

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Глухова Светлана Алексеевна

**Роль тектонических структур в формировании гидрогеологических
условий зоны активного водообмена центральной части
Московского артезианского бассейна**

Специальность 1.6.6. Гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва — 2025

Диссертация подготовлена на кафедре гидрогеологии геологического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова

Научный руководитель

– **Харитонова Наталья Александровна,**
доктор геолого-минералогических наук, доцент

Официальные оппоненты

– **Макеев Владимир Михайлович,**
доктор геолого-минералогических наук,
Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской
академии наук, главный научный сотрудник,
и.о. зав. лабораторией эндогенной геодинамики и
неотектоники им. В.И. Макарова

Лепокурова Олеся Евгеньевна,
доктор геолого-минералогических наук,
Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской
академии наук, Томский филиал, директор, ведущий научный
сотрудник лаборатории гидрогеохимии и геоэкологии

Хаустов Александр Петрович,
доктор геолого-минералогических наук, профессор,
Российский университет дружбы народов имени Патриса
Лумумбы, Институт экологии, Департамент экологической
безопасности и менеджмента качества продукции, профессор

Защита диссертации состоится 13 февраля 2026 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.1 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, Главное здание МГУ, корпус «А», геологический факультет, аудитория 415.

Электронная почта: mgu.04.01@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский проспект, д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3725>

Автореферат разослан 29 декабря 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор геолого-минералогических наук



Н.А. Харитонова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности. Формирование региональных и локальных гидрогеологических условий происходит под воздействием комплекса различных факторов, среди которых одним из важнейших является тектонический. Региональные геологические структуры (синеклизы, щиты, горно-складчатые области и пр.) обуславливают состав, условия и характер залегания гидрогеологических подразделений, направление движения подземных вод, а также общие закономерности формирования их химического состава. При этом структуры меньших порядков (прогибы, поднятия, сдвиги, сбросы/взбросы и пр.) оказывают локальное влияние на региональные закономерности геофильтрации. В артезианских бассейнах изменение геофильтрационных свойств водовмещающих и слабопроницаемых отложений, происходящее в результате тектонического воздействия, может приводить к формированию так называемого гидрогеологического окна, являющегося местной областью питания/разгрузки подземных вод.

В пределах центральной части Московского артезианского бассейна (МАБ) расположен наиболее густонаселенный регион Российской Федерации — г. Москва и Московская область. Центральная часть МАБ обладает значительными ресурсами пресных подземных вод: модуль подземного стока составляет $1,2\text{--}1,8 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ [Карта подземного стока..., 1984], модуль ресурсного потенциала — $2,0 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$, достигая максимально $5\text{--}10 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ [Карта ресурсного потенциала..., 2013]. В пределах Московского региона подземные воды испытывают существенную антропогенную нагрузку, связанную с высокой величиной водоотбора (около $1,0 \text{ млн. м}^3/\text{сут}$) и наличием большого количества потенциальных источников загрязнения (промышленные предприятия, полигоны размещения твердых коммунальных отходов, транспортные магистрали и т. д.). Ключевым вопросом рационального использования и охраны подземных вод на территории центральной части МАБ является выявление взаимосвязи целевых для водоснабжения горизонтов и комплексов каменноугольных отложений с вышележащим мезокайнозойским комплексом. Развитие интенсивных сдвиговых деформаций в карбонатных отложениях каменноугольной системы центральной части МАБ за счет передачи деформаций в вышележащие слои литифицированных глин приводит к изменению их проницаемости, что обуславливает формирование в них гидрогеологических окон структурно-тектонической природы. Эти окна в районах их развития кардинально меняют структуру геофильтрационных потоков, взаимосвязь горизонтов и формируют опасность проникновения с поверхности загрязнения в защищенные продуктивные водоносные горизонты. Целесообразность таких исследований обусловлена и прикладным значением, поскольку выявление и корректный учет

гидрогеологических окон центральной части МАБ повысит обоснованность и степень достоверности прогнозов эксплуатации данных вод и их защиты от загрязнения.

Таким образом, выявление масштаба влияния тектонических структур на гидрогеологические особенности конкретной территории является как важной теоретической проблемой региональной гидрогеологии, так и прикладной задачей оценки ресурсов и охраны подземных вод.

Объектом исследований данной работы являются подземные воды зоны активного водообмена центральной части МАБ на участках развития сдвиговых деформаций в карбонатных отложениях каменноугольной системы.

Предмет исследований — взаимосвязь подземных вод каменноугольных отложений с вышележащими мезокайнозойскими горизонтами на этих участках.

Основная научная гипотеза, лежащая в основе диссертации. В районах развития интенсивных сдвиговых деформаций в карбонатных отложениях каменноугольной системы центральной части МАБ за счет передачи деформаций в вышележащие слои литифицированных глин происходит изменение их проницаемости, приводящее к формированию в них гидрогеологических окон структурно-тектонической природы. Эти окна могут быть выявлены, оконтурены, а значения параметров перетекания в них атрибутированы в результате комплексных исследований, включающих: а) линеаментный структурно-тектонический анализ, б) анализ взаимосвязи каменноугольных и мезокайнозойских водоносных комплексов на основе гидрогеодинамического моделирования, в) интерпретацию данных макро-, микрокомпонентного и изотопного опробования состава подземных вод.

Целью работы является оценка влияния сдвиговых неотектонических структур в каменноугольных отложениях в центральной части МАБ на условия взаимосвязи водоносных горизонтов, поверхностных и подземных вод в областях развития этих структур, а также на их изотопно-геохимические характеристики.

Задачи исследований:

1. обоснование выбора ключевых участков крупномасштабных исследований для оценки влияния сдвиговых неотектонических структур на потоки подземных вод в зоне активного водообмена МАБ;
2. анализ закономерностей пространственного распределения напоров и геофильтрационное моделирование для выявления взаимосвязи каменноугольных и мезокайнозойских водоносных комплексов на ключевых участках;
3. геохимическое опробование ключевых участков, анализ и интерпретация данных макро-, микрокомпонентного и изотопного состава подземных вод;

4. разработка методики выявления структурно-тектонических гидрогеологических окон в литифицированных глинистых слабопроницаемых отложениях, перекрывающих возможные участки интенсивных сдвиговых деформаций в карбонатных отложениях каменноугольной системы центральной части МАБ.

Научная новизна. Впервые выполнено определение влияния неотектонических структур МАБ (Тростенской впадины и Клепиковского прогиба) на особенности формирования гидрогеологических условий. На основании применения линеаментного и структурно-тектонического анализов установлено, что данные структуры сформированы в условиях сдвиговых деформаций. Доказано, что именно сдвиговые неотектонические деформации являются причиной формирования структурно-тектонических гидрогеологических окон и местных областей питания/разгрузки подземных вод целевых водоносных комплексов каменноугольных отложений. Для области развития Тростенской впадины разработана имитационная региональная разведочная гидрогеологическая модель. На основании комплексного анализа массива геохимических данных выявлены области питания и разгрузки подземных вод участков неотектонических структур, установлены основные источники их солевой компоненты. Впервые разработана методика выявления структурно-тектонических гидрогеологических окон, приуроченных к сдвиговым деформациям.

Теоретическая значимость исследования заключается в определении механизма влияния неотектонических структур на гидрогеодинамические условия и гидрогеохимические характеристики на основе применения комплексного анализа.

Практическая значимость. Защищенность целевых водоносных комплексов центральной части МАБ обусловлена целостностью перекрывающих слабопроницаемых отложений, в то время как существование структурно-тектонических гидрогеологических окон приводит к проникновению в глубокие водоносные горизонты загрязняющих компонентов из поверхностных вод и смежных водоносных горизонтов. Поэтому наличие структурно-тектонических гидрогеологических окон должно быть учтено при обосновании защищенности целевых водоносных комплексов и проектировании зон санитарной охраны водозаборных сооружений с целью охраны подземных вод от потенциального загрязнения. Кроме того, структурно-тектонические гидрогеологические окна являются местными областями питания/разгрузки подземных вод и оказывают влияние на уровенную поверхность, взаимосвязь между смежными водоносными горизонтами и поверхностными водами, а также на формирование химического состава. В связи с этим наличие гидрогеологических окон должно быть учтено при оценке запасов подземных вод: при

обосновании балансовой структуры эксплуатационного водоотбора и прогнозе сохранения качества отбираемой воды.

Методология и методы исследования. Определение роли влияния сдвиговых неотектонических структур на условия взаимосвязи водоносных горизонтов, поверхностных и подземных вод в областях развития этих структур выполнено на основании комплексного анализа, включающего:

- изучение геологического строения и гидрогеологических условий территории развития неотектонических структур на основании фондовых и архивных материалов;
- проведение линеаментного структурно-тектонического анализа;
- анализ закономерностей пространственного распределения напоров подземных вод;
- проведение гидрохимического опробования и анализ химического, а также изотопного ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{17}\text{O}$) состава подземных вод;
- изучение особенностей фильтрационного строения водовмещающих и слабопроницаемых отложений, анализ роли тектонического фактора в их формировании;
- моделирование влияния сдвиговых структур на формирование гидрогеологических условий.

Защищаемые положения

1. Тростенская впадина является структурно-тектоническим гидрогеологическим окном, сформированным в процессе сдвиговых деформаций, приведших к увеличению проницаемости келловей-кимериджской слабопроницаемой толщи, разделяющей целевой подольско-мячковский водоносный комплекс от вышележащего мезокайнозойского комплекса. Изотопно-геохимические данные и гидродинамическое моделирование указывают на образование локального купола питания подземных вод подольско-мячковского водоносного комплекса за счет перетока вод из вышележащего мезокайнозойского комплекса.

2. Формирование структурно-тектонического гидрогеологического окна в центральной части Клепиковского прогиба обусловлено сдвиговыми деформациями, которые привели к увеличению проницаемости и трещиноватости келловей-кимериджской слабопроницаемой толщи и целевого касимовского водоносного комплекса. Закономерности пространственного распределения напоров подземных вод и их гидрохимические особенности свидетельствуют о разгрузке каменноугольных водоносных комплексов в вышележащие водоносные комплексы.

3. Сдвиговые неотектонические структуры каменноугольных отложений центральной части Московского артезианского бассейна могут являться как областями питания, так и областями разгрузки подземных вод. Для определения их роли в водообмене подземных вод обоснована методика выявления и комплексных исследований структурно-тектонических гидрогеологических окон, включающая линеаментный (тектонический) анализ, гидрогеодинамическое моделирование, а также детальные изотопно-геохимические исследования.

Обоснованность и достоверность результатов научных исследований, положений и выводов основываются на: 1) использовании стандартных методик, применяемых в гидрогеологии для обработки и анализа материалов, полученных в ходе полевых и лабораторных исследований; 2) большом количестве полученных данных и их соответствии с результатами других авторов; 3) использовании при лабораторных исследованиях современного высокоточного оборудования в аттестованных лабораториях; 4) апробацией основных научных положений на различных конференциях и публикациями в рецензируемых журналах.

Апробация результатов. Основные результаты работы докладывались на Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2018» (Москва, 2018), Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2023), Международной научной конференции «Современная гидрогеология: актуальные вопросы науки, практики и образования» (Сочи, 2023), Научной конференции «Сергеевские чтения. Региональная инженерная геология и геоэкология» (Дербент, 2024), Всероссийской конференции с международным участием «Ломоносовские чтения 2024» (Москва, 2024), Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2024» (Москва, 2024), Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2025), Всероссийской конференции с международным участием «Ломоносовские чтения» (Москва, 2025), Международном молодежном научном симпозиуме «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2025).

Публикации автора по теме диссертации. Результаты проведенных исследований, основные положения и вопросы, рассматриваемые в диссертации, изложены в 4 публикациях, в том числе в 3 статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, которые рекомендованы для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав с разделами и подразделами и заключения. Общий объем работы составляет 156 страниц, включая 70 рисунков, 12 таблиц и список литературы из 134 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Основные черты взаимосвязи мезокайнозойских и каменноугольных комплексов в центральной части Московского артезианского бассейна в современных условиях и обоснование выбора ключевых участков

Центральная часть Московского артезианского бассейна (МАБ) обладает значительными ресурсами пресных подземных вод, при этом подземные воды испытывают существенную антропогенную нагрузку, связанную с высокой величиной водоотбора и наличием большого количества потенциальных источников загрязнения. Особенностью взаимосвязи эксплуатируемых каменноугольных горизонтов и комплексов с вышележащим мезокайнозойским комплексом является наличие в разделяющих слабопроницаемых толщах гидрогеологических окон различной природы, в том числе и тектонического происхождения.

Приуроченность исследуемой территории к Восточно-Европейской платформе предопределяет широкое развитие структур, образованных в условиях сдвиговых деформаций, одними из которых являются Тростенская впадина и Клепиковский прогиб (Рисунок 1).



Рисунок 1. Местоположение ключевых участков: I — Тростенской впадины, II — Клепиковского прогиба

Тростенская впадина впервые была выявлена при проведении геологоразведочных работ на основании результатов морфоструктурного и геолого-структурного анализов материалов дистанционных исследований и цифровых моделей рельефа [Манукьян, 2008]. Выдвинуто предположение, что ограничивающие структуру разломы могут служить зонами повышенной проницаемости, и условно впадину можно рассматривать в качестве области питания подземных вод. Анализ материалов предыдущих исследований, выполненных в

пределах изучаемой территории, позволил установить, что Тростенская впадина может являться потенциальным структурно-тектоническим гидрогеологическим окном.

Клепиковский прогиб был выявлен по результатам изучения космоснимков и топографических карт: подобно Тростенской впадине структура характеризуется относительно пониженным рельефом, узкой линейной плановой формой и высокой заболоченностью. Анализ материалов предыдущих исследований позволил установить наличие структурно-тектонического гидрогеологического окна в центральной части прогиба, а также области разгрузки подземных вод. Однако, несмотря на убедительные доказательства проявления тектонического фактора, в изученных работах отсутствует объяснение механизма образования области повышенной проницаемости и в ее роли в формировании области разгрузки.

Глава 2. Характеристика ключевых участков

По геологическому строению изучаемые участки расположены в центральной части Восточно-Европейской платформы и приурочены к юго-восточному крылу Московской синеклизы, по гидрогеологическим условиям — к центральной части Московского артезианского бассейна.

На участке Тростенской впадины основным эксплуатируемым в целях водоснабжения водоносным комплексом является подольско-мячковский (C_2pd -mc), взаимосвязь которого с вышелегающим мезокайнозойским комплексом ($Q_{I-IV}+J_3v-K_{1al}$) определяется характеристикой слабопроницаемой келловей-киммериджской терригенной толщи (J_3k -km) (Рисунок 2).

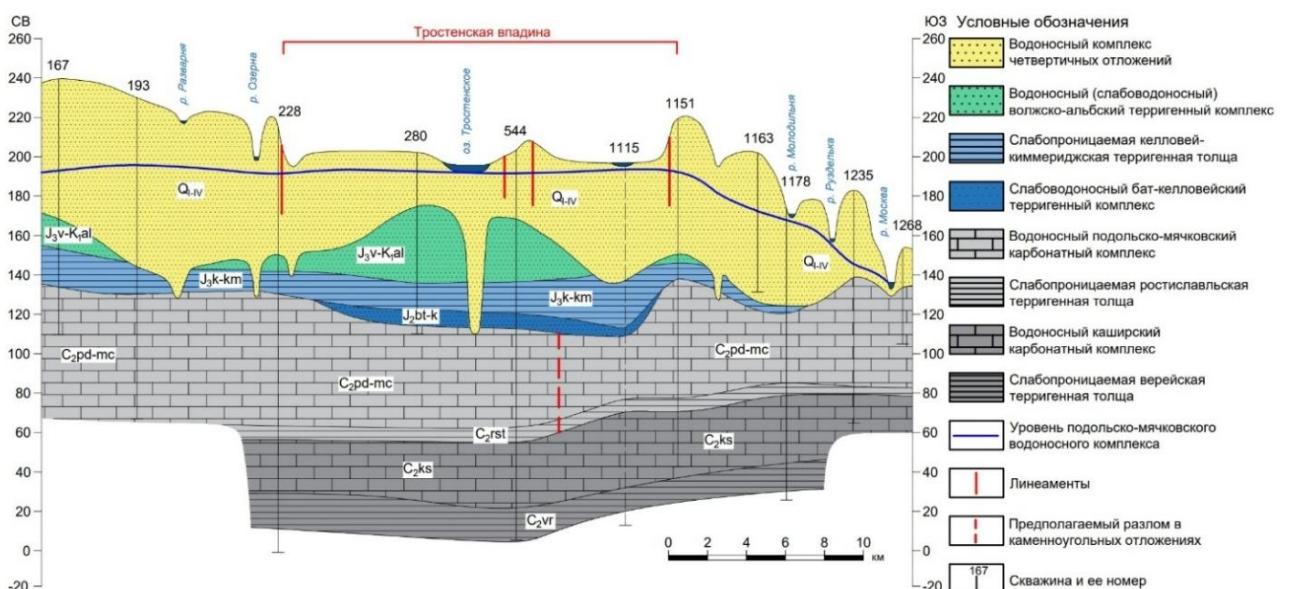


Рисунок 2. Гидрогеологический разрез участка Тростенской впадины (составлено автором по данным [Лачинова, 1999; Манукьян, 2008])

В пределах центральной части Клепиковского прогиба основным эксплуатируемым водоносным комплексом является касимовский (C_3ksm), который отделен от вышележащего мезокайнозойского комплекса ($Q_{I-IV}+J_3v-K_{1al}$) слабопроницаемой келловей-киммериджской терригенной толщей (J_3k-km), а от нижележащего подольско-мячковского водоносного комплекса (C_2pd-mc) — слабопроницаемой кревякинской терригенной толщей (C_3kr) (Рисунок 3).

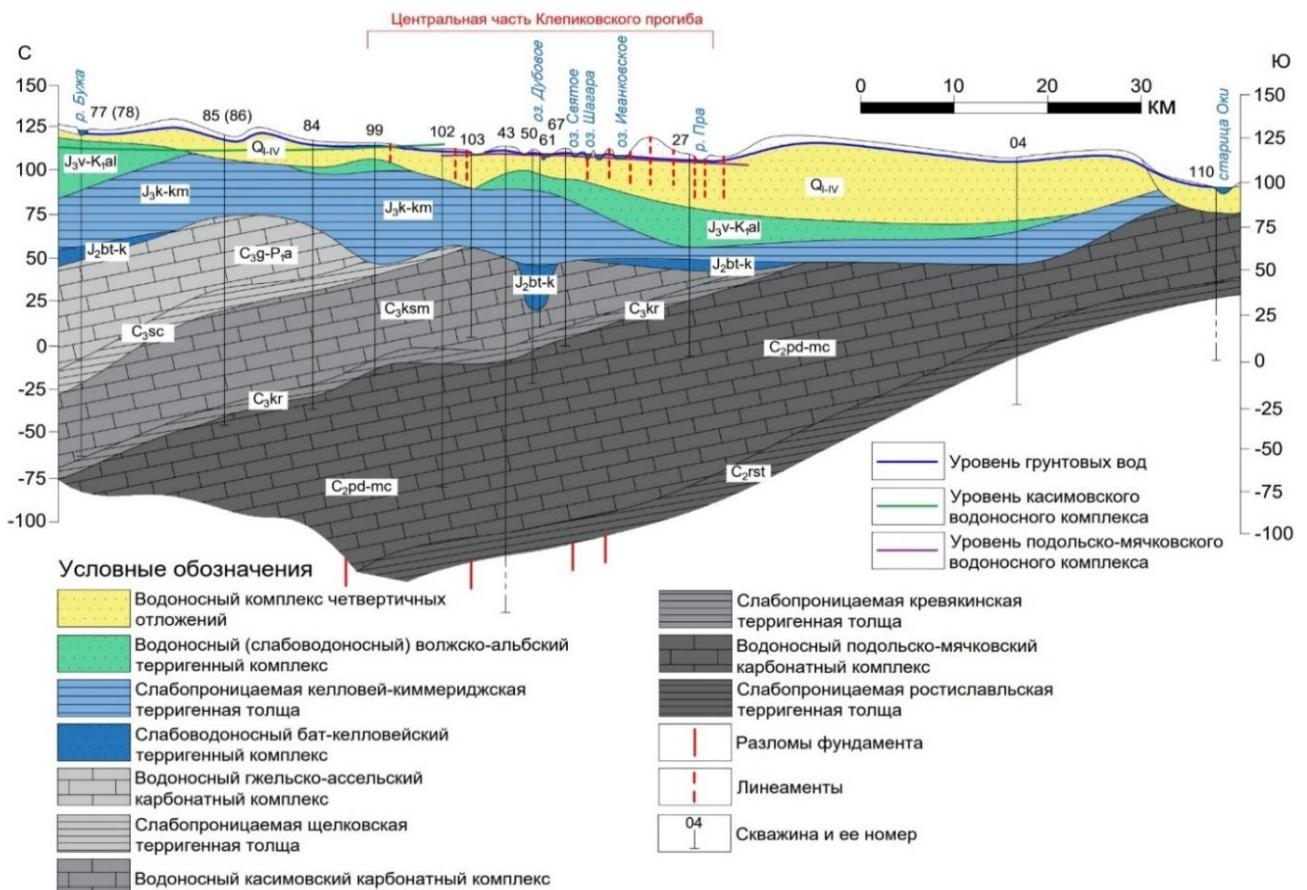


Рисунок 3. Гидрогеологический разрез участка Клепиковского прогиба (составлено автором по данным [Ефремов, 1972])

Глава 3. Методы и методика исследований

Структурно-тектонические гидрогеологические окна представляют участки геологической среды, в пределах которых переток между смежными водоносными комплексами повышен за счет тектонической трещиноватости разделяющей слабопроницаемой толщи.

Изучение влияния тектонических структур на формирование гидрогеологических условий выполнено на основании применения комплексного анализа, включающего: линеаментный структурно-тектонический анализ; изучение особенностей фильтрационного строения водовмещающих и слабопроницаемых отложений; анализ закономерностей пространственного распределения напоров подземных вод; изучение общего химического и изотопного состава подземных вод смежных водоносных комплексов; проведение

моделирования формирования гидрогеологических условий на участках структурно-тектонических гидрогеологических окон.

Глава 4. Влияние Тростенской впадины на гидрогеологические условия

По результатам линеаментного структурно-тектонического анализа установлено, что Тростенская впадина характеризуется относительно пониженным современным рельефом с абс. отм. 195–205 м (Рисунок 4). Дно впадины заболочено и имеет слабый наклон с юго-востока на северо-запад. Структура ограничена линеаментами, а также сегментирована линеаментами северо-восточной ориентировки. Слоны впадины асимметричны и возвышаются над ее днищем на 20–70 м. В плане структура имеет Z-образную конфигурацию и гипсометрически выраженной перемычкой морфологически разделена на два сегмента, в пределах которых расположены озера Тростенское и Глубокое. На структурной карте подошвы подстилающей ростиславльской толщи (C_2rst) намечен правосторонний сбросо-сдвиг, ориентированный в северо-восточном направлении. Таким образом, Тростенская впадина может быть отнесена к структурам присдвигового раздвига.

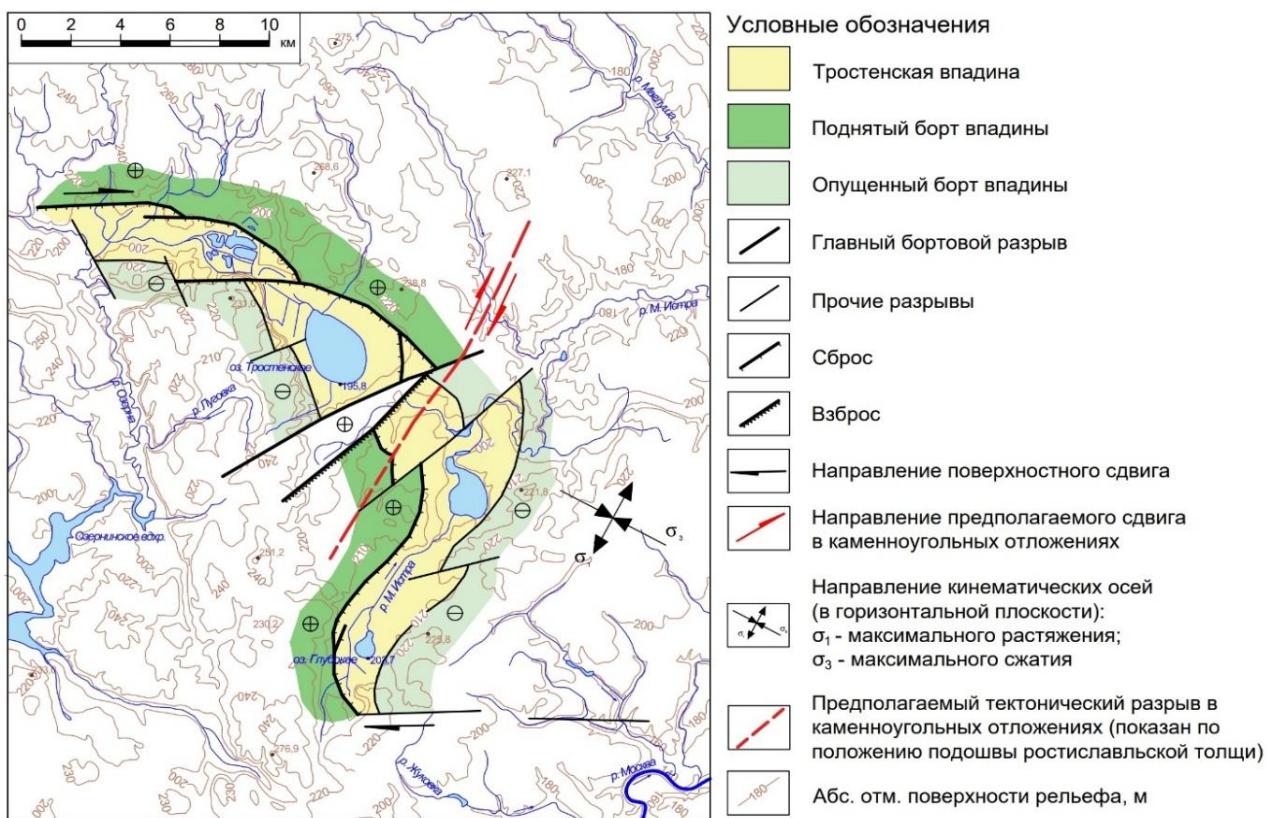


Рисунок 4. Новейшая структура Тростенской впадины с элементами геодинамики

Максимальные абс. отм. уровня подземных вод подольско-мячковского водоносного комплекса (около 200 м) выделяются на северо-западе и в центральной части участка исследования (Рисунок 5). Высокое положение уровня в северо-западной части обусловлено приуроченностью к водораздельной области питания, а купол в центральной части тяготеет к

пониженному в рельефе заболоченному участку Тростенской впадины, и его формирование, вероятно, обусловлено другим фактором.

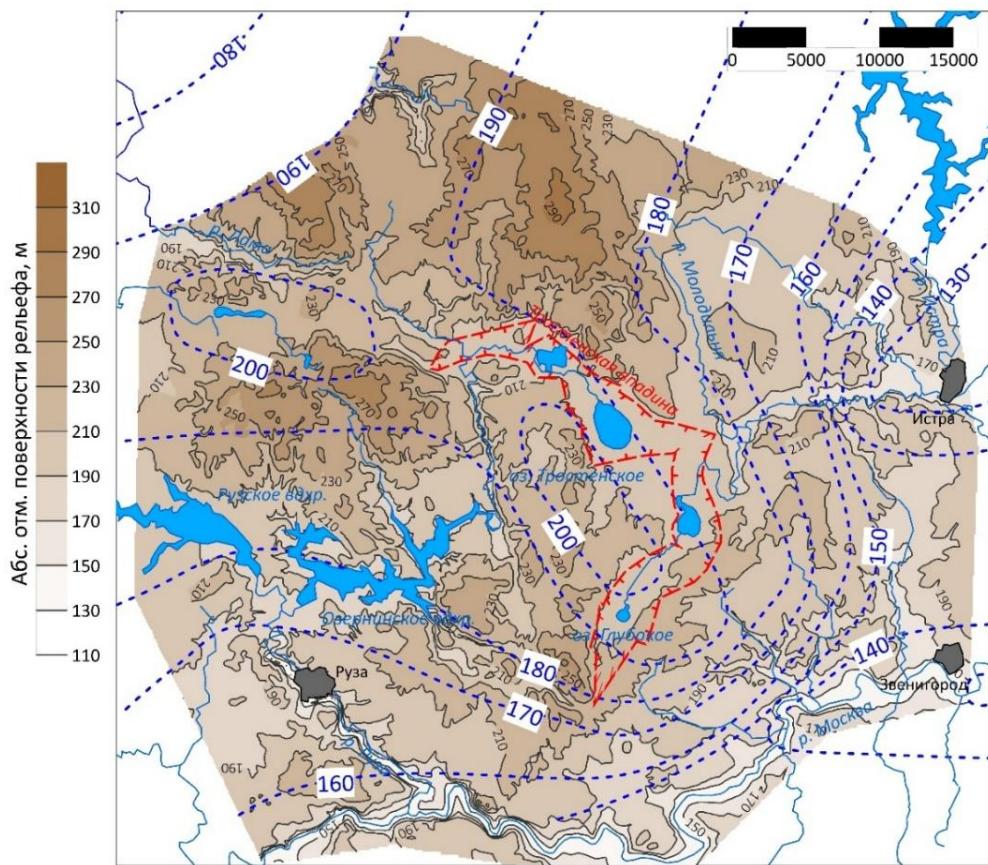


Рисунок 5. Сопоставление схемы гидроизопэз подольско-мячковского водоносного комплекса с поверхностью рельефа

Результаты моделирования деформирования тектонических структур в слое над движущимися блоками фундамента [Михайлова, 2002, 2009] свидетельствуют о возникновении двух групп разрушений. Одна образуется у выхода разлома фундамента под подошву слоя, другая — у поверхности над разломом (Рисунок 6). В дальнейшем эти две системы разрывов объединяются, формируя так называемую область разрушения.

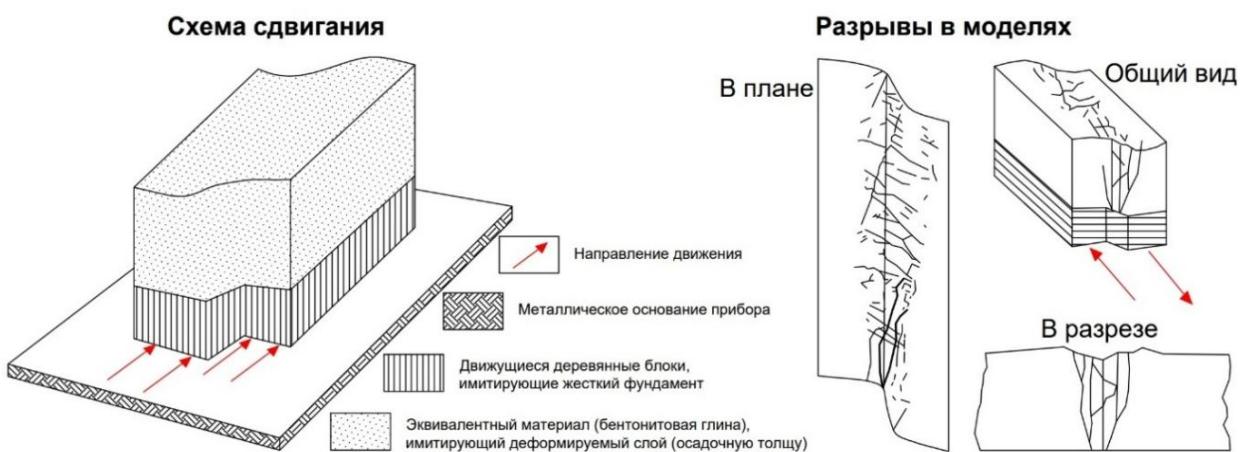


Рисунок 6. Результаты физического моделирования продольного сдвига [Михайлова, 2009]

Проводя аналогию с изученной моделью, следует предположить, что сдвиг в известняках подольско-мячковского комплекса приводит к формированию над ним области разрушения в мезокайнозойском комплексе, за счет чего происходит поступление подземных вод через ослабленную зону в келловей-кимериджской слабопроницаемой толще (Рисунок 7).

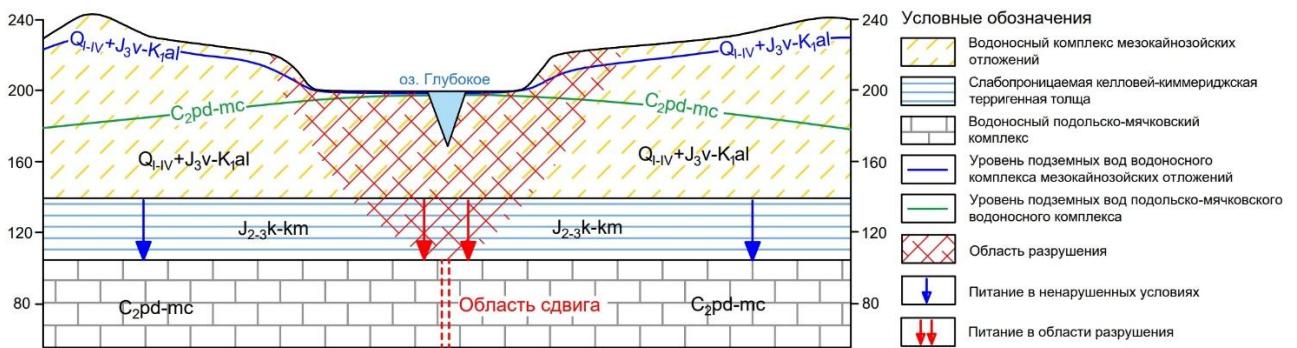


Рисунок 7. Схема формирования куполообразной уровенной поверхности подольско-мячковского водоносного комплекса

Для определения причины образования куполообразной пьезометрической поверхности выполнена разработка имитационной разведочной гидрогеологической модели, состоящей из трех расчетных слоев. Первый слой соответствует водоносному комплексу четвертичных отложений (Q_{I-IV}) и водоносному волжско-альбскому терригенному комплексу (J_3v-K_{1al}), второй — слабопроницаемой келловей-кимериджской толще (J_3k-km), третий — подольско-мячковскому водоносному комплексу (C_2pd-mc) и слабоводоносному бат-келловейскому терригенному комплексу (J_2bt-k).

На первом этапе на модели реализованы основные природные факторы, потенциально влияющие на характер уровенной поверхности (фильтрационная неоднородность водовмещающих отложений и перераспределение величины инфильтрационного питания). По результатам этапа получена карта напоров подземных вод в естественных условиях, в целом подобная схеме гидроизопьез (Рисунок 5), однако купол питания с абс. отм. уровня около 200 м в районе Тростенской впадины на модели отсутствует.

Затем на модели реализована работа крупных водозаборов подземных вод суммарной производительностью 65 тыс. $m^3/сут$. По результатам моделирования водоотбор приводит к образованию воронки депрессии на востоке в районе г. Истра, также локально произошло снижение уровня на юго-востоке в районе г. Звенигорода (Рисунок 8а), что соответствует фактическому положению уровня. Соответственно, образование купола в районе структуры не обусловлено природными факторами, а также сработкой уровней при водоотборе.

На втором этапе в границах Тростенской впадины реализована область повышенной проницаемости келловей-кимериджской слабопроницаемой толщи. При увеличении

коэффициента фильтрации на три порядка (0,03 м/сут) в районе оз. Глубокое была зафиксирована куполообразная поверхность с абс. отм. 200 м, соответствующая фактическим данным (Рисунок 8б). Следовательно, формирование купола питания подземных вод подольско-мячковского водоносного комплекса возможно только за счет области повышенной проницаемости юрских глин.

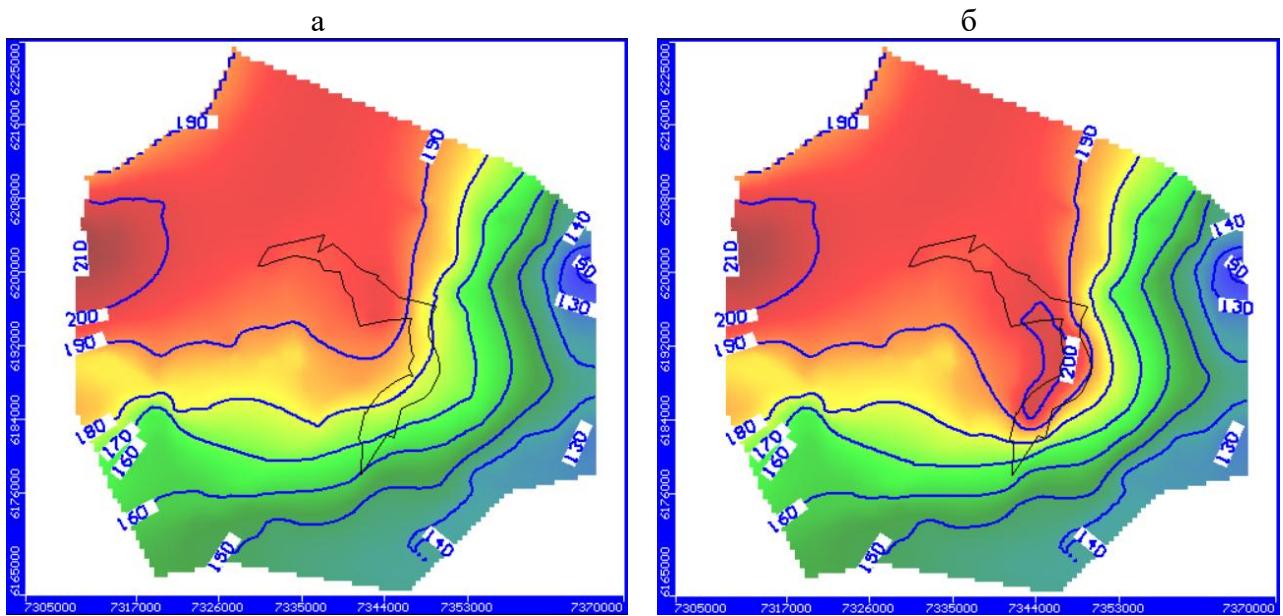


Рисунок 8. Модельная карта напоров подземных вод подольско-мячковского водоносного комплекса при работе водозаборов без учета Тростенской впадины (а) и при ее учете (б)

В северной части Тростенской впадины и северо-западнее нее подземные воды подольско-мячковского водоносного комплекса характеризуются более тяжелым изотопным составом, чем на прилегающей территории. Так, значение $\delta^{18}\text{O}$ в северной части Тростенской впадины составляет $-11,64\text{...}-11,70\text{\textperthousand}$ и северо-западнее $-11,65\text{...}-11,79\text{\textperthousand}$ (Рисунок 9), на остальной территории изменяется до $-12,91\text{\textperthousand}$. Для распределения значений $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{17}\text{O}$ отмечена подобная $\delta^{18}\text{O}$ закономерность. Облегчение изотопного состава происходит в соответствии с направлением движения подземных вод (на юг к р. Москва и на восток, юго-восток к г. Истра, г. Москва). Образование вод подольско-мячковского комплекса с более тяжелым составом в пределах структуры происходит за счет поступления вод из четвертичного водоносного комплекса через ослабленную зону в постледниковый период в то время, как на периферии района питание подземных вод затруднено.

Озеро Глубокое, расположенное в южном сегменте Тростенской впадины, характеризуется изотопным составом в два раза «тяжелее» по сравнению с другими водными объектами района исследования и близким составом с карстовым озером Белое, расположенным в пределах второй изучаемой тектонической структуры. Состав озера близок с составом осадков летнего периода, а изучение $\delta^{17}\text{O}$ показало существенную роль испарения при формировании поверхностных вод озера. Большая глубина (до 32 м), воронкообразная

форма и преимущественное питание атмосферными осадками позволяют предположить, что оз. Глубокое может быть отнесено к карстовому типу, что указывает на современную тектоническую активность южного сегмента структуры.

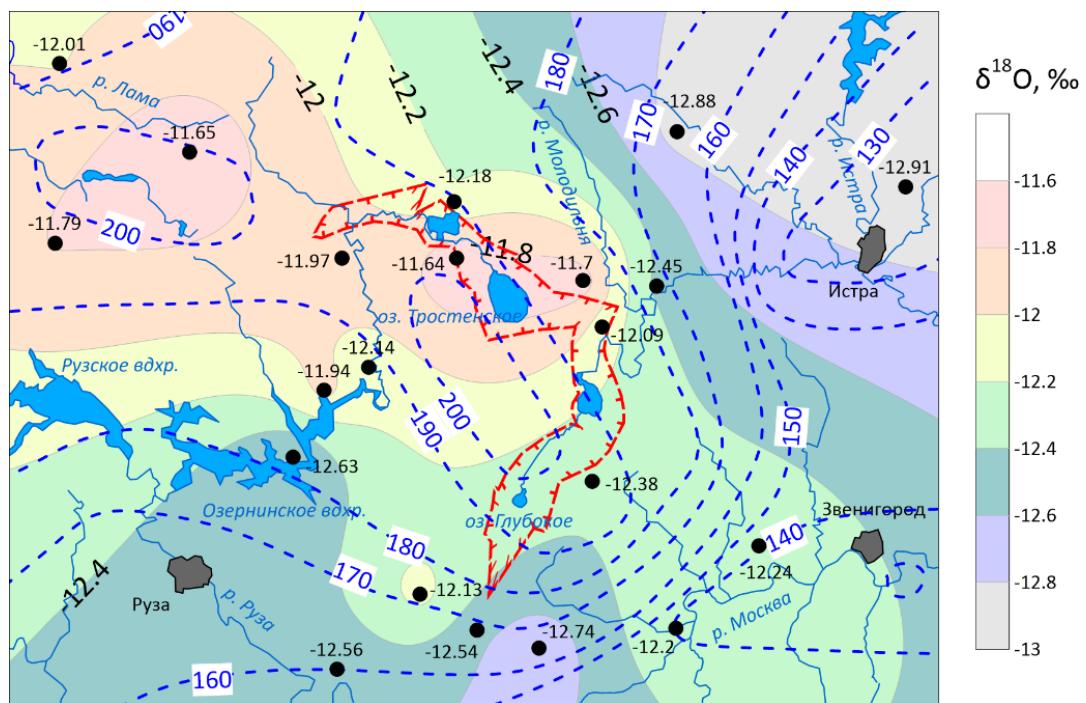


Рисунок 9. Карта изменения $\delta^{18}\text{O}$ в подземных водах подольско-мячковского водоносного комплекса

Глава 5. Влияние Клепиковского прогиба на гидрологические условия

Результаты линеаментного структурно-тектонического анализа показывают, что Клепиковский прогиб характеризуется относительно пониженным современным рельефом, абс. отм. основания прогиба снижаются к югу со 130 до 100 м. Большая часть прогиба заболочена. Центральная часть структуры север-северо-восточного простирания ограничена широтными линеаментными зонами, предполагающими право- и левосдвиговые деформации соответственно (Рисунок 10). Великие Мещерские озера ограничены диагональными линеаментами, образуют кулисный ряд север-северо-восточного простирания, отвечающий обстановкам правого сдвига. Таким образом, центральная часть прогиба является современной тектонически ослабленной зоной, сформированной в сдвиговых условиях и являющейся структурой присдвигового раздвига.

В изучаемом районе абс. отм. уровня подземных вод касимовского карбонатного комплекса (C_3ksm) изменяются от 93 до 129 м (Рисунок 11). В центральной части прогиба абс. отм. уровня подземных вод составляют 114–116 м, что соответствует уровню рельефа и косвенно указывает на тесную взаимосвязь касимовского водоносного комплекса с вышезалегающим комплексом мезокайнозойских отложений. Замеры уровня подземных вод в скважинах показывают, что в центральной части прогиба уровень касимовского комплекса

превышает уровень комплекса мезокайнозоя на 0,57 и 1,38 м, что свидетельствует о разгрузке подземных вод.

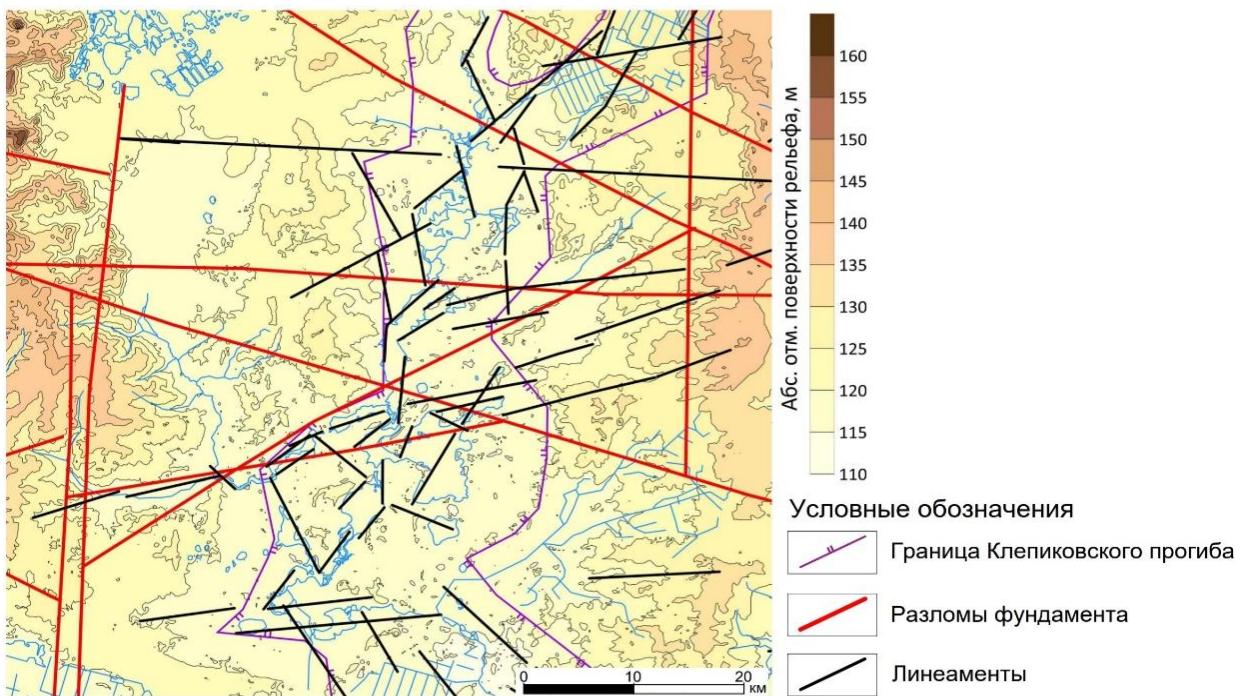


Рисунок 10. Строение Клепиковского прогиба

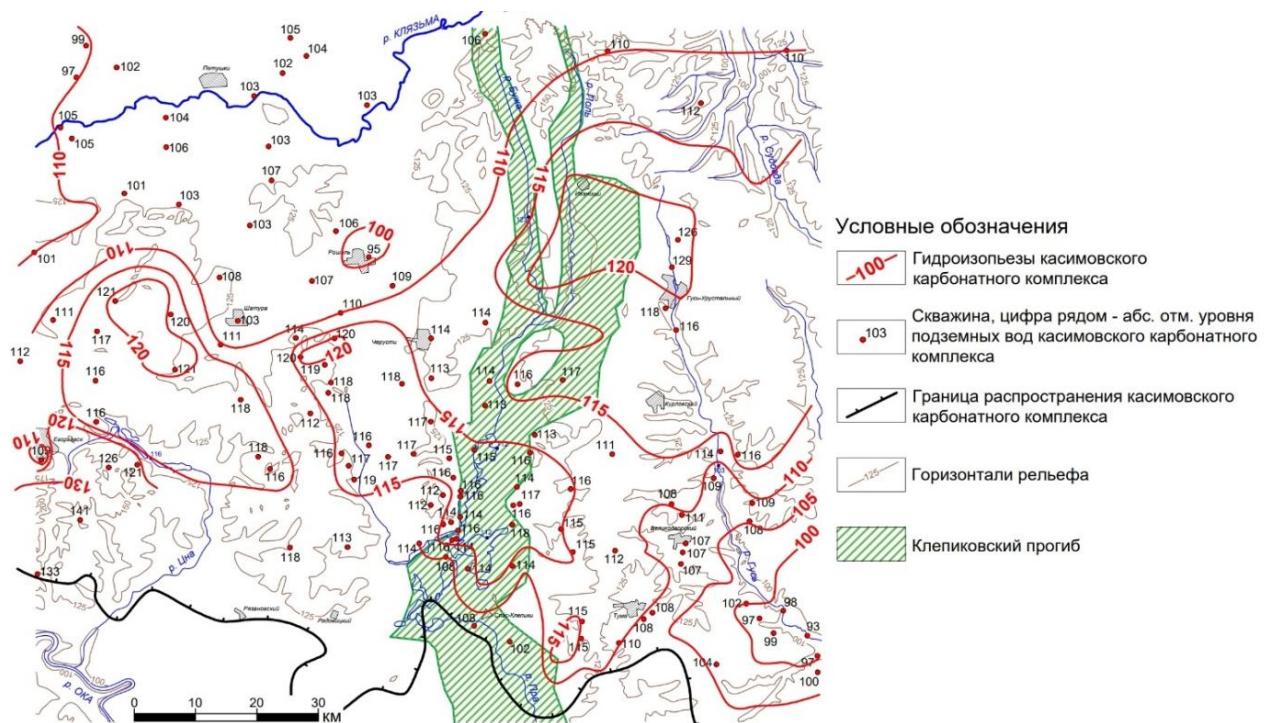


Рисунок 11. Карта гидроизопез касимовского карбонатного комплекса в районе исследования (составлено автором по данным [Кабанов, Меньшенин, Шик, 1987; Квятковская, 1981; Лачинова, 1981])

В пределах центральной части прогиба известняки касимовского комплекса закарстованы и трещиноваты, характеризуются максимальными для всей изучаемой

территории значениями водопроводимости (более $5000 \text{ м}^2/\text{сут}$). Здесь же в юрских глинах по керну обнаружены тонкие вертикальные трещины, а также выявлены высокие значения коэффициента фильтрации ($3 \cdot 10^{-2}$ – $5 \cdot 10^{-3} \text{ м/сут}$) (Рисунок 12). От центра структуры к периферии происходит плавное снижение проницаемости как известняков, так и глин [Ефремов, 1972]. Соответственно, образование тектонически ослабленной зоны в условиях сдвиговых деформаций приводит к увеличению фильтрационных свойств водовмещающих и перекрывающих слабопроницаемых отложений.

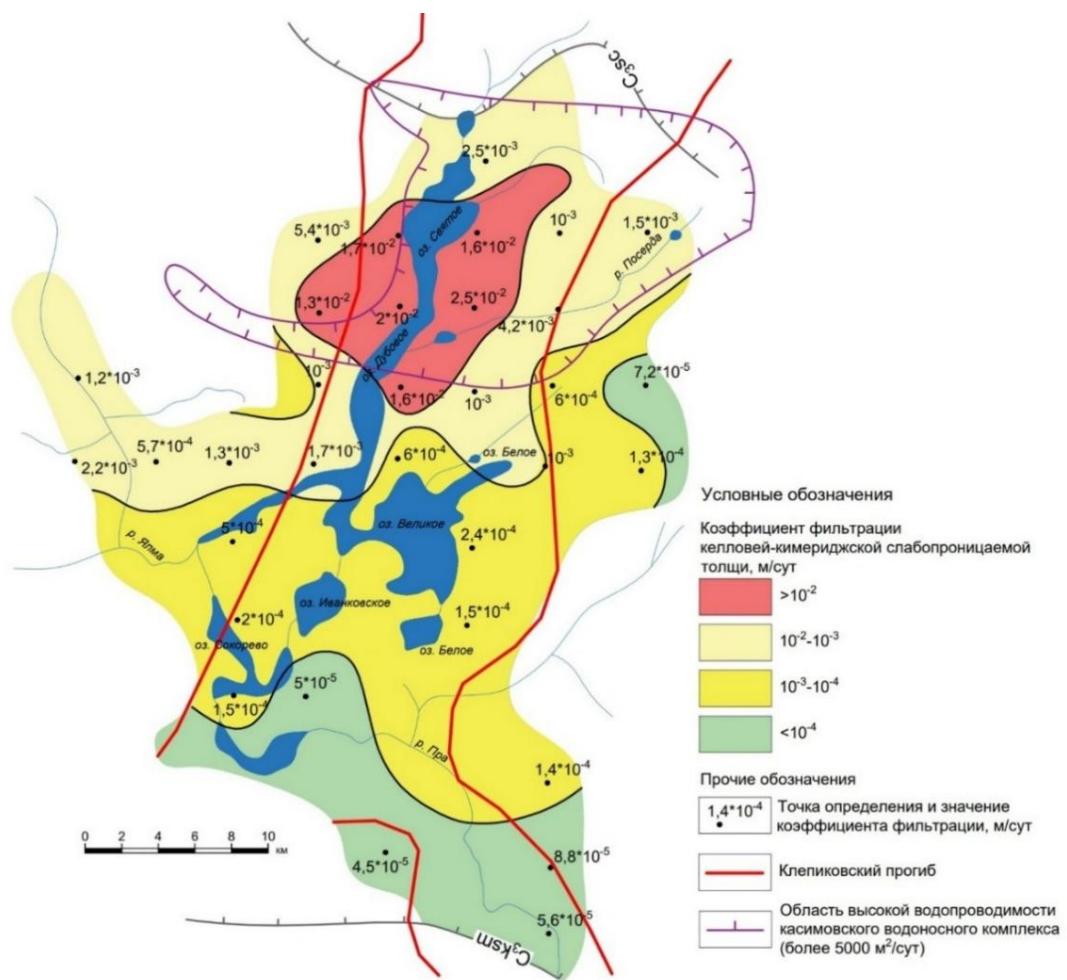


Рисунок 12. Схема коэффициента фильтрации келловей-кимериджской слабопроницаемой толщи в центральной части Клепиковского прогиба [Ефремов, 1972]

На исследуемой территории подземные воды касимовского комплекса (C_{3ksm}) гидрокарбонатные, реже сульфатно-гидрокарбонатные, пресные (значения сухого остатка 0,24–0,63 г/л, в среднем — 0,39 г/л). Подземные воды нижезалегающего подольско-мячковского комплекса (C_{2pd-mc}) преимущественно гидрокарбонатно-сульфатные и имеют относительно повышенную минерализацию, характеризуются высоким содержанием сульфатов и общей жесткостью. В центральной части прогиба отмечается смена химического состава подземных вод касимовского водоносного комплекса с гидрокарбонатного на гидрокарбонатно-сульфатный (Рисунок 13), здесь же зафиксированы максимальные значения

сухого остатка, содержания сульфатов и общей жесткости. Качество подземных вод данного водоносного комплекса в пределах гидрогеологического окна подобно качеству подземных вод при совместном оборудовании скважин с подольско-мячковским комплексом. Соответственно, в центральной части прогиба происходит разгрузка подземных вод из нижезалегающего подольско-мячковского водоносного комплекса в касимовский водоносный комплекс.

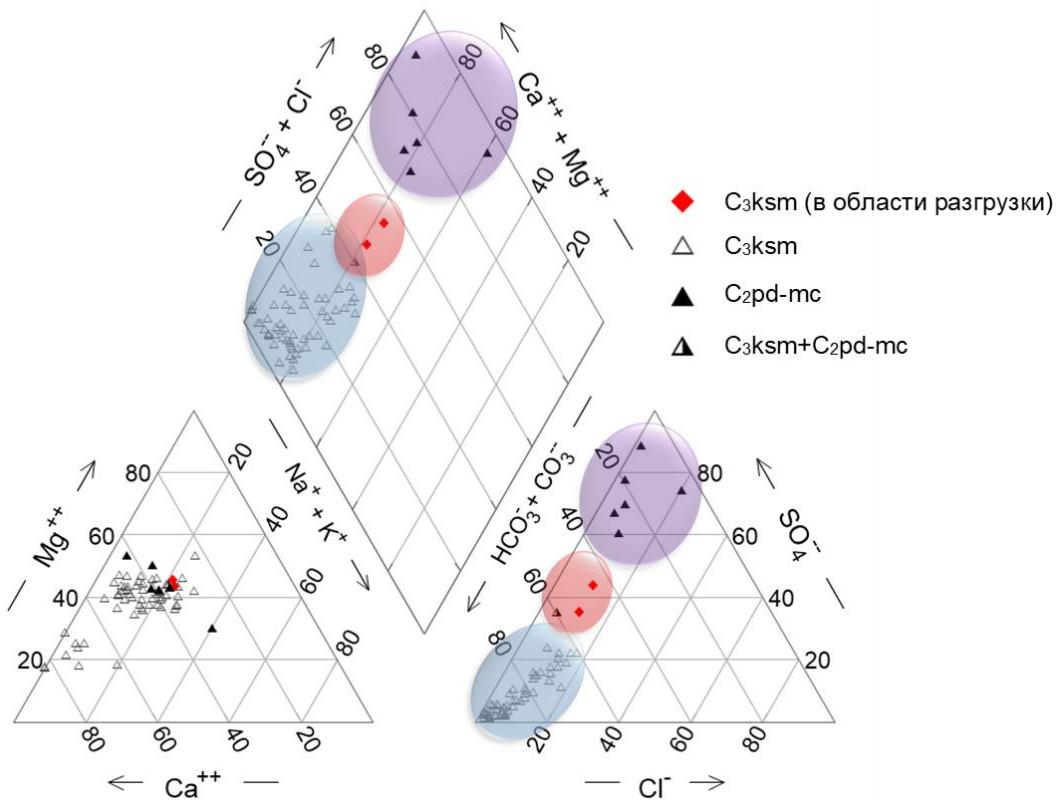


Рисунок 13. Диаграмма Пайпера химического состава подземных вод каменноугольных водоносных комплексов района Клепиковского прогиба

Глава 6. Разработка комплексной методики выявления структурно-тектонических гидрогеологических окон на основе полученных результатов

Выполненное исследование позволило установить, что Тростенская впадина и Клепиковский прогиб являются структурно-тектоническими гидрогеологическими окнами, к которым приурочены области питания и разгрузки подземных вод. Развитие сдвиговых деформаций на территории Восточно-Европейской платформы и, соответственно, центральной части Московского артезианского бассейна, может обуславливать образование и других структур, подобных изучаемым в настоящей работе, являющихся потенциальными структурно-тектоническими гидрогеологическими окнами.

Для выявления структурно-тектонических гидрогеологических окон, образованных в условиях сдвиговых деформаций, разработана специализированная методика, включающая предварительный и основной этапы (Таблица 1).

Предварительный этап направлен на установление ключевого участка, в пределах которого потенциально возможно развитие структуры присдвигового раздвига — структурно-тектонического гидрогеологического окна.

На основном этапе проводится комплексный анализ с целью окончательного отнесения выделенной структуры к структурам присдвигового раздвига, установления формирования области повышенной проницаемости водовмещающих и разделяющих слабопроницаемых отложений и, соответственно, образования местной области питания или разгрузки подземных вод в пределах структурно-тектонического гидрогеологического окна.

Таблица 1

Этапы и методы выявления структурно-тектонических гидрогеологических окон, образованных в сдвиговых условиях

Задача	Методы исследований и ожидаемые результаты
<i>Предварительный этап</i>	
Выделение потенциальных структур присдвигового раздвига	<p>Анализ топографических карт и ГИС-сервисов.</p> <p>Выделение узких линейных понижений, имеющих S- или Z-образную плановую форму, к которым приурочены цепочки озер или заболоченные участки.</p> <p>Особое внимание уделяется наличию карстовых озер.</p>
Предварительное изучение геологического строения и гидрогеологических условий территории развития неотектонических структур	<p>Сбор и анализ фондовых материалов и опубликованных источников.</p> <p>Установление региональных особенностей формирования гидрогеодинамических и гидрохимических условий.</p> <p>Выявление возможной локализации местной области питания/разгрузки подземных вод в пределах изучаемой территории.</p>
<i>Основной этап</i>	
Обоснование отнесения выделенных структур к структурам присдвигового раздвига	<p>Линеаментный и структурно-тектонический анализы.</p> <p>Основные признаки: пониженный современный рельеф, S- или Z-образная плановая форма, ограничение структуры разрывными нарушениями, вогнутость линий разрыва, кулисообразное внутреннее строение структуры и асимметрия бортов.</p>

Установление области трещиноватости, развитой в слабопроницаемой толще и водовмещающих отложениях	<p>Изучение фондовых и архивных материалов.</p> <p>Бурение скважин, исследование керна.</p> <p>Геофизические методы в скважинах (метод самопроизвольной поляризации, термометрия и др.). Геофизические исследования (сейсморазведка).</p> <p>Установление области повышенных фильтрационных свойств водовмещающих и разделяющих слабопроницаемых отложений, приуроченной к выделенной структуре.</p> <p>Планомерное снижение фильтрационных свойств от центра структуры к периферии.</p>
	<p>Гидрогеодинамические методы: построение схем гидроизогипс/гидроизопьез основного изучаемого и смежных водоносных комплексов.</p> <p>Сопоставление уровней смежных водоносных комплексов в скважинах.</p> <p>Для области питания выделяется куполообразная поверхность в изучаемом водоносном комплексе и выше- или близкое залегание уровня в мезокайнозойском комплексе.</p> <p>Для области разгрузки подземных вод отмечается превышение уровня каменноугольных водоносных комплексов над уровнем мезокайнозоя.</p>
Установление наличия области питания или разгрузки, пространственно приуроченной к выделенной структуре	<p>Моделирование условий формирования подземных вод в пределах структурно-тектонического гидрогеологического окна.</p> <p>Результатом моделирования является доказательство, что локализация выявленной области питания или разгрузки обусловлена непосредственно формированием структурно-тектонического гидрогеологического окна, а не другими факторами, влияющими на характер уровенной поверхности.</p>
	<p>Гидрохимические методы (изучение фондовых и архивных материалов, составление программы гидрохимического опробования, отбор проб и лабораторные исследования).</p> <p>Выявление маркерных компонентов, которые могут указывать на возможность перетока подземных вод из смежных водоносных комплексов.</p> <p>Применение изотопных методов (радиоуглеродного и тритиевого).</p>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тростенская впадина имеет Z-образную форму, ограничена разрывными нарушениями, характеризуется относительно пониженным современным рельефом и высокой заболоченностью. Активизация карстового процесса в южном сегменте структуры в голоцене и образование оз. Глубокое указывают на современную тектоническую активность впадины.

В области развития структуры выявлен купол питания подземных вод подольско-мячковского водоносного комплекса, который сформирован в результате перетока подземных вод из мезокайнозойского комплекса через ослабленную зону в келловей-кимериджской слабопроницаемой толще, что подтверждается результатами моделирования.

Изотопно-гидрогохимические данные доказывают присутствие во впадине «изотопно-тяжелых» подземных вод подольско-мячковского водоносного комплекса. Облегчение изотопного состава происходит в соответствии с направлением движения подземных вод. В центральной части структуры и северо-западнее нее в постледниковый период формируется поступление подземных вод с более тяжелым изотопным составом, в то время как на периферии питание затруднено.

Клепиковский прогиб характеризуется относительно пониженным современным рельефом, а также высокой заболоченностью. Центральная часть прогиба ограничена широтными линеаментными зонами, предполагающими разрывные нарушения. За счет сдвиговых деформаций в центральной части прогиба сформирована область повышенной трещиноватости и, соответственно, проницаемости келловей-кимериджской слабопроницаемой толщи, что приводит к разгрузке подземных вод касимовского водоносного комплекса в вышелегающий мезокайнозойский комплекс. Водопроводимость непосредственно касимовского водоносного комплекса здесь также достигает максимальных для изучаемой территории значений.

В центральной части прогиба выявлена смена химического состава подземных вод касимовского водоносного комплекса: гидрокарбонатные воды становятся гидрокарбонатно-сульфатными. Фиксирующиеся максимальные значения величины сухого остатка, общей жесткости и содержания сульфатов указывают на перетоки вод из нижелегающего подольско-мячковского комплекса. Химический состав выявленной области смешения подземных вод на данном участке аналогичен составу вод в скважинах, оборудованных совместно на касимовский и подольско-мячковский комплексы.

Комплексный анализ доказывает, что изученные структуры представляют структурно-тектонические гидрогохимические окна, которые являются как областями питания, так и областями разгрузки подземных вод.

Предлагаемая в работе авторская методика выявления структурно-тектонических гидрогеологических окон, образованных в условиях сдвига, основанная на использовании комплексного анализа (тектонический (линеаментный) анализ, изучение и моделирование гидрогеодинамических условий, детальное изотопно-geoхимическое опробование), позволяет выявлять в центральной части Московского артезианского бассейна территории, на которых возможно развитие структур присдвигового раздвига — структурно-тектонических гидрогеологических окон.

Благодарности. Выражаю искреннюю благодарность научному руководителю профессору кафедры гидрогеологии МГУ имени М.В. Ломоносова доктору геолого-минералогических наук Наталье Александровне Харитоновой за помощь, поддержку, веру в достижение поставленной цели и ценные советы на всех этапах выполнения работы. Огромную признательность выражаю коллективу кафедры гидрогеологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова за обсуждения, консультации, полученные знания и опыт. Выражаю отдельную благодарность Пинигину О.В., Манукьяну В.А., Трушину Б.В., Мамонтову В.В., Сухановой Т.В. Выражаю благодарность сотрудникам Гидробиологической станции «Глубокое озеро», а также организациям, предоставившим возможность выполнить отбор проб подземных вод на водозаборах. Отдельно благодарю членов своей семьи за поддержку на всех этапах подготовки работы.

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. **Глухова С.А.**, Пинигин О.В., Растиоргев А.В. Роль присдвиговых структур растяжения в субвертикальной фильтрации водонапорной системы Московского артезианского бассейна // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2023. — № 1. — С. 97–109. — EDN: ASEQOA. (0,5 п.л., личный вклад автора — 50%). Импакт-фактор 0,388 (РИНЦ).

Glukhova S.A., Pinigin O.V., Rastorguev A.V. The Role of Shear Tension Structures in Subvertical Filtration of the Water Drive System of the Moscow Artesian Basin // Moscow University Geology Bulletin. — 2023. — Vol. 78. — No. 2. — P. 277–289. — EDN: UJQMAK. (0,5 п.л., личный вклад автора — 50%). Импакт-фактор 0,21 (SJR).

2. **Глухова С.А.**, Суханова Т.В., Пинигин О.В., Харитонова Н.А. Гидрогеологические условия Мещерской впадины и их связь с новейшей тектонической структурой региона // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2024. — Т. 63. — № 4. — С. 25–34. — EDN: BPYBOW. (0,4 п.л., личный вклад автора — 40%). Импакт-фактор 0,388 (РИНЦ).

Glukhova S.A., Sukhanova T.V., Pinigin O.V., Kharitonova N.A. Hydrogeological Conditions of the Meshchera Depression and Their Connection with the Latest Tectonic Structure of the Region // Moscow University Geology Bulletin. — 2024. — Vol. 79. — No. 5. — P. 586–595. — EDN: NTRKID. (0,4 п.л., личный вклад автора — 40%). Импакт-фактор 0,21 (SJR).

3. **Глухова С.А., Харитонова Н.А., Ермаков А.В.** Связь химического и изотопного состава природных вод с новейшей тектонической структурой в районе оз. Глубокое (Московская область) // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. — 2024. — Т. 335. — № 12. — С. 173–183. EDN: VRLRQO. (0,5 п.л., личный вклад автора — 70%). Импакт-фактор 1,106 (РИНЦ).

Иные публикации

4. **Глухова С.А., Харитонова Н.А., Пинигин О.В., Суханова Т.В., Растворгувев А.В.** Влияние новейших тектонических структур на гидрогеологические условия Московского региона // Современная гидрогеология: актуальные вопросы науки, практики и образования: труды Всероссийской научной конференции с международным участием, Сочи, 17–23 сентября 2023 года. — М: МГУ, 2023. — С. 34–39.