

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

*На правах рукописи*



**Егоров Тимофей Сергеевич**

**ФОРМИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД  
ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПЕЧОРСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА**

Специальность 1.6.6 – Гидрогеология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки  
Институте водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН)

**Научный руководитель:** ***Беляев Алексей Юрьевич***  
кандидат физико-математических наук

**Официальные оппоненты:** ***Черепанский Михаил Михайлович***  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, ФГБОУ ВО «Российский  
государственный геологоразведочный  
университет имени Серго Орджоникидзе»,  
гидрогеологический факультет, кафедра  
гидрогеологии имени В.М. Швеца, профессор

***Штенгелов Ростислав Степанович***  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, ФГБОУ ВО «Московский  
государственный университет имени  
М.В. Ломоносова», геологический факультет,  
кафедра гидрогеологии, профессор

***Рыбников Петр Андреевич***  
кандидат геолого-минералогических наук,  
ФГБУН «Институт горного дела Уральского  
отделения РАН», заведующий лабораторией  
геоинформационных и цифровых технологий в  
недропользовании

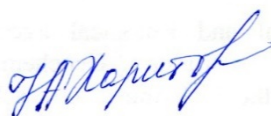
Защита диссертации состоится 17 ноября 2023 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.1 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119234, РФ, Москва, Ленинские горы, д. 1, Главное здание МГУ, корпус «А», геологический факультет, аудитория 415.

E-mail: [mgu.04.01@mail.ru](mailto:mgu.04.01@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/016.1/2662>.

Автореферат разослан 10 октября 2023 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор геолого-минералогических наук,  
доцент



Н.А. Харитонова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность исследования**

В настоящее время изучение закономерностей формирования и региональная оценка ресурсов подземных вод является одним из основных видов исследований, выполняемых при мелкомасштабной гидрогеологической съемке и картографировании. Такие исследования широко проводятся на территории Российской Федерации. В то же время ряд вопросов, связанных с закономерностями формирования ресурсов подземных вод в пределах восточной части Печорского артезианского бассейна (АБ), проработан относительно слабо. Региональная оценка ресурсов подземных вод в исследуемом районе позволит обеспечить возрастающие потребности населения в питьевой воде, а также потребности промышленности, технологические процессы которой тоже рассчитаны на использование качественных, защищенных и стабильных по составу вод.

Учитывая, что развитие нефтедобычи в пределах восточной части Печорского АБ характеризуется интенсификацией работ по повышению нефтеотдачи пластов разрабатываемых месторождений и применением новейших технологий добычи, для исследуемой территории требуется детальное изучение ресурсов подземных вод на участках, уже имеющих соответствующую инфраструктуру и находящихся непосредственно рядом с водопотребителем. Такая оценка ресурсов подземных вод позволит учитывать возможность увеличения запасов на разведанных или оцененных месторождениях подземных вод, количество которых в восточной части Печорского АБ за последние 20 лет увеличилось более чем в 5 раз.

### **Цели и задачи исследования**

Основная цель исследования – региональная оценка прогнозных ресурсов подземных вод четвертичных образований в пределах восточной части Печорского АБ (Усинский район) в условиях распространения многолетнемерзлых пород с помощью численной модели.

Для достижения поставленной цели последовательно выполнялись следующие задачи:

1. Сбор, анализ и обобщение фондовой и опубликованной информации о: геологическом строении, гидрогеологических и геокриологических условиях, результатах ранее выполненных геологоразведочных работ на подземные воды, месторождениях (участках) и водозаборах подземных вод, действующих схемах стратификации гидрогеологических подразделений.

2. Разработка структуры хранения и обработки первичных данных, включающей необходимый состав и объем информации, формы ее введения и программные решения, обеспечивающие связь с картографическими материалами.

3. Расчленение геологического разреза четвертичных образований, создание для них единой схемы гидрогеологической стратификации.

4. Построение исходной гидрогеологической схемы: выявление пространственной структуры потоков подземных вод; условий их питания, движения и разгрузки; взаимосвязи

подземных и поверхностных вод; установление взаимосвязи распространения многолетнемерзлых пород и подземных вод.

5. Анализ условий формирования и распространения ресурсов подземных вод.

6. Построение региональной гидрогеодинамической модели: геофильтрационная схематизация исходной гидрогеологической модели и ее верификация по данным существующего («сложившегося») состояния.

7. Региональная оценка ресурсов подземных вод: выполнение серии прогнозных решений и анализ пространственного распределения модулей подземного стока и балансовой структуры фактически существующего и перспективного эксплуатационного водоотбора.

**Научная новизна** выполненного исследования заключается в разработке принципов гидрогеологического расчленения разреза четвертичных образований, определении условий формирования и прогнозных оценках ресурсов подземных вод межпластового чирвинского водоносного горизонта восточной части Печорского АБ. Предложены критерии при выборе размера расчетного блока для оценки прогнозных ресурсов подземных вод в зависимости от схемы эксплуатации.

**Практическая значимость** исследования заключается в изучении и определении количественных характеристик подземного стока, позволяющих обеспечить успешное решение народнохозяйственных задач, связанных с использованием водных ресурсов, целенаправленным управлением подземным стоком, прогнозированием развития минерально-сырьевой базы в части подземных вод с учетом оценки ущерба речному стоку при перспективном водоотборе на исследуемой территории. Результаты получены впервые и детализируют предыдущие региональные исследования.

#### **Методика исследований**

В отношении методов исследования для решения поставленных задач потребовалась в первую очередь трудоемкая работа по накоплению и систематизации исходной информации. Выполнен сбор, анализ и интерпретация основных результатов гидрогеологических работ последних десятилетий по территории Печорского АБ. Создана картографическая и фактографическая база исследуемой площади, основанная на опубликованной и фондовой геологической информации. Выполнено гидрогеологическое расчленение разреза на обособленные водоносные и слабопроницаемые толщи при различных концепциях осадконакопления в четвертичной геологии. Создана единая гидрогеологическая стратификация разреза четвертичных образований, являющаяся основой достоверной оценки условий обводненности геологического пространства, установления и изучения гидрогеодинамической, гидрогеохимической и гидрогеотермической зональности.

Основное содержание работы заключается в оценке перспектив расширения использования подземных вод для нужд питьевого, хозяйственно-бытового и технического



водоснабжения территории Усинского района Республики Коми. С этой целью разработана и откалибрована численная гидрогеодинамическая модель восточной части Печорского АБ, на которой выполнены прогнозные расчеты предельной нагрузки на эксплуатируемые месторождения распределенного фонда недр.

### **Личный вклад автора**

В работе использованы материалы, полученные автором ранее при выполнении полевых исследований в рамках работы по созданию комплекта гидрогеологических карт Печорского артезианского бассейна масштаба 1:1 000 000 (ВСЕГИНГЕО, 2016 г.). Автором обобщены и проанализированы фондовые материалы поисково-оценочных и разномасштабных съемочных работ, изучен опыт эксплуатации освоенных месторождений подземных вод. Автором разработан универсальный структурированный фонд геолого-гидрогеологической информации (СФГИ), который применен как в полистной Государственной гидрогеологической съемке, так и в тематических работах по созданию карт гидрогеологических структур (Печорский АБ). Помимо этого, СФГИ использован для создания гидрогеодинамической модели Усинского района. Применение подобных информационных систем для различных региональных работ является достаточно новым.

По результатам проведенных исследований сформулированы следующие **защищаемые положения**:

1. Выбор концепции осадконакопления в четвертичной геологии определяет гидрогеологическую стратификацию и гидрогеологические параметры, используемые для оценки ресурсов подземных вод (инфильтрационное питание, допустимое понижение, проводимость). Разработанные принципы гидрогеологического расчленения разреза четвертичных образований, основанные на гляциолистической концепции осадконакопления, позволили создать единую гидрогеологическую стратификацию Печорского артезианского бассейна и предварительно оценить фильтрационные характеристики гидрогеологических подразделений.

2. Разработанный структурированный фонд геолого-гидрогеологической информации позволяет систематизировать разнородный фактический материал при его разном исходном качестве и может использоваться для решения задач регионального гидрогеологического картографирования, а также являться основой геофильтрационной схематизации гидрогеодинамических моделей.

3. Оценку прогнозных ресурсов подземных вод регионов интенсивного развития целесообразно осуществлять на уже разведанных участках недр. Выполненная на разработанной гидрогеодинамической модели оценка прогнозных ресурсов подземных вод в перспективно развивающемся Усинском районе (восточной части Печорского артезианского бассейна) показала, что на участках эксплуатируемых месторождений подземных вод возможно наращивание запасов более чем в 13 раз по сравнению с утвержденными.

### **Апробация работы**

Результаты проведенных исследований, основные положения и проблемы, рассматриваемые в диссертационном исследовании, изложены в 11 публикациях, в том числе в 5 статьях в рецензируемых научных журналах, 3 из которых в изданиях, рекомендованных для защиты в МГУ имени М.В. Ломоносова.

Научные и практические результаты работы над диссертацией докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях:

– I (заочный) и II (очный) тур V Всероссийского конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов вузов России по техническим, естественным и гуманитарным наукам «Шаг в науку» (Томск, ТПУ, 2020-2021 гг.). Работа отмечена комиссией дипломом I степени (заочный тур) и дипломом (очный тур);

– XV Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, МГРИ, 2021 г.);

– XXVIII Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов 2021» (Москва, МГУ, 2021 г.);

– Всероссийская конференция и выставка с международным участием и участием стран СНГ по поиску, разведке и эксплуатации подземных вод «Гидрогеология 2021» (Санкт-Петербург, 2021 г.);

– X Международная научная конференция молодых ученых «Молодые - Наукам о Земле» (Москва, МГРИ, 2022 г.);

– XVI Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, МГРИ, 2023 г.).

### **Структура и объем работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав с разделами и подразделами и заключения. Общий объем работы составляет 168 страниц, включая 45 рисунков, 12 таблиц и список литературы из 160 наименований.

### **Благодарности**

Автор выражает особую благодарность своему научному руководителю А.Ю. Беляеву за неоценимую помощь и ценные советы на всех этапах выполнения работы. Автор считает своей приятной обязанностью выразить благодарность коллективам ФГУП «ВСЕГИНГЕО» и ФГБУ «Гидроспецгеология» за плодотворную совместную работу. Особую признательность и благодарность автор выражает Е.Ю. Потаповой, Р.И. Плотниковой и Ю.Б. Челидзе за многолетнее руководство и возможность профессионального развития, а также за необходимые советы на профессиональном и научном пути. Результаты исследований поддерживались грантом РФФИ 19-35-90018. Автор глубоко признателен своей супруге за всестороннюю поддержку и помощь на протяжении всего времени работы над диссертационным исследованием.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** рассматриваются основные этапы изучения прогнозных ресурсов и запасов подземных вод. Отмечена неразрывность понятийно-терминологического аппарата с нормативно-правовым регулированием и методиками оценки ресурсов подземных вод.

Рассмотрена действующая классификация подземных вод в части прогнозных ресурсов. Установлено, что увеличение количества категорий запасов и (ресурсов) с 5-ти (4-х) до 7-ми привело к отсутствию концептуальной увязки последних со стадийностью проведения геолого-гидрогеологических работ. Однако, в целом, справедливо будет отождествить изучение и оценку прогнозных ресурсов подземных вод с региональными гидрогеологическими работами, а запасы – с поисково-оценочными и разведочно-эксплуатационными.

В настоящее время региональные оценки ресурсов подземных вод осуществляются на основе комплексного анализа гидрогеологических условий территории, в результате которого устанавливаются закономерности распространения и формирования подземных вод в различных гидрогеологических подразделениях, оцениваются их химический состав, защищенность и перспективность использования.

Региональная оценка прогнозных ресурсов подземных вод на территории Республики Коми и Печорского АБ до 1990-х гг. выполнялась не менее трех раз: Е.В. Быковым (1962 г.), И.А. Конжиным (1970 г.), Н.Г. Оберманом (1984 г.). В этих работах оценка определялась в основном сработкой емкостных запасов для заданного срока эксплуатации (25-50 лет) проектируемых водозаборов. В последующих работах все большее внимание уделяется формированию подземного стока. В 1999 г. ОАО «Полярноуралгеология» под руководством Г.П. Огородниковой при научно-методическом сопровождении сотрудников ЗАО «ГИДЭК» (Б.В. Боровским, Л.С. Язвиным и др.) выполнена оценка прогнозных ресурсов подземных вод Республики Коми с целью оценки обеспеченности всей территории России подземными водами питьевого и хозяйственно-бытового назначения. В 2016 г. сотрудниками ФГУП «ВСЕГИНГЕО» построен комплект гидрогеологических карт Печорского АБ, на основе которых выполнена оценка прогнозных ресурсов подземных вод.

В предшествующих исследованиях оцененные ресурсы подземных вод отражают общую обеспеченность территории (субъектов, гидрогеологических структур) водными ресурсами. Расчет прогнозных ресурсов выполнялся при условии одновременной эксплуатации водозаборных сооружений, расположенных в каждом блоке равномерной модельной сетки. Согласно действующей классификации подземных вод оцененные ресурсы следует относить к категориям  $P_2$  и  $P_3$ .

**Во второй главе** рассматриваются природные и техногенные условия, геокриологическое и геолого-гидрогеологическое строение исследуемой территории.

Восточная часть Печорского артезианского бассейна относится к городскому округу Усинск, входящему в состав республики Коми. Климат на исследуемой территории – умеренно-континентальный. Среднегодовая температура – (-3,2) °С. Среднегодовая сумма осадков составляет 495 мм. Испарение – 160 мм. Основные населенные пункты – г. Усинск и с. Усть-Уса. Население здесь более 40 тыс. человек. Район исследования относится к двум основным речным бассейнам рек Усы и Печоры с их притоками – Большая Макариха, Колва и Лая.

Основные экологические последствия на исследуемой территории связаны с антропогенной деятельностью. Газо- и нефтедобыча оказывают влияние на загрязнение почв, деградацию многолетнемерзлых пород (ММП) и качество поверхностных вод. Последнее предопределяет выбор подземных вод как безальтернативного источника водоснабжения.

На территории восточной части Печорского АБ распространены многолетнемерзлые породы, имеющие двуслойное строение: погребенные (реликтовые) и развитые с поверхности. Реликтовые ММП являются региональным водоупором, разделяющим пресные и соленые подземные воды. Глубина залегания кровли ММП составляет 80-200 м, подошвы – до 240-465 м. Многолетнемерзлые породы, развитые с поверхности, относятся к зоне массивно-островного распространения. В северо-восточной части исследуемой территории их мощность достигает 30 м. В области распространения ММП питание подземных вод затруднено и осуществляется в основном в пределах таликовых зон речных долин. Сложные мерзлотные условия определяют наличие пресных подземных вод только в отложениях четвертичного возраста.

Сопоставление геологических карт четвертичных (плиоцен-четвертичных) образований на территории Печорского АБ местами было осложнено их недостаточно четкой концептуальной увязкой. Геологические карты составлялись авторскими коллективами, придерживающимися различных основополагающих в четвертичной геологии концепций – гляциолистической (классическая модель) и маринистической, что усложняет выделение гидрогеологических подразделений как по генезису, так и по возрасту (рис. 1).

Проблема картографирования северного плейстоцена имеет исключительно отечественное происхождение. Проблема диагностики мощных кластогенных толщ связано с труднодоступностью северных территорий, недостаточностью фактического материала, спецификой изучения арктических территорий, где приоритет отдается глубокозалегающим геологическим подразделениям с целью газо- и нефтедобычи, а также с дефицитом специалистов в области четвертичной геологии.

Расчленение геологического разреза на обособленные водоносные и слабопроницаемые толщи является основой достоверной оценки условий обводненности геологического пространства, установления и изучения гидрогеодинамической, гидрогеохимической и гидрогеотермической зональности. Выбор концепции осадконакопления в четвертичной геологии имеет важное значение не только на определение возраста и генезиса

гидрогеологических подразделений, но и на их исходные параметры (инфильтрационное питание, допустимое понижение и проводимость оцениваемого гидрогеологического подразделения), которые используются для оценки ресурсов подземных вод.

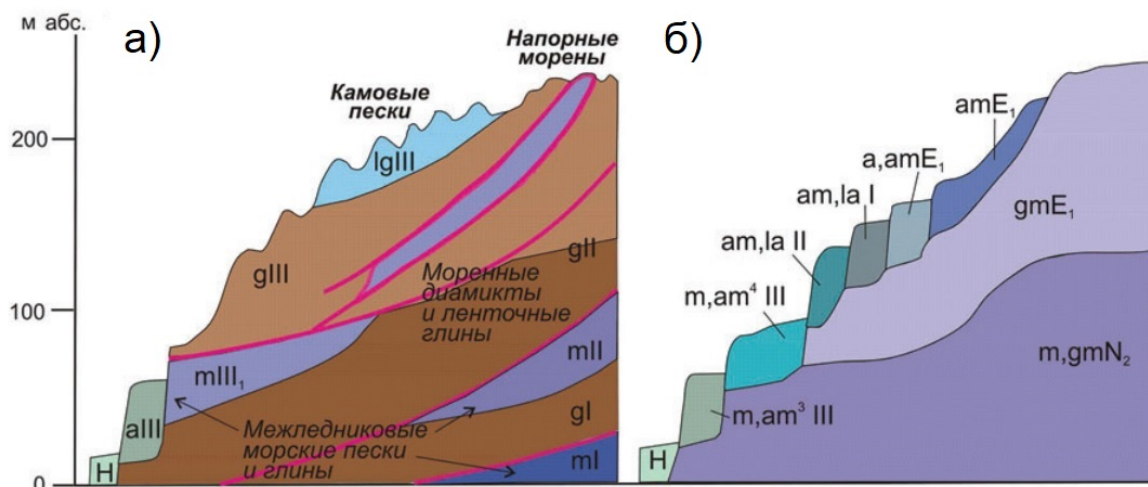


Рис. 1. Схемы соотношений четвертичных (плиоцен-четвертичных) образований в пределах Печорского бассейна: а) гляциолистическая концепция; б) маринистическая концепция

Параметр инфильтрационного питания для региональных гидрогеологических задач целесообразно определять на основе ландшафтного районирования, которое характеризует растительный и почвенный покров, литологический состав зоны аэрации, расчлененность рельефа и т.д. В маринистической концепции осадконакопление осуществляется на основе колебаний уровня Мирового океана. Выделение геологических стратонов обосновывается их гипсометрическим положением, при этом игнорируется геологическое строение. Такой подход приводит к тому, что выделяемые морские террасы могут быть отнесены к различным ландшафтам, при этом литологический состав для подразделения принимается единым. Согласно гляциолистической концепции стратоны выделяются на основе их геологического строения (положение в рельефе, литологический состав). Таким образом, одна и та же территория в зависимости от концепции осадконакопления интерпретируется разными ландшафтами, что приводит к отличающимся оценкам параметра инфильтрационного питания.

Геологический разрез в гляциолистической концепции представляется более дробным, чем в маринистической. В гляциолистической концепции осадконакопления выделяемые водоносные подразделения хорошо коррелируются с геологическими стратонами, которые представлены преимущественно песчаными отложениями. В маринистической концепции тоже самое водоносное подразделение будет уже входить в состав более крупного геологического стратона, который в равных пропорциях включает глинистую и песчаную составляющие. В таком случае параметр проводимости оцениваемого водоносного подразделения складывается из проводимостей песчаного и суглинистого слоев. Таким образом, в маринистической концепции осадконакопления параметр проводимости будет больше, чем в гляциолистической, а параметр допустимого понижения – меньше.

В диссертационном исследовании гидрогеологическая стратификация Печорского АБ выполнена на основе расчленения геологического разреза в соответствии с гляциолистической концепцией осадконакопления. Основные принципы разработаны автором при создании гидрогеологической карты плиоцен-четвертичных гидрогеологических подразделений масштаба 1:1 000 000 Печорского АБ.

Первичная оценка степени водопроницаемости геологических стратонов основана на расчленении палеоклиматических ритмов, где холодные периоды соответствуют ледниковым образованиям, теплые – межледниковым. Ледниковые образования представлены супесчано-суглинистыми отложениями, что позволяет их отнести к слабопроницаемым гидрогеологическим подразделениям. Межледниковые образования в основном представлены супесчано-песчаными отложениями, которые соответствуют водоносным гидрогеологическим подразделениям.

Важным моментом остается необходимость учитывать по отдельности каждый палеоритм (малый цикл: 1 ледниковый, 1 межледниковый период) или стоит группировать их в большие циклы (большой холодный цикл включает 2 ледниковых периода и 1 межледниковый; большой теплый цикл – 2 межледниковых периода и 1 ледниковый). Выделение гидрогеологических подразделений по большому циклу объясняется либо отсутствием фактического материала, либо маломощным осадконакоплением в пределах одного или нескольких (характерно для верхнего неоплейстоцена) палеоритмов.

Также во внимание стоит принять, что смена палеоритма происходит не единомоментно, а с некоторой продолжительностью. В переходных периодах между ритмами происходит осадконакопление, соответствующее предыдущим или последующим ритмам. Особенно это характерно в холодные периоды, где условно можно выделить 3 стадии: предледниковая стадия – накопление преимущественно озерно-ледниковых отложений; ледниковая – морены (тиллы); постледниковая – флювиогляциальные и озерно-ледниковые отложения. По литологическому составу пред- и постледниковые стадии близки к межледниковым образованиям. Таким образом, отложения переходных периодов можно считать водопроницаемыми, а в соответствии с критериями выделения гидрогеологических подразделений они образуют единую гидрогеологическую единицу со смежными геологическими стратонами межледниковья.

При выделении гидрогеологических подразделений также необходимо учитывать их взаиморасположение с многолетнемерзлыми породами. На исследуемой территории распространение ММП в разрезе и по площади весьма дискуссионный вопрос, однозначно утверждать степень и глубину развития ММП в конкретно взятой точке без должного фактического материала невозможно. Поэтому предлагается упрощать гидрогеологическую стратификацию в зоне ММП: водопроницаемые подразделения – водоносные (криогенно-таликовые) горизонты; слабопроницаемые – водоупорные (криогенные) горизонты.

Выполненная гидрогеологическая стратификация позволила создать гидрогеологическую карту исследуемой территории (рис. 2), определить пространственное расположение гидрогеологических стратонов и предварительно оценить их фильтрационные характеристики. Окончательная гидрогеологическая стратификация сформировалась только после нескольких итераций исходной информации по принципу: целое – частное, частное – целое.

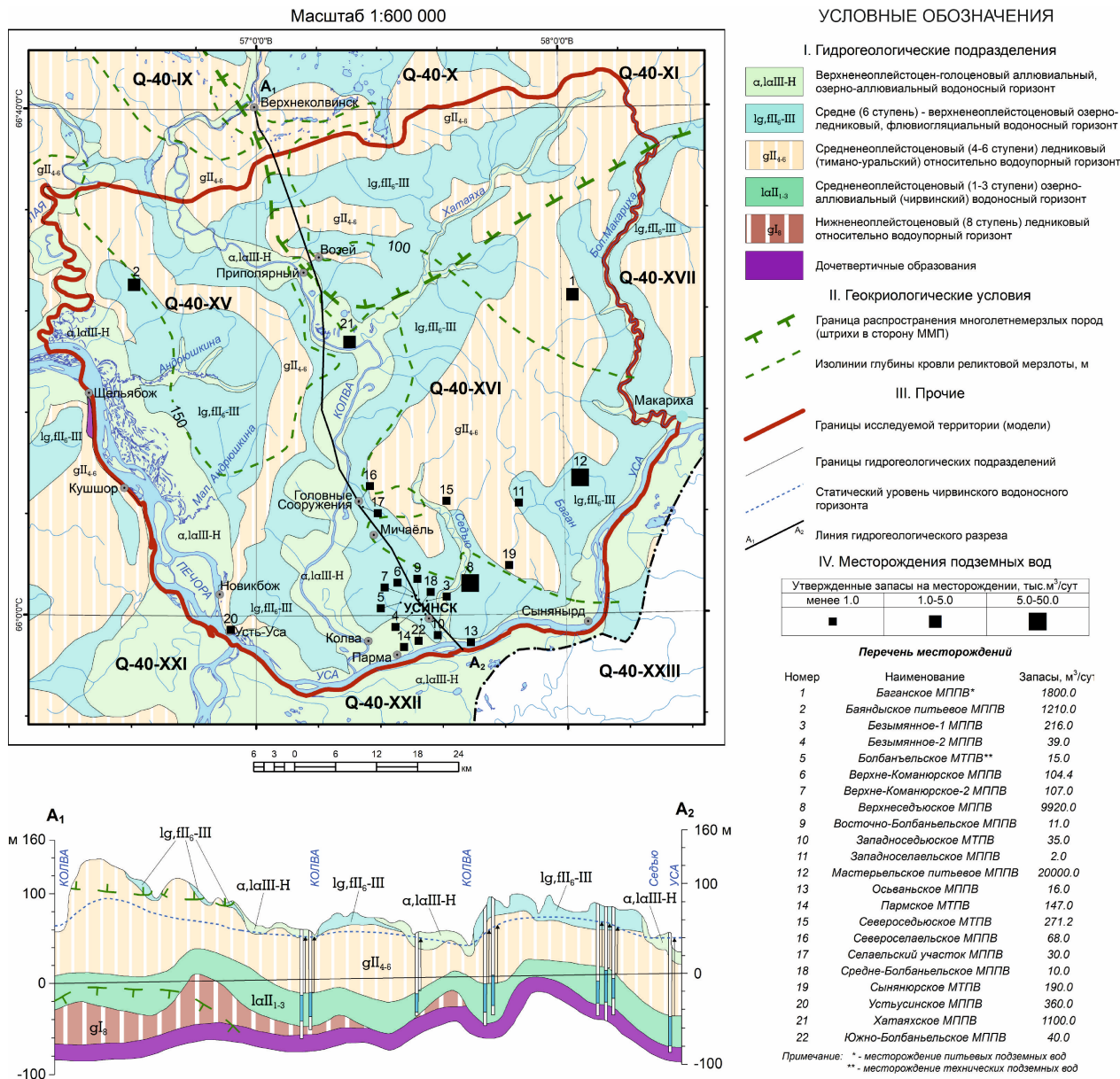


Рис. 2. Гидрогеологическая карта исследуемой территории

**Глава 3** посвящена описанию разработанного автором структурированного фонда геолого-гидрогеологической информации для задач регионального гидрогеологического картографирования, впервые даны определения СФГИ и его составляющих. Рекомендованы критерии отбора исходной информации и источники ее получения. Предложена структура первичных и сопровождающих баз данных, состав и объем необходимой информации, формы ее введения и программные решения, обеспечивающие связь баз данных с картографическими материалами.

*Структурированный фонд геолого-гидрогеологической информации* – завершенная информационная система, содержащая первичные и интерпретированные данные, необходимые для построения комплекта гидрогеологических карт, а также информацию и знания о геолого-гидрогеологических условиях исследуемой территории.

*Фактографический фонд* – это часть первичных данных, которые структурированы в информационную систему, способную хранить, систематизировать, обрабатывать и представлять объектово-привязанную и иную информацию и знания, полученные при региональных гидрогеологических работах.

*Картографический фонд* – это совокупность информации и знаний, полученных на основе интерпретированных первичных данных, в том числе в фактографическом фонде, и представленных в векторном формате.

Принципиальная схема работы с СФГИ заключается в манипуляции первичной информацией путем ее обработки, систематизации и интерпретации, и в представлении ее сначала в фактографическом виде с использованием эталонной базы данных, затем уже в картографическом виде при помощи эталонной базы знаков.

Структурированный фонд геолого-гидрогеологической информации представлен на рис. 3 и состоит из картографического фонда и базы данных первичной информации, включающей данные фактографического фонда. Все гидрогеологические карты и схемы собраны в цифровом виде в картографическом фонде. База данных первичной информации характеризуется тем, что в ней хранятся материалы в аналоговом и цифровом виде, которые реализованы в картографическом фонде.

Анализ геологических материалов ранее проведенных работ на исследуемой территории показал, что огромный объем накопленных эмпирических и модельных данных отличается методологической основой, аналитической базой, точностью оценки параметров и характеристик, кругом и полнотой решенных задач, глубиной картирования. Увязка геологических материалов, выполненных в различных концепциях осадконакопления в четвертичной геологии, требует большого объема работ по сопоставлению разных схем стратификации, гидрогеологическому расчленению разреза скважин и переинтерпретации данных опробования с новыми расчетами гидрогеологических параметров.

Оценка условий формирования ресурсов подземных вод восточной части Печорского АБ осуществлена с помощью предложенного СФГИ, который позволил проанализировать разномасштабные геологические материалы и согласовать их с детальными исследованиями поисково-оценочных работ на подземные воды, сохранить целостность геологического разреза, не упуская маломощные формации, сочленяя их с выделяемыми гидрогеологическими подразделениями, определить основные гидрогеологические характеристики (гипсометрия, литологический состав, фильтрационные параметры и др.).



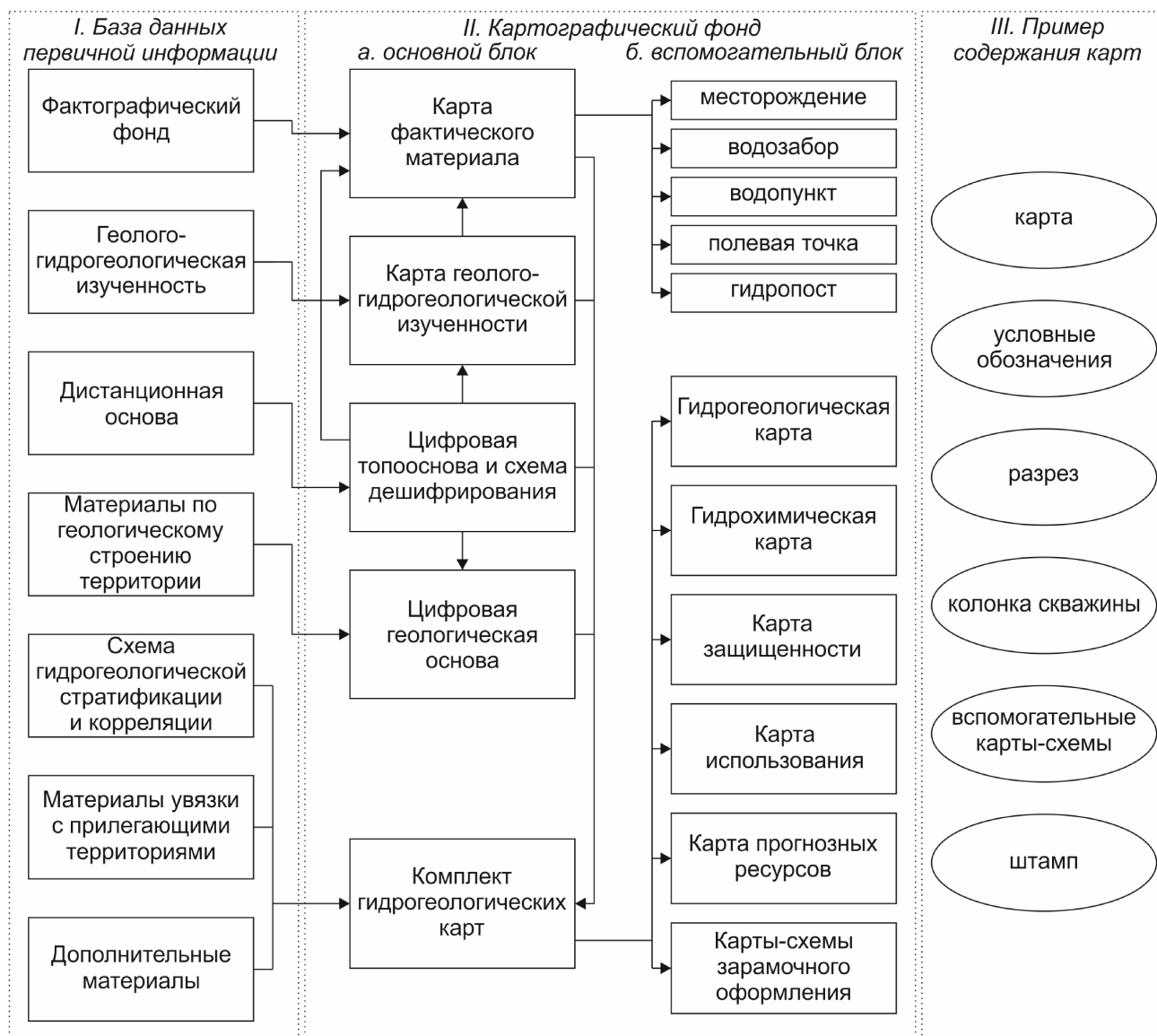


Рис. 3. Структурированный фонд геолого-гидрогеологической информации

Авторский СФГИ позволил увязать геологические материалы, выполненные в различных концепциях осадконакопления в квартере, разработать единую схему гидрогеологической стратификации всего Печорского АБ. На основе данных СФГИ создана гидрогеодинамическая модель исследуемой территории, с помощью которой выполнена оценка ресурсов подземных вод. Результатом применения СФГИ также являются апробированные работы на НРС Роснедра при создании комплектов гидрогеологических карт масштаба 1:1 000 000: для Печорского АБ (ВСЕГИНГЕО, 2016 г.); для листов Р-39-Сыктывкар и Q-41-Воркута (Гидроспецгеология, 2019 г. и 2022 г.).

**Глава 4** посвящена оценке ресурсов подземных вод. Рассмотрены возможные варианты оценок прогнозных ресурсов подземных вод с учетом действующих нормативных документов. Сформулированы основные факторы при выборе размера расчетного блока. Выполнены оценки перспективных и потенциальных ресурсов подземных вод.

Региональная оценка ресурсов подземных вод выполнена для чирвинского водоносного горизонта. Величина допустимого понижения определена величиной напора над его кровлей. На

чирвинский водоносный горизонт разведано 22 месторождения подземных вод, 20 из которых активно эксплуатируются не только для хозяйственно-питьевого водоснабжения, но и для обеспечения потребностей промышленности с суммарными оцененными запасами 5771,6 м<sup>3</sup>/сут. Чирвинский водоносный горизонт распространен повсеместно, выдержан по мощности, порядка 35 м, приурочен к песчано-гравийно-галечным отложениям с прослоями супесей и суглинков. Подземные воды горизонта напорные. Практически на всей исследуемой площади чирвинский водоносный горизонт является защищенным от поверхностного загрязнения. По химическому составу воды соответствуют требованиям СанПиН 2.1.3684-21, за исключением показателей по железу, превышение которого повсеместно в регионе.

Региональная оценка ресурсов подземных вод опиралась преимущественно на материалы геологических, гидрогеологических, гидрохимических, гидрометрических работ и исследований в районах разведанных и оцененных месторождений, а также картографические материалы регионального характера. В зависимости от схемы эксплуатации в технико-экономическом отношении можно выделить два варианта оценок: оценка потенциальных ресурсов – водозаборы размещаются в каждом блоке равномерной модельной сетки; перспективных ресурсов – только в тех блоках, где уже имеются действующие или проектируемые водозаборы.

**Оценка перспективных ресурсов подземных вод** выполнена с использованием метода математического моделирования, способного описать сложные гидрогеологические условия территории, рассчитать величину привлекаемых ресурсов, формирующихся за счет поверхностных вод, и оценить латеральный поток подземных вод.

*Геофильтрационная схематизация и численный метод.* По геолого-гидрогеологическим условиям территория исследования представляет собой водоносную систему, состоящую из двух водоносных пластов (среднелепесток (6 ступень) - голоценовая водоносная толща и чирвинский водоносный горизонт), разделенных относительно водоупорным горизонтом (тимано-уральским). Распространение ММП гипсометрически ниже чирвинского водоносного горизонта ограничивает отток из горизонта в нижележащие гидрогеологические подразделения. Уравнения, описывающие взаимодействие фильтрационных процессов в среднелепесток (6 ступень) – голоценовом и чирвинском пластах, содержат в качестве искомым функций величину напора  $H=H(t,x,y)$  в чирвинском горизонте и уровня грунтовых вод  $h=h(t,x,y)$ . В дальнейшем предполагается, что в пластах, перекрывающих чирвинский водоносный горизонт, можно пренебречь фильтрацией в горизонтальном направлении. В приближении Мятлева-Гириного движение воды описывается уравнениями (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu \frac{\partial h}{\partial t} = Q_{\text{верт}} + W \\ \mu^* \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial H}{\partial y} \right) - Q_{\text{верт}} + q_{\text{скв}} + q_p \end{array} \right., \quad (1)$$

где  $\mu, \mu^*$  – коэффициент гравитационной и упругой емкости;  $T$  – проводимость проницаемого изотропного слоя в горизонтальном направлении;  $Q_{верт}$  – поток подземных вод из напорного горизонта в безнапорный;  $W$  – инфильтрационное питание;  $q_{скв}$  и  $q_p$  – интенсивность поступления воды в горизонт из скважин и рек в расчете на единицу площади (в случае водоотбора из скважин величина  $q_{скв}$  отрицательна). Поток подземных вод из напорного горизонта в безнапорный задается соотношением (2):

$$Q_{верт} = k_0 \frac{H - h}{m_0}, \quad (2)$$

где  $k_0$  – коэффициент вертикальной фильтрации слабопроницаемого слоя;  $m_0$  – мощность слабопроницаемого слоя (в случае, если урвенная поверхность располагается ниже подошвы среднеплейстоцен (6 ступень) - голоценовых отложений,  $m_0 = m_0(h)$  равно расстоянию по вертикали от кровли чирвинского горизонта до поверхности грунтовых вод).

В работе использована стационарная версия уравнений (1), т.к. при подсчете прогнозных ресурсов подземных вод следует ориентироваться на весьма длительный, практически неограниченный период эксплуатации. Стоит отметить, что, исходя из гидрогеологического строения, на большей части исследуемой территории инфильтрационное питание поступает сразу же в слабопроницаемый слой тимано-уральских отложений. В этом случае  $Q_{верт} = -W$ , и задача сводится к одному уравнению относительно напора  $H(x,y)$ :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial H}{\partial y} \right) + R + q_{скв} + q_p = 0, \quad (3)$$

где  $R$  – интенсивность перетекания.

Уравнение (3) следует дополнить краевыми условиями и соотношениями, связывающими источники члены  $q_p$  и  $q_{скв}$  с искомой функцией  $H(x,y)$ . В качестве последних принимаются формулы:

$$q_p = T_p (H_p - H) \quad (4)$$

и

$$q_{скв} = T (H_{скв} - H), \quad (5)$$

где  $H_p$  и  $H_{скв}$  – уровни воды в реке и скважине соответственно, а  $T_p$  и  $T$  – эмпирические коэффициенты, нормируемые на единицу площади.

Отметим, что форма уравнения (1) с выражениями (4) и (5) подразумевает, что при численных решениях задач размер расчетных ячеек должен быть больше ширины реки и характерного размера воронки депрессии около скважины.

Порядок коэффициента  $T_p$  определяется интегральной вертикальной проводимостью подрусловых отложений. Последняя оценивается по типу этих отложений со значительным произволом. Поэтому при практических расчетах величину  $T_p$  имеет смысл определять в процессе калибровки модели. Коэффициент  $T$  зависит от горизонтальной проводимости пласта,

конструкционных особенностей скважины, а также может содержать поправки, связанные с конечными размерами ячейки и положением скважины в ней. Информация о детальном распределении проводимости горизонта вокруг скважины известна со значительными погрешностями, поэтому выбирать значение  $T$  с помощью теоретического решения задачи о скважине нецелесообразно. В работе  $T$  выбиралось в диапазоне, соответствующем данным, полученным в результате опытных откачек, а затем уточнялось калибровкой численной модели. Определенные в результате этой процедуры коэффициенты учитывают и неравномерность распределения проводимости, и конструкционные особенности скважин, и поправки, связанные с геометрией ячеек.

Внешние границы модели определены граничным условием III рода (на В – р. Большая Макариха, на ЮВ и Ю – р. Уса, на ЮЗ – р. Печора; на З – р. Лая) и граничным условием II рода (на С – водораздел). В плановом потоке также определены внутренние границы III и II родов, заданные по водотокам и скважинам. После определения внешних границ общая площадь модели составила 5815,8 км<sup>2</sup>, шаг модельной сетки – 500×500 м.

*Формирование модели.* На следующем этапе модельная база была наполнена необходимой достаточной информацией – параметрами. После определения численного метода необходимыми параметрами для решения задачи являются: проводимость чирвинского водоносного горизонта, интенсивность перетекания и интегральная проводимость подрусловых отложений. Данные для построения модели были получены при использовании СФГИ.

Параметр проводимости чирвинского горизонта задан исходя из результатов ранее проведенных опытно-фильтрационных работ (в основном одиночных откачек). По данным предшественников, проводимость чирвинского водоносного горизонта варьируется от 6,1 до 442,0 м<sup>2</sup>/сут. При этом, учитывая особенности геокриологических и гидрогеологических условий, выделено три зоны: повышенной проводимости (приурочена к понижениям палеорельефа, в пределах которых развита современная речная сеть), зона вне распространения ММП и зона с реликтовыми ММП, где горизонт частично проморожен.

Параметр интенсивности перетекания зависит от ландшафтных условий, литологического состава и мощности тимано-уральского относительно водоупорного горизонта. На основе региональных исследований территории всего Печорского АБ выделено 5 зон: 1) лес с зоной аэрации, представленной супесями, где мощность тимано-уральских отложений меньше, чем на водоразделах, и больше, чем в речных долинах; 2) лес с зоной аэрации, представленной выдержанными по мощности суглинками тимано-уральского возраста; 3) речные долины с зоной аэрации, представленной супесями и песками, где мощность тимано-уральских отложений минимальна; 4) зона распространения ММП с поверхности; 5) селитебные территории. Каждой зоне присвоены значения интенсивности перетекания, исходя из условия, что величина параметра составляет от 1% до 30% от среднегодовой суммы осадков, поступающих на поверхность на

незастроенных территориях, минус среднегодовое испарение с поверхности, и до 50% – на застроенных, за счет дополнительного питания – утечек. В зоне распространения ММП с поверхности значение присвоено – 0.

Параметр интегральной проводимости подрусловых отложений определяется в основном коэффициентом фильтрации подрусловых отложений. По данным геологических съемок, отложения русла р. Колва (ее аналоги – р. Лая, р. Большая Макариха) представлены песками, супесями, суглинками и галечниками; отложения русел крупных рек Печора и Уса, относящиеся к горбуновскому горизонту, представлены среднезернистыми песками и галечниками. Характерной чертой малых водотоков является их заиливание, приводящее к заболачиванию. Таким образом, можно судить об увеличении коэффициента фильтрации ложа рек и, соответственно, интегральной проводимости от малых водотоков к крупным.

*Решение обратной задачи.* Для калибровки гидрогеодинамической модели подземных вод Усинского района решена обратная задача с использованием отметок уровней чирвинского водоносного горизонта за 2016 г., полученных автором при проведении полевых работ. Решение обратной задачи сводилось к последовательному решению серии прямых задач с перебором расчетных параметров модели: проводимости чирвинского водоносного горизонта, интенсивности перетекания, интегральной проводимости подрусловых отложений.

По достижении критерия согласования, который определяется разницей между измеренными и расчетными значениями напоров по всем скважинам (рис. 4), получена верифицированная модель, адекватная природно-техногенной обстановке на территории исследования.

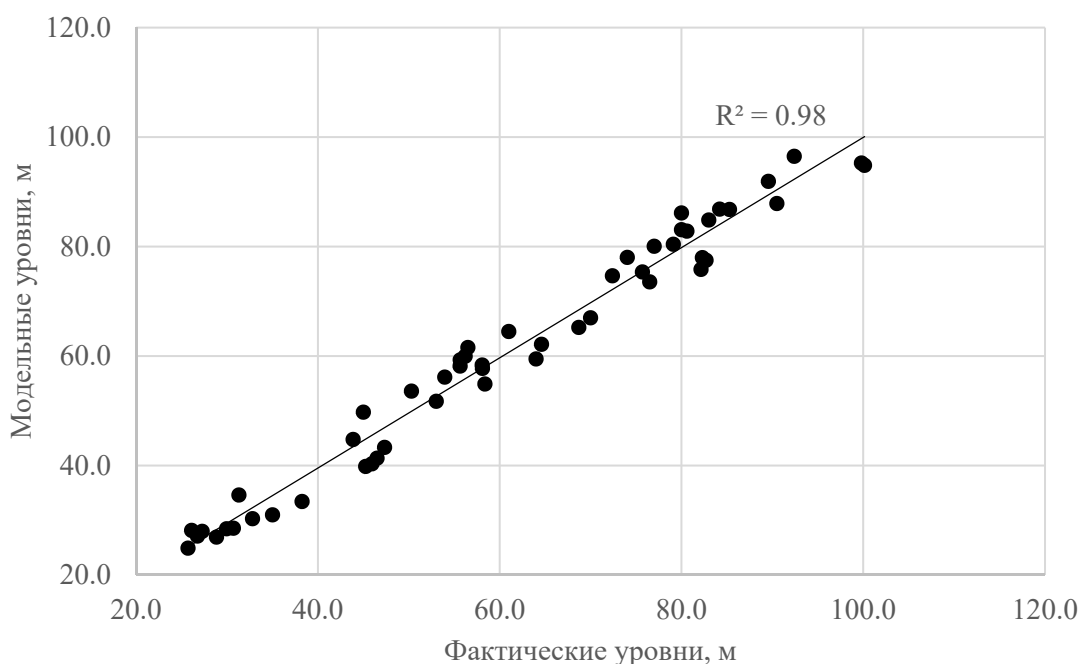


Рис. 4. Соотношение между модельными и фактическими уровнями подземных вод чирвинского водоносного горизонта (обратная задача на 2016 год)

Проводимость чирвинского водоносного горизонта составила, м<sup>2</sup>/сут: в пределах внемерзлотной части исследуемой территории – 60; там, где чирвинский водоносный горизонт частично проморожен – 30; в пределах речных долин – 100. Величина интенсивности перетекания через слабопроницаемую толщу тимано-уральских отложений составила, м/сут: для лесного ландшафта, сложенного преимущественно суглинками, –  $2,5 \times 10^{-5}$ ; для сложенного преимущественно супесями –  $5 \times 10^{-5}$ ; для речных долин –  $10^{-4}$ ; для зоны распространения ММП с поверхности – 0; для селитебных территорий и земель, отведенных под сельскохозяйственные угодья, –  $4 \times 10^{-4}$ . Интегральная величина проводимости подрусловых отложений составила, м<sup>2</sup>/сут: для малых рек – 250, для верхнего течения средних рек – 500, для среднего и нижнего течения средних рек – 1000, для крупных рек (Уса и Печора) – 2000.

В ненарушенном состоянии формирование баланса подземных вод происходит за счет рек – 58% (приток из рек – 8%, отток в реки – 50%) и за счет интенсивности перетекания – 42% (табл. 1).

Таблица 1. Формирование модельного баланса

Статья баланса	Ненарушенное состояние, м <sup>3</sup> /сут	При водоотборе					
		Сценарий 1			Сценарий 2		
		Q, м <sup>3</sup> /сут	$\delta$ , м <sup>3</sup> /сут	$\delta$ , %	Q, м <sup>3</sup> /сут	$\delta$ , м <sup>3</sup> /сут	$\delta$ , %
<i>Поступление</i>							
Интенсивность перетекания	289162	289162	0	-	289162	0	-
Приток из рек	58800	59876	1076	18,6	91511	32711	41,6
<i>Расходование</i>							
Отток в реки	-347962	-343266	4696	81,4	-302028	45934	58,4
Скважины	0	-5771,6	-5771,6	-	-78645	-78645	-
Итого	0	0	0	100	0	0	100

*Решение прогнозных задач.* На основе верифицированной модели осуществлено 2 сценария воздействия на гидрогеологическую обстановку.

**Сценарий 1.** Организация водоотбора на месторождениях распределенного фонда недр (20 мелких месторождений) в объеме утвержденных запасов 5 771,6 м<sup>3</sup>/сут. При данном сценарии максимальное понижение в эксплуатационных скважинах составило 26,7 м. Запас предельно допустимого понижения (до кровли водоносного горизонта) составил от 39,0 до 58,7 м. При данном сценарии возможно существенное наращивание водоотбора.

Основное формирование баланса происходит за счет: рек – 58% (приток из рек – 9%, отток в реки – 49%); интенсивности перетекания – 41%; водоотбора скважинами – 1% (табл. 1). При таком сценарии произошло распределение основных статей баланса по отношению к модельному балансу в ненарушенном состоянии за счет сокращения оттока в реки на 1,8% и увеличения питания из рек на 1,3%.

**Сценарий 2.** Максимальный возможный водоотбор на месторождениях распределенного фонда недр. Запасы на месторождениях зачастую оцениваются, не исходя из гидрогеологических

условий, а из заявленной потребности Недропользователя. Учитывая данный факт, на таких месторождениях возможно существенное наращивание водоотбора за счет прогнозных ресурсов категории  $P_1$ . Чтобы учесть взаимодействие всех водозаборных скважин, целесообразно использование постояннодействующих моделей или верифицированной модели на определенный год. Таким образом, максимально возможный водоотбор на участках недр будет определяться суммой запасов и прогнозных ресурсов категории  $P_1$  при сохранении заданных ограничений.

При данном сценарии максимальное понижение в эксплуатационных скважинах составило 66,9 м, минимальное – 49,1 м. Суммарный расход на месторождениях распределенного фонда недр – 78 645 м<sup>3</sup>/сут. Таким образом, прогнозные ресурсы категории  $P_1$  на этих участках составляют 72 873,4 м<sup>3</sup>/сут. При данном сценарии запасы подземных вод на этих участках можно увеличить в 13,6 раз.

Основное формирование баланса происходит за счет: рек – 52% (приток из рек – 12%, отток в реки – 40%); интенсивности перетекания – 38%; водоотбора скважинами – 10% (табл. 1). При таком сценарии произошло распределение основных статей баланса по отношению к модельному балансу в ненарушенном состоянии за счет сокращения оттока в реки на 55,6% и увеличения питания из рек на 13,2%.

Для сценария 2 выполнена сравнительная оценка данных меженного 95% обеспеченного стока и данных по изменению стока при прогнозном перспективном водоотборе для двух представительных речных бассейнов: р. Колва и р. Седью (табл. 2).

Таблица 2. Ущерб речному стоку при перспективном водоотборе

Речной бассейн	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Изменение стока (сценарий 2)	Расход 95%	Ущерб речному стоку, %
		тыс. м <sup>3</sup> /сут		
Колва	2414,0	37,3	4838,4	0,8
Седью	322,7	24,8	53,6	46,3

**Оценка потенциальных ресурсов подземных вод.** На основе данных, откалиброванных с помощью гидрогеодинамической модели, созданной с целью оценки перспективных ресурсов подземных вод, решена серия прогнозных задач для оценки потенциальных ресурсов подземных вод, т.е. без учета латерального потока подземных вод. Решение прогнозных задач выполнено с различной сеточной разбивкой исследуемой территории размером от 0,5 до 30 км с шагом 500 и 1000 м. Данные для каждой тестовой задачи задавались путем интерполяции верифицированных параметров (интенсивность перетекания, проводимость и допустимое понижение уровня) гидрогеодинамической модели Усинского района, где сеточная разбивка составляла 500×500 м.

Оценка ресурсов выполнена в каждом блоке равномерной модельной сетки – методом «больших колодцев» (6). При этом необходимо учитывать, что потенциальные ресурсы подземных вод при неограниченном периоде эксплуатации не должны превышать естественные ресурсы (7):

$$Q_{пр} \geq \frac{2\pi kmS}{\ln \frac{R_б}{r_к}} \quad (6)$$

$$Q_{пр} \leq Q_{ер}, \quad (7)$$

где  $Q_{пр}$  и  $Q_{ер}$  – потенциальные и естественные ресурсы подземных вод соответственно;  $S$  – допустимое понижение уровня;  $R_б$  и  $r_к$  – радиус блока и приведенный радиус водозаборного сооружения (большого колодца) соответственно.

Величина естественных ресурсов из уравнения (7) напрямую влияет на оценку потенциальных ресурсов подземных вод. С этой целью рассмотрено пять вариантов оцененных естественных ресурсов (рис. 5). В первом варианте величина естественных ресурсов определена интенсивностью перетекания ( $Q_{пр\_2022}$ ), полученной в результате решения обратной задачи гидрогеодинамической модели Усинского района. Для четырех других она отождествлена со среднегодовым многолетним меженным подземным стоком в реки, рассчитанным в разное время с разной обеспеченностью: 50% ( $Q_{пр50\_1972}$ ) и 90% ( $Q_{пр90\_1972}$ ) обеспеченности, рассчитанный в 1972 г. за весь период наблюдения; 95% обеспеченности, рассчитанный в 1997 г. ( $Q_{пр95\_1997}$ ) и 2011 г. ( $Q_{пр95\_2011}$ ) за весь период наблюдения за расходом рек. Следует отметить, что приравнивание естественных ресурсов к величине подземного стока дает заниженные результаты, т.к. сток подземных вод в реки представляет собой только один из элементов естественных ресурсов, и в нем не отражена разгрузка подземных вод путем испарения с уровня грунтовых вод, родниковый сток и т.д.

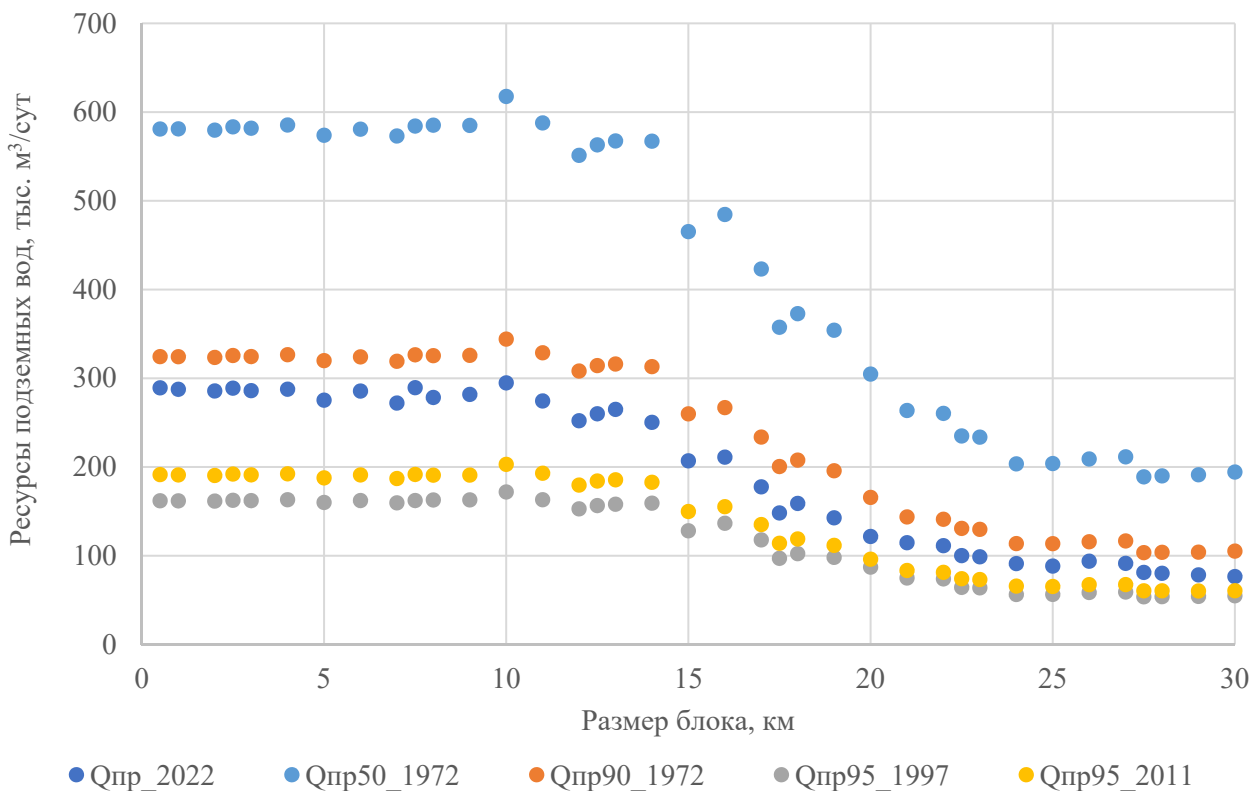


Рис. 5. Результаты оценки потенциальных ресурсов подземных вод при различных размерах блоков



Чтобы горизонтальный поток в уравнении баланса являлся малой поправкой к питанию, размер блока предлагается оценивать по формуле (8):

$$L \gg \frac{TI}{W}, \quad (8)$$

где  $L$  – ширина блока;  $I$  – градиент напоров.

Для исследуемой территории ширина блока составляет:

$$L \gg \frac{62,5 \times 0,0012}{5 \times 10^{-5}} = 1500 \text{ м}$$

При равномерном водоотборе по всей площади исследования оцененные потенциальные ресурсы подземных вод при использовании в расчетах величины естественных ресурсов 50 и 95% обеспеченности отличаются примерно в три раза. Выбор наиболее жесткого критерия обеспеченности естественных ресурсов позволяет уменьшить региональный ущерб речному стоку и обеспечить расчетную величину ресурсов подземных вод в течение всего года. Из расчетов следует, что оценку потенциальных ресурсов подземных вод на исследуемой территории необходимо выполнять при ширине блока не менее 15 км и величине естественных ресурсов 90-95% обеспеченности.

**В заключении** сформулированы основные выводы диссертационного исследования:

1. Составление гидрогеологических карт при мелкомасштабном картографировании неразрывно связано с хранением и представлением большого массива данных. Представленный структурированный фонд геолого-гидрогеологической информации определяет состав и объем необходимой информации, формы ее введения и программные решения, обеспечивающие их связь с картографическими материалами. Сравнение с аналогичными разработками показало, что структура фактографического фонда и его таблиц является достаточно универсальной и способна описывать гидрогеологические объекты при различном масштабе гидрогеологического изучения, в том числе при создании региональных гидрогеодинамических моделей.

Согласованность фактографического и картографического фонда позволяет автоматизировано обрабатывать огромный массив исходной информации и строить карты различного содержания с учетом, однако, того обстоятельства, что составление карт есть творческий процесс, который не может быть полностью формализован и передан компьютеру.

2. Выполненный анализ гидрогеологического расчленения плиоцен-четвертичных образований Печорского АБ показал его сложность по двум причинам: исключительное разнообразие литолого-фациального состава этих отложений и их генезиса; наличие ММП со сложными условиями их распространения в плане и разрезе.

Разработанная единая унифицированная схема объектов гидрогеологической стратификации Печорского АБ позволяет на их основе составлять карты гидрогеологического содержания, сохраняя целостность гидрогеологического разреза. Использование единой индексации гидрогеологических таксонов северного плейстоцена дает возможность

координировать решения региональных гидрогеологических задач, ведения ГМСН и поисково-оценочных работ.

3. На основе анализа картографического и фактографического фонда геолого-гидрогеологической информации были изучены геологические, геокриологические и гидрогеологические условия территории исследования. Полученная детальная модель адекватна природно-техногенной обстановке и может применяться для решения прогнозных задач. В работе были выполнены следующие задачи:

- схематизация гидрогеологических условий, которая заключается в определении: граничных условий, временной и пространственной структуры, параметров моделируемого объекта;

- формирование гидрогеодинамической модели необходимым и достаточным набором информации (параметрами) с использованием структурированного фонда геолого-гидрогеологической информации;

- калибровка исходной модели посредством решения серии обратных задач;

- оценка источников формирования ресурсов;

- оценка прогнозных ресурсов подземных вод Усинского района.

4. На математической геофильтрационной модели оценены прогнозные ресурсы категории  $P_1$  в объеме 72 873,4 м<sup>3</sup>/сут для перспективной потребности развивающегося городского округа Усинск и основные источники формирования баланса подземных вод. Решение прогнозной задачи показало, что на уже разведанных участках месторождений распределенного фонда недр возможно наращивание запасов более чем в 13 раз по сравнению с утвержденными. Таким образом, суммарный водоотбор в 78 645 м<sup>3</sup>/сут (при утвержденных запасах на месторождениях распределенного фонда недр – 5 771,6 м<sup>3</sup>/сут) может рассматриваться для перспективного развития региона, т.к. модельные понижения уровней не превысили допустимые, т.е. данная потребность в воде этими водозаборами надежно обеспечивается.

По результатам моделирования освоение ресурсов только на участках эксплуатируемых месторождений подземных вод приведет к сокращению подземного стока в реки на 55,6% и увеличению питания из рек на 13,2%. Наибольшее изменение стока при таком водоотборе коснется бассейнов рек Колва и Седью, ущерб речному стоку на них составит менее 1 и 46% соответственно. Фактически реальный ущерб речному стоку, возможно, будет меньше модельного, т.к. не учитывалось изменение условий питания и эвапотранспирационной разгрузки.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Публикации в рецензируемых научных изданиях, определенных п.2.3 Положения о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова*

1. **Егоров Т.С.** Оценка прогнозных ресурсов подземных вод Усинского района (восточной части Печорского артезианского бассейна) с использованием гидрогеодинамического моделирования // Водные ресурсы. – 2021. – Т. 48. – № 3. – С. 243-253. Импакт-фактор РИНЦ (2021): 1.230. Объем публикации 1.3 п.л.
2. **Егоров Т.С.** Опыт создания и применения структурированного фонда гидрогеологической информации при мелкомасштабном картографировании // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2022. – № 1. – С. 58-68. Импакт-фактор РИНЦ (2021): 0.889. Объем публикации 1.3 п.л.
3. **Егоров Т.С.** Отбор подземных вод на территории восточной части Печорского артезианского бассейна и его влияние на экологическую обстановку // Инженерная геология. – 2022. – Т. 17, № 4. – С. 40-49. Импакт-фактор РИНЦ (2021): 0.455. Объем публикации 1.2 п.л.

*Публикации в иных научных изданиях*

4. **Егоров Т.С.,** Ершов В.В. Особенности гидрогеологического расчленения плиоцен-четвертичных отложений Печорского артезианского бассейна // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 8. – С. 32-36.
5. Лукьянчиков В.М., Плотникова Р.И., Челидзе Ю.Б., **Егоров Т.С.** и др. Результаты и проблемы государственного гидрогеологического картографирования // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 3. С. 48–55.
6. **Егоров Т.С.** Прогнозные ресурсы подземных вод Усинского района // Новые идеи в науках о Земле: Материалы XV Международной научно-практической конференции: в 7 т., Москва, 01–02 апреля 2021 года. Том 3. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2021. – С. 17-20.
7. **Егоров Т.С.** Создание структурированного фонда гидрогеологической информации при мелкомасштабном картографировании // Труды I Всероссийской научно-практической конференции по поиску, разведке и эксплуатации подземных вод «Гидрогеология 2021», Санкт-Петербург, 13–14 апреля 2021 года. – Москва: Издательство «Перо», 2021. – С. 36-43.
8. **Егоров Т.С.** Особенности оценки прогнозных ресурсов подземных вод при создании комплекта государственных гидрогеологических карт масштаба 1:1 000 000 на примере листа Р-39 // Материалы Международного молодежного научного форума «Ломоносов-2021». Секция «Геология». – М.: МАКС Пресс, 2021. Режим доступа – [https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov\\_2021/data/22053/127584\\_uid563048\\_report.pdf](https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2021/data/22053/127584_uid563048_report.pdf)
9. **Егоров Т.С.** Современные проблемы представления гидрогеологической информации при мелкомасштабном картографировании и пути их решения // Молодые - Научкам о Земле: Тезисы докладов X Международной научной конференции молодых ученых: в 7 т., Москва, 31 марта – 01 апреля 2022 года. Том 3. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2022. – С. 16-21.
10. **Егоров Т.С.** Обоснование размера расчетного блока при оценке прогнозных ресурсов подземных вод на примере гидрогеодинамической модели Усинского района // Новые идеи в науках о Земле: Материалы XVI Международной научно-практической конференции: в 7 т., Москва, 06–07 апреля 2023 года. Том 4. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2023. – С. 271-274.
11. Ершов В.В., **Егоров Т.С.,** Кашина Н.П., Козлов Ю.А. Особенности и результаты гидрогеологического картографирования листа Q-41 – Воркута // Новые идеи в науках о Земле: Материалы XVI Международной научно-практической конференции: в 7 т., Москва, 06–07 апреля 2023 года. Том 4. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2023. – С. 275-278.