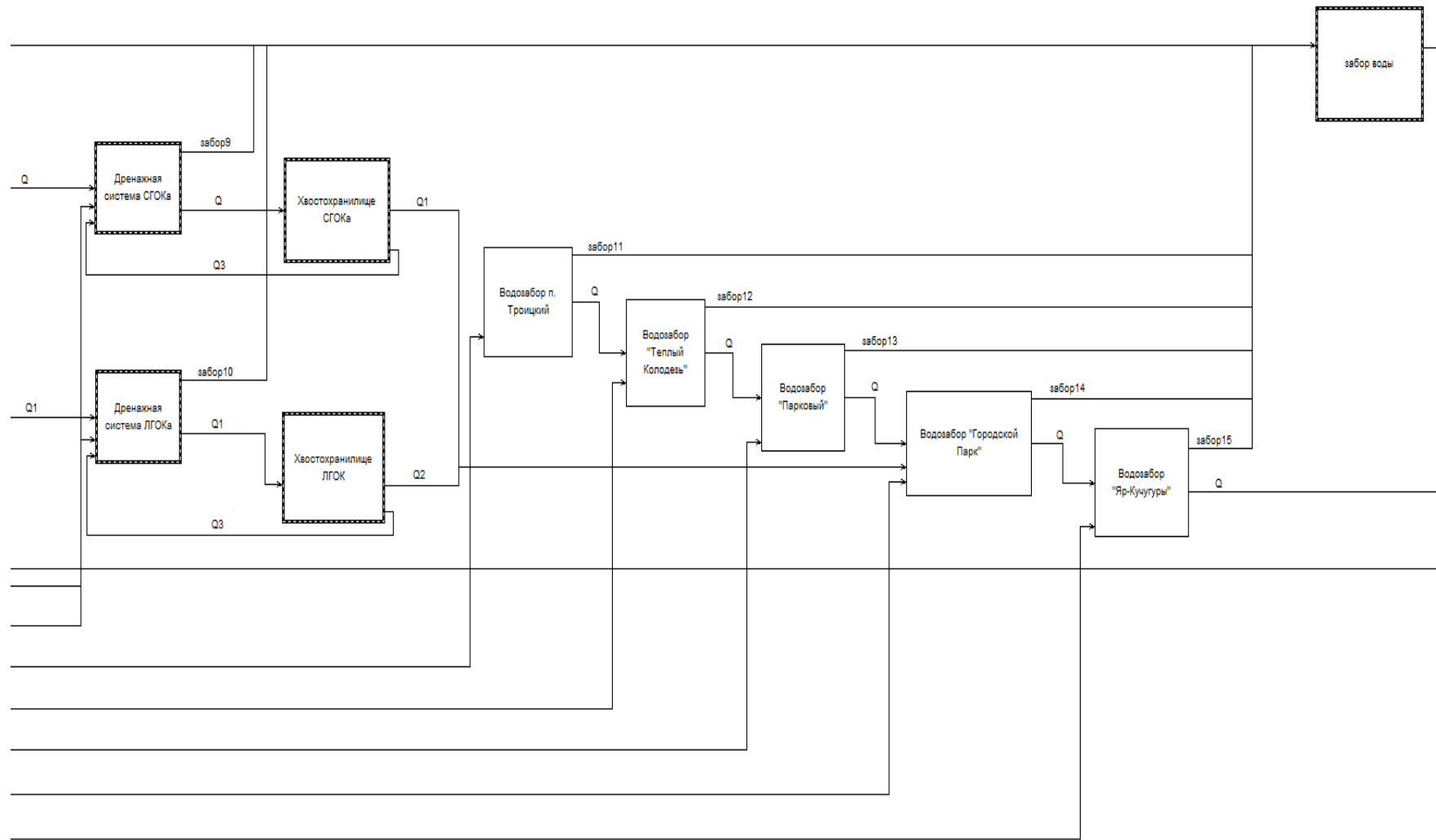


Рис. 3.4 Контекстная модель распространения подземных вод (продолжение)

Последовательность расположения техногенных сооружений на модели отражает действительное расположение водозаборов, ГОКов и др. Поток подземных вод, как было описано выше, на модели представлен в виде потокового объекта « Q ». Данный потоковый объект моделирует направление движения подземных вод от Ильинского водозабора к Воротниковскому водозабору и т.д. Как видно из модели, из каждого блока, представляющего собой техногенный узел, выходит потоковый объект, моделирующий водозабор. Данный потоковый объект позволяет в модели учесть откачку воды из скважин в соответствии статистическими данными о средних отборах воды на отдельных участках водозаборов и горно-обогатительных комбинатов [9-14].

Каждый водозабор состоит из совокупности скважин, которые, собственно, и являются ключевыми техногенными сооружениями, влияющими на уровень подземных вод. Рассмотрим структуру Ильинского водозабора, состоящего из 19 скважин. Причем все скважины расположены последовательно по ходу течения подземных вод в рассматриваемом водоносном горизонте. Для удобства скважины пронумерованы в порядке их монтажа по ходу движения подземных вод.

Как видно из рисунка 3.5 и рисунка 3.6, все скважины имеют одинаковую структуру: в качестве входных потоковых объектов выступают водный поток и климатические условия, в качестве исходящих – водозабор и водный поток. Также на модели расположены два дополнительных блока. Первый блок – генерирует погодные условия в соответствие с текущим сезоном. Метод узлового объекта данного блока в соответствии со статистическими значениями вероятностей появления осадков или засухи в определенные сезоны, генерирует погодные условия в области Ильинского водозабора. Блок «Водоотбор» является блоком-сумматором, задача которого состоит в суммировании объемов откаченной воды в сутки со всех 19 скважин [9-14, 16, 53, 54].

Далее рассмотрим систему откачки воды для осушения ГОКов.

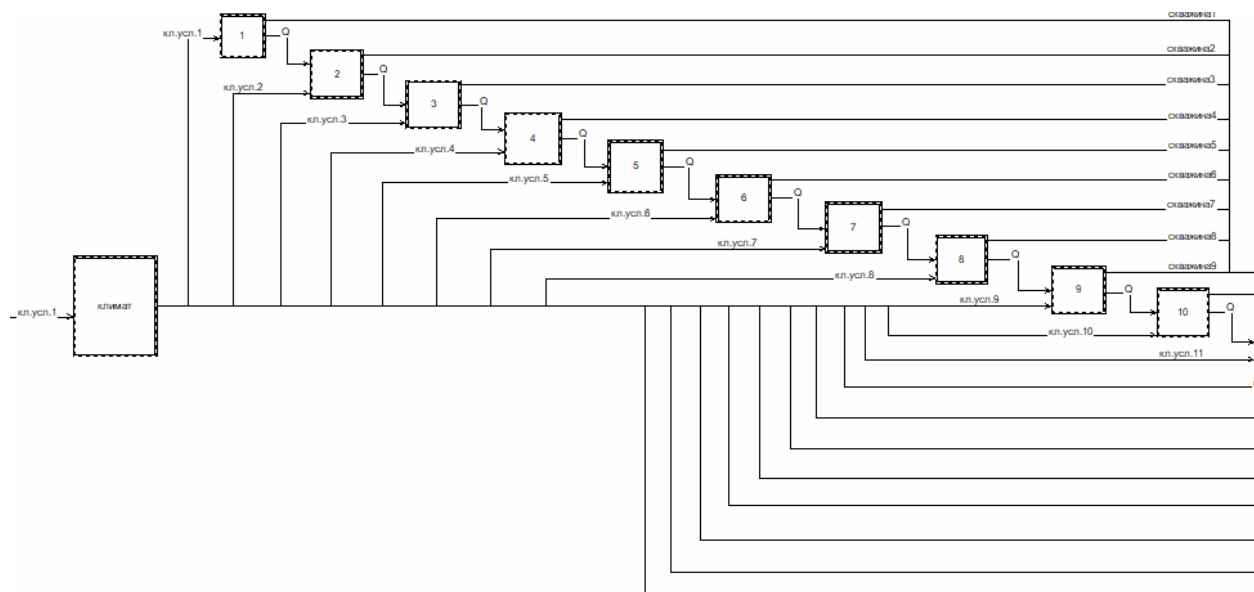


Рис. 3.5 Модель Ильинского водозабора

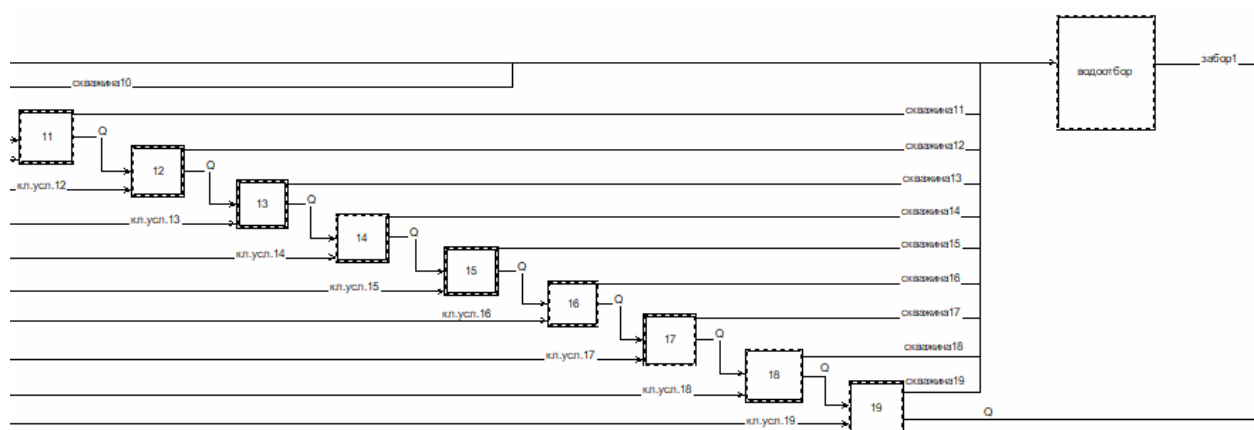


Рис. 3.6 Модель Ильинского водозабора (продолжение)

3.3. Модель откачки воды от горно-обогатительных комбинатов

Модель откачки воды от горно-обогатительных комбинатов описана единым функциональным алгоритмом. Рассмотрим их работу на примере СГОКа. Данный узловой объект на вход принимает управляющий потоковый объект « Q » на выходе экземпляр потокового объекта – « Q » и «Водоотбор». Метод узлового объекта отражает работу дренажной системы ГОКа,

производящую водозабор из всех водоносных слоев около комбината. На одном из этапов добычи из руды отделяют вскрышную (пустую) породу, смешивают с водой и получившуюся пульпу отправляют по пульпопроводу в хвостохранилище. Процесс забора воды и отправки пульпы в хвостохранилище отражен в методе объекта «СГОК» [13].

Рассмотрим подробнее ключевые объектные характеристики данного узлового объекта [9-14]:

- q_{max} – предельное количество воды поступающее из всех водоносных слоев в дренажную систему СГОКа ($m^3/сут$);
- q – фактическое количество воды, откачиваемое дренажной системой СГОКа ($m^3/сут$);
- $dolya_vozvrat$ – доля воды, которая попадает обратно из хвостохранилища для осуществления тех. процессов СГОКа;
- $dolya_vody$ – доля воды в пульпе, которая поступает в хвостохранилище;
- $dolya_goroda$ – доля воды, забираемая на городские нужды;
- q_pulpa – количество пульпы, поступающее в хвостохранилище в сутки ($m^3/сут$).

Значения, указанные в модели, могут быть изменены для показателей, перечисленных выше с целью осуществления различных экспериментов на модели, связанных с откачкой воды и использования технической воды для нужд в горно-обогатительном комбинате.

Рассмотрим метод узлового объекта «СГОК» подробнее [9-14]. В основе метода лежит получение количества воды из соседнего водозабора альб-сеноманского водоносного горизонта. Также в методе задается значение откачки воды из всех водоносных слоев, стоит отметить, что при помощи оператора *random* имитируется количество отбираемой воды в диапазоне от 91000 до 92000 $m^3/сут$. На основе, отобранной воды, вычисляется количество, отбираемое на городские нужды (определено в объеме 85% от общего забора,

остальные 15% отводятся на внутренние производственные процессы). Далее узловой объект «СГОК» обеспечивает перекачку в хвостохранилище пустой породы, разбавленной с водой в виде пульпы. Доля воды в пульпе определяется переменной «*dolya_vody*» и по умолчанию задана в размере 50%. Метод узлового объекта «ЛГОК» функционально идентичен за исключением значений объектных характеристик.

На рисунке 3.7, на контекстной диаграмме расположены: блок «СГОК», функционально включающий дренажную систему и систему генерации пульпы. Блок «Хвостохранилище СГОКа» является приёмником пульпы от блока «СГОК».

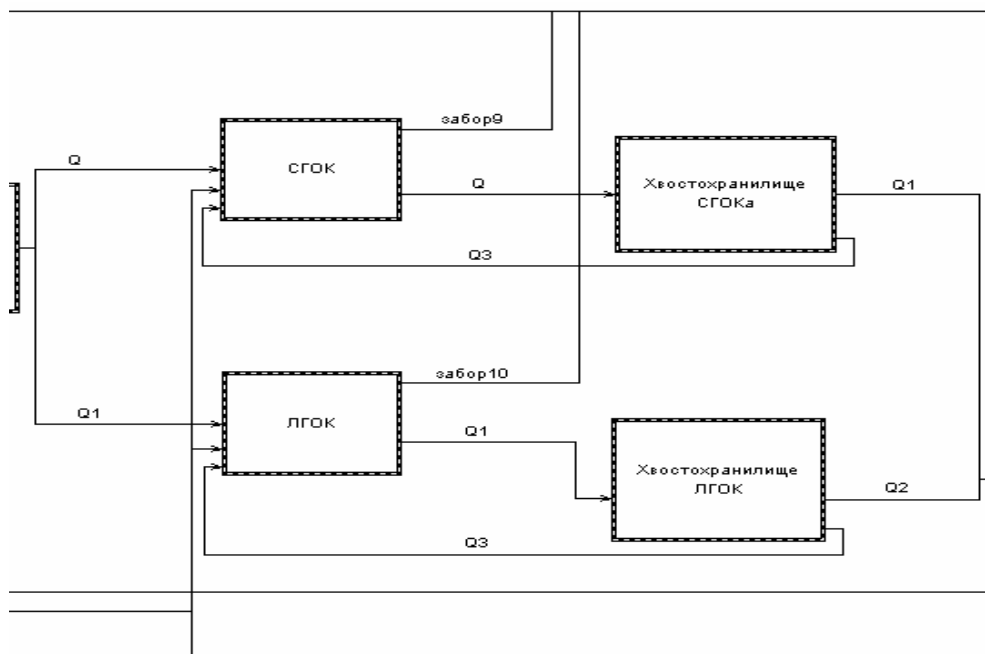


Рис. 3.7 Модель взаимодействия ГОКов и хвостохранилищ

Рассмотрим хвостохранилища ГОКов [9-14]. Модель функционирования хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов описана единым функциональным алгоритмом. Рассмотрим их работу на примере хвостохранилища СГОКа. Данный узловой объект на вход принимает управляющий потоковый объект «*Q*» на выходе экземпляр потокового объекта

– « $Q1$ » и « $Q3$ ». Метод узлового объекта имитирует процесс отделения воды от пустой породы, складываемой в хвостохранилище, а также попадание очищенной от хвостов воды в производственный процесс комбината. Процесс функционирования хвостохранилища отражен в методе объекта «Хвостохранилище СГОКа».

Рассмотрим подробнее ключевые объектные характеристики данного узлового объекта [13]:

- $shir$ – ширина хвостохранилища (м);
- dl – длина хвостохранилища (м);
- k – коэффициент фильтрации породы сквозь которую протекает вода;
- $dolya_vozvrata$ – доля воды, которая попадает обратно из хвостохранилища для осуществления тех. процессов СГОКа;
- $dolya_vody$ – доля воды в пульпе, которая поступает в хвостохранилище;
- $h1_{max}$ – значение гидродинамического давления выше защитного слоя хвостохранилища (м);
- $h2$ – значение гидродинамического давления ниже защитного слоя хвостохранилища (м);
- l – толщина защитного слоя хвостохранилища.

Значения, указанные в модели, могут быть изменены для показателей, перечисленных выше с целью осуществления различных экспериментов на модели, связанных с загрязнением почвы технической водой из хвостохранилища.

Все представленные выше показатели характеризуют отдельную скважину. Приведенные выше показатели являются компонентами формулы закона Дарси. В случае оценки водопроницаемости защитного слоя хвостохранилища закон Дарси стоит использовать, принимая $h1$ и $h2$ как

гидродинамические давления выше и ниже оцениваемого защитного слоя, при этом параметр l отражает толщину оцениваемого слоя.

Рассмотрим метод узлового объекта «Хвостохранилище СГОКа» подробнее [9-14]. В основе метода лежит получение пульпы из узлового объекта «СГОК». Затем имитируется отложение пустой породы в хвостохранилище согласно доле воды в пульпе (переменная $dolya_vody$) и возврат очищенной технической воды в узловой объект «СГОК». В переменной « q » осуществляется подсчет количества воды проникаемой в почву из хвостохранилища в сутки. В переменной « v » ведется подсчет скорости протекания воды. Метод узлового объекта «Хвостохранилище ЛГОКа» функционально идентичен за исключением значений объектных характеристик.

3.4. Имитация процесса распространения подземных вод с применением модели

Рассмотрим имитацию процесса распространения подземных вод с применением разработанной модели [13]. Для этого запустим модель с масштабом времени: 1 секунда реального времени равна 1 суткам модельного времени. На рисунке 3.8 показан процесс симуляции распространения подземных вод в заданных областях. Прямоугольные индикаторы на блоках – скважинах показывают текущую наполненность водоносного горизонта. Так же имеется возможность в режиме реального времени вывести промежуточные значения потоковых объектов модели.

Рассмотрим зависимость уровня подземных вод от сезонных климатических условий [9-14]. Для этого мы запустили модель на исполнение в указанном выше варианте и вывели на график объем воды в 5 скважине за сутки и номер сезона (рис. 3.8).

Из графиков видно, что при наступлении лета (номер сезона = 3) вероятность засухи повышается, а, соответственно, уровень подземных вод снижается.

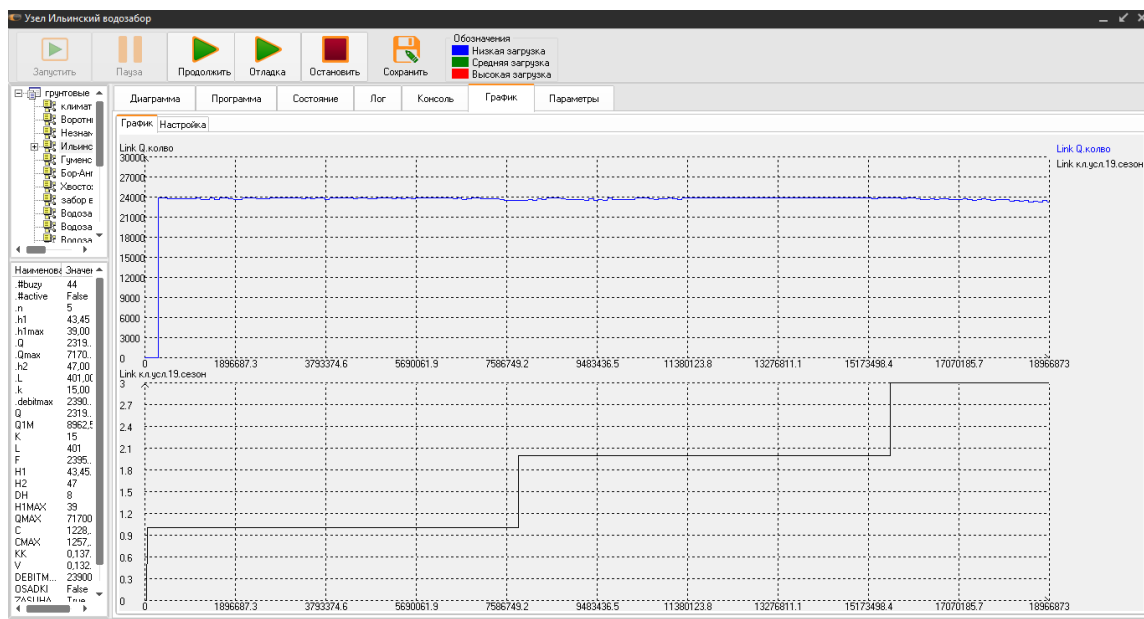


Рис. 3.8 График изменения объема подземных вод в зависимости от сезона

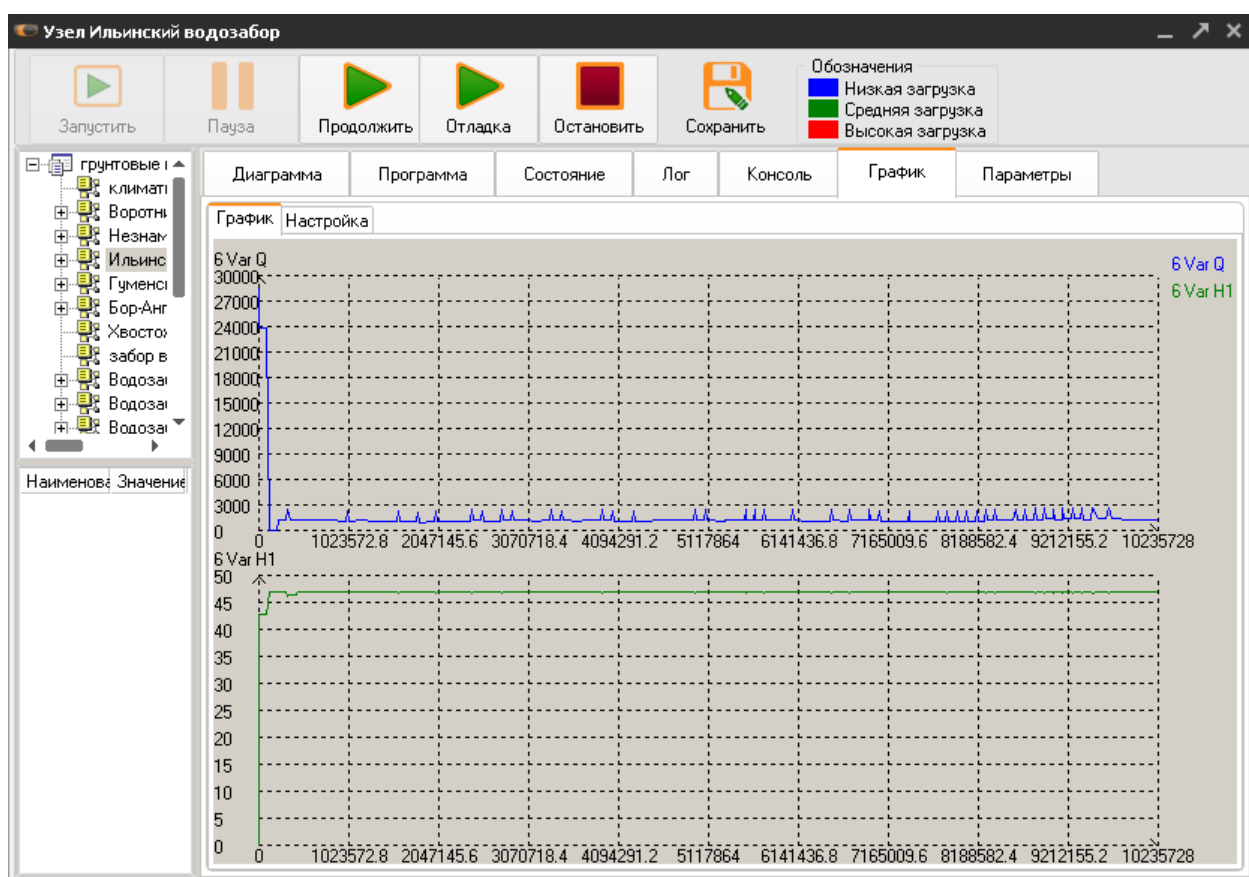


Рис. 3.9 График изменения уровня подземных вод в зависимости от увеличения количества откачиваемой воды

Таким образом, увеличение забора воды в одной из скважин водозабора приводит к осушению скважин водозабора, находящихся по направлению течения воды.

Рассмотрим имитацию процесса водозабора через дренажную систему ГОКов. Для этого запустим модель с масштабом времени: 1 секунда реального времени равна 1 суткам модельного времени.

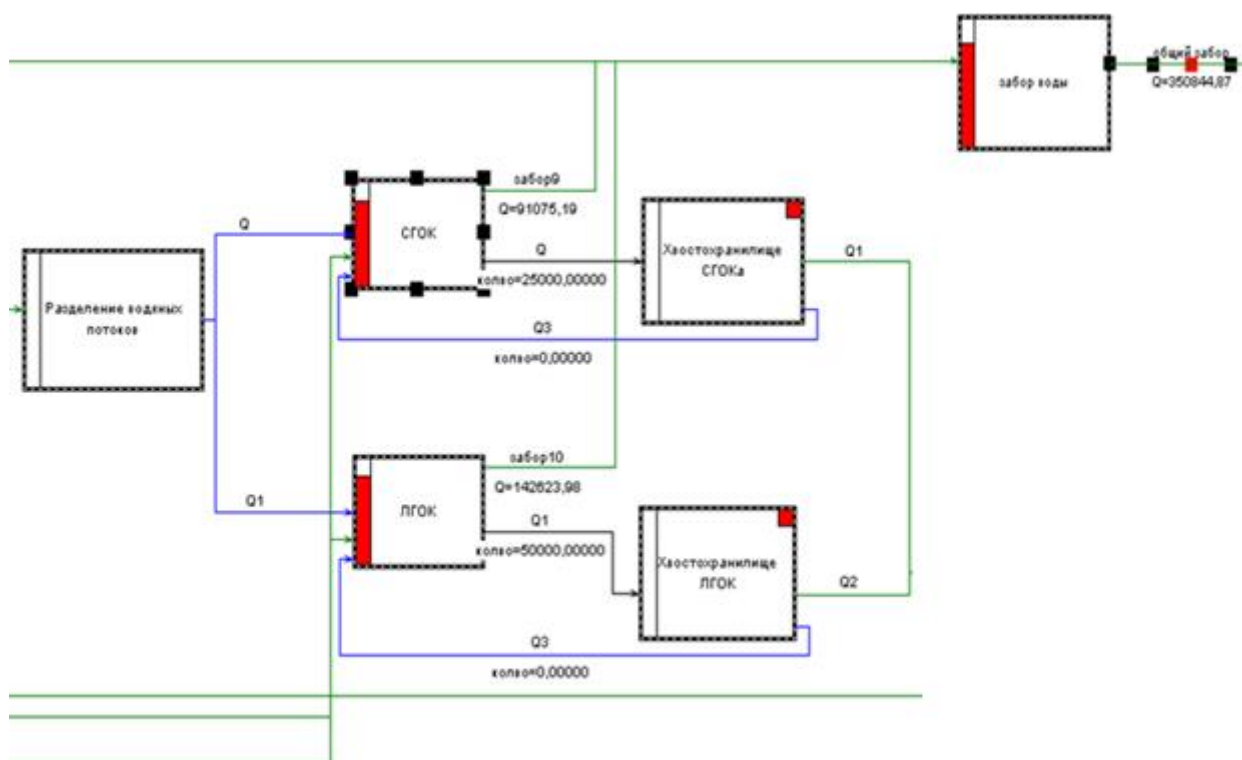


Рис. 3.11 Функционирование дренажных систем ГОКов и транспортировка пульпы в хвостохранилище

На рисунке 3.11 показан процесс забора подземных вод из всех водоносных слоев, затронутых при разработке ГОКов. Прямоугольные индикаторы на блоках ГОКов показывают количество забираемой воды на нужды города, остаточное количество воды используется ГОКами в процессе функционирования. Количество забираемой воды в сутки отражено через связи «забор9» и «забор10» и параметр «Q», при этом общий забор воды на нужды

Старооскольского и Губкинского городского округа вычисляется в узловом объекте «забор воды». Прямоугольный индикатор блока «забор воды» отражает долю от максимально возможного забора воды в сутки. Также на рисунке 3.9 отражено взаимодействие ГОКов со смежными хвостохранилищами. Через связь «Q» и параметр «колво» имитируется подача пульпы в хвостохранилище [9-14, 16, 53, 54].

На рисунке 3.12 отражены графики количества забираемой воды на городские нужды в сутки. Верхний график показывает количество забираемой воды из СГОКа, нижний – из ЛГОКа.

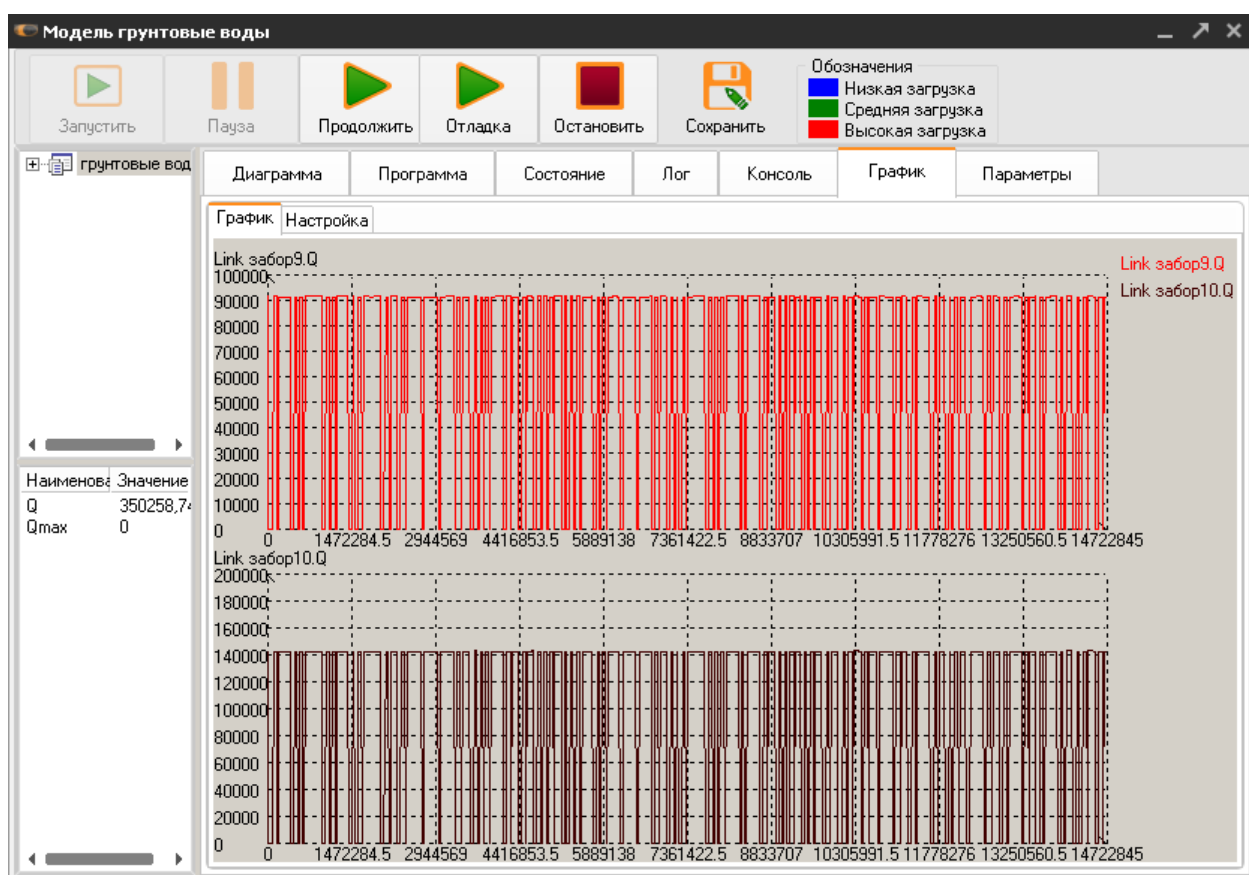


Рис. 3.12 Объем забираемой воды из ГОКов на нужды городских округов

Из приведенных выше графиков следует, что количество забираемой воды через дренажную систему СГОКа составляет примерно 90000 м³/сут, а через систему ЛГОКа – примерно 140000 м³/сут. На рисунке 3.13

демонстрируется совокупный забор воды в сутки на территории Старооскольского и Губкинского городского округа.

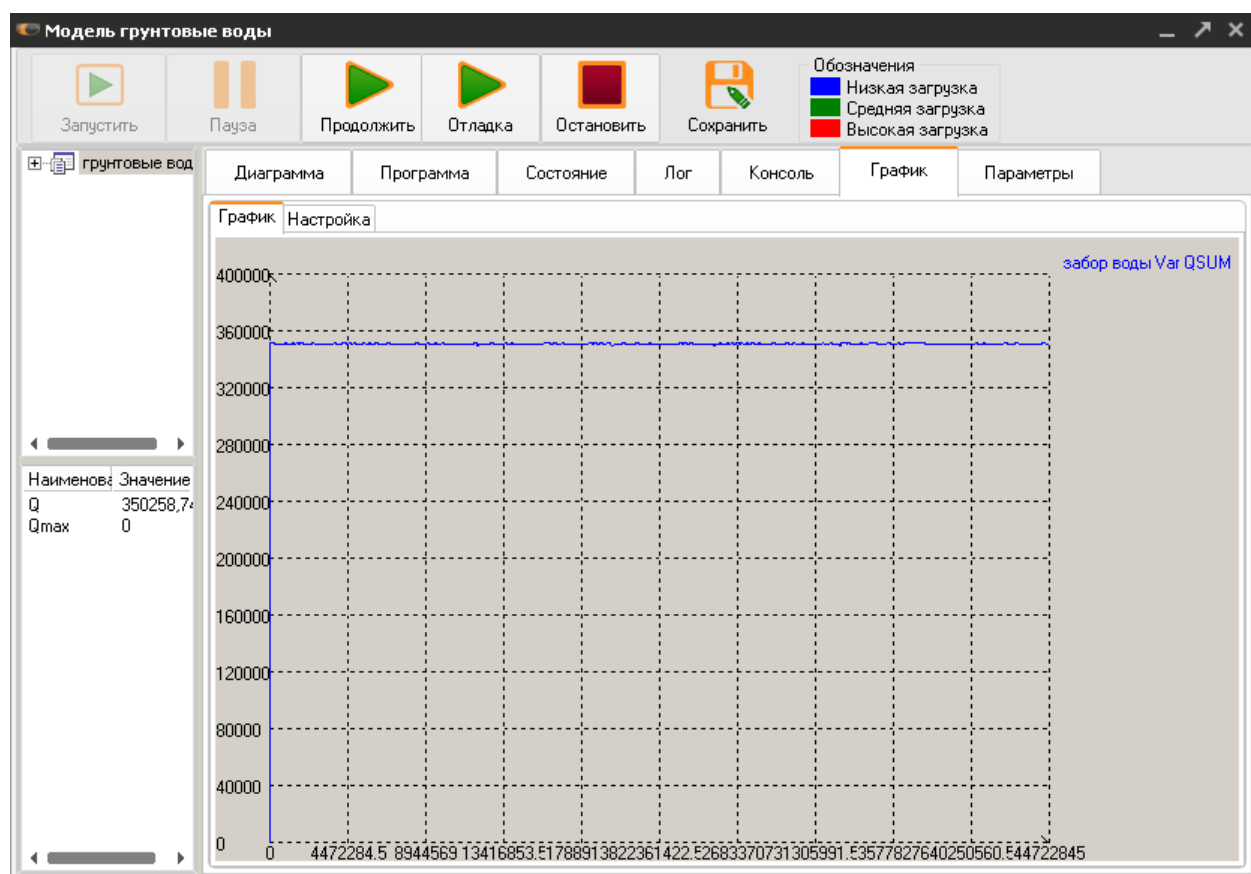


Рис. 3.13 Общее количество забираемой воды на нужды городских округов

Из приведенного выше графика следует, что количество забираемой воды на нужды Старооскольского и Губкинского городского округа приходится примерно 360000 м³/сут.

В качестве второго эксперимента увеличим потребление воды из ГОКов на городские нужды. Для этого изменим значение показателя «*dolya_goroda*» с 0,85 (85% всего водозабора) до 0,99 (практически полный забор воды на городские нужды). Рассмотрим обновленные графики показателей количества воды забираемой из ГОКов, а также их влияние на общий забор воды в сутки. На рисунке 3.14 представлены обновленные графики водозабора объектов «СГОК», «ЛГОК» в соответствии с измененным показателем «*dolya_goroda*».

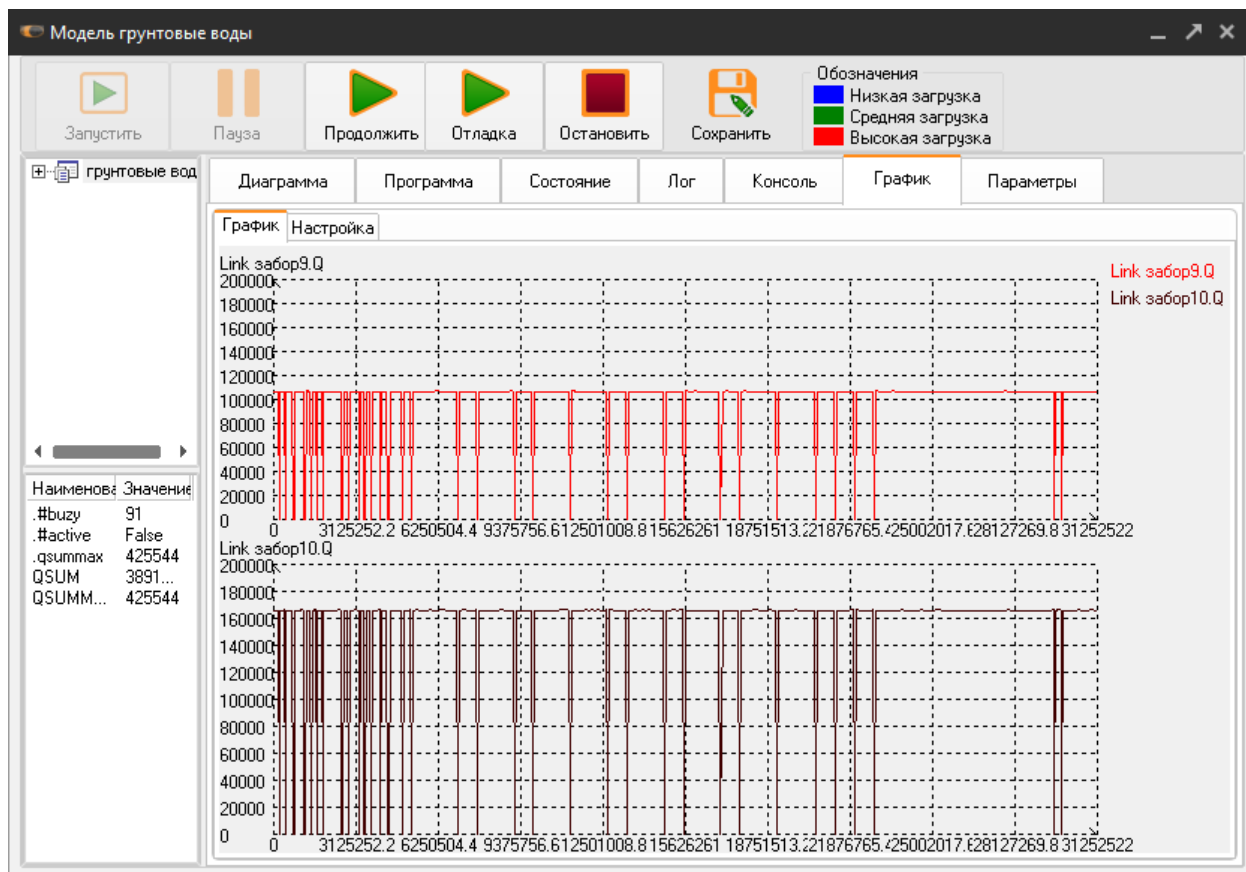


Рис. 3.14 Увеличение объемов забираемой воды из ГОКов на нужды городских округов

Приведенные графики свидетельствуют о том, что количество забираемой воды через дренажную систему СГОКа увеличилось на 15000 м³/сут и составило примерно 105000 м³/сут, а через систему ЛГОКа – увеличилось на 25000 м³/сут и составило примерно 165000 м³/сут. На рисунке 3.15 представлен обновленный график водозабора объекта «забор воды» в соответствии с измененным показателем «dolya_goroda».

Согласно графику, приведенному выше, совокупный водозабор увеличился с 350000 м³/сут до 390000 м³/сут., что соответствует увеличенному объему заборов воды из дренажных систем СГОКа и ЛГОКа на нужды Старооскольского и Губкинского городского округа.

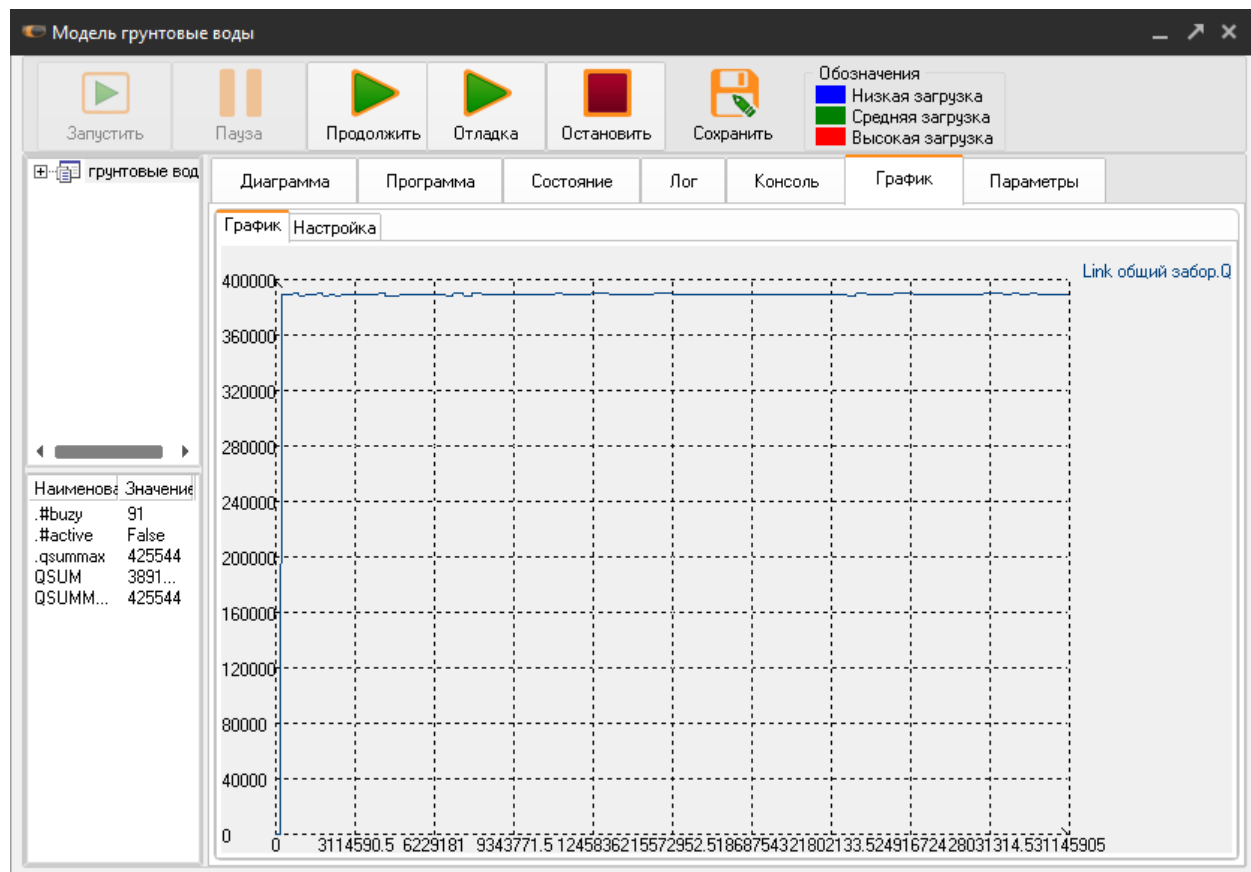


Рис. 3.15 Увеличение объема забираемой воды на нужды городских округов

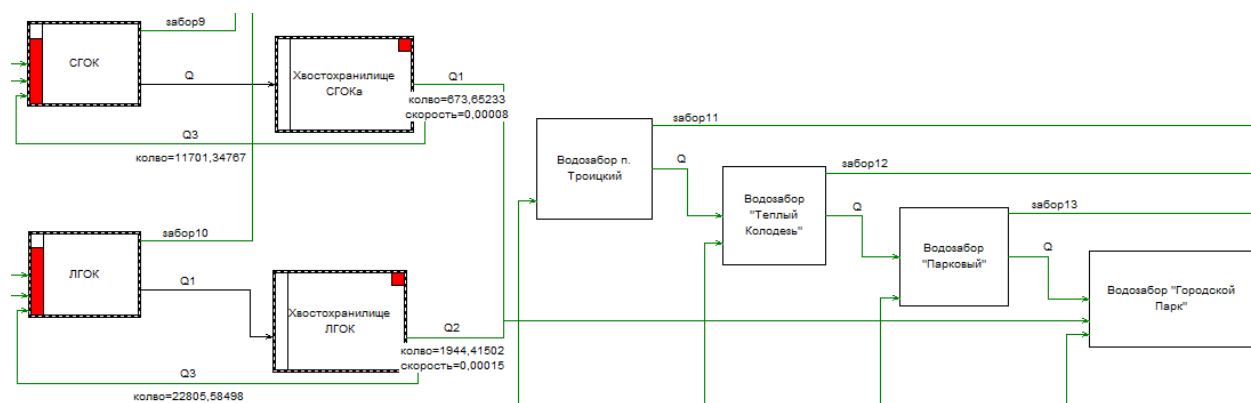


Рис. 3.16 Очистка и транспортировка воды из хвостохранилищ в ГОКи

Таким образом, увеличение забора воды на городские нужды через дренажные системы ГОКов привели к увеличению совокупного забора воды.

Рассмотрим имитацию процесса функционирования хвостохранилищ ГОКов, а также оценим их техногенное влияние на окружающую среду. Для этого запустим модель с масштабом времени: 1 секунда реального времени равна 1 суткам модельного времени.

На рисунке 3.16 показан процесс отделения хвостов от воды, благодаря которому очищенная вода поступает обратно в производственный процесс ГОКов. Красные квадраты-индикаторы на блоках хвостохранилищ указывают на их функционирование. Количество возвращаемой воды в ГОКи в сутки отражено через связь «Q3» и параметр «колво». Стоит отметить, что количество возвращаемой из хвостохранилища воды в модели определяется параметром «dolya_vody» Также на рисунке 3.16 отражено влияние ГОКов на окружающую среду. Через исходящие связи «Q1» и «Q2» и параметры «колво» и «скорость» имитируется проникновение загрязненной воды в почву.

На рисунке 3.17 отражены графики количества отфильтрованной в хвостохранилищах воды, возвращенной в ГОКи в сутки. Верхний график показывает количество возвращенной воды в СГОК, нижний – в ЛГОК.

Из приведенных выше графиков следует, что количество возвращаемой воды через хвостохранилище СГОКа составляет примерно 12000 м³/сут, а через хвостохранилище ЛГОКа – примерно 23000 м³/сут.

На рисунке 3.18 продемонстрированы графики количества проникающей воды из хвостохранилища в почву в сутки. Верхний график показывает количество воды, проникшей из хвостохранилища СГОКа, нижний – из хвостохранилища ЛГОКа.

Из приведенных выше графиков следует, что количество проникающей в почву воды через хвостохранилище СГОКа составляет примерно 670 м³/сут, а через систему ЛГОКа – примерно 1950 м³/сут.

На рисунке 3.19 продемонстрированы графики скорости воды, проникающей из хвостохранилища в почву в сутки. Верхний график показывает количество воды, проникшей из хвостохранилища СГОКа, нижний – из хвостохранилища ЛГОКа.

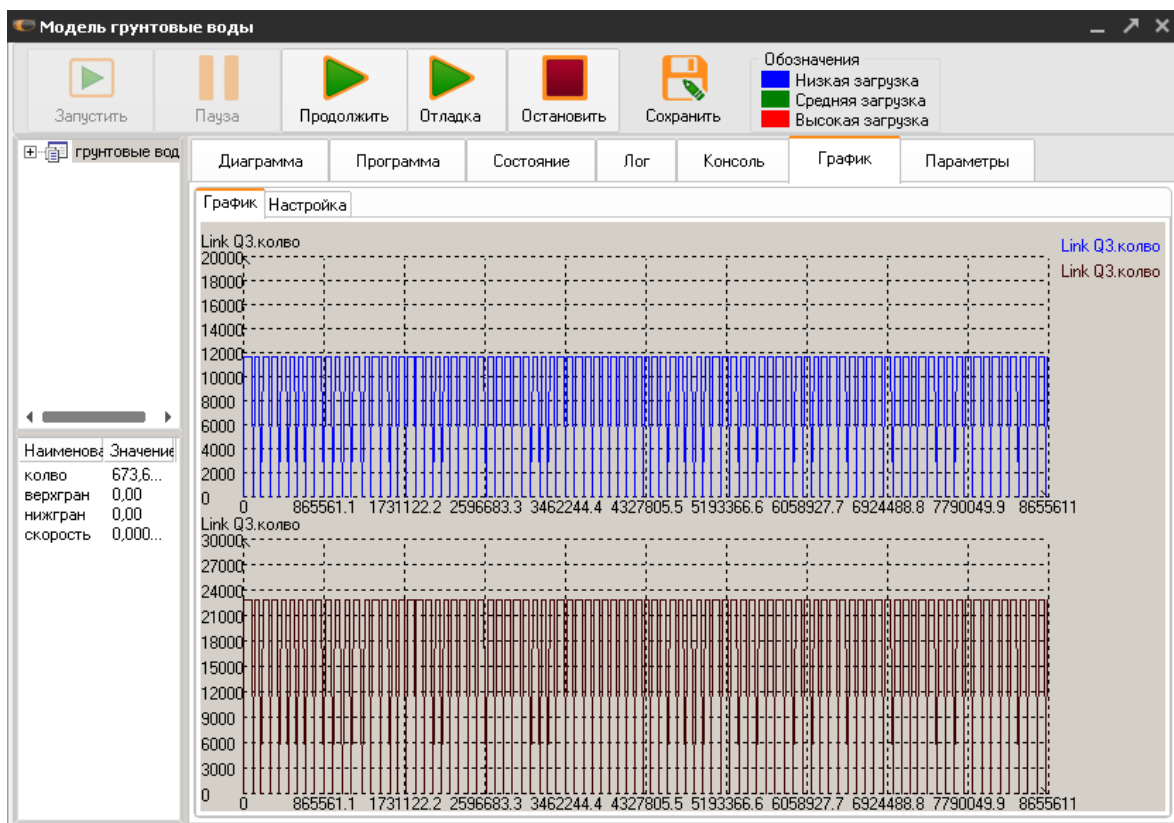


Рис. 3.17 Количество отфильтрованной и транспортированной в ГОКи воды

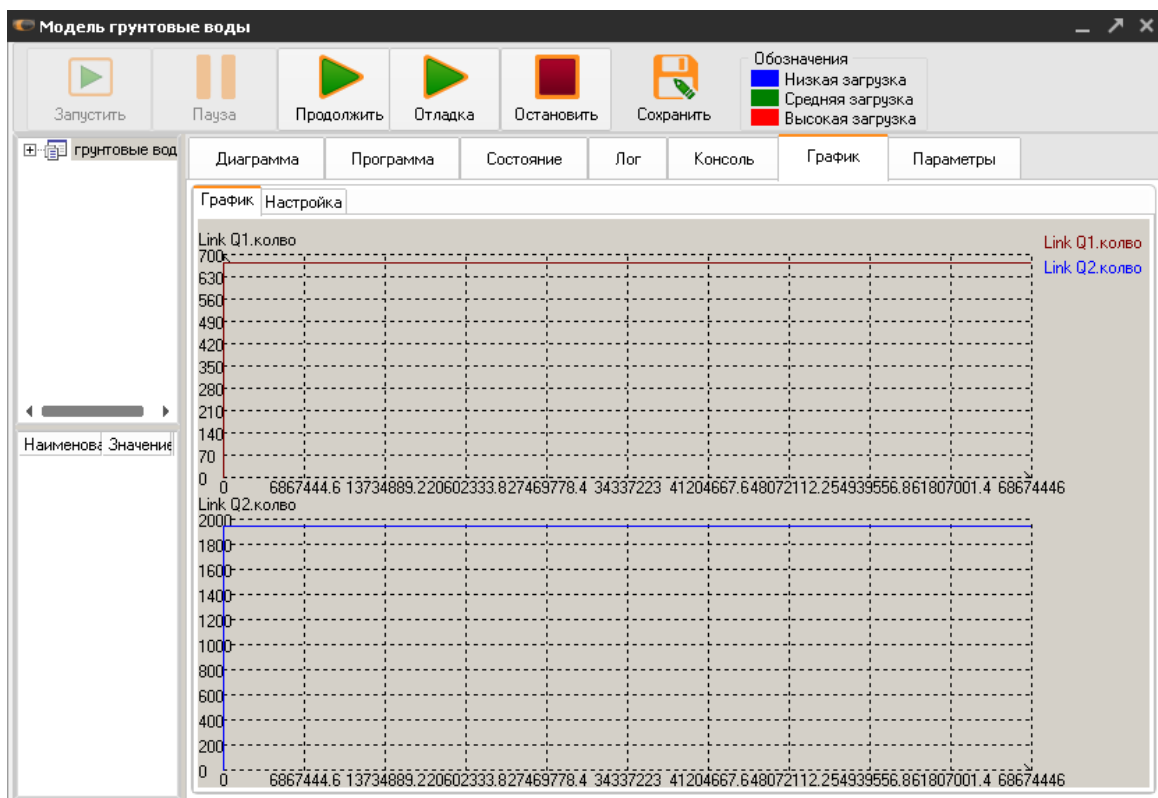


Рис. 3.18 Количество загрязненной воды, проникающие в почву через хвостохранилища

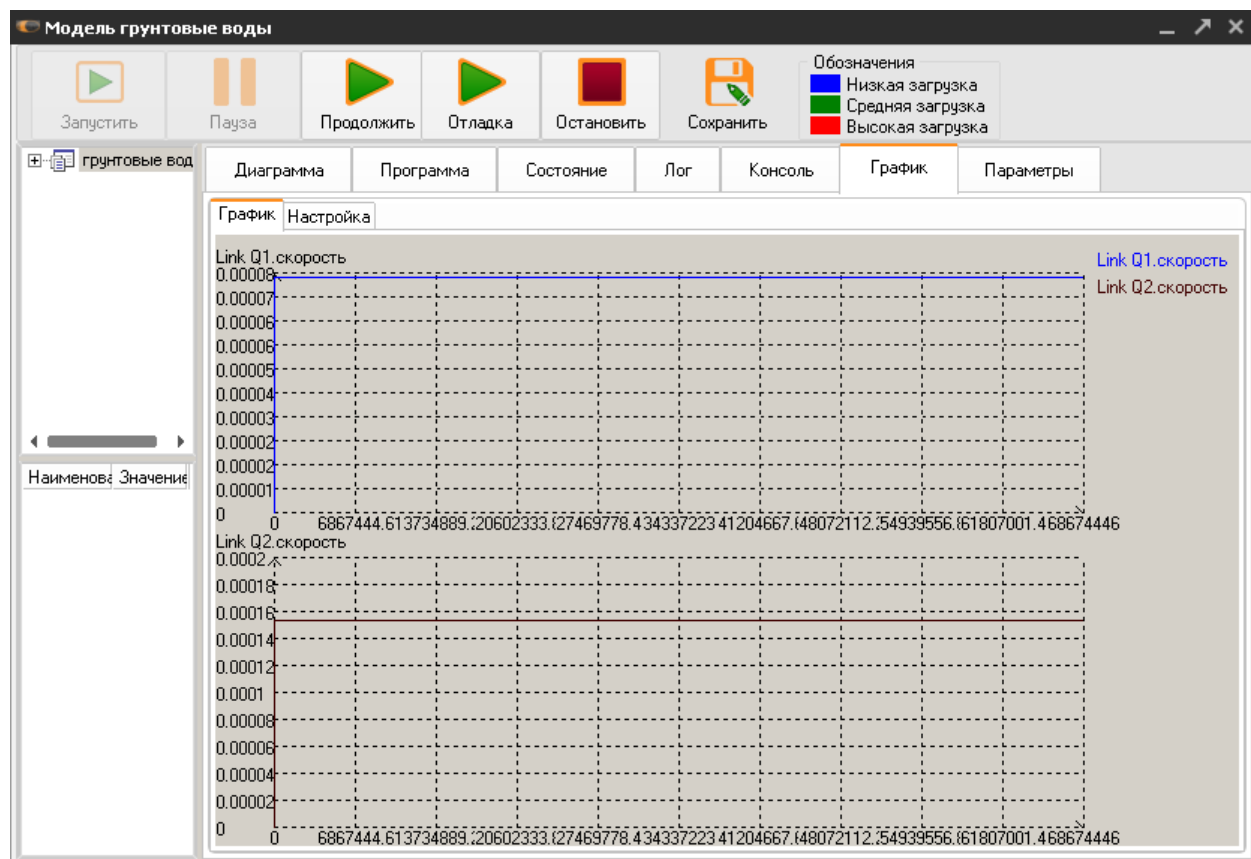


Рис. 3.19 Скорость проникновения загрязненной воды в почву через хвостохранилища

Из приведенных выше графиков следует, что скорость проникающей в почву воды через хвостохранилище СГОКа составляет примерно 0,00008 м/сут, а через хвостохранилище ЛГОКа – примерно 0,00015 м/сут.

Стоит отметить, что объемы и скорость течения проникающей загрязненной воды в целом незначительны в качестве техногенной угрозы. Проникающая вода распределяется между многочисленным количеством водоносных слоев, находящихся под хвостохранилищами, при условии, что в качестве эксплуатируемого водоносного горизонта на территории Старооскольского и Губкинского городского округа выступают только альб-сеноманский и турон-маастрихтский водоносные горизонты.

В качестве третьего эксперимента увеличим толщину защитного слоя хвостохранилищ. Для этого изменим значение показателя «L» с 3 метров (по

умолчанию) до 4 для хвостохранилища СГОКа, и изменим значение показателя «L» с 3,1 метров (по умолчанию) до 4,1 для хвостохранилища ЛГОКа. Рассмотрим изменения графиков показателей количества и скорости течения проникающей в почву воды из хвостохранилищ ГОКов. На рисунке 3.20 представлены обновленные графики объемов проникающей воды в почву через узловые объекты «хвостохранилище СГОКа» и «хвостохранилище ЛГОКа» в соответствии с измененным показателем толщины защитного слоя хвостохранилища.

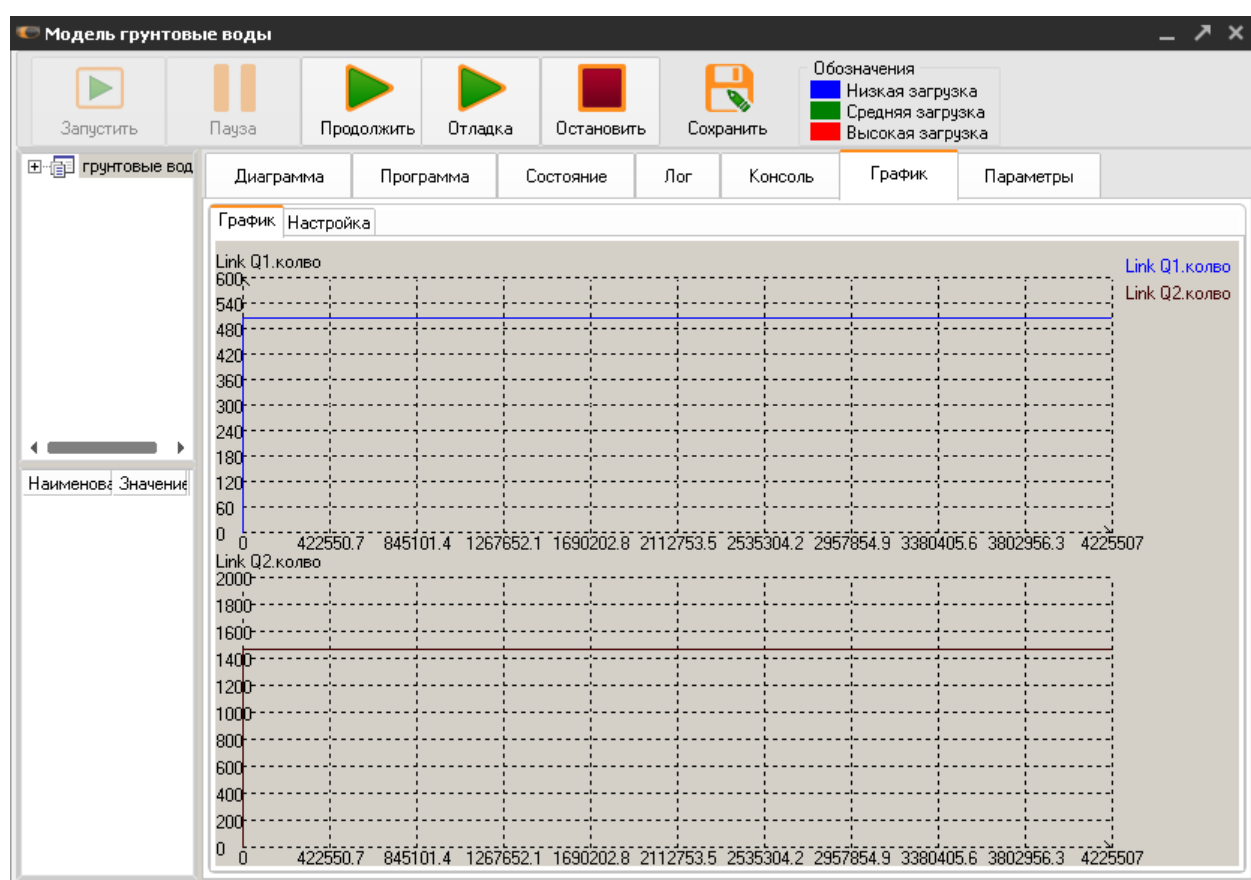


Рис. 3.20 Изменение количества загрязненной воды, проникающей в почву через хвостохранилища при увеличении защитной стенки

Из приведенных выше графиков следует, что количество проникающей в почву загрязненной воды через хвостохранилище СГОКа снизилось на

165 м³/сут примерно до 505 м³/сут, а через хвостохранилище ЛГОКа – примерно на 480 м³/сут до 1470 м³/сут.

На рисунке 3.21 представлены обновленные графики скорости проникающей воды в почву через узловые объекты «хвостохранилище СГОКа», «хвостохранилище ЛГОКа» в соответствии с измененным показателем толщины защитного слоя хвостохранилища.

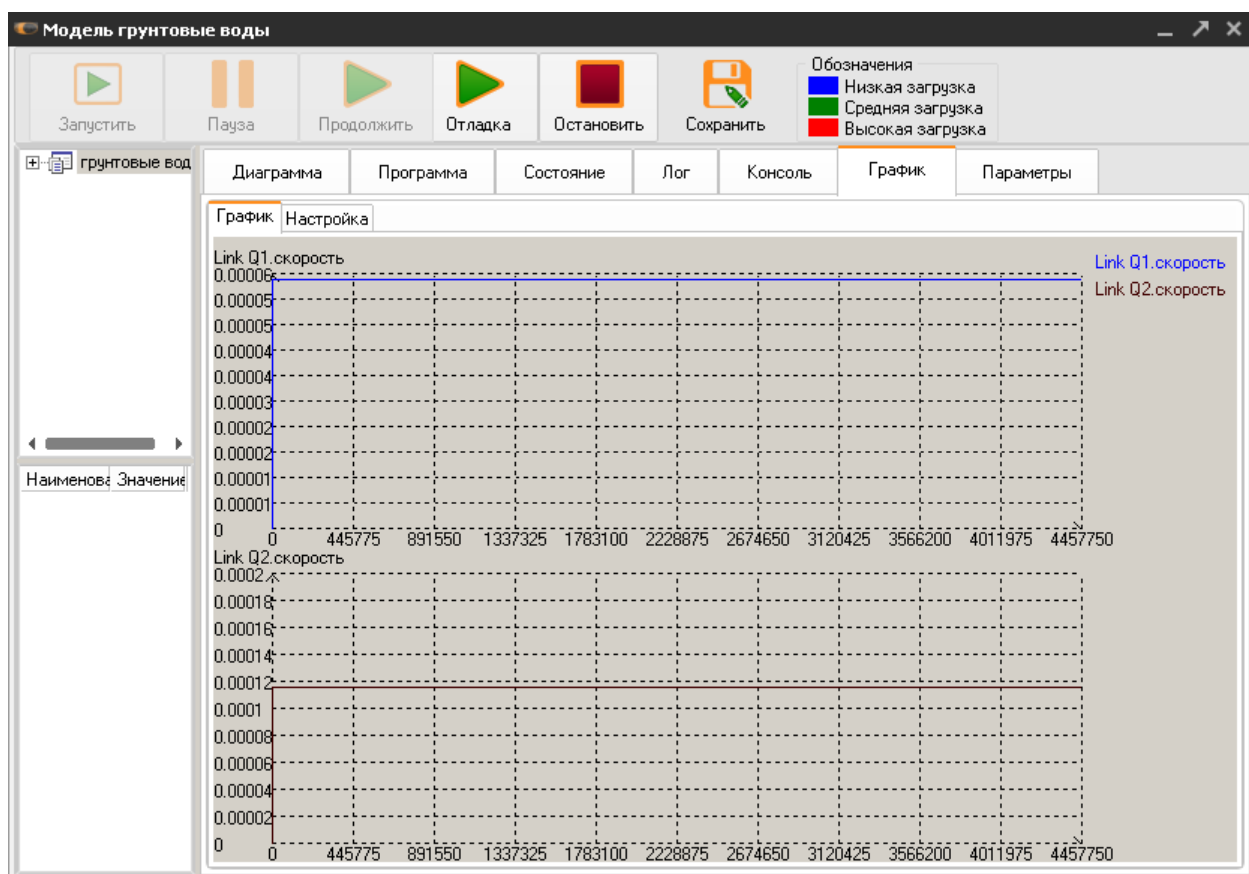


Рис. 3.21 Изменение скорости проникновения загрязненной воды в почву через хвостохранилища при увеличении защитной стенки

Из приведенных выше графиков следует, что скорость проникающей в почву загрязненной воды через хвостохранилище СГОКа снизилась на 0,00002 м/сут примерно до 0,00006 м/сут, а через хвостохранилище ЛГОКа – примерно на 0,00003 м/сут до 0,00012 м/сут.

Таким образом, изменение толщины защитной стенки хвостохранилища, а также использование эффективных материалов для изоляции хвостов, напрямую влияет на объем и скорость протекающей сквозь защитную стенку загрязненной воды.

Модель отражает сезонные колебания уровня подземных вод. Наличие встроенного языка описания функциональных узлов делает модель очень гибкой в использовании. При проведении экспериментов можно имитировать различные техногенные условия путем изменения соответствующих методов, а также значений показателей узловых объектов [9-14, 16, 53, 54].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью магистерской диссертации являлась разработка модели распространения ареалов загрязнения подземных вод, которая может быть использована для анализа состояния естественных водных ресурсов, их защищенности, а также оценки прогнозных эксплуатационных ресурсов для целей водоснабжения. Конкретная задача заключалась в создании модели применительно к Старооскольско-Губкинскому промышленному району Белгородской области.

Изучение процессов формирования ресурсов подземных вод в условиях открытых горных работ (наличие открытых карьеров, прудов-накопителей (хвостохранилищ), необоснованные водоотборы, уничтожение лесов и др.) необходимо для составления прогнозных значений улучшения качества водоснабжения регионов и для развития рекреационной инфраструктуры. Подземные воды являются компонентой геологической среды, весьма уязвимой к влиянию современных антропогенных воздействий, которые нарушают природные гидрогеологические и геоэкологические условия территории. Возрастающее воздействие антропогенной деятельности может привести к ухудшению геоэкологической обстановки региона и условий формирования ресурсов и качества подземных вод, если своевременно не принимать меры к их изучению, охране и рациональному использованию [40-43, 49, 52].

В результате написания магистерской диссертации были получены следующие результаты [9-14, 16, 53, 54]:

- Разработано графоаналитическое представление гидродинамических процессов на исследуемой территории Старооскольско-Губкинского горно-промышленного района при неравномерном разбиении техногенно измененного участка гидрогеологической среды. В качестве элементов графа были рассмотрены отдельные участки территорий, взаимосвязи между которыми определялись гидродинамическими характеристиками распространения подземных вод между ними.

- Разработана модель динамики распространения подземных вод на основе анализа знаний о гидродинамических свойствах отдельных участков недр путем последовательного решения задачи определения показателей распространения и накопления подземных вод в отдельных участках недр с относительно неизменными гидродинамическими свойствами.

- Разработана модель распространения ареалов загрязнения подземных вод, обусловленных антропогенной деятельностью в Старооскольско-Губкинском горно-промышленном районе, основанная на графоаналитическом представлении фильтрационных процессов в различных породах.

Научно-практическая значимость полученных при написании магистерской диссертации результатов была определена новизной разработанного графоаналитического представления гидродинамических процессов на исследуемой территории Старооскольско-Губкинского промышленного района на основе неравномерного разбиения исследуемых участков недр на области с относительно постоянными гидродинамическими показателями, а также новизной построенных на его основе моделей динамики распространения подземных вод и ареалов их загрязнения на основе анализа знаний о гидродинамических свойствах отдельных участков недр [9-14, 16, 53, 54].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов В.В. Поиски и разведка подземных вод: учеб. пособие. – СПб.: изд-во СПГГИ (ТУ) им. Г.В. Плеханова, 2006.
2. Арлоу Д., Нейштадт А., 2007. UML 2 и Унифицированный процесс. Практический объектно- ориентированный анализ и проектирование. М.: Символ-Плюс, 624.
3. Борисова В.Е. Особенности формирования химического состава подземных вод после ликвидации шахт в Белокалитвенском районе Восточного Донбасса, с. 413-417 Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по материалам IX Междунар. науч.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых): в 2 т. / отв. ред. Р. Р. Гильмутдинов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2016. – Т.2. – 582 с.: ил
4. В.Н. Губин, С.А Сладкопечев Основы экологической геологии (теория и методы) Учебно-методическое пособие для студентов-геологов географического факультета по курсу «Основы экологической геологии», Минск, 2002
5. Грачев С.И., Стрекалов А.В., Хусаинов А.Т. Соответствие вычислительных систем гидродинамических моделей природным и техногенным процессам нефтегазодобычи // Вестник Тюменского Государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика Издательство: Тюменский государственный университет (Тюмень) Том: 1 Номер: 1 (1) Год: 2015 Страницы: 127-135
6. Демин Н.С., Рожкова С.В. Информационный анализ в совместной задаче фильтрации, интерполяции и экстраполяции по непрерывно-дискретным наблюдениям с памятью // Вестник Томского Государственного университета Изд-во: Национальный исследовательский Томский государственный университет (Томск) Номер: 293 Год: 2006 Страницы: 18-25
7. Дорофеев Н.В., Орехов А.А. Структура информационной обработки подсистемы пространственно-временного прогнозирования геодинамики //

Машиностроение и безопасность жизнедеятельности Номер: 1 (15) Год: 2013
Страницы: 24-27 Изд-во: Муромский институт (филиал) Государственного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
"Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых" (Муром)

8. Жданов С.В. АО «Полиметалл Инжиниринг» Методы расчета
депресссионной кривой подземных вод и влияние на устойчивость бортов
карьера. Секция «Гидрогеологические исследования в составе инженерно-
геологических и инженерно-экологических изысканий», с.225-230

9. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Зайцева Н.О. Системно-объектный
инструментарий для имитационного моделирования технологических
процессов и транспортных потоков // Искусственный интеллект и принятие
решений. - №4.- С. 95-103 (2015)

10. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Зайцева Н.О. Системно-объектное
имитационное моделирование транспортных и технологических процессов.
Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.
История. Политология. Экономика. Информатика. – №7 (204), Выпуск 34/1
(2015)

11. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зайцева Н.О., Брусенская И.Н.
Имитационное моделирование транспортных потоков с применением УФО-
подхода // Научные ведомости Белгородского государственного университета.
Сер. История. Политология. Экономика. Информатика – № 22 (165) выпуск
28/1, стр. 148-153 (2013)

12. Жихарев А.Г., Зайцева Н.О., Маторин С.И. О новом графоаналитическом
методе имитационного моделирования Материалы научно-технической
конференции «Кибернетика и высокие технологии 21 века» (С&Т*2013), 14-15
мая 2013 г., том 1, стр. 404 (2013)

13. Жихарев А.Г., Егоров И.А., Маторин С.И., Болгова Е.В., Петина М.А..
Метод извлечения знаний об особенностях распространения подземных вод на
основе системно-объектного подхода. Научные ведомости БелГУ. Сер.

Экономика. Информатика. 2017. Вып. 43. № 16(265). С. 160-169.

14. Жихарев А.Г., Корчагина К.В., Бузов П.А., Акулов Ю.В., Жихарева М.С. Об имитационном моделировании производственно-технологических систем // Сетевой журнал «Научный результат», серия «Информационные технологии», - Вып. № 3 (3), с. 25-31 (2016)

15. Загрязнение, самоочищение и восстановление водных экосистем. М.: Изд-во МАКС Пресс. 2005.

16. Зайцева Н.О., Черноморец А.А. Влияние горнодобывающей промышленности на состояние подземных вод. // Наука и образование: сохраняя прошлое, создаем будущее: сборник статей X Международной научно-практической конференции. В 3ч. Ч.3 – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение» - 2017. С. 60-62.

17. Инженерные изыскания в строительстве. Материалы Одиннадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций. М.: Издательство «Академическая наука», ООО «Геомаркетинг». 2015. 300 с

18. Интерпретация данных ГИС: учебно-метод. пособие / В. Н. Косков; Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2003. – 69 с.

19. Казаков В.Н., Морева А.М. Изучение особенностей химического состава подземных вод Чайковского района Пермского края с.365-370 Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по материалам IX Междунар. науч.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых): в 2 т. / отв. ред. Р. Р. Гильмутдинов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2016. – Т.2. – 582 с.: ил

20. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. СПб.: Недра, 2002 г. – 424 с.

21. Комов В.Э. Проблема экологического состояния подземных вод в шахтерских регионах // Российская наука и образование сегодня: проблемы и перспективы Издательство: Некоммерческое партнерство "Академия методического и технического содействия экспертной деятельности" (Курск) Номер: 3 (10) Год: 2016 Страницы: 61-63

22. Корнилов А.Г., Кичигин Е.В., Колмыков С.Н., Новых Л.Л., Дроздова Е.А.,

- Петин А.Н., Присный А.В., Лазарев А.В., Колчанов А.Ф., 2015. Экологическая ситуация в районах размещения горнодобывающих предприятий региона курской магнитной аномалии. Белгород, ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 157.
23. Корнилов И.А., Колмыков С.Н., Петин А.Н., 2012. Оценка степени воздействия горнодобывающих предприятий КМА на гидроэкологическую ситуацию Белгородской области. Горный журнал. 9: 29-31.
24. Косков Б. В. Использование данных ГИС для оценки гидродинамических параметров продуктивных пластов / Б. В. Косков // Тезисы межрегиональной молодежной научной конференции. – Ухта, 2002. – С. 17–20.
25. Косков Б. В. Определение гидродинамических параметров продуктивных пластов по данным скважинных исследований / Б. В. Косков // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: межвуз. сб. науч. тр.; Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2001. – С. 116–121.
26. Косков Б. В. Оптимизация информационного обеспечения моделирования нефтяных залежей на основе использования гидродинамических параметров, определенных по данным ГИС / Б. В. Косков // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. – 2003. – Вып. 2. – С. 30–33.
27. Косков Б. В. Повышение эффективности гидродинамического моделирования нефтяных залежей за счет получения дополнительной информации о фильтрационных свойствах пластов- коллекторов, оцениваемых по данным ГИС / Б. В. Косков // Высокие технологии в промышленной геофизике: тезисы докладов 3-го научного симпозиума. – Уфа, 2004. – С. 36–38.
28. Косков В. Н. Геофизические исследования скважин (измерения, обработка, интерпретация): учеб. пособие / Б. В. Косков; Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2006. – 148 с
29. Косков В.Н. Геофизические исследования скважин и интерпретация данных ГИС: учеб. пособие / В.Н. Косков, Б.В. Косков. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 317 с.
30. Куделина И.В., Леонтьева Т.В., Фатюнина М.В., Ханина Е.В. Состояние гидросферы урбанизированной территории Оренбургской области // Известия

Оренбургского Государственного аграрного университета Номер: 3 (53) Год: 2015 Страницы: 156-158 Изд-во: Оренбургский государственный аграрный университет (Оренбург)

31. Кужелев П.Д. О применении геостатистики в науках о Земле // Науки о Земле Изд-во: ГеоДозор (Москва) Номер: 4 Год: 2012 Страницы: 077-081

32. Куракина Н.И., Булганин С.Ю., Гридина Е.Г. Пространственный анализ загрязнения акватории финского залива в технологии ГИС // Известия Санкт-Петербургского Государственного электротехнического университета ЛЭТИ Изд-во: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург) Том: 1 Год: 2016 Страницы: 56-62

33. Лехов С.М., Царев М.А. МГУ им. М.В. Ломоносова Сложности определения гидрогеологических параметров методом одиночных откачек из скважин с.230-233

34. Определение устойчивости откосов земляных плотин, береговых склонов и глубоких выемок (Основы инженерной геологии, грунтоведения и механики грунтов):Ю.П. Васильев, В. В. Денисенко, П. А. Ляшенко, Т. В. Любимова. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2011. – 106 с

35. Павлова Н.А., Данзанова М.В., Ефремов В.С. Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН Оценка фильтрационных свойств обводненных грунтов на территории г. Якутска с.236-239

36. ПБ 03-517-02. Общие правила промышленной безопасности для организаций, осуществляющих деятельность в области промышленной безопасности опасных производственных объектов

37. ПБ 03-553-03. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и рассыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом.

38. Пелагеин А.А., Влацкий В.В. Воздействие добычи углеводородов на водные ресурсы на примере Сорочинской цепочки месторождений нефти // Бюллетень Оренбургского научного центра УРО РАН Изд-во: Федеральное

государственное бюджетное учреждение науки Оренбургский научный центр Уральского отделения Российской академии наук (Оренбург)

39. Петин А. Н., Петина В. И., Белоусова Л. И., Гайворонская Н. И. Интенсивность проявления экзогенных геологических процессов на территории Белгородской области // Материалы науч.-практич. конф. «Регион: стратегия оптимального развития». Харьков, 2011. С. 297–300.

40. Петин А.Н., Киреева-Гененко И.А., Лопина Е.М., Симонова М.А., 2016. Техногенная трансформация геологической среды и экологическая ситуация в Старооскольско-Губкинском горнопромышленном районе КМА. Современные тенденции развития науки и технологий. 7-1: 69-72.

41. Петин А.Н., Крамчанинов Н.Н., Погорельцев И.А., Уколов И.М., 2013. Оценка техногенного воздействия на подземные воды в зоне влияния Старооскольско-Губкинского промышленного комплекса. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 15 (3-3): 949-953.

42. Петина М.А., Черноморец А.А., Коваленко А.Н., 2016. Разработка методов приобретения и обработки знаний о формировании новой гидрогеологической среды. Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. 23(244): 140-146.

43. Природные ресурсы и окружающая среда Белгородской области / П.В. Авраменко, П.Г. Акулов, Ю.Г. Атанов [и др.]; под ред. С.В. Лукина. – Белгород : Изд-во БелГУ, 2007. – 556 с.

44. Рассел С., Норвиг П., 2015. Искусственный интеллект. Современный подход. Пер. с англ. М., Вильямс, 1408.

45. Рябенский В.С. Введение в вычислительную математику // учебное пособие Изд-во: ФИЗМАТЛИТ. М., 2008. - 285 с.

46. Сборник временных сметных норм на геологоразведочные работы. ЦРГЦ, МПР РФ. - М., 2006

47. Сборник сметных норм на геологоразведочные работы (ССН), вып. 1, 3,5,7.-М.: ВИЭМС. 1992.

48. Справочник гидрогеолога. Под ред. М.Е. Альтовского. – М.:

Госгеолтехиздат, 1962.

49. Уколова Е. В., Петин А. Н. Геоэкологический анализ влияния объектов размещения (захоронения) отходов горнообогатительных комбинатов Старооскольско-Губкинского горнопромышленного узла Белгородской области // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2013. №3 (27). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/geoekologicheskii-analiz-vliyaniya-obektov-razmescheniya-zahoroneniya-othodov-gornoobogatitelnyh-kombinatov-starooskolsko> (дата обращения: 26.05.2017).
50. Хмелевской В.К. Основы геофизических методов: учебник для вузов /В.К. Хмелевской, В.И. Костицын; Перм. ун-т. – Пермь, 2010. – 400 с.: ил.
51. Хрисанов В.А., Бахаева Е.А. Современные геоморфологические процессы на территории Белгородской области и их антропогенная активизация. // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. – 2011. - №15 (110), выпуск 16.
52. Чендев Ю.Г., Петин А.Н. Естественные изменения и техногенная трансформация компонентов окружающей среды староосвоенных регионов (на примере Белгородской области). – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. – 123 с.
53. Черноморец А.А., Болгова Е.В., Петина М.А., 2016. О математических моделях анализа состояния подземных вод горнодобывающего узла. Современные тенденции развития науки и производства. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. Западно-Сибирский научный центр; Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 275-278.
54. Черноморец А.А., Петина М.А., Коваленко А.Н., Зайцева Н.О. Графоаналитическая модель динамики распространения подземных вод // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Экономика Информатика. Компьютерное моделирование. № 2 (251) 2017, Выпуск 41, с.75-81.
55. Шварц А.А. Экологическая гидрогеология: Учебное пособие . – СПб.:

Изд-во С.-Петербургского университета, 1996. – 60 с.

56. Шестопалов В.М. Методы изучения естественных ресурсов подземных вод. – М.: Недра, 1988. - 168с

57. Экологическая ситуация в районах размещения горнодобывающих предприятий региона Курской магнитной аномалии: монография / А.Г. Корнилов, Е.В. Кичигин, С.Н. Колмыков, Л.Л. Новых, Е.А. Дроздова, А.Н. Петин, А.В. Присный, А.В. Лазарев, А.Ф. Колчанов. – Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2015. – 157 с.

58. Ясовеев М.Г., Андрухович А.И. Оценка основных подходов и методов геоэкологического исследования природно-техногенных систем // Экологический вестник. 2013. № 3(25). С. 5-13.

59. Ясовеев М.Г., Шевцова Н.С., Стреха Н.Л. Методика геоэкологических исследований: учеб. пособие. – Минск: Новое Знание, 2014. - 292 с

60. Ясовеев М.Г., Шершнев О.В., Андрухович А.И. Основы инженерной геоэкологии. – Минск: Новое Знание, 2013. - 352 с.

61. Ясовеев М.Г., Шершнев О.В., Шевцова Н.С. Промышленная экология. - Минск: Новое Знание, 2013. - 292 с.

62. Application of the coriband technique to complex lithologies. — «Log analyst», 1972, v. 13, No. 1, p. 19—36. Aut.: A. N. Schmidt, A. G. Land I. D. Junker, E. C. Kilgore.

63. Application to Hassi — Messaoud Cambrian reservoir of new quantitative interpretation method for shaly sands. — «Log analyst», 1971, v. 12, N 5, p. 14—25. Aut.: A. Hossin, P. Delvaux, M, A, Quint, M. Gondouin.

64. Clavier C., Hoyle W. R., Meunier D, Quantitative interpretation of TDT logs. — «Petrol. Techn.», 1971, No. 6, p, 743—755»

65. Coates G. R., Dumanoir I. L. A new approach to improved log derived permeability. Trans SPWLA, 14 ann. logg. syposium 1973, p» 15—28,

66. Computer processed interpretation Middle east Societe de prospection electrique Schlumberger. Printed in France, 1967, p, 20» Aut.: R, Gaymard, A. Misk, I. R. Nels, A. Poupon»

67. Formation evaluation data handbook. Gearhart — Owen industries, — Printed in USA. 1972, p. 240,
68. Harris M. H., McCarton J, B» A computer-oriented generalized porosity-lithology interpretation of neutron, density and acoustic logs, — «Petrol. Techn.», 1971, No. 2, p. 239—248.
69. Karenov R.S. Ecologo-economic and social efficiency of geotechnological methods of mining operations: the Monography. — Karaganda: Publishing house of KarSU, — 366 p.
70. Physikalische-Chemische Tabellent Verlag Landolt-Bernstein» Berlin, 1936, b. 3, s 840.
71. The dual-spacing neutron log — CNL, — «Petrol. Techn.», No, 9, 1972, p. 1073—1083. Aut.: R. P. Alger, S, Locke, W, A, Nagel, H, Sherman.
72. Zhikharev, A.G., Matorin, S.I., Zaitseva, N.O.: About perspectives of simulation techno-logical processes functioning with using system-object approach node-function-object. International Journal of Applied Engineering Research, vol. 10 (12), pp. 31363-31370 (2015)
73. Weissenstein K., Sinkala T. Soil pollution with heavy metals of gold- and copper mining industries in Southern Africa // Аридные экосистемы Том: 17 Номер: 1 (46) Год: 2011 Страницы: 47-54 Изд-во: Общество с ограниченной ответственностью Товарищество научных изданий КМК (Москва)