

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

На правах рукописи

Покровский Виталий Дмитриевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОДТОПЛЕНИЯ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
(НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ТОМСКА)**

Специальность 25.00.07 – Гидрогеология

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
кандидат геолого-минералогических наук,
Кузеванов К.И.

Томск–2015

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	11
1.1. Изменение гидрогеологических условий и техногенное подтопление урбанизированных территорий.....	11
1.2. Использование геоинформационных технологий для исследования гидрогеологических процессов на урбанизированных территориях	16
1.3. Моделирование фильтрации в задачах прогноза процессов техногенного подтопления городских территорий	23
1.4. Гидрогеологическая изученность территории г. Томска	27
2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ ТОМСКА.....	32
2.1. Физико-географические условия	32
2.1.1. Климатические условия	33
2.1.2. Рельеф и геоморфология	35
2.2. Геологические условия	39
2.3. Гидрогеологические условия	48
2.3.1. Основные водоносные горизонты и комплексы.....	49
2.3.2. Особенности химического состава подземных вод	56
2.3.3. Физико-химический анализ минералообразующей способности подземных вод.....	63
2.3.4. Режим, условия питания и разгрузки подземных вод.....	73
3. ТЕХНОГЕННОЕ ПОДТОПЛЕНИЕ	82
3.1. Факторы подтопления	82
3.2. Характеристика подтопляемых территорий	102
4. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДРЕНИРОВАННОСТИ ТЕРРИТОРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА	116
5. ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРА И СТЕПЕНИ ТЕХНОГЕННОГО ПОДТОПЛЕНИЯ.....	128
5.1. Состав информационно-поисковой системы.....	128
5.2. Оценка потенциальной подтопляемости.....	134
5.3. Оценка степени подтопления архитектурных памятников с использованием информационно-поисковой системы	146
5.4. Методическая основа прогноза развития процесса подтопления	155
5.4.1. Аналитические расчёты.....	156
5.4.2. Численное гидродинамическое моделирование	160

5.4.2.1. Модель регионального ранга	161
5.4.2.2. Модель районного ранга	170
5.4.2.3. Модель (модели) локального ранга.....	173
5.5. Коммерциализация разработки	191
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	194
ЛИТЕРАТУРА	196

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Строительное освоение урбанизированных территорий коренным образом изменяет геологическую среду и особенно – наиболее динамичную ее составляющую – подземную гидросферу. В этой связи, проблемы исследования гидрогеологических условий и, в частности, подтопления застраиваемых территорий является актуальной. Большинство исследователей, подтопление застроенных территорий понимается как комплексный гидрогеологический и инженерно-геологический процесс, при котором в результате нарушения водного режима и баланса территории происходит направленное повышение уровня подземных вод, нарушающее необходимые условия строительства или эксплуатации отдельных сооружений и требующее применения защитных мероприятий.

Подтопление, вызванное различными причинами, отмечалось во многих городах мира. В России подтапливаются многие населенные пункты в европейской части, на Урале, Дальнем Востоке, Сибири [86, 97, 126, 153, 154]. Город Томск не является исключением в этом отношении [101, 102].

В Томске достаточно широко развиты процессы техногенного подтопления, вызывающего сложности в эксплуатации подземных коммуникаций и резко ухудшающего экологическую обстановку, известны и такие объекты, где техногенное изменение гидрогеологических условий приводит к возникновению чрезвычайных ситуаций. Наиболее яркими примерами являются оползневой склон Лагерного сада и микрорайон «Солнечный».

Общие проблемы подтопления застраиваемых территорий, методические приемы прогнозирования, вопросы теории и практики защиты от подтопления в промышленном и городском строительстве рассматривались в работах С.Е. Абрамова, М.Т. Адикова, В.Е. Ампилова, Б.Л. Горловского, Б.М. Дегтярева, Е.С. Дзекцера, В.С. Зильберга, Н.П. Куранова, А.Ж. Муфтахова, В.И. Сологаева, Я.С. Садыкова, Р.А. Смирнова, О.В. Слинко, Л.З. Шефердинова и др.

Для территории Томска эти проблемы рассматривались сотрудниками ТПУ, ТГАСУ, ОАО «ТомскТИСИЗ», ОАО «Томгипротранс»,

АО «Томскгеомониторинг», Института ЖКХ, Д.С. Покровским, К.И. Кузевановым, Л.А. Рождественской, Н.В. Крепшей, О.В. Шмачковым, В.К. Поповым, В.А. Коробкиным, В.Е. Ольховатенко, Г.М. Роговым, Г.Г. Щербаком, М.Г. Рутманом, В.М. Лазаревым, С.В. Серяковым и др.

Получены достаточно обширные материалы, характеризующие геологические гидрогеологические условия городской территории, однако многие вопросы остаются открытыми, и данная работа является продолжением исследований в этом направлении.

Целью работы является – разработка концепции и создание информационно-поисковой системы для оперативного прогноза степени потенциальной подтопляемости урбанизированных территорий на основе использования современных ГИС-технологий и методов геофильтрационного моделирования.

Задачи исследований:

1. Актуализировать материалы ранее проведенных исследований и построить электронные карты специализированной гидрогеологической информации с использованием средств ГИС–технологий;
2. Разработать методику картографических построений и оценки дренированности территории с использованием цифровых моделей рельефа;
3. Выявить роль и взаимосвязь факторов подтопления и определить их количественные экспертные оценки;
4. Разработать структуру информационной системы для оперативного прогноза степени потенциальной подтопляемости урбанизированных территорий;
5. Создать концепцию вложенных гидродинамических моделей территории города Томска, для оценки изменения уровенного режима подземных вод на участках интенсивной техногенной нагрузки, и управления подземной гидросферой.

Исходные материалы и методика исследований. В основу работы положены фактические материалы, собранные в ходе исследований, проводимых сотрудниками ТПУ, Института ЖКХ в районах Севера, Сибири и Дальнего Востока, ОАО «ТомскТИСИЗ», ТГАСУ, ОАО «Томгипрготранс», АО «Томскгеомониторинг», материалы натурных исследований автора, проводившиеся для уточнения закономерностей и эволюции процессов подтопления на некоторых участках города.

Исследование проводилось на базе теоретических представлений о механизмах развития процессов подтопления, изучения естественно-природных и техногенных факторов их формирования, компьютерных технологий анализа пространственно-временных изменений параметров геологической среды и взаимообусловленности разнонаправленных процессов. Соответственно, использован широкий спектр необходимых методических приемов, начиная с комплексного анализа и актуализации материалов, проведенных ранее инженерных изысканий, статистического анализа и натурного обследования, и кончая построениями картографических моделей с использованием методической базы современных ГИС-технологий и геофильтрационного моделирования.

Для обработки, анализа и интерпретации пространственных параметров задействованы программные комплексы MapInfo, ArcView 3.2a, ArcGIS 9. Для статистического анализа использовались возможности Microsoft Excel. Геофильтрационное моделирование осуществлялось средствами программных комплексов GMS и FEFLOW, PM WIN.

Научная новизна работы. Разработана методика картографических построений и оценки дренированности территорий с использованием цифровых моделей рельефа. Впервые для Томска получены электронные карты специализированной гидрогеологической информации, позволяющие производить комплексный анализ закономерностей процессов подтопления территории. Проведен анализ и обоснование параметров количественной оценки ведущих факторов подтопления. Создана версия информационно-поисковой

системы для оперативного прогноза степени потенциальной подтопляемости участков городской территории, содержащая элементы геофильтрационного моделирования.

Основные защищаемые положения

1. Природные и техногенные факторы подтопления, среди которых выделено ведущее значение строения верхней части геологического разреза, естественной дренированности территории и характера ее изменения под воздействием инженерного освоения, интенсивности дополнительного инфильтрационного питания подземных вод, поддаются анализу и функциональному описанию через экспертные количественные оценки.
2. Информационно-поисковая система, базирующаяся на основе электронного представления картографических материалов гидрогеологического содержания, позволяет оперативно производить оценку степени потенциальной подтопляемости отдельных участков городской застройки, что обеспечивается расширением доступности узкоспециальных гидрогеологических материалов за счет применения эффективного алгоритма предварительной обработки информации, представления в виде, удобном для принятия управленческих решений, открытым пользовательским интерфейсом для пополнения базы данных.
3. Трехуровневые гидродинамические модели территории города Томска, позволяют прогнозировать изменения режима подземных вод на участках интенсивной техногенной нагрузки и оптимизировать управление подземной гидросферой в масштабах города, кварталов районной планировки и локальных участков.

Достоверность защищаемых положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность результатов и защищаемых положений выводов и рекомендаций обеспечена анализом широкого круга научных работ по теме диссертации, использованием теоретических представлений о механизмах развития процессов подтопления, современных апробированных методов и

методик ГИС-технологий и геофильтрационного моделирования, проверкой разработок натурными обследованиями, публикацией и апробацией основных выводов и рекомендаций.

Практическая значимость работы. Внедрение предложенной технологии оценки степени потенциальной подтопляемости может быть использовано для:

1. Контроля и оперативного управления состоянием геологической среды;
2. Оценки вероятности возникновения, масштабов и интенсивности нежелательных последствий антропогенного воздействия;
3. Обоснования управленческих и инженерных решений обеспечения комфортной экологически безопасной обстановки, принимаемых на различных уровнях, от разработки генерального плана до природоохранных мероприятий на конкретных участках городской территории;
4. Оценки стоимости земель городской территории;
5. Оптимизации планирования выделения финансовых средств для проведения реставрационных работ в исторически значимой части г. Томска;

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на Международных конференциях студентов и молодых учёных имени М.А. Усова (Томск, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015), 14th SGEM GeoConference on Science and Technologies In Geology, Exploration and Mining (Albena, Bulgaria, 2014), Международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территорий. Экологический катализ» (Новосибирск, 2006), XI Всероссийской студенческой научной конференции «Экология и проблемы охраны окружающей среды» (Красноярск, 2004), Международной форуме-конкурсе «Проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, 2012), школе-семинаре «Металлогения магматических и метаморфических комплексов: оценка и прогноз продуктивности» (Томск, 2007), Всероссийской геологической молодежной школе «Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от В.А. Обручева, М.А. Усова, Н.Н. Урванцева до наших дней» (Томск, 2013).

Результаты исследований были использованы при выполнении работ в рамках проекта № 07-05-13565 офи_ц, гранта «Разработке информационно-поисковой системы для оценки характера и степени техногенного подтопления архитектурных памятников города Томска с использованием средств ГИС-технологий» программы УМНИК (2007 г.), в проекте «Разработка информационно-поисковой системы для многоцелевой оценки характера и степени техногенного подтопления территории Томска с использованием средств ГИС-технологий» конкурса «Привлечение молодых специалистов в инновационную и производственную сферы».

Исследования, проводившиеся по данной тематике, в 2012 году были отмечены медалью РАН.

Публикации. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 33 печатных работах, из них: 3 – в центральных изданиях, включённых в перечень ВАК, 2 в изданиях SCOPUS, 28 – в научно-технических сборниках и материалах конференций.

Личный вклад автора. Автором осуществлены сбор, анализ и обработка фактического материала по объекту исследований. Проведен анализ и обработка данных; с использованием ГИС-технологий выполнены картографические построения, интерпретированы результаты работы и сформулированы выводы. В работе использованы личные наблюдения автора при проведении полевых работ в разных районах города, выполнявшихся с целью выяснения причин осложнения условий их эксплуатации в связи с деятельностью подземных вод.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий объем работы – 213 страниц, включая 100 рисунков и 12 таблиц. Список литературных источников составляет 172 наименования.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю – доценту кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ К.И. Кузеванову за научное руководство. Автор благодарит Е.М. Дутову, А.Н. Никитенкова, К.К. Кузеванова, А.Д. Назарова, Д.С. Покровского, В.К. Попова, Л.А. Строкову, С.Л. Шварцева,

сотрудников ОАО «ТомскТИСИЗ» О.В. Шмачкова, А.В. Белькевича,
ОАО «Томгипротранс» Б.А. Кикаса, С.В. Ястремского, АО
«Томскгеомониторинг» В.А. Льготина, Б.А. Егорова, А.Л. Иванчуру,
А.А. Балобаненко, О.А. Камневу, Н.В. Винниченко, Д.Н. Четвергова за помощь и
консультации по вопросам, возникавшим в ходе выполнения работы.

1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Изменение гидрогеологических условий и техногенное подтопление урбанизированных территорий

Строительное освоение урбанизированных территорий коренным образом изменяет геологическую среду и особенно – наиболее динамичную ее составляющую – подземную гидросферу. В этой связи, проблемы исследования гидрогеологических условий и, в частности, подтопления застраиваемых территорий с каждым годом становятся всё актуальнее.

Большинством исследователей, подтопление застроенных территорий понимается как комплексный гидрогеологический и инженерно-геологический процесс, при котором в результате нарушения водного режима и баланса территории происходит направленное повышение уровня подземных вод, нарушающее необходимые условия строительства или эксплуатации отдельных сооружений и требующее применения защитных мероприятий [1, 2, 39, 81, 82, 86, 120, 136, 137, 138, 139, 140].

Подтопление, вызванное различными причинами, отмечалось во многих городах мира. Подтапливаются многие застроенные территории Бразилии, Великобритании, Германии, Египта, Индии, Казахстана, Китая, Кореи, Кубы, Пакистана, США, Украины, Франции и др. [2, 27, 37, 38, 81, 84, 85, 111, 114, 119, 120, 122, 123, 124, 136, 137, 138, 139, 140, 147, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 171].

В России подтапливаются многие населенные пункты в европейской части, на Урале, Дальнем Востоке, Сибири [97, 107, 136, 141, 142, 143, 153]. Многие населенные пункты Сибири, подверженные подтоплению, находятся на плоских, часто заболоченных равнинах, где на естественное подтопление, связанное с сезонными и многолетними подъемами уровней грунтовых вод, накладываются процессы техногенного подтопления застраиваемых территорий. Наблюдается прогрессирующее подтопление крупных городов, райцентров и населенных пунктов, входящих в состав Иркутской, Новосибирской, Омской, Томской, Кемеровской областей, Республики Хакасия и других регионов.

Влияние подтопления начинается в ходе строительства и продолжается при эксплуатации осваиваемых территорий. Подтапливаются предприятия металлургической, химической, машиностроительной и других отраслей промышленности, тепловые и атомные электростанции, элеваторы. Подтоплению подвергаются не только застроенные территории, но и сельскохозяйственные угодья.

В свою очередь, подтопление приводит к возникновению новых или активизации существующих опасных геологических процессов, являющихся неблагоприятными последствиями несбалансированного воздействия на геологическую среду.

Изменяются фильтрационные свойства оснований, проявляются процессы осадки, набухания, просадки, деформации грунтов оснований и самих сооружений. Подтопление приводит к антисанитарно-дискомфортному, аварийному, иногда даже катастрофическому, убыточному с точки зрения экономики, состоянию зданий, сооружений, коммуникаций и многих других элементов городской инфраструктуры. Нарушается экологическая безопасность территорий [37, 38, 114, 120, 138].

Изучение процессов подтопления застраиваемых территорий грунтовыми водами впервые было начато в конце 1940-х годов С.Е. Абрамовым [1, 2]. Позднее отдельные вопросы теории и практики защиты от подтопления в промышленном и городском строительстве развивались в работах М.Т. Адикова, В.Е. Ампилова, Б.Л. Горловского, Б.М. Дегтярева, Е.С. Дзекцера В.С. Зильберга, Н.П. Куранова, А.Ж. Муфтахова, В.И. Сологаева, Я.С. Садыкова, Р.А. Смирнова, О.В. Слинко, Л.З. Шефердинова и др. [39, 81, 82, 138, 140]. Большой вклад в разработку методов аналитического прогноза подъемов уровней грунтовых вод внес А.Ж. Муфтахов [82], разработавший гидродинамические основы прогнозов подтопления и фильтрационных расчетов защитного дренажа в сложных гидрогеологических условиях и предложивший ряд оригинальных расчетных схем [81, 136, 137], вошедших во множество официальных изданий нормативного и методического характера по прогнозу подтопления и организации защитных

мероприятий. В 1986 г. в СССР впервые был опубликован СНиП 2.06.15-85 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления» [135]. В 1991 г. вышло справочное пособие к СНиП [115], содержащее аналитические решения по теории фильтрации.

Наиболее полные обобщающие работы по вопросам подтопления были выполнены Е.С. Дзекцером [39]. В его трудах рассматриваются принципы прогнозирования подтопления, предложена наиболее стройная система его изучения, приведено описание методических приемов прогнозирования и создания схемы инженерной защиты городских территорий.

Согласно [39], негативные последствия развития процессов подтопления можно разделить на группы первичных и вторичных. Первичные связаны с коррозионным разрушением фундаментов и нижних частей зданий и сооружений, приводящим к затоплению приподвальных помещений и деформации самого строения. Также появляются кровососущие насекомые, сырость и лишайниковые образования, происходит заболачивание понижений рельефа, которому сопутствует активное гниение и отмирание придомовой растительности.

Вторичные связаны с оседаниями и провалами земной поверхности, образующимися в результате уплотнения замачиваемых грунтов, гидродинамического и тиксотропного разжижения грунтов, а также с развитием карстовых, эрозионных, оползневых и других опасных геологических процессов.

Раскрыта общая схема поэтапного развития процесса подтопления и выделены три основные стадии его развития: начальная, соответствующая началу строительного цикла, переходная, охватывающая период завершения строительства и начала эксплуатации, и стадия развитого подтопления характерная для длительной эксплуатации территорий массовой застройки и промышленных предприятий. Важно, что первая фаза подтопления начинается на самой ранней стадии строительного освоения территорий, когда начинаются нарушения поверхностного стока еще на подготовительном этапе строительства при вертикальной планировке, вскрытии котлованов, прокладке траншей, выполнении нулевого цикла строительных работ.

Показано, что общая особенность развития подтопления обнаруживается в скачкообразном характере проявления. Искусственное изменение режима подземных вод формируется за короткий промежуток времени, несопоставимый по своей длительности с геологическим масштабом времени, в течение которого происходит формирование режима подземных вод в естественных условиях водообмена. Эта особенность рассматривается в качестве основной при разработке методики изучения процессов подтопления, а также комплексного, гидрогеологического и инженерно-геологического, изменения свойств геологической среды. Показано, что существует заметное отличие в скоростях техногенных преобразований компонентов лито- и гидросферы. Подземные воды как наиболее подвижный компонент геологической среды чутко реагируют на необратимые изменения водного режима поверхностных вод, влажности в зоне аэрации и грунтовых вод, вызывая негативные инженерно-геологические процессы.

Разработана классификация, где источники и факторы подтопления подразделяются: по генезису на искусственные (техногенные) и естественные (природные), по масштабу воздействия (региональные и локальные), по активности воздействия на формирование гидродинамической обстановки (активные и пассивные), по условиям воздействия во времени (постоянные, сезонные, периодические и эпизодические) и в пространстве (равномерно и неравномерно расположенные) и по характеру действия во времени и пространстве (случайные и детерминированные).

Показано, что интенсивность развития процессов подтопления зависит от литологического состава геологического разреза, неоднородности фильтрационных свойств, их анизотропии, характера развития водоупоров и их положения в разрезе, что может часто усугубляться наличием естественных и искусственных барьеров для фильтрационных потоков. Этими факторами характеризуется степень дренированности территории, при низких значениях которой наступают благоприятные условия для развития подтопления. С другой стороны, коренная перестройка условий стока и инфильтрации не может

происходить без соответствующей техногенной нагрузки. Условия, способствующие аккумуляции вод, определяются интенсивностью дополнительных по отношению к естественным источникам питания подземных вод, ухудшением условий стока и испарения.

Установлено, что подтоплению в большей степени подвержены территории, расположенные в зонах избыточного увлажнения, характеризующиеся слаборасчлененным рельефом. Развитие процессов подтопления возможно практически на всей городской территории (за исключением сильно расчлененных и хорошо дренируемых участков), обусловлено это в основном неконтролируемым поливом насаждений и улиц, затрудненным поверхностным и подземным стоком, барражным эффектом, дополнительным питанием за счёт утечек из водопроводных сетей и канализации, засыпкой оврагов. Все эти и многие другие факторы деятельности человека крайне негативно сказывается на гидрогеологических условиях территорий.

Созданы методические основы оценки потенциальной подтопляемости территорий, в основу которой положены разработанные критерии, учитывающие взаимодействие подземных вод с сооружениями и грунтами оснований, разработана методика районирования застраиваемых территорий по их потенциальной подтопляемости с выделением участков с различной степенью потенциальной подтопляемости.

Борьба с негативными последствиями подтопления застраиваемых территорий делает необходимой теоретическое обоснование общих подходов организации защитных мероприятий. Разрабатываемые многими исследователями (С.К. Абрамов, Б.М. Дегтярев, Г.В. Донской, С.В. Кравчук, А.Ж. Муфтахов, А.Я. Олейник, Н.Г. Пивоваров, Ю.В. Пономаренко, Г.А. Разумов, В.И. Саголаев, В.М. Шестаков и др.) [1, 2, 81, 82] принципы инженерной защиты (СИЗ) застраиваемых территорий от подтопления, которые сводятся к построению единой системы инженерной защиты объекта, являющейся здесь системой управления (включает подсистемы регулирования, принятия решения и контроля) подземной гидросферой [67].

Ключевым звеном в функционировании системы инженерной защиты является необходимость оперативного реагирования на возникающие действия факторов подтопления. Реализация этого основополагающего принципа для поддержания уровня грунтовых вод в заданных пределах основывается на применении гибких схем создания, функционирования и развития СИЗ.

1.2. Использование геоинформационных технологий для исследования гидрогеологических процессов на урбанизированных территориях

Геоинформационные технологии активно развиваются, появляется все больше инструментов и все больший объем пространственных данных подвергается обработке и анализу.

Геоинформационные технологии внедряются в региональный уровень исследований при изучении экзогенных геологических процессов (ЭГП), одним из которых является подтопление, осуществляющийся на наблюдательных участках опорной государственной сети, подсистемы мониторинга состояния недр (Роснедра) единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Действующая наблюдательная сеть мониторинга экзогенных геологических процессов охватывает все регионы на территории страны с высоким уровнем опасности развития процессов [141, 142, 143].

При ведении мониторинга ЭГП решаются следующие основные задачи:

- Учёт проявлений, факторов ЭГП и их воздействий на населённые пункты и хозяйственные объекты;
- Оценка региональной активности и динамики отдельных проявлений ЭГП;
- Прогнозирование ЭГП;
- Разработка рекомендаций и предложений по проведению первоочерёдных мероприятий, снижающих последствия ЭГП, и по защите населённых пунктов и инженерно-хозяйственных объектов от воздействия ЭГП.

Учёт проявлений ЭГП осуществляется путём накопления данных о наиболее крупных новообразованиях и активизациях ЭГП (оползни, селевые

потоки, карстовые провалы и др.), полученных как в результате режимных наблюдений, так и при специальных инженерно-геологических обследованиях территорий активизации ЭГП. Учёт воздействий ЭГП на населённые пункты и хозяйственные объекты ведётся по случаям воздействий, вызвавшим чрезвычайные ситуации, начиная с локальных и выше. При этом учитываются факторы активизаций ЭГП, последствия воздействий, ущерб и другие характеристики.

Прогнозирование ЭГП осуществляется в краткосрочном режиме. Все прогнозы составляются на предстоящий год и процессоопасные сезоны (весенне-летний и летне-осенний). На территориальном уровне составляются локальные и субрегиональные прогнозы активности ЭГП с использованием метода экспертных заключений на основе сравнительно-геологического анализа результатов многолетних мониторинговых наблюдений, на региональном уровне краткосрочное прогнозирование активности ЭГП осуществляется на основе обобщения прогнозных заключений территориального уровня. На федеральном уровне разрабатываются региональные «фоновые» прогнозы активности ЭГП с использованием методов картографического моделирования на основе данных о поражённости территории Российской Федерации проявлениями ЭГП и специально подготовленных прогнозных оценок аномалий метеорологических факторов.

Основными информационными материалами мониторинга опасных экзогенных геологических процессов являются прогнозы развития опасных экзогенных геологических процессов, карты районирования территорий по степени активизации процессов.

Центром ГМСН (Государственного мониторинга состояния недр) ФГУГП «Гидроспецгеология» разработана информационно-аналитическая система «Экзогенные геологические процессы» (ИАС ЭГП). Целью создания ИАС ЭГП являлось повышение эффективности функционирования ГМСН на основе применения современных компьютерных технологий для автоматизации процесса хранения, обработки и анализа информации, а также обеспечение унификации

структуры, содержания и форматов представления данных об ЭГП при ведении ГМСН на территориальном, региональном и федеральном уровнях.

Основными задачами, решение которых должна обеспечить создаваемая ИАС ГМСН ЭГП, являлись:

- Учет данных мониторинга (накопление и хранение фактографической информации о проявлениях, условиях, факторах ЭГП, подверженности населенных пунктов и хозяйственных объектов воздействию ЭГП) в виде унифицированных документов, создаваемых с использованием единых форматов и классификаторов данных;
- Анализ результатов мониторинга и прогнозирование ЭГП (статистический анализ информации, хранящейся в базах данных, построение наглядных форм представления данных; картографический анализ и моделирование пространственно распределенных данных о распространении, условиях и факторах развития ЭГП с построением специальных инженерно-геологических карт);
- Подготовка и выдача отчетной информации в соответствии с регламентом ГМСН и запросами потребителей (оперативный поиск информации, формирование выборок по запрашиваемым параметрам, создание регламентных отчетов и стандартных выходных документов);
- Обеспечение трансляции данных и обмена информацией об ЭГП между разными организационными уровнями ГМСН;
- Накопленные в течение целого ряда лет материалы по ГМСН позволяют проводить аналитические обобщения для установления основных тенденций и региональных закономерностей многолетнего пространственно-временного изменения развития ЭГП, оценки их унаследованности и направленности с целью совершенствования методов прогноза, а также предупреждения развития негативных процессов.

Созданная ИАС ГМСН ЭГП решает основные задачи по автоматизации хранения и обработки информационных ресурсов, получаемых в ходе выполнения работ по изучению и прогнозу экзогенных геологических процессов. Например,

прогнозы весеннего максимального уровня, характеризующего наиболее высокое положение грунтовых вод в годовом цикле колебаний. На прогноз величины весеннего подъема уровня грунтовых вод учитывается влияние большого количества разнообразных факторов: запасы влаги в снежном покрове, количества атмосферных осадков в период снеготаяния, характер снеготаяния, температура воздуха зимы и весны, степень и размеры промерзания верхней части зоны аэрации, влажность воздуха и др. Положение весеннего максимального уровня в значительной степени предопределяет возникновение негативных гидрогеологических и экзогенных геологических процессов. При высоком положении уровня грунтовых вод (выше нормы) повышается риск подтопления и затопления территорий в понижениях рельефа, на сельскохозяйственных землях и урбанизированных территориях. При низком положении уровня грунтовых вод (ниже нормы) повышается риск дефицита влаги и переосушения зоны аэрации.

Геоинформационные технологии активно внедряются не только в региональный, но в локальный уровень исследований для управления городами, территориями и отдельными организациями. В последние 10 лет ГИС претерпели значительные изменения. Современные ГИС — это интеграционная среда, позволяющая объединять и систематизировать потоки разнообразной информации, поступающие из многих служб и отделов. Все чаще и чаще геоинформационные системы ставятся близко к вершине информационной структуры ведомств и предприятий, хотя, в то же время, на других стадиях рабочего процесса они используются и для профессионального анализа данных, и для ввода и подготовки данных, для решения больших аналитических и прогнозных задач. В «интеграционном» качестве ГИС используются для решения задач на самом высоком уровне территориального управления.

Важнейший этап в развитии территорий – территориальное планирование, уже ни на одной стадии не обходящееся без ГИС, которые приносят возможность постоянной актуализации требуемой документации, научную обоснованность предложений, основанных на накопленных и наглядно представленных данных, возможность моделирования различных сценариев,

использование созданных в ГИС материалов для градостроительного и экологического мониторинга, разработки Генпланов.

Потребность более эффективно решать вопросы управления, планирования, инвентаризации и эксплуатации инженерных коммуникаций также приводит к внедрению ГИС систем, как в муниципальных образованиях, так и на крупных предприятиях.

Принятие нового Градостроительного кодекса [35] кардинально изменило положение с внедрением ГИС. Кодекс ввел в практику Информационные системы градостроительной деятельности (ИСОГД), которые обязательны для всех муниципальных образований. Цель ИСОГД – обеспечение органов государственной власти, органов местного самоуправления, физических и юридических лиц достоверными сведениями, необходимыми для осуществления градостроительной, инвестиционной и иной хозяйственной деятельности, проведения землеустройства. Эти системы в настоящее время создаются и вводятся на муниципальном уровне Комитетами по градостроительству и архитектуре.

В качестве центрального элемента инфраструктуры выделяются базовые пространственные данные – цифровые топографические материалы. Эти данные используются в качестве основы для создания и ведения тематических пространственных данных.

В настоящее время можно уже говорить о накопленном опыте применения ГИС для управления городами (Челябинск, Москва, Томск и др.) и территориями отдельных крупных предприятий (АвтоВАЗ) [31, 73, 83]. Это интереснейший опыт организаций различного уровня, занимающихся как глобальными задачами, такими как контроль над развитием регионов, так и локальными вопросами, связанными с хозяйственной деятельностью. ГИС позволяет по-новому, более глубоко, взглянуть на возникающую проблему, комплексно подойти к ее решению и предоставляют необходимый для этого инструментарий.

В этом отношении к нашим задачам наиболее близка работа, осуществляемая Департаментом архитектуры и градостроительства администрации г. Томска. С 2008 года, на территории города реализуется проект «Информационное и картографическое обеспечение градостроительной деятельности».

Реализация проекта основана на муниципальной целевой программе «Информационное и картографическое обеспечение градостроительной деятельности», действия которой в настоящее время определены с 2015 по 2017 годы (далее Программа). Программа предусматривает реализацию мероприятий по геодезическому, картографическому и кадастровому направлениям информационного обеспечения градостроительной деятельности [55].

Эффективная реализация всех трех направлений базируется на создании и развитии спутниковой геодезической сети города, на основе станций ГЛОНАСС/GPS, на создании цифрового картографического фонда в векторном и растровом форматах, в том числе цифровых моделей местности (для картографирования используются данные дистанционного зондирования земли, получаемые в т. ч. при помощи авиасъемки и беспилотных летательных аппаратов) и доступе к пространственным и семантическим данным других информационных систем города, в режиме онлайн.

Внедрение информационной системы обеспечения градостроительной деятельности (ИС ОГД) обуславливает интеграцию нескольких информационных систем: информационной системы муниципального земельного кадастра, адресного реестра и цифровой картографической системы, системы документооборота (прием документов, изготовление документов на выдачу заказчику градостроительного плана и схемы расположения земельного участка, разрешение на строительство и т.п.). На основе ИС ОГД создан макет перспективного развития города на ближайшие 25 лет, в масштабе 1: 5000 и интегрированные между собой сервисы: сайт «Градостроительный атлас» и сайт «ГИС-инвестор».

ИС ОГД открывает возможности для внедрения и кооперации на новом информационном уровне сведений геоэкологического характера. Такие системы разрабатываются для г. Томска различными организациями (ТГУ, АО "Томскгеомониторинг", ТОО НПО "Сибгеоинформатика", НИИ ББ и др.) [4].

Разрабатываемая нами информационно-поисковая система является именно таким продуктом. В качестве одной из основных проблем урбанизированных территорий выступает эволюция гидрогеологических систем, которой сопутствует комплекс сопутствующих последствий сложнейших взаимодействий. В связи с этим возникает интерес к использованию широкого спектра данных, характеризующих динамическое состояние городской среды. В этом отношении подземная гидросфера занимает особое место как элемент геологической среды, характеризующийся наибольшей мобильностью, а на первый план выходит использование для прогноза потенциальных изменений гидрогеологических условий, приводящих, в том числе, и к негативным последствиям, количественных характеристик фильтрационных потоков [105].

Основное преимущество использования ГИС-технологий заключается в широких возможностях совместного анализа различной картографической информации, представленной базовыми видами карт застроенной территории: геологическими, гидрогеологическими, инженерно-геологическими, техногенной нагрузки.

Детализация содержания этих карт ограничивается только степенью изученности территории и может нарастать во времени при постоянной актуализации геологических и технических баз данных. Совместная обработка электронных карт (или отдельных их слоёв) позволяет получать новые результаты, недоступные или весьма трудоёмкие при традиционном использовании картографической информации:

Анализ гидрогеологических условий урбанизированной территории с использованием современных геоинформационных технологий показали, что их использование не только значительно повышает оперативность оценки условий городской территории, но и позволяет использовать возможности комплексного

подхода к интерпретации результатов различных исследований, представленных в виде отдельных покрытий (слоев) электронной карты. Эти актуализированные качества современного представления ранее проведенных исследований позволяют включить их в систему постоянно действующей МГИС [105].

Электронные гидрогеоэкологические карты могут быть использованы для ввода и отображения дополнительной информации, оценки уровня техногенной нагрузки, разработки природоохранных мероприятий на конкретных участках урбанизированных территорий.

1.3. Моделирование фильтрации в задачах прогноза процессов техногенного подтопления городских территорий

Хозяйственная деятельность, в пределах застроенных и осваиваемых городских территорий, вызывает рост техногенной нагрузки на все компоненты геологической среды, и наиболее чутко на внешнее воздействие реагируют подземные воды, как наиболее подвижный элемент этой равновесно-неравновесной системы. Ведущая роль в определении направления и масштабов такого воздействия принадлежит количественным методам оценки движения подземных вод, основанным на теоретических положениях и методических приёмах динамики подземных вод, а в сложных гидрогеологических условиях - на применении методов моделирования.

Прогнозы развития процессов техногенного подтопления городских территорий полностью могут быть отнесены к разряду практических задач, реализуемых в сложных гидрогеологических условиях. Это объясняется как неоднородным строением водовмещающей толщи в сфере взаимодействия с инженерными сооружениями, так и изменчивым характером внутренних и внешних граничных условий области фильтрации в границах осваиваемых территорий.

Под гидрогеологическим моделированием понимается воспроизведение на различных моделях (физических, электрических, гидравлических, численных и

т. д.) процессов фильтрации подземных вод и связанных с ними явлений. Исторически в гидрогеологии развивались два вида моделирования физическое и математическое.

Физическое моделирование используется при изучении процессов, теоретическое обоснование которых недостаточно полно разработано и механизмы внутренних связей выяснены в общих чертах без детальных количественных характеристик. При этом модель должна воспроизводить изучаемое явление с сохранением его физической природы и геометрического подобия, а отличается от оригинала только величинами одноименных параметров и скоростью протекания изучаемого процесса.

Математическое моделирование основано на аналогии дифференциальных уравнений, описывающих процессы, имеющие различную физическую сущность. Примерами такого рода аналогий являются фильтрация жидкостей в пористой среде, движение электрического тока в проводнике, процессы перераспределения температуры в твёрдом теле и проч.

Описание использования аналоговой техники для решения прикладных задач в различных областях знания нашло отражение в работах Н.Н. Павловского, В.И. Аравина, Н.И. Дружинина, С.Н. Нумерова, П.Ф. Фильчакова. [5, 46] Разработанные этими авторами вопросы методики и технологии моделирования были адаптированы к решению гидрогеологических задач.

Теоретические основы аналогового моделирования для решения задач гидрогеологии и многообразие технических средств подробно описано в трудах М.А. Вевировской, И.К. Гавич, И.Е. Жернова, А.А. Куваева, А.В. Лёхова, Е.А. Ломакина, Л. Лукнер, В.А. Мироненко, И.Н. Павловец, И.С. Пашковского, А.А. Рошаля, В.М. Шестакова, Р.С. Штенгелова и многих других [21, 25, 26, 30, 48, 65, 74, 80, 155].

Наиболее широко в настоящее время развито моделирование с использованием численного решения уравнений геофильтрации с применением современных средств вычислительной техники. Фильтрационные расчёты по идеологии организации вычислительного процесса подразделяют на метод

конечных элементов (МКЭ) и метод конечных разностей (МКР) [75], различия которых проявляются в подходах к сеточной разбивке области фильтрации и способах решения основных дифференциальных уравнений.

Для решения большинства практических геофильтрационных задач противопоставление этих методов достаточно условно. В современных пакетах прикладных программ они отличаются только способами вычисления градиента и техникой ввода исходных данных на уровне описания численной модели области фильтрации.

В практике гидрогеологических расчётов применяются компьютерные программы различных разработчиков. Нами для решения типовых задач прогноза техногенного подтопления нами использованы *GMS (Groundwater Modeling System)*, *Processing Modflow*, *FEFLOW (Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System)*, каждый из которых обладает своим набором достоинств, определяющих круг решаемых задач.

Программный комплекс *Processing Modflow* представляет собой полнофункциональный пакет прикладных программ для численного моделирования геофильтрации, включающий наиболее простые версии инструментов препроцессорной и постпроцессорной обработки исходных данных и результатов моделирования. Решающим модулем программного комплекса является *MODFLOW*, что обеспечивает достаточный уровень универсальности в решении как геофильтрационных, так и геомиграционных задач. Отличительной особенностью младших версий программного комплекса является резко ограниченный круг вспомогательных инструментальных средств, ориентированный на задание исходных данных непосредственно на пространство конечно-разностной сетки. Такое упрощение воспринимается пользователями неоднозначно. Одни считают его недостаточно оснащенным для выполнения сложной подготовительной работы на этапе предварительной схематизации и обработки исходных данных и относят эти особенности к недостаткам. Другие, наоборот, высоко оценивают именно простоту его основных функциональных возможностей, которые не перегружены многочисленными вспомогательными

средствами и, как минимум, экономя время на освоение интерфейса, позволяют максимально упростить процесс подготовки численных моделей к непосредственному использованию для решения практических задач.

В нашем случае программный комплекс *Processing Modflow* использован для моделирования изменений гидрогеологических условий под влиянием техногенных воздействий в простейших условиях развития подтопления на участках типовых фильтрационных разрезов.

Программный комплекс *GMS (Groundwater Modeling System)*, представляет собой полнофункциональный пакет прикладных программ для численного моделирования геофильтрации, включающий наиболее простые развитые версии инструментальных средств препроцессорной и постпроцессорной обработки исходных данных и результатов моделирования. Богатый арсенал вспомогательных средств реализован через основные функциональные возможности десяти относительно самостоятельных модулей, каждый из которых специализирован на работе с отдельными информационными блоками численной модели, включая работу с двух- и трёхмерными конечно-разностными сетками, скважинами, картами, массивами точечных объектов и т.д.

Возможности программного комплекса *GMS (Groundwater Modeling System)*, использованы нами при разработке локальных моделей городской территории (на примере микрорайона «Черемошники») где в меньшей степени сказывается криволинейность внешних и внутренних граничных условий.

Программный комплекс *FEFLOW (Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System)*, в отличие от упомянутых ранее, базируется на реализации решения основных дифференциальных уравнений по методу конечных элементов. При значительном сходстве основных функциональных возможностей в решении прогнозных геофильтрационных задач всех без исключения профессиональных комплексов есть отдельные преимущества, выделяющие их из общего ряда. Для программного комплекса *FEFLOW* таким преимуществом является способность наилучшим образом описывать сложную форму граничных условий. При моделировании условий техногенного

подтопления можно выделить два случая, в которых применение ПК *FEFLOW* оказывается предпочтительнее. Во-первых, типовые расчетные схемы для моделирования барражного эффекта включают фундаменты зданий сложной формы, включая диагональные (зигзагообразные) элементы. Такие очертания фильтрационных преград плохо вписываются в структуру ортогональных конечно-разностных сеток, для которых весьма желательно совпадение контуров внешних и внутренних граничных условий с направлением осей пространственных координат. Во-вторых, для региональной модели городской территории значительную роль играют водотоки различных порядков, образующие разнонаправленную рисовку гидрографической сети, которая весьма условно может быть передана на прямоугольной конечно-разностной сетке программных комплексов *GMS* и *Processing Modflow*.

1.4. Гидрогеологическая изученность территории г. Томска

Территория г. Томска характеризуется, в целом, высокой, но чрезвычайно неравномерной изученностью, в связи с тем, что специализированные площадные гидрогеологические съемки в пределах города не проводились, а основная масса информации была получена при решении целевых задач водоснабжения отдельных объектов или при инженерно-геологических изысканиях под строительство.

Из наиболее ранних работ, относящихся непосредственно к г. Томску, следует отметить отчет М.И. Кучина и др. [69], содержащий сведения о глубинах залегания подземных вод. Им же были выполнены и первые работы обобщающего характера, появившиеся в послевоенное время [70] и содержащие схему гидрогеологического районирования, и оценку состояния водоснабжения города.

Изучение гидрогеологических условий Томской области, включая территорию города, проводили в разные годы А.В. Оссовский, Н.М. Богатков, В.Л. Карлсон и Т.Я. Емельянова [58], М.И. Кучин [70, 71], В.А. Нуднер [88, 89],

Б.В. Плотников [144], Ю.К. Смоленцев [132, 133, 134], В.П. Шипачев [160], Л.Ф. Валенюк [20], М.М. Тельцова [145], А.В. Афонин [7, 8, 9], Г.Г. Юдин [7, 8], В.Л. Карлсон [59], Б.А. Егоров [99], В.Г. Ширинкина [157], Г.Л. Плевако и др. [98]. Выполнены съемки различных масштабов. Установлены и изучены водоносные горизонты рыхлых отложений платформенного чехла и палеозойских образований, составлены гидрогеологические карты и схемы гидрогеологического районирования территории области, изучены условия водоснабжения населенных пунктов.

Территория города попадает в площадь съемочных работ масштаба 1:200 000, а некоторая ее часть – в площадь съемочных работ масштаба 1:50 000 и даже 1:25 000, однако, детальность площадных исследований непосредственно на территории города значительно ниже, чем остальной площади съемки, а выделенные на территории города водоносные горизонты и комплексы охарактеризованы, в основном, по данным изучения прилегающих участков.

С вопросами водоснабжения г. Томска связаны работы Н.А. Ермашовой, Ф.П. Осипова [94], Н.М. Рассказова и др. [121], В.А. Коробкина, К.Е. Оглезнева [62], В.Я. Герасимова и др. [29], для водоснабжения отдельных районов города выполнены поисково-разведочные работы; результаты приведены в отчетах О.А. Гусельниковой [36], А.С. Бычковой [19] и др.

Что касается инженерно-геологических изысканий под жилищно-коммунальное и промышленное строительство, то их материалы являются основным источником информации для региональной характеристики геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических условий городской территории.

Обширные материалы изысканий послужили основой последующих обобщений, выполненных сотрудниками кафедры гидрогеологии и инженерной геологии ТПУ (Л.А. Рождественская, Д.С. Покровский, Н.В. Крепша, К.И. Кузеванов) [67, 127]. Были изучены и обобщены показатели инженерно-геологических свойств рыхлых отложений, закономерности их пространственной изменчивости, разработаны методики составления инженерно-геологических

карт. Для территории города были составлены гидрогеологические и инженерно-геологические карты масштаба 1:10000, впервые рассмотрена проблема развития процессов подтопления и выполнено районирование по степени потенциальной.

С 1986 по 1988 гг. ТомскТИСИЗом [28] проводились комплексные изыскания для разработки схемы инженерной защиты г. Томска от опасных геологических процессов. Выполненные обобщения, основанные на анализе и тщательной обработке огромного объема фактического материала, обеспечивает необходимую достоверность картографических материалов и графические построения по этим работам в целом подтверждают сделанные ранее выводы сотрудников ТПУ.

Большое внимание изучению проблем, связанных с подтоплением, уделялось сотрудниками созданного в начале 1990-х годов Института проблем ЖКХ в районах Севера, Сибири и Дальнего Востока (В.К. Попов, Д.С. Покровский, Н.В. Крепша, В.А. Коробкин, С.В. Серяков) [112, 113, 130, 104].

В конце 1990-х годов при обосновании съемочных работ авторами проекта А.И. Скогоревым и Б.А. Егоровым были проведены анализ и обобщение всех имеющихся материалов по геологическому строению, гидрогеологическим и инженерно-геологическим условиям городской территории и масштабе 1:25 000 составлены соответствующие карты.

Были составлены карты фактического материала, схематическая геологическая карта г. Томска, отражающая площадное распространение дочетвертичных и четвертичных стратиграфо-генетических комплексов, а также образований, связанных с техногенезом. Карта сопровождалась колонками и разрезами. Составлена схематическая гидрогеологическая карта г. Томска, при построении которой был использован стратиграфический принцип выделения водоносных горизонтов и комплексов. На карте гидрогеологического районирования по глубинам залегания грунтовых вод отражено распространение подрайонов с интервалами глубина 0–3, 3–6, 6–9, 9–12, 12–15, 15–20 и более 20 м. Составленная схематическая инженерно-геологическая карта отражает строение верхней части разреза развитых на территории отложений, площадь

распространения верховодки, участки проявления экзогенных геологических процессов. На карте районирования по условиям строительства выделены территории, благоприятные для строительства, с подразделением на участки, безусловно благоприятные и требующие профилактических мероприятий, а также территории, неблагоприятные для строительства с подразделением на участки, связанные с определенными процессами-оползнями, подтоплением.

Исследованию опасных геологических процессов и инженерной защиты территории г. Томска посвящены работы сотрудников оползневой станции (ныне АО «Томскгеомониторинг») А.Л. Иванчуры, Б.А. Егорова и др. [53, 77], сотрудников ТГАСУ В.Е. Ольховатенко, Г.Г. Щербака М.Г. Рутмана, В.М. Лазарева [91, 159, 128].

Таким образом, изменения условий города в связи с техногенным подтоплением рассмотрены достаточно разносторонне, исследования проблем, связанных с подтоплением, продолжаются.

Что касается химического состава подземных вод и его изменения под техногенным воздействием, то гидрогеохимические исследования в черте города и у его границ в течение многих лет проводились на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии ТПУ (П.А. Удодовым, С.Л. Шварцевым, Н.М. Шварцевой, Д.С. Покровским, А.Д. Назаровым, Н.Г. Наливайко, Ю.Г. Копыловой, К.И. Кузевановым, Е.М. Дутовой, О.Г. Савичевым, Е.Ю. Пасечник, Н.Н. Бракоренко и др. [13, 14, 15, 16, 51, 96, 149, 148].

Разнообразные экогеохимические исследования проводятся на кафедре геоэкологии ТПУ Л.П. Рихвановым, Е.Г. Языковым и др. [125, 163], сотрудниками ТГУ: А.М. Адамом, В.А. Земцовым, В.П. Парначевым, А.В. Мананковым и др. [161, 162].

Обзор изученности проблемы свидетельствует о значительных успехах в познании процессов подтопления урбанизированных территорий. Вместе с тем, современные представления о механизмах развития процессов подтопления, об естественно-природных и техногенных факторах их формирования, технологий анализа пространственно-временных изменений параметров геологической среды

и взаимообусловленности разнонаправленных процессов и методы ГИС-технологий, в том числе численного моделирования, создавая новую методологическую основу, способствующую более глубокому пониманию процессов, происходящих в подземной гидросфере, открывают огромные перспективы для дальнейших исследований и углубления знаний.

Этим вопросам и посвящена данная работа. Появившиеся в настоящее время дополнительные данные и новая методическая основа позволяют на новом уровне подойти и к анализу накопленного материала и ответить на ряд вопросов, важных не только для региона, но и для решения возникающих на современном этапе гидрогеоэкологических проблем [102].

2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ ТОМСКА

2.1. Физико-географические условия

Томск – старинный студенческий, культурный и промышленный город, расположен в гумидной, избыточно увлажненной таежной зоне Западной Сибири на р. Томи, являющейся правым притоком р. Оби (рис. 2.1).

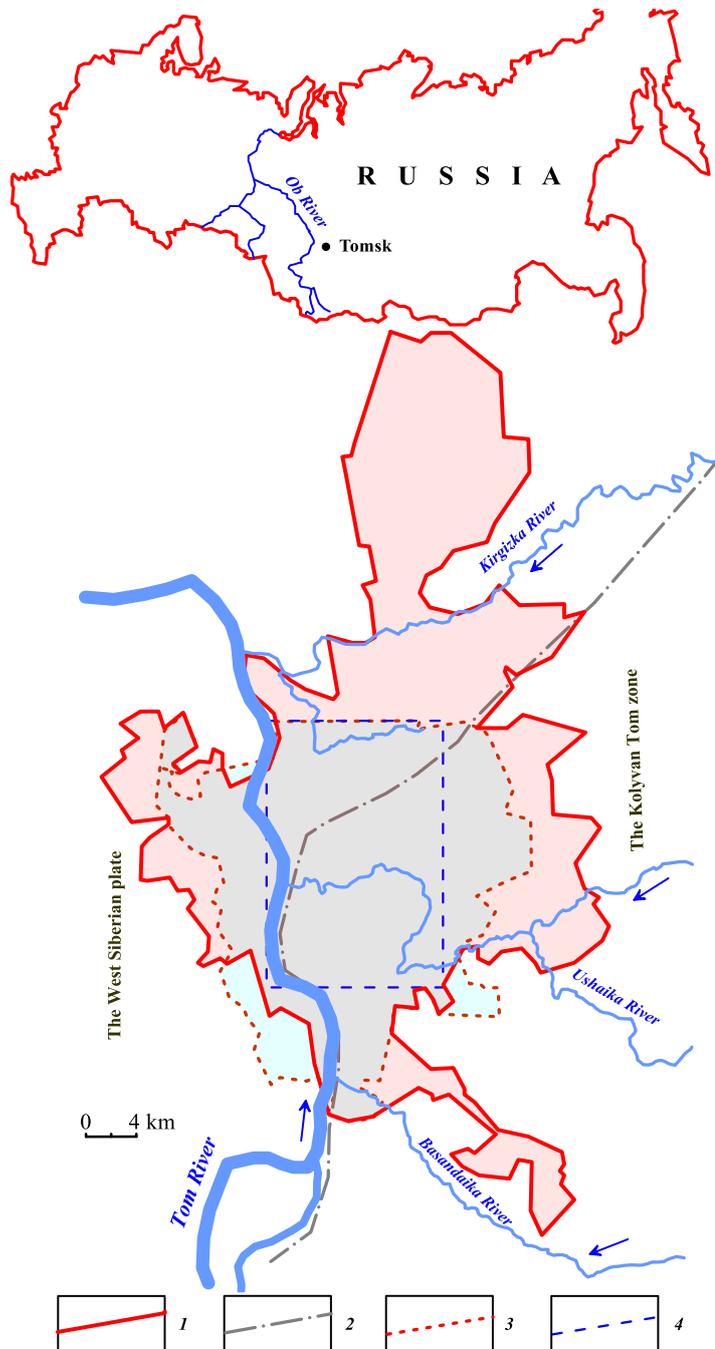


Рис. 2.1. Обзорная карта города Томска:

1 – границы города; 2 – геологические границы; 3 – границы центральной части города;
4 – границы гидрогеологической карты.

Город имеет сложную инфраструктуру. Современная высотная застройка концентрируется в жилых микрорайонах, а также представлена отдельными зданиями в исторических кварталах. Промышленные предприятия рассредоточены в пределах селитебной застройки. Центральная часть города застроена старинными двух- и трехэтажными кирпичными домами, соседствующими с деревянными строениями [105]. Многие из них являются историческими и культурными памятниками. Среди них архитектурные памятники каменного и деревянного зодчества: храмы, дома архитекторов К.К. Лыгина, А.Д. Крячкова, П.Ф. Федоровского, А.К. Бруни и других, строения с деревянной резьбой удивительной красоты и сложности. Сохранение этого культурного наследия является одной из важнейших задач градостроительной политики.

2.1.1. Климатические условия

Климат района г. Томска континентальный с продолжительной холодной зимой и коротким жарким летом. Для него характерны изменчивость погоды, неустойчивость и резкие колебания температур не только по временам года, но и в течение суток, особенно весной. Сезоны года не совпадают с календарными: лето составляет три, осень – два, зима – пять, весна – два месяца [63].

По результатам наблюдений Томской ГМС среднегодовая температура, установленная за многолетний период, составляет $-0,5^{\circ}\text{C}$ при абсолютном максимуме $+35$ (июль 1975 г) и минимуме до -55°C (январь 1931 г). [146] Максимальные среднемесячные температуры приходятся на июль, минимальные – на январь (рис. 2.2). Переход через « 0°C » среднемесячной температуры происходит весной в последних числах марта – первых числах апреля, а осенью – в первой декаде ноября. Средняя глубина промерзания почв в таежной местности 0,7 м, на открытых участках – до 3,0 м.

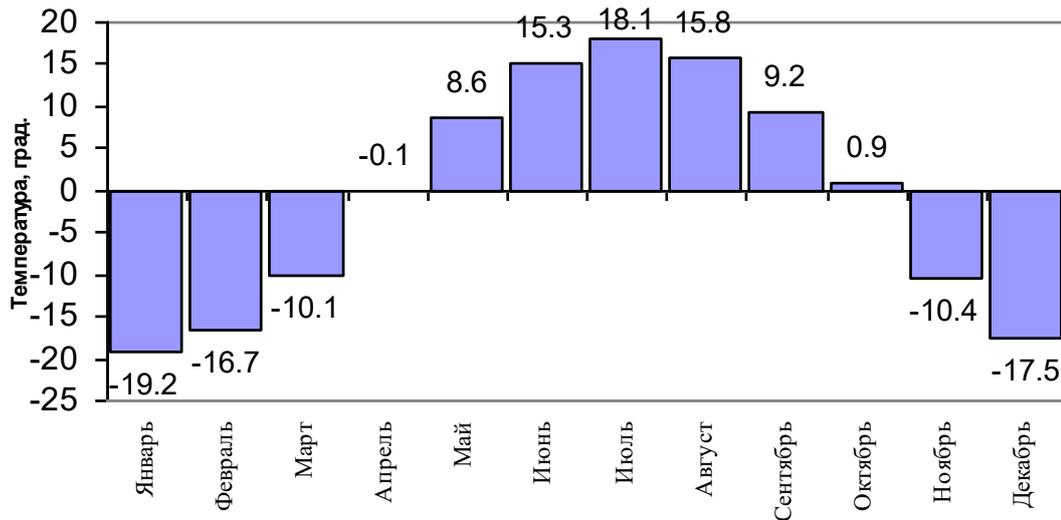


Рис. 2.2 Годовой ход температуры воздуха

Преобладающими направлениями ветров являются южное и юго-западное.

По степени увлажнения территория относится к умеренно увлажненной. Среднегодовое количество осадков за многолетний период составляет 519 мм и изменяется от 369 мм до 672 мм. Жидкие атмосферные осадки составляют 59 %, твердые, в среднем, 34 %, на смешанные осадки приходится 7 %. Общее число дней с осадками составляет 175–200.

Распределение среднемесячных многолетних атмосферных осадков в годовом цикле показано на рисунке 2.3.

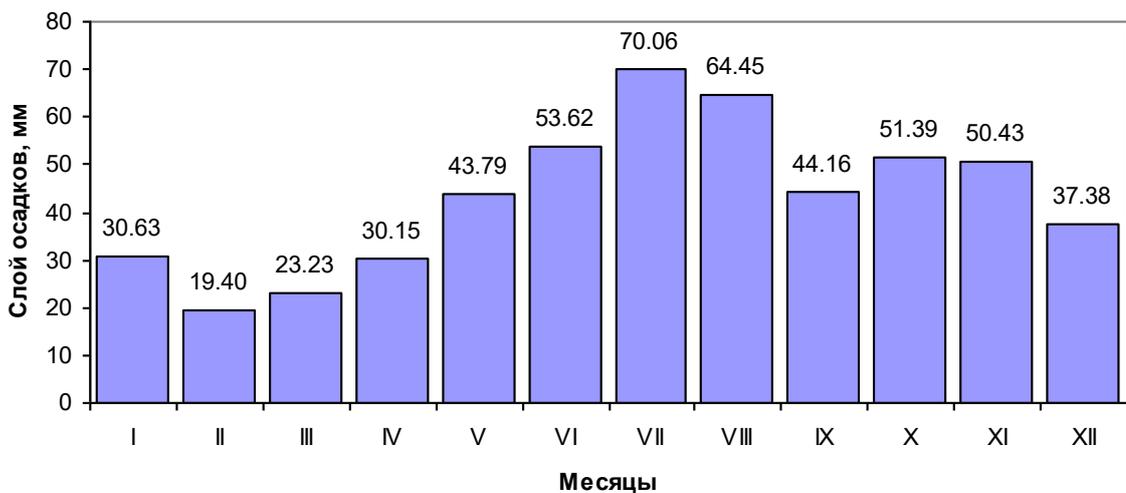


Рис. 2.3. Распределение атмосферных осадков за многолетний период

Большая их часть приходится на летние месяцы. Такое распределение осадков предопределяет сезонную неравномерность и цикличность естественного питания подземных вод. Испарение также подвержено циклическим изменениям, но его значения гораздо меньше величин атмосферных осадков. Это создает благоприятные условия для питания подземных вод, в том числе и на территории городской застройки [63].

2.1.2. Рельеф и геоморфология

Рельеф, осложненный в пределах городской территории долинами рек Ушайки, Киргизки, Басандайки и рядом относительно крупных ручьев, имеет общую западно-северо-западную экспозицию. Особое положение в рельефе занимает р. Ушайка, которая пересекает территорию города с востока на запад и разделяет ее на северную и южную части. Отметки поверхности рельефа относительно плоских водоразделов в южной части города составляют 120–140 м абсолютной высоты, в северной части достигают 160–170 м (рис. 2.3). Полого наклоненные террасовые уступы, плавно сопрягающиеся между собой и с водоразделом, часто заканчиваются склонами различной крутизны с уклонами от 5–10 до 50–60 градусов и относительными превышениями до 50–60 м. Минимальные отметки рельефа на урезе воды в р. Томи составляют 68–70 м.

В геоморфологическом отношении заметную роль на территории города играют речные террасы. Вопрос об их количестве до сих пор окончательно не решен.

Схема геоморфологического строения территории города Томска показана на рисунке 2.4. Формы рельефа в районе города разделены на формы рельефа речных долин Томи, Ушайки, Киргизки и водораздела рр. Томь–Яя.

А) Флювиальные формы, созданные русловыми потоками

Основная центральная часть территории расположена на террасах реки Томи, в меньшей степени – террасах р. Ушайки. В целом, главной особенностью геоморфологии района является преобладание склонов различной крутизны и длины

над ровными поверхностями.

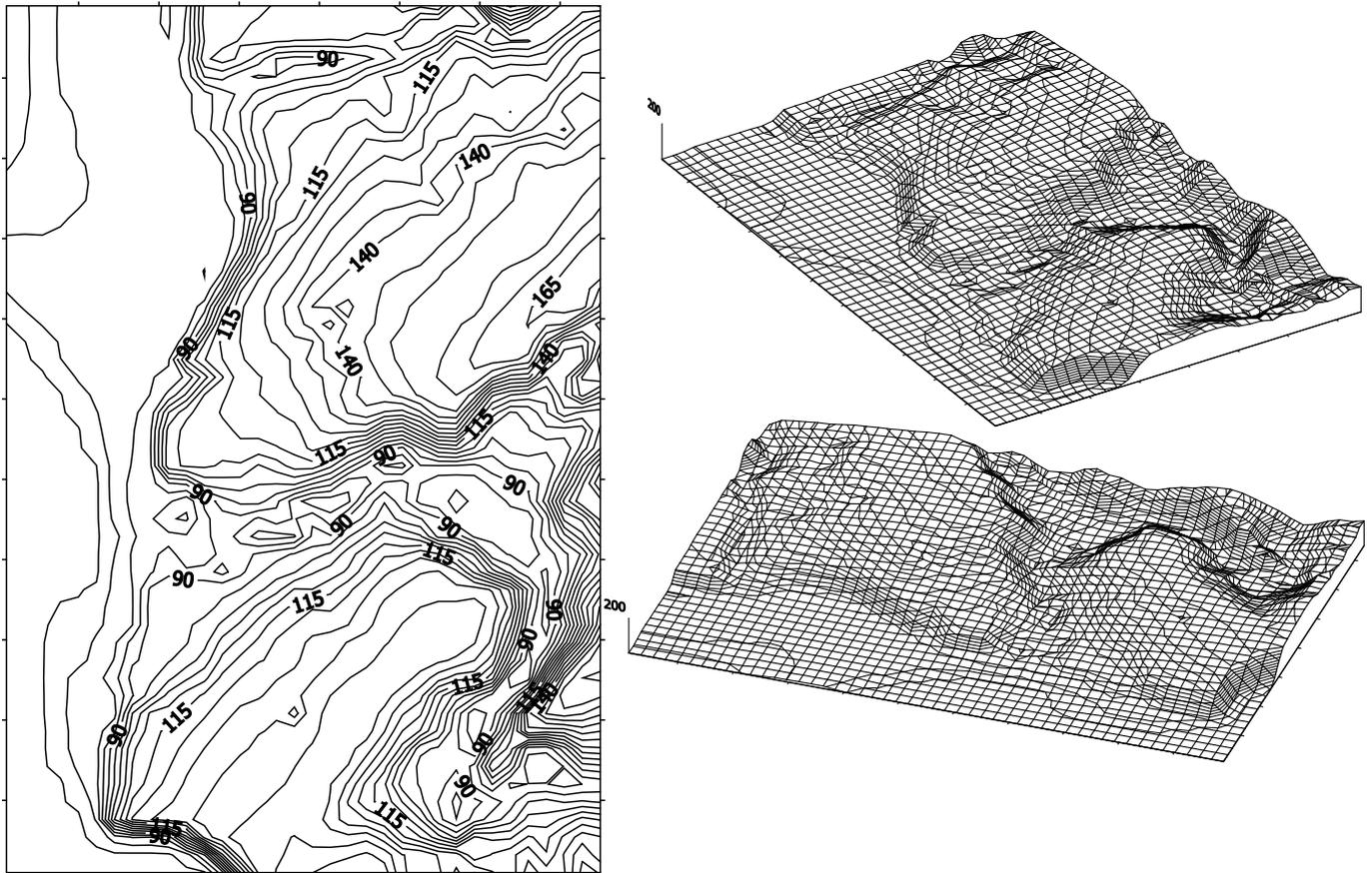


Рис. 2.3 Рельеф центральной части территории г. Томска

Пойма. Низкая пойма реки Томи имеет относительную высоту 3–4 м, в пределах города занимает незначительную площадь. Несколько шире развита высокая пойма, возвышающаяся на 5–7 метров.

Террасы реки Томи.

Первая надпойменная терраса р. Томи прослеживается участками. Поверхность террасы возвышается над уровнем р. Томи на 8–10 м, местами сливаясь с высокой поймой. Абсолютные отметки поверхности 78–80 м. Цоколь террасы опущен на 7–10 м ниже уровня воды в р. Томи и представлен олигоценowymi отложениями.

Вторая надпойменная терраса развита наиболее широко в южной половине города, прислоняясь к третьей и междуречью, и в меньшей степени в северной части города, где она возвышается 12–15 метровым уступом над пойменной и первой

надпойменной террасой. Ширина площадки в северной части составляет 250 м, в южной – до 500 м. Абсолютные отметки цоколя и поверхности террасы составляют 75–80 и 90–95 м.

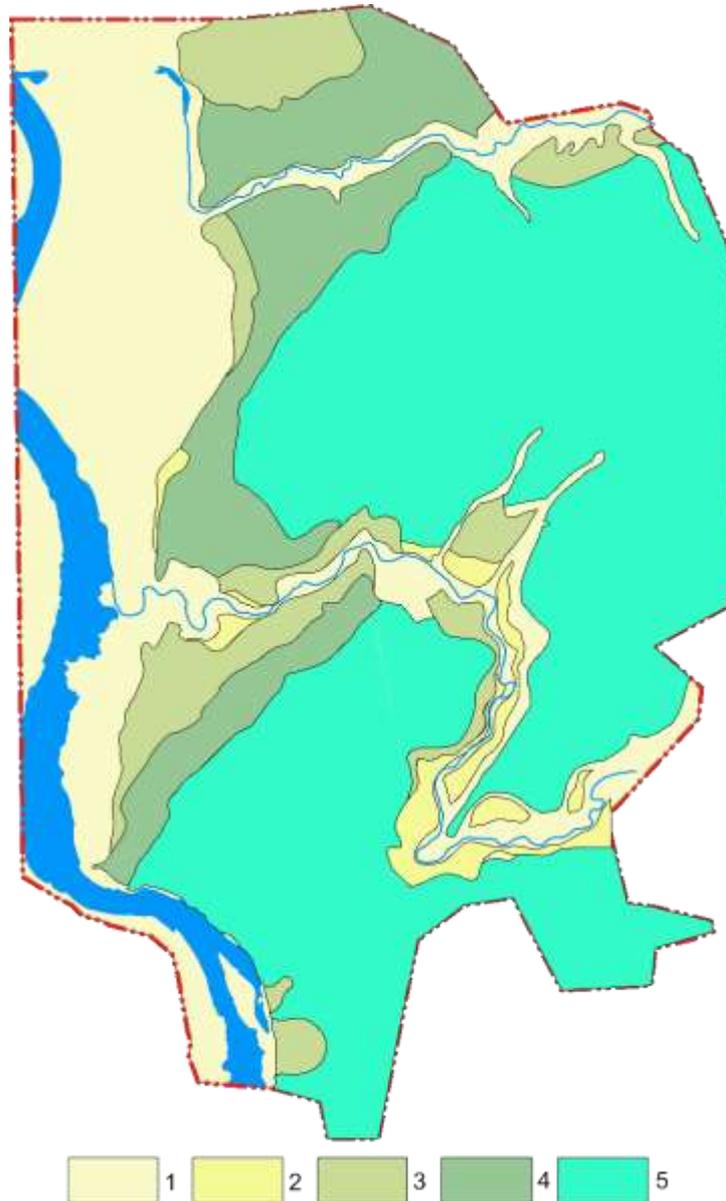


Рис. 2.4. Схематическая геоморфологическая карта [45]:

1 – голоценовая пойма; 2 – плестоцен-голоценовая I надпойменная терраса; 3 – верхнеплейстоценовая II надпойменная терраса; 4 – средне-верхнеплейстоценовая III надпойменная терраса; 5 – выровненные поверхности водораздела четвертичного возраста

Третья надпойменная терраса объединяет Воскресенскую и Лагерную террасы. Относительные превышения над уровнем р. Томи 40–50 метров. Поверхность террасы ровная, слабо волнистая, полого наклонная в сторону реки.

Б. Выровненные поверхности водораздела четвертичного возраста, созданные нерусловыми потоками. К этому типу относятся поверхность водораздела рек

Томь – Яя, представляющая собой слабовсхолмленную равнину, в которую врезана долина р. Томи с серией вложенно-прислоненных террас и долины ее притоков – рек Ушайки, Киргизки. Абсолютные отметки водораздельной равнины изменяются от 160–170 м в южной и юго-восточной части исследуемого района до 170–190 м – в северо-восточной.

Современная поверхность равнины сформировалась в результате накопления покрова лессовидных суглинков, преимущественно элювиально-делювиальных. Общий уклон поверхности – на северо-запад.

Гидрографическая сеть на территории города хорошо развита. Кроме основной водной артерии, которая представлена руслом р. Томи, в черте города протекают рр. Басандайка, Ушайка, Киргизка и ряд достаточно крупных ручьев (см. рис.2.1). Этим водотокам принадлежит важная дренирующая роль в отношении как поверхностных, так и подземных вод.

Вероятно, это не случайно и определяется особенностями геологического строения. Локализация мелких поверхностных водотоков тесно связана с глубиной залегания палеозойского фундамента. Там, где плотные породы, перекрытые водоупорной корой выветривания, залегают на высоких гипсометрических отметках (иногда выше местного базиса эрозии), как, например, на склоне Лагерного сада, формируется разгрузка подземных вод в виде родников. В тех местах, где фундамент испытывает погружение, разгрузка подземных вод формирует истоки отдельных ручьев, иногда с хорошо разработанным руслом, например, как по левому берегу р. Киргизки в северной части городской территории.

На территории города существует опасность сезонного затопления отдельных участков в прибрежной полосе (рис. 2.5.) во время паводка. Для защиты городской территории от затопления построена дамба вдоль русла р. Томи.

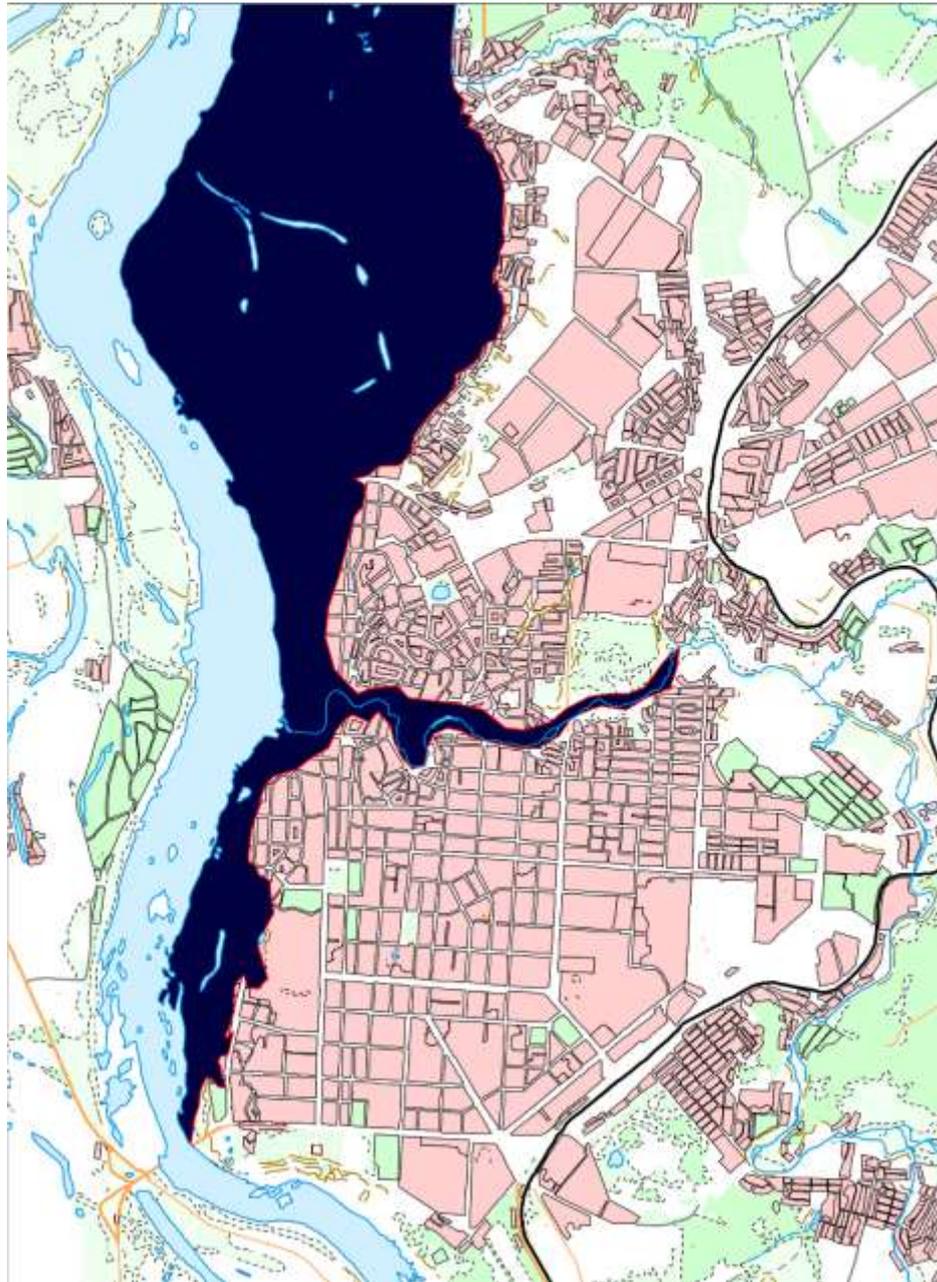


Рис. 2.5. Схема потенциального максимально возможного затопления территории г. Томска [4]

2.2. Геологические условия

Особенности геологического строения территории обусловлены расположением ее на сочленении двух структур: эпигерцинской Западно-Сибирской плиты и Томь-Колыванской складчатой зоны. Характеристика геологических условий приводится по данным [95, 127, 131]. Основные характеристики геологического разреза отображены на рис. 2.6.

Основание геологического разреза представлено отложениями нижнего

карбона (C₁). По литологическому составу это глинистые, алевроито-глинистые сланцы, зачастую с наличием равномерно распределенного углистого вещества и прожилок пирита, песчаники и алевролиты.

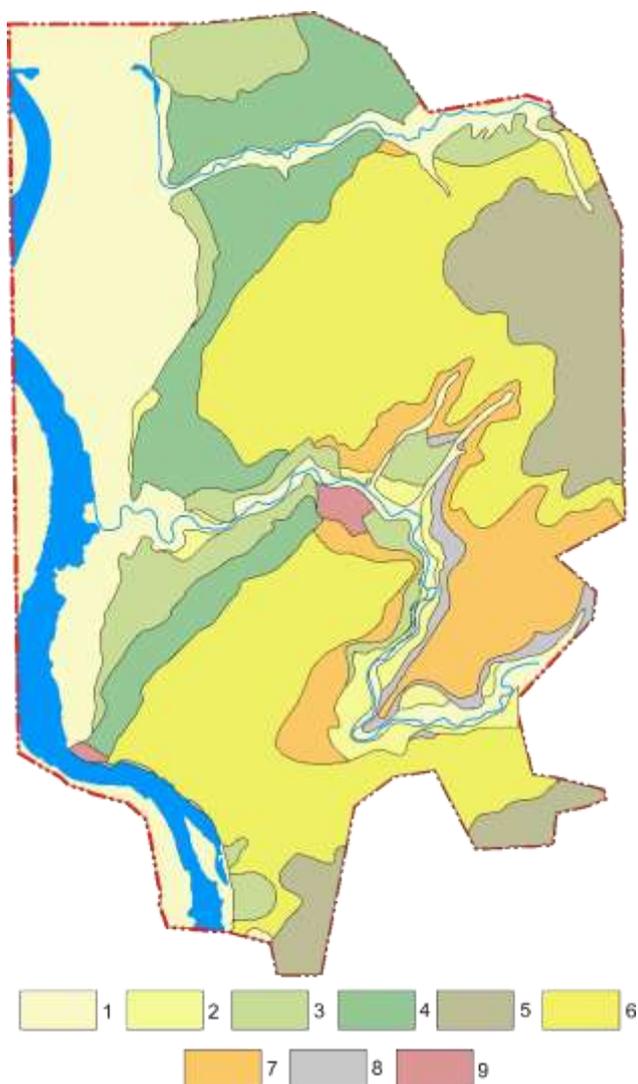


Рис. 2.6. Геологическая карта [42]:

1 – современные аллювиальные отложения пойм; 2–4 – верхнечетвертичные аллювиальные отложения: 2 – первой надпойменной террасы; 3 – второй надпойменной террасы; 4 – третьей надпойменной террасы; 5 – среднечетвертичные озерно-аллювиальные отложения тайгинской свиты; 6 – верхнечетвертичные отложения кочковской свиты; 7 – верхнепалеогеновые отложения новомихайловской и лагернотомской свит; 8 – нижнекаменноугольные отложения; 9 – техногенные отложения

Толщу карбона завершают отложения мел-палеогеновой коры выветривания, которая отсутствует лишь в русле р. Томи. Представлены отложения коры выветривания преимущественно алевролитами и глинами.

Наиболее древние среди мезо-кайнозойских отложения верхнего мела, выделенные в симоновскую свиту, встречены лишь в северо-западной части

города (район Черемошников). Отложения свиты представлены, в основном, песками с молomoщными прослоями глин.

Палеогеновые отложения (Р) на территории г. Томска распространены практически повсеместно. Исключение составляют прирусловые части долин рек Томи, Ушайки и Басандайки, где четвертичные и неогеновые отложения залегают непосредственно на палеозойских породах и их корах выветривания. Представлены они осадками люлинворской, юрковской, новомихайловской и лагернотомской свит. Осадки люлинворской свиты (Р₂ II), практически полностью представленные аргиллитоподобными, листоватыми морскими глинами, имеют ограниченное распространение в северо-западной и северной частях территории г. Томска, где породы палеозойского фундамента резко погружаются под осадки Западно-Сибирской плиты.

На тех же территориях, на северо-западе и севере города, на осадках люлинворской свиты без видимого несогласия залегают отложения юрковской свиты (Р₂₋₃ jur). На отдельных участках, при крутом воздымании приподнятых блоков палеозойских пород, осадки юрковской свиты прилегают к осадкам люлинворской свиты.

Отложения свиты преимущественно представлены серыми, разнозернистыми, до грубозернистыми, а на отдельных участках в нижней части разреза гравелистыми полевошпатово-кварцевыми песками. В толще преимущественно песчаного разреза присутствуют маломощные прослои и линзы плотных зеленовато-серых и коричневатых песчано-алевритистых глин и линзы лигнитов.

Отложения объединенных новомихайловской и лагернотомской свит (Р₃nm + Р₃lg), широко распространенные на территории города, залегают на поверхности коры выветривания пород палеозойского фундамента и на осадках юрковской свиты. На отдельных площадях, в долине р. Ушайки и в долине р. Томи в юго-западной части города, отложения объединенных свит отсутствуют, и на породах палеозоя и их коре выветривания залегают четвертичные отложения (рис. 2.7).

Осадки свит ($P_{3nm} + P_{3lg}$) выходят на дневную поверхность по правому борту р. Томи (Лагерный сад), по левому и правому бортам р. Ушайки.

Отложения объединенных свит имеют преимущественно двучленное строение. В нижней части разреза, в основном, песчаный состав, в верхней, как правило, глины.

Мощность объединенных осадков новомихайловской + лагернотомской свит в пределах городской территории достигает 15 - 36 м.

Неогеновые отложения кочковской свиты ($N_2 k\check{s}$) широко распространены на всей территории города, отсутствуя в долинах рек Томи, Ушайки, Киргизки (рис. 2.6). Осадки кочковской свиты обнажаются в правом борту р. Томи и в обоих бортах р. Ушайки, перекрываются осадками тайгинской свиты, а при их отсутствии – четвертичными покровными суглинками. Отложения кочковской свиты с глубоким размывом залегают на осадках, объединенных новомихайловской и лагернотомской свит. Верхняя часть разреза свиты глины озерного генезиса, а нижняя – существенно аллювиальная песчано-гравийно-галечниковая. Осадки кочковской свиты в общем плане в пределах городской территории слабо воздымаются в северном и западном направлениях, достигая максимальных отметок водораздельной линии Томь-Яйского междуречья.

Отложения четвертичной системы образуют сплошной покров различной мощности и преимущественно являются основаниями для инженерных сооружений.

Четвертичная система включает следующие подразделения.

а) Средний отдел. Тайгинская свита – $O_{птg}$

Отложения тайгинской свиты в пределах городской территории распространены в восточной и южной ее частях, занимая водораздельные пространства. Залегают осадки свиты на отложениях кочковской свиты и перекрыты повсеместно покровными суглинками.

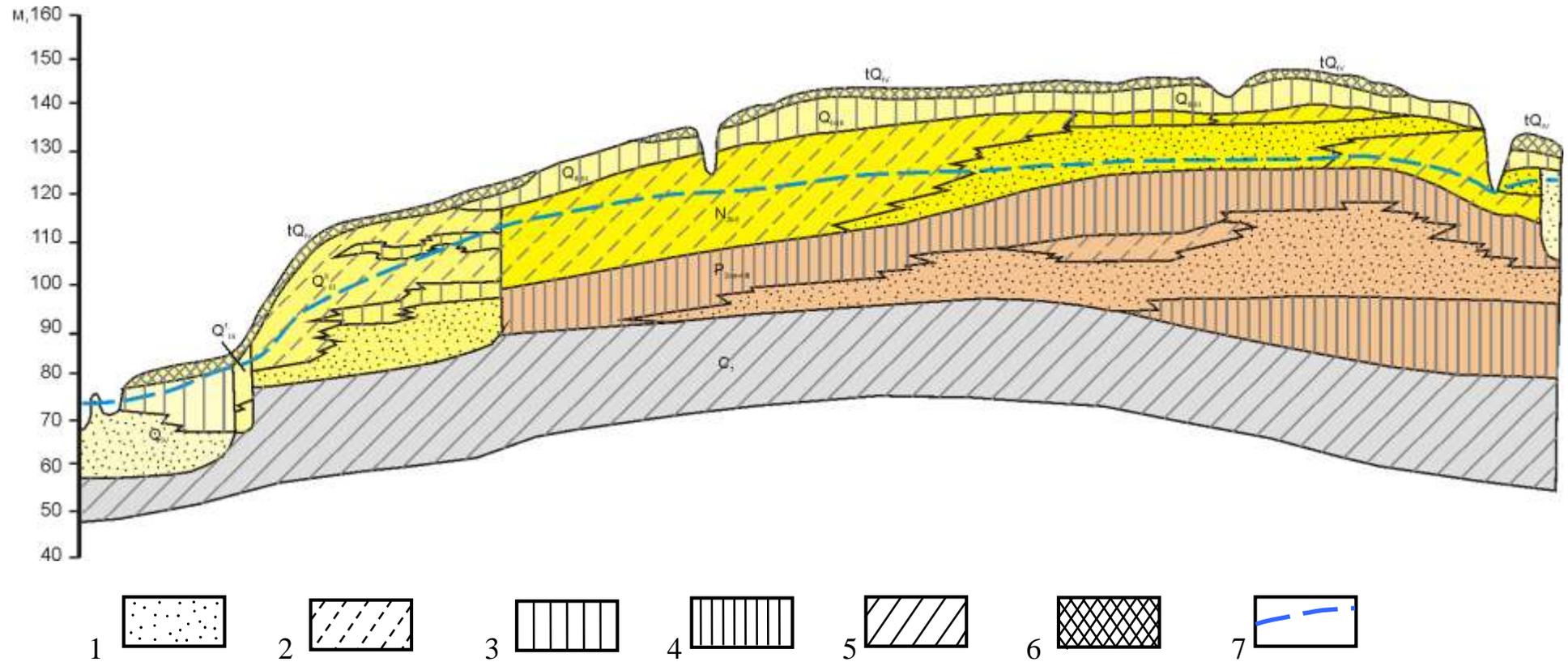


Рис. 2.7. Схематический геологический разрез [45]:

1 – пески; 2 – супеси; 3 – суглинки; 4 – глины; 5 – глинистые сланцы; 6 – насыпные грунты; 7 – уровень подземных вод

Абсолютные отметки кровли и подошвы отложений свиты варьируют в очень широких пределах, причем четко выделяются две ступени, на северо-востоке территории отметки подошвы равны 146–147 м, отметки кровли колеблются в пределах 152–160 м. Мощность осадков свиты равна 5–14 м.

В южной части территории города, абсолютные отметки подошвы свиты колеблются от 162 м до 182 м. Мощность ее здесь от 15 до 22 м. Преобладающими в осадках тайгинской свиты являются супеси и пески серовато-голубого и синеватого цвета, ниже по разрезу они переходят в суглинки серовато-голубой окраски илистые, пылеватые.

б) Средний-верхний отделы. Покровные отложения – $Q_{п-ш}$

Покровные верхне-среднечетвертичные отложения пользуются повсеместным распространением на всей территории города. Исключение составляют площади, занятые поймами рек, частично низких террас.

Представлены покровные отложения суглинками лессовидными, супесями. Они вскрываются в многочисленных обнажениях по берегам р. Томи и ее притокам.

Мощность покровных осадков колеблется от нуля до 5 м и более.

в) Верхний отдел

1. Отложения III надпойменной террасы $Q^3_{ш}$.

Третья надпойменная терраса занимает значительную площадь городской территории, протягиваясь широкой полосой по правому берегу р. Томи. Ширина ее в отдельных местах – превышает 2 км.

Абсолютные отметки третьей террасы колеблются от 97,6 м до 108,3 м. Максимальные превышения над поверхностью второй террасы колеблются от 14 м до 25 м. Превышения над поверхностью первой террасы достигают 40 м.

2. Отложения II надпойменной террасы – $Q^2_{ш}$.

Вторая надпойменная терраса занимает несколько меньшую площадь территории г. Томска и распространена фрагментами.

Отложения второй террасы изучены значительно лучше отложений третьей террасы и представлены гравийно-галечниковыми осадками, песками, реже

суглинками. Залегают осадки второй надпойменной террасы на породах палеозоя и на осадках палеогена.

Абсолютные отметки второй надпойменной террасы колеблются от 80 до 100 м.

Мощность осадков террасы достигает 20 м.

3. Отложения I надпойменной террасы – Q_{III}

Первая надпойменная терраса занимает небольшую площадь на правом берегу р. Томи и по обеим берегам р. Ушайки.

Аллювиальные отложения первой надпойменной террасы залегают непосредственно на коре выветривания палеозойских пород.

Абсолютные отметки поверхности террасы колеблются от 80 до 88 м.

Мощность отложений террасы достигает 17 м.

г) Современные отложения – Q_{IV},

К современным отложениям на территории г. Томска отнесены отложения пойменных террас рек Томи, Ушайки, Киргизки и техногенные отложения.

Пойменные отложения вскрыты многочисленными скважинами. Залегают они на размытой поверхности палеогеновых отложений, а также на коре выветривания палеозойских пород. Представлены современные отложения галечниками, песками, суглинками, илами, торфами.

Общая мощность описанного разреза современных отложений достигает 22 м.

Пойменные осадки притоков р. Томи – рр. Ушайки, Басандайки представлены, в основном, песчано-гравийными отложениями.

Пойменные отложения р. М. Киргизки сложены песками, илами.

Техногенные отложения (tQ_{IV}) на территории г. Томска играют значительную роль (рис. 2.8). Они распространены преимущественно в пределах городской территории в районе Лагерного Сада, насосной станции, Черемошников, по берегу р. Томи в виде дамбы, ниже устья р. Ушайка и в других местах.

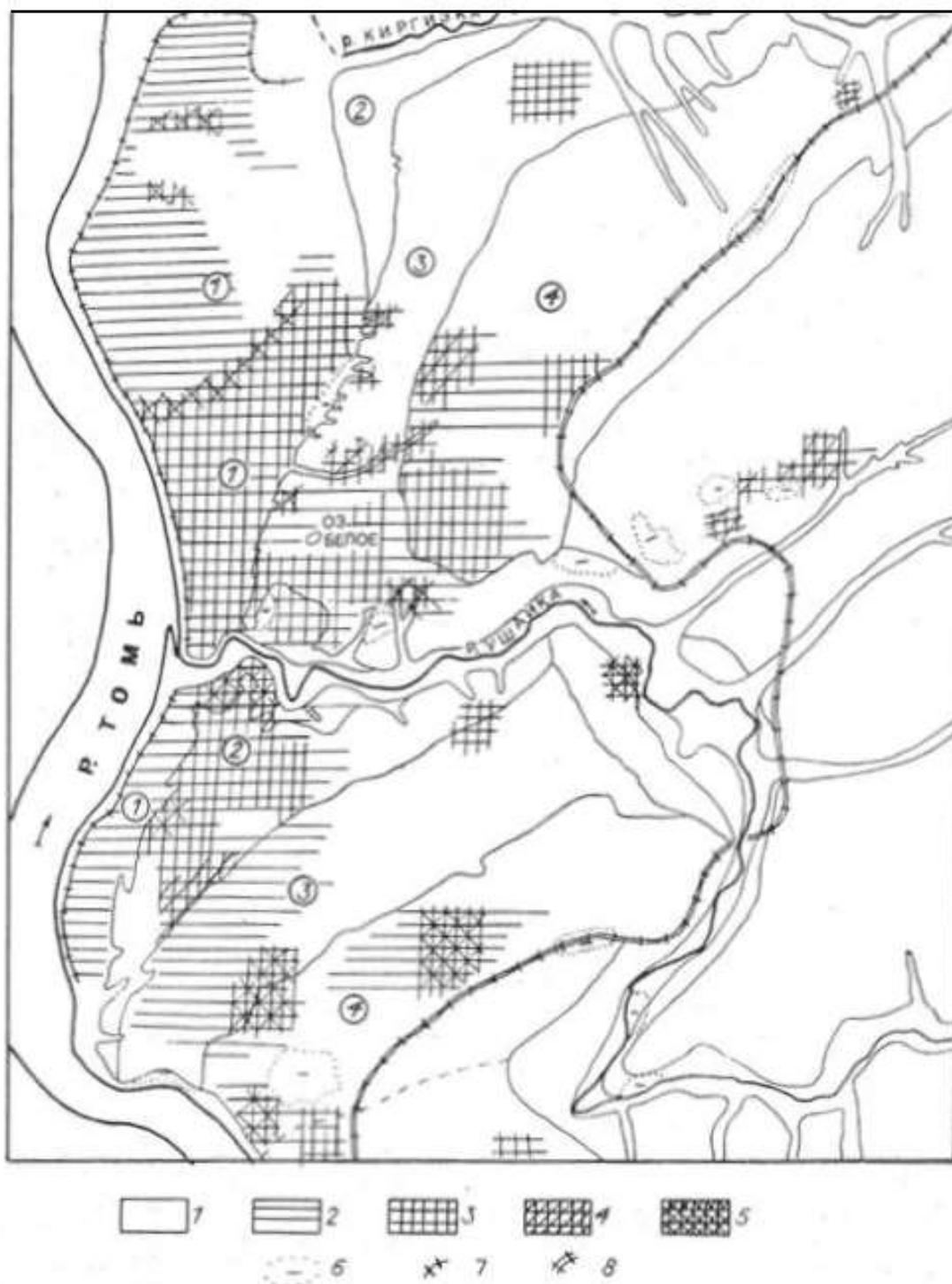


Рис. 2.8. Схема распространения техногенных отложений на территории г. Томска [63]:

1–5 – мощность техногенных отложений в метрах: 1 – 0 м, 2 – менее 2,0 м, 3 – от 2 до 5 м, 4 – от 5 до 7 м, 5 – более 7,0 м; 6 – понижения рельефа; 7 – дамба; 8 – железнодорожная насыпь. Цифры в кружках – номера террас.

Они слагают золоотвал ГРЭС-2 в пойме р. Ушайки, образуя самостоятельное геологическое тело, засыпанные овраги, озера, склоны, насыпные грунты в местах строек. Золоотвал, который расположен в пойме р. Ушайки, имеет площадь 42,5 га.

Мощность накопленной золы изменяется от 1,7 м до 6,0 м в краевых частях золоотстойника до 18–19 м в центральной его части. При строительстве городской насосно-фильтровочной станции на аллювий р. Томи было насыпано до 9–11 м песчано-гравийной смеси. В районе заводов «Томсккабель» и «ТЭМЗ» строительным мусором засыпаны овраги глубиной до 16–18 м. Толщина железнодорожной насыпи в отдельных местах достигает 10 м.

Техногенные *отложения* представлены песчано-глинистыми разновидностями, золой (золоотвал), строительным мусором. Они перекрывают естественные выходы подземных вод, ухудшают дренированность участков, провоцируют искусственные оползни. Мощность техногенных отложений от 1,5 м до 9–11 м и до 18–19 м – в центре золоотвала.

Дайковые образования в черте городской территории обнажаются в Лагерном Саду и по р. Ушайке. Дайки имеют северо-восточную ориентировку, вертикальное или близкое к вертикальному залегание, секут осадочные структуры нижнего карбона. Возраст дайкового комплекса принимается как триасовый.

В пределах городской территории отмечено [95] широкое проявление дизъюнктивной тектоники. Два основных типа крупных разрывных нарушений, Первые образуют крупные зоны разломов и зоны надвигового характера (Томский надвиг). Дизъюнктивные нарушения второго типа имеют близкую к широтной ориентировку и являются поперечными к складчатым структурам. По этим нарушениям, по-видимому, заложена гидросеть правых притоков р. Томи (рр. Киргизка, Ушайка, Басандайка, Тугояковка). Эти два крупных типа дизъюнктивных нарушений сопровождаются многочисленными оперяющими трещинами различной ориентировки.

2.3. Гидрогеологические условия

Изучением гидрогеологических условий территории города Томска занимались многие сотрудники кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Томского политехнического университета – Д.С. Покровский, К.И. Кузеванов, Ю.В. Макушин, А.Д. Назаров и др., материалы их исследований и использованы для написания раздела [106, 109].

Гидрогеологическое строение территории города определяется её расположением на сочленении двух крупных геологических структур Колывань-Томской складчатой зоны и Западно-Сибирской плиты. Особенности геологического разреза определяют двухэтажное гидрогеологическое строение его территории (рис. 2.9).

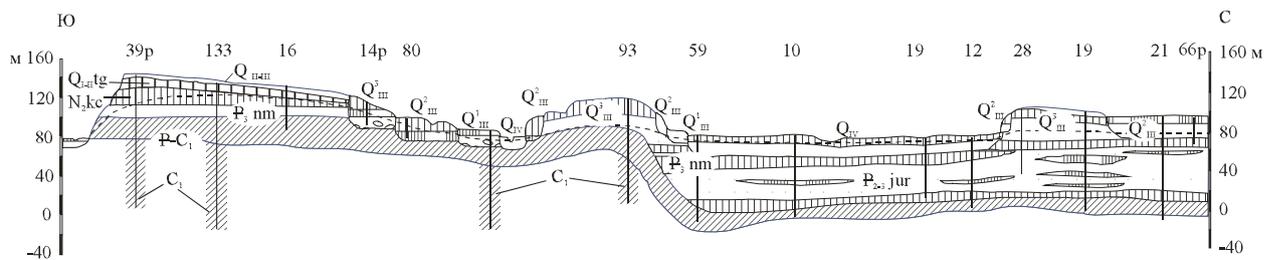


Рис. 2.9 Геологический разрез по линии Лагерный сад – Черемошники [45]

Верхний гидрогеологический этаж представлен рыхлыми образованиями чехла мезо-кайнозойского возраста. Он образован водоносными комплексами четвертичных, палеогеновых и меловых отложений. Комплекс четвертичных отложений включает водоносные горизонты низких террас (пойма и первая надпойменная терраса), высоких террас (вторая, третья и четвертая надпойменные террасы) р. Томи и ее притоков, водораздела и его склонов (рис. 2.10). Верховодка широко развита в верхних частях гидрогеологического разреза.

Нижний гидрогеологический этаж представлен водоносными породами палеозойского складчатого фундамента. Это преимущественно глинистые сланцы и, в меньшей мере, песчаники. Породы фундамента выходят на дневную поверхность в русле и по берегам р. Томи и в долине р. Ушайки погружаются в северном и северо-западном направлениях на глубины 80–100 м и более.

Водоносность горных пород связана с зоной региональной трещиноватости мощностью 20–80 м. Глинистая кора выветривания палеозойских отложений служит достаточно надежным водоупором и отделяет нижний гидрогеологический этаж от верхнего. Подземные воды нижнего этажа напорные их уровни устанавливаются на глубинах 30–35 м. Водообильность отложений неравномерна, но в целом невелика. Удельные дебиты скважин колеблются от тысячных до десятых долей л/сек.

Жизнедеятельность города оказывает влияние на все водоносные горизонты, однако, наибольшему воздействию подвержены воды четвертичных образований.

2.3.1. Основные водоносные горизонты и комплексы

Водоносный комплекс четвертичных отложений включает в себя водоносные горизонты низких террас рек Томи и Ушайки, высоких террас р. Томи, водораздела и его склонов, а также горизонты верховодки (рис. 2.10).

Верховодка в пределах территории города развита на всех геоморфологических элементах (рис. 2.11), за исключением II террасы, характеризующейся преимущественно песчаным разрезом, не подходящим для ее формирования. Водовмещающими отложениями для развития верховодки являются супесчаные разности, покровные суглинки, гумусированные, иловые, болотные отложения и насыпные грунты.

На низких террасах р. Томи верховодка наблюдается севернее устья р. Ушайки, занимая обширные площади (район ул. Дальне-Ключевской). Широкому площадному распространению верховодки способствуют плоский рельеф поверхности террас, зачастую, имеющий обратные уклоны в их тыловых частях, наличие множества западин, зарегулированность поверхностного стока. Глубина залегания верховодки колеблется от 0,5 до 4–5 м, а мощность зависит от строения разреза и взаимоотношения с горизонтами грунтовых вод. В тыловых частях террас верховодка и горизонты гравийно-галечниковых отложений

формируют единую зону насыщения. По мере приближения к реке создаются сложные взаимоотношения уровней верховодки и грунтовых вод.

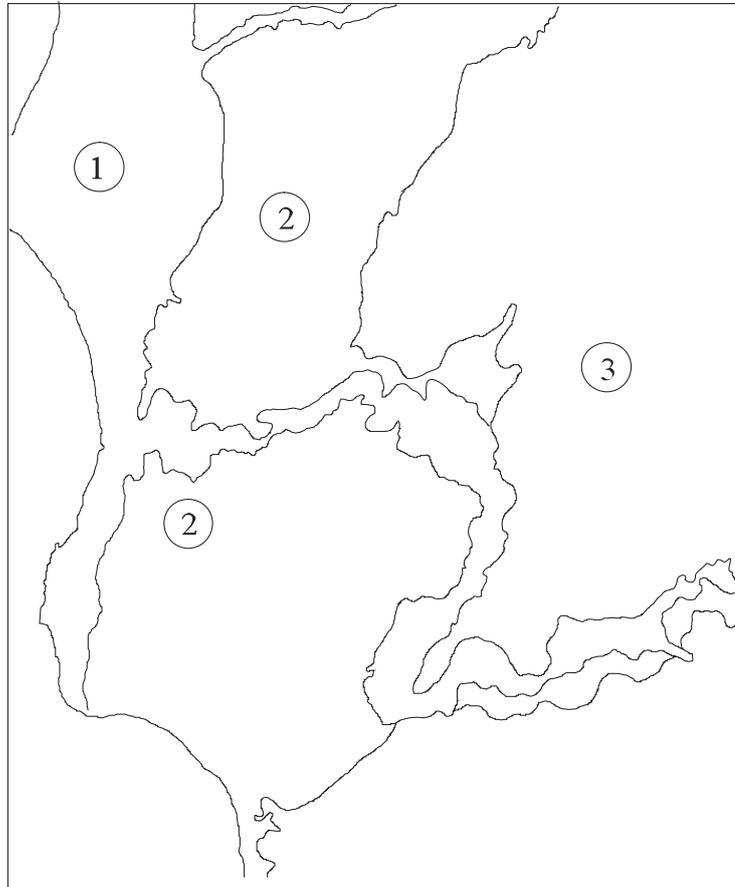


Рис. 2.10. Схема распространения водоносных горизонтов четвертичных отложений [45]:

- 1 – водоносный горизонт низких террас; 2 – водоносный горизонт высоких террас;
3 – водоносный горизонт водораздела

Водообильность образований, заключающих верховодку, низкая. По данным Б.В. Плотникова, удельные дебиты для насыпных грунтов не превышают 0,03 л/с, а для иловатых суглинков 0,06 л/с.

Верховодка высоких террас р. Томи располагается в виде двух больших пятен, охватывающих центральную часть междуречья Томь-Ушайка в южной части города и площадь в районе Белого озера. Верховодка южной части города залегает на глубинах от 1,5 до 8–9 м. Формированию ее на третьей террасе способствует наличие слоев и линз плотных суглинков, а также глин, залегающих в основании супесчано-суглинистых отложений. Уровни подземных вод

формируют купола растекания. На водораздельных участках их отметки 134–136 м, а на периферии площади 114–124 м абс. высоты (рис. 2.12).

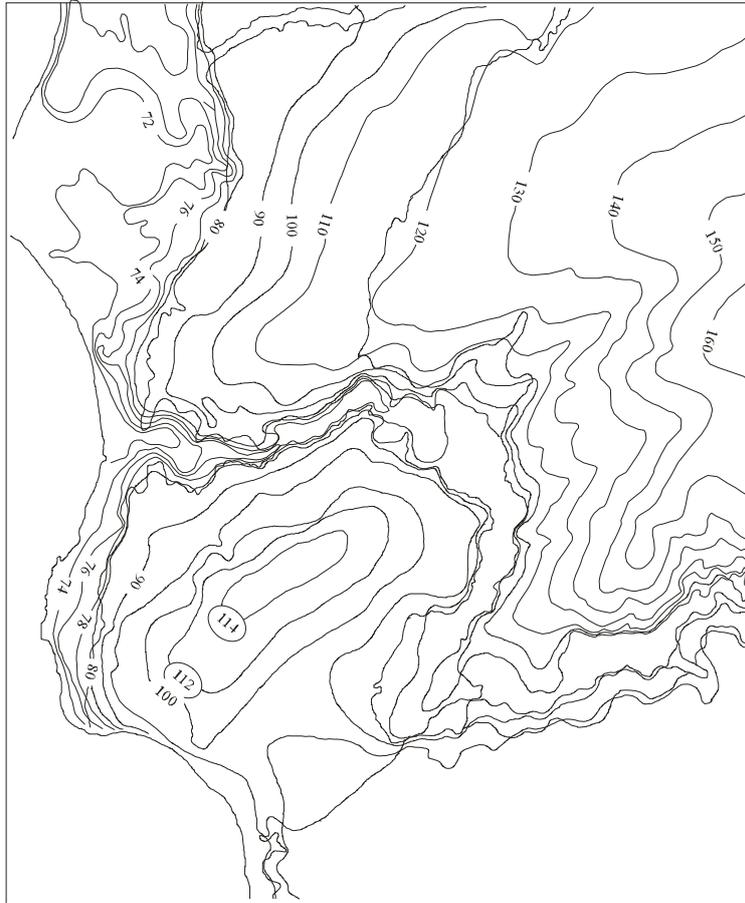


Рис. 2.11. Уровни подземных вод водоносного комплекса четвертичных отложений [45]

В районе Белого озера глубина залегания верховодки составляет от 1,5 до 10 м, Ее уровни, в сглаженном виде, повторяют рельеф и имеют отметки абсолютной высоты от 103–104 до 130–135 м. Верховодка здесь схожа с грунтовым потоком – имеет выраженный уклон поверхности и широкое площадное распространение.

Схожий с грунтовыми водами характер имеет и верховодка, развитая в пределах Томь-Яйского водораздела (район Иркутского тракта и прилегающих площадей). Формированию верховодки в данном районе способствуют обилие понижений рельефа и западин, волнистость поверхностей контактов грунтов различного литологического состава. Глубина залегания верховодки колеблется от 2 до 10 м, сохраняя рельеф поверхности.



Рис. 2.12. Границы верховодки [45]

Поверхность верховодки в сглаженном виде сохраняет форму крупных элементов рельефа. Максимальные значения её отметок (180–185 м) приурочены к гипсометрическому водоразделу в северо-восточной части города, минимальные (125–130 м) к склону водораздела, направленному в сторону долины р. Киргизка. Уровни на водораздельной поверхности междуречья рек Ушайки и Киргизки залегают на отметках 150–160 м. Характер гидроизогиб верховодки создает впечатление присутствия потока подземных вод, направленного в сторону долины р. Киргизки и в районе Иркутского тракта приобретающего двухстороннюю разгрузку на северо-запад и юг. Его структура весьма неоднородна на участках, где слои супесчаных и песчаных разностей подстилаются хорошо выдержанными по площади глинистыми породами, верховодка образует сливные массивы и может рассматриваться как грунтовый водоносный горизонт, характеризующийся определенными геометрическими и гидравлическими параметрами [67].

Водоносный горизонт низких террас представлен толщиной песчано-гравийных отложений мощностью от 6 до 13 м. В кровле залегают суглинки, глины с прослоями песка, иловатые разности пород. Глубины залегания водоносных отложений изменяются от 5 до 22 м. Водоносный горизонт является безнапорным около русла р. Томи. Напоры увеличиваются с удалением от реки. Они достигают 7 м у границ террас и достигают поверхности земли. Подземные воды тесно гидравлически связаны с поверхностными водами рек Томи и Ушайки. Водообильность отложений характеризуется удельными дебитами скважин от 0,2 до 6,9 л/с. Она зависит от состава и степени проницаемости водовмещающих пород. Коэффициенты фильтрации изменяются от 1–2 до 70–80 м/сут. Среднее значение коэффициента фильтрации составляет 20–30 м/сут.

Колебания уровней подземных вод повторяют в сглаженном виде сезонные изменения уровней р. Томи. Амплитуда колебаний уровней составляет 5–7 м. Это свидетельствует о достаточно интенсивном питании за счет инфильтрации.

Водоносный горизонт высоких террас занимает практически все междуречье Томь-Ушайка и обширные территории склона долины р. Томи. Водовмещающие отложения имеют мощность 8–12 м. Она увеличивается до 20–25 м в южной части города. Породы представлены песками, супесями, реже галечниками. Водообильность отложений невысокая и характеризуется удельными дебитами скважин от 0,07 до 0,3 л/с. Коэффициенты фильтрации песков составляют 3–5 м/сут. Глубины залегания уровней зависят от геоморфологического и гипсометрического положения и составляют 15–20 м в пределах третьей и четвертой террас. В основании обводненной толщи залегают водоупорные породы коры выветривания палеозойских отложений. В пониженных частях рельефа подземные воды частично разгружаются и создают заболачивание. Основная разгрузка подземных вод происходит перетеканием в горизонты, залегающие ниже.

Водоносный горизонт водораздела развит в восточной части города. Он представлен песками и супесями, залегающими на отложениях палеогена. Этот водоносный горизонт хорошо дренирован, благодаря высокому

гипсометрическому положению территории. Подземные воды залегают на глубинах, обычно превышающих 15–20 м. Они сохраняют самостоятельное значение лишь при наличии глинистого водоупора. При выклинивании и фациальном замещении глинистых пород песками и супесями уровни подземных вод, как правило, устанавливаются в отложениях палеогена.

Водоносный комплекс палеогеновых отложений в северной части города развит повсеместно. Он представлен рядом песчаных водоносных горизонтов, имеющих невыдержанные мощности и отделенных друг от друга глинистыми породами. Водообильность отложений различная. Горные породы имеют низкие фильтрационные свойства на водоразделах и у границ выклинивания водовмещающих пород. Удельные дебиты скважин не превышают здесь сотых долей литра в секунду. Хорошо выдержанный водоносный горизонт мощностью до 40–50 м залегает в нижней части разреза палеогена. Он представлен разнозернистыми песками с прослоями глин и лигнитов. Глубины залегания колеблются от 20 м в пойме р. Томи до 60 м на водораздельных участках. Подземные воды имеют напорный характер. Пьезометрические уровни устанавливаются близко к дневной поверхности в пойме и достигают глубин 70 м на водоразделах. Водообильность горизонта высокая. Эксплуатационные скважины, расположенные в долине р. Томи, дают дебиты до 4–6 л/с.

Водоносные горизонты палеогеновых отложений отделяются друг от друга и от залегающих выше четвертичных отложений глинистыми водоупорами, имеющими "литологические окна", через которые осуществляется достаточно тесная гидравлическая связь.

На большей части территории города подземные воды комплекса палеогеновых отложений существенного влияния на условия строительства не оказывают. Их негативная роль ярко проявляется на склонах речных долин (обрыв Лагерного сада, микрорайон Солнечный). Здесь разгрузка подземных вод по песчаным слоям приводит к суффозионным процессам, являющимся одной из причин потери устойчивости откосов [22, 109].

Водоносный комплекс меловых отложений широко распространен в пределах Обь-Томского междуречья, где выделяется до трех напорных водоносных горизонтов, приуроченных к пескам, чередующимся с глинистыми породами. Комплекс меловых отложений, его верхний водоносный горизонт, вскрыт только в северной части города. Глубины залегания горизонта в долине р. Томи составляют 80–100 м. Мощность песчаной толщи составляет 20–25 м. Уровни подземных вод устанавливаются на 3–5 м выше дневной поверхности. Водообильность отложений низкая. Удельные дебиты скважин колеблются от тысячных до десятых долей литра в секунду.

Водоносный комплекс палеозойских отложений, имеющий повсеместное распространение, приурочен к зоне экзогенной трещиноватости нижнекаменноугольных пород (басандайская и лагернотомская свиты) и пермь-триасового дайкового комплекса. Водоносные породы выходят на дневную поверхность в долине р. Томи (район Лагерного сада) и в долине р. Ушайки. В северном и северо-западном направлениях породы палеозойского фундамента резко погружаются до глубин 80–100 м (район Черемошников). Наибольшие глубины залегания пород палеозойского фундамента отмечаются в северной части городской территории.

Наиболее водоносна зона региональной трещиноватости мощностью 20–80 м. Воды имеют преимущественно напорный характер. Уровень устанавливается на глубинах от 0 до 33–35,5 м. Водообильность отложений неравномерна и, в целом низка. Удельные дебиты скважин изменяются до десятых долей литра в секунду. Участки наиболее высокой водообильности характерны для зон дробления.

На большей части территорий города подземные воды палеозойских отложений используются для водоснабжения различных предприятий.

Воды трещиноватой зоны палеозойских образований гидрокарбонатные кальциево-магниевые с минерализацией 0,2–0,5 г/л и общей жесткостью порядка 6 мг-экв/л.

2.3.2. Особенности химического состава подземных вод

Изучением химического состава подземных вод г. Томска занимались многие ученые Е.М. Дутова, К.И. Кузеванов, А.Д. Назаров, Н.Г. Наливайко, Д.С. Покровский и др. В результате проведенных исследований и современных обобщений [22, 42, 43] установлено, что в пределах городской застройки подземные воды, отражая в целом, общие региональные закономерности, отличаются заметной спецификой химического состава. Каждый гидрогеологический комплекс имеет свои уникальные особенности (табл. 2.1–2.3). Первые от поверхности горизонты четвертичных отложений отличаются значительной степенью техногенного воздействия (табл. 2.1, 2.2). Это можно наблюдать при сопоставлении таблиц 2.1 и 2.2 с таблицей 2.4, в которой представлены сведения о составе подземных вод в четвертичных отложениях в районе расположения Томского месторождения подземных вод. Так, например, среднее содержание Cl-иона более чем в 10 раз (45,14 против 4,09 мг/л) превышает фоновое значение. Загрязнение наблюдается по всему спектру исследуемых элементов и в крупных масштабах.

Даже на соседних участках наблюдается изменения типа вод от гидрокарбонатного кальциевого до хлоридно-гидрокарбонатного натриевого, минерализация же колеблется от 0,1 до 1,9 г/л. Пестрота химического состава, минерализация, жесткость и содержание отдельных компонентов увеличиваются от водораздела к низким террасам (табл. 2.1). Мягкие воды наблюдаются исключительно в пределах водораздела и четвертой террасы – это воды верховодок, сформированных за счет атмосферных осадков. В пределах других террас в основном наблюдаются жесткие и очень жесткие воды. Подобная тенденция изменения химического состава коррелирует с гидродинамическими особенностями фильтрационных потоков, которые направлены от водоразделов к долинам рек, подтверждает наличие питания подземных вод и показывает увеличение времени контакта между водой и породой при движении к областям разгрузки.

Химический состав подземных вод водоносного комплекса четвертичных отложений по материалам ТомскГИСИЗа и ТПУ за 1967-1980 гг. [43]

Компоненты		Содержание (минимальное-максимальное/среднее)				
		Пойма и I терраса	II терраса	III терраса	Водораздел	Комплекс четвертичных отложений
Ca ²⁺	мг/л	<u>86,0-424,0</u> 181,2	<u>96,0-258,0</u> 174,0	<u>13,2-268,0</u> 172,7	<u>24,0-230,0</u> 123,7	<u>13,2-424,0</u> 157,4
Mg ²⁺	мг/л	<u>11,0-203,4</u> 48,6	<u>9,8-36,0</u> 23,9	<u>1,0-85,4</u> 34,0	<u>3,7-15,9</u> 9,4	<u>1-203,4</u> 26,6
Na ⁺ +K ⁺	мг/л	<u>19,3-240,1</u> 76,6	<u>6,9-131,1</u> 68,1	<u>3,5-85,6</u> 37,3	<u>0,69-36,3</u> 10,6	<u>0,69-240,1</u> 43,4
Cl ⁻	мг/л	<u>63,9-291</u> 134,1	<u>85,2-248,5</u> 136,7	<u>7,0-191,7</u> 93,1	<u>17,7-142</u> 35,5	<u>7-291,0</u> 95,2
SO ₄ ²⁻	мг/л	<u>1,0-75,0</u> 37,2	<u>1,0-131,0</u> 60,1	<u>1,0-70,0</u> 34,4	<u>12,0-100,0</u> 45,4	<u>1-131,0</u> 43,0
HCO ₃ ⁻	мг/л	<u>305-1891</u> 727,1	<u>57,3-780,0</u> 491,8	<u>115,0-854</u> 396,5	<u>67,1-658,0</u> 339,0	<u>57,3-1891</u> 455,6
CO ₂ ⁻	мг/л	<u>41,8-391,6</u> 147,1	<u>35,6-225,2</u> 89,6	<u>22,0-171,6</u> 95,4	<u>44,0-79,2</u> 61,0	<u>13,2-391,6</u> 89
Жесткость	мг-экв/л	<u>5,2-23,6</u> 13,1	<u>6,0-15,6</u> 11,29	<u>4,0-18,3</u> 9,43	<u>1,5-11,8</u> 6,96	<u>1,5-23,6</u> 10,1
Минерализация	г/л	<u>0,37-1,905</u> 0,842	<u>0,53-1,138</u> 0,708	<u>0,229-1,309</u> 0,625	<u>0,099-0,687</u> 0,386	<u>0,09-1,905</u> 0,618

Подземные воды водоносных комплексов палеогеновых и палеозойских отложений по сравнению с водами четвертичных отложений в большей степени защищены от техногенного влияния. Вместе с тем, в водах палеогеновых отложений на территории города, как показывает сравнение таблиц 2.3 и 2.4, по таким компонентам, как сульфаты, нитраты, нитриты, хлориды, заметны техногенные изменения. Интенсивность техногенных изменений вод палеогеновых отложений зависит от их фильтрационных характеристик и тесноты связи с залегающими выше загрязненными водами четвертичных отложений. Поэтому подземные воды палеогеновых отложений наиболее загрязнены в южной части города на площади распространения высоких террас р. Томи. Здесь фиксируются максимальные концентрации аммония, фенолов, величины перманганатной окисляемости. Воды палеогеновых отложений в северной части г. Томска на территории пойм и первой надпойменной террасе р. Томи, имеющих

хорошие фильтрационные свойства (коэффициенты фильтрации до 200 см/сут) менее загрязнены.

Таблица 2.2

Химический состав подземных вод водоносного комплекса четвертичных отложений (по современным данным) [42]

Компоненты	Единицы измерения	Минимальное	Максимальное	Среднее
pH	–	6,7	7,6	7,3
Жесткость	мг-экв/дм ³	4,00	8,50	6,45
CO ₂	мг/дм ³	0,00	44,00	19,60
HCO ₃ ⁻	мг/дм ³	218,00	421,00	339,75
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	0,00	60,00	12,75
Cl ⁻	мг/дм ³	7,10	106,30	45,14
Ca ²⁺	мг/дм ³	56,10	128,00	98,29
Mg ²⁺	мг/дм ³	12,20	32,94	18,73
K ⁺ +Na ⁺	мг/дм ³	4,66	32,25	15,18
Na ⁺	мг/дм ³	7,63	28,00	15,53
K ⁺	мг/дм ³	1,00	2,10	1,43
NH ₄ ⁺	мг/дм ³	0,10	3,40	0,81
NO ₃ ⁻	мг/дм ³	0,00	21,01	6,13
NO ₂ ⁻	мг/дм ³	0,00	1,08	0,30
Li ⁺	мг/дм ³	0,015	0,19	0,017
Fe общ	мг/дм ³	0,00	10,60	1,89
Fe ²⁺	мг/дм ³	0,00	10,30	1,67
Fe ³⁺	мг/дм ³	0,00	0,50	0,20
Окисляемость	мгО ₂ /дм ³	1,00	13,40	4,23

Число анализов	12
----------------	----

В целом же, воды палеогеновых и палеозойских образований сохраняют свой естественно-природный облик. Характеристики, отражающие длительность взаимодействия этих вод с породами (pH, Ca²⁺, HCO₃) в них практически не отличаются от характеристик аналогичных вод за пределами городской застройки. По химическому составу это воды преимущественно гидрокарбонатные с различными соотношениями кальция и магния, в них соблюдаются естественные соотношения компонентов солевого комплекса. Воды палеозойских образований характеризуются несколько более высокой минерализацией, чем воды палеогеновых отложений.

Как известно, хлор ион является компонентом, резко отличающим воды урбанизированных от вод природных территорий. Эти явления характерны и для

Томска. Средние содержания хлор-иона в подземных водах городской территории несколько выше содержаний за его пределами (см. табл. 2.3). Причем, временная изменчивость содержаний хлор-иона в подземных водах городской территории, как нам представляется, синхронизируется с использованием поваренной соли для борьбы с обледенением дорог. В 1960-ые годы в водах палеогеновых и нижнекаменноугольных отложений средняя концентрация хлор-иона составляла первые миллиграммы в литре, в 90-ых годах средняя концентрация увеличивались до нескольких десятков.

Таблица 2.3

Химический состав подземных вод водоносных комплексов палеогеновых и палеозойских отложений [43]

Компоненты	Единицы измерения	Водоносные комплексы					
		Палеогеновых отложений			Палеозойских отложений		
		Мин	Макс	Среднее	Мин	Макс	Среднее
pH	–	6,40	8,08	7,13	6,40	8,15	7,27
Сух.остаток	мг/дм ³	194,09	777,60	340,67	232,50	966,60	412,24
Жесткость	мг-эquiv/дм ³	3,20	10,00	5,64	3,00	14,20	6,78
Щелочность	мг/дм ³	3,68	7,50	5,81	2,80	8,50	6,57
CO ₂	мг/дм ³	0,00	66,00	27,90	0,00	39,60	7,95
HCO ₃ ⁻	мг/дм ³	97,80	634,40	320,31	94,28	610,00	398,55
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	0,00	75,00	7,38	0,00	130,00	18,48
Cl ⁻	мг/дм ³	0,90	106,50	8,44	1,00	186,00	31,84
Ca ²⁺	мг/дм ³	40	176	86,59	18,04	190,00	104,47
Mg ²⁺	мг/дм ³	1,22	55,80	14,52	4,88	58,56	19,44
K ⁺ +Na ⁺	мг/дм ³	0,00	80,29	15,29	0,00	160,79	23,58
Na ⁺	мг/дм ³	6,00	29,90	13,08	9,00	16,0	13,3
K ⁺	мг/дм ³	0,9	1,2	1,03	1,0	2,2	1,39
NH ₄ ⁺	мг/дм ³	0,00	1,50	0,39	0,00	4,50	0,73
NO ₃ ⁻	мг/дм ³	0,00	11,90	0,68	0,00	9,10	0,84
NO ₂ ⁻	мг/дм ³	0,00	0,39	0,02	0,00	0,42	0,04
Li ⁺	мг/дм ³	0,012	0,012	0,012	0,004	0,020	0,0099
Fe общ	мг/дм ³	0,00	16,50	2,23	0,00	6,30	1,77
Fe ²⁺	мг/дм ³	0,00	5,30	1,87	0,00	3,00	0,61
Fe ³⁺	мг/дм ³	0,00	0,50	0,12	0,00	5,00	0,92
Mn	мг/дм ³	0,00	2,48	0,34	0,00	4,40	0,55
Cu	мг/дм ³	0,0002	0,1500	0,01548	0,0002	0,2600	0,0391
Zn	мг/дм ³	0,001	0,085	0,0083	0,0002	0,0120	0,00397
Pb	мг/дм ³	0,0001	0,003	0,001054	0,00	0,006	0,0018
Cr ³⁺	мг/дм ³	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03
Окисляемость	мгО ₂ /дм ³	0,01	6,40	2,38	0,16	8,00	3,42
Число анализов		70			120		

В начале 2000-х концентрация хлоридов в водах четвертичных отложений, по сравнению с 1960–1980-ми годами, в среднем упала почти в два раза (таблицы 2.1, 2.2). И это, с наших позиций, еще раз уверяет нас в техногенной природе подобной ситуации, поскольку, как раз в эти годы, были резко понижены меры борьбы при помощи песчано-солевой смеси с обледенением улиц в зимний период. Более того, в эти же годы, в связи с активным износом водопроводных и канализационных сетей, вероятно и с увеличением утечек и, соответственно, масштабов дополнительного питания, возможно, усилилось растворение и вынос солей из верхней толщи четвертичных образований с подземными водами.

Таблица 2.4

Химический состав подземных вод района Томского водозабора [151]

Компоненты	Единицы измерения	Водоносные горизонты отложений					
		Неоген-четвертичных			Палеогеновых		
		Мин	Макс	Среднее	Мин	Макс	Среднее
PH	–	6,8	8,5	7,77	6,2	8	7,26
HCO ₃ ⁻	мг/л	85,4	451	281	159	451	345
Cl ⁻	мг/л	0,51	16,7	4,09	0,72	17,7	6,42
SO ₄ ²⁻	мг/л	0	14	0,41	0	4	0,32
NO ₃ ⁻	мг/л	0	4,56	0,02	0	0,14	0,03
NO ₂ ⁻	мг/л	0	0,1	0,018	0	0,05	0,004
Ca ²⁺	мг/л	4,1	104	56,9	12	110	75,8
Mg ²⁺	мг/л	1,22	47,4	15	6,03	24	14,5
Na ⁺	мг/л	0,53	112	12,8	6,44	80	14,3
K ⁺	мг/л	0,44	3,51	1,22	0,75	3,46	1,26
NH ₄ ⁺	мг/л	0	2,68	0,69	0	2,2	0,62
SiO ₂	мг/л	1,78	4,7	3,34	3,23	10,2	7,55
Сумма	мг/л	93,9	762	375	188	702	466
CO ₂ св	мг/л	8,8	132	42,1	8,85	66	19,9
Fe	мг/л	0,01	0,09	0,03	0,63	10	1,71
O ₂	мг/л	0	2,1	0,71	0,1	3,52	0,36
Zn	мкг/л	8,6	45	21,4	4,09	154	20,8
Mn	мкг/л	13,3	40,1	20,5	1,63	134	8,92
Pb	мкг/л	1,03	6,04	2,92	0,21	19	1,16
Cu	мкг/л	0,61	5,02	2,48	0,1	7,15	1,09
Cr	мкг/л	2,66	9,37	5,59	0,17	11,2	4,61
Li	мкг/л	0,5	22	7,14	4,88	22	7,62
Число анализов		6			71		

В водах комплексов палеогеновых и палеозойских отложений, кроме хлор-иона, встречаются повышенные концентрации сульфат иона. Обогащение вод сульфатами, по нашему мнению, обязано перетокам из загрязненных

четвертичных горизонтов. В палеозойских отложениях, также возможно обогащение путем активизации окисления рассеянных в сланцах сульфидов. Интенсивная эксплуатация одиночных водозаборных скважин создает депрессионные воронки и благоприятные условия для аэрации недр [42]. Причем в подземных водах нижнекаменноугольных отложений на городской территории наблюдается временная изменчивость содержаний сульфат-иона. В 1960-ые годы в водах нижнекаменноугольных отложений средняя концентрация сульфат-иона составляла первые миллиграммы в литре, в 90-ых годах средняя концентрация увеличивалась до нескольких десятков. Наряду с сульфат-ионом, зачастую, увеличивалась и общая жесткость этих вод. Такое явление, как было детально описано, имеет место на Академическом месторождении, эксплуатирующем воды палеозойских образований. Таким образом, последствия аэрации недр, проявляются в изменениях состава вод палеозойских отложений, как в целом в пределах территории города, так и в пределах локальных территорий отдельных предприятий.

Таким образом техногенное воздействие город оказывает на все водоносные горизонты, о чем свидетельствует повышенное содержание таких элементов, как хлор, нитраты, сульфаты и др. Но в большей мере под влиянием городской застройки оказывается воды четвертичных и палеогеновых отложений, в которых наблюдается непрерывный рост концентрации хлора вместе с развитием города. Источником является поваренная соль, которой зимой посыпают дороги. Все это значительно сказывается на химическом составе подземных вод, что необходимо учитывать при проведении изысканий. Также, следует отметить, что в ряде случаев подземные воды четвертичных отложений обладают углекислотной агрессивностью по отношению к бетону и хлоридной по отношению к стальным и железобетонным конструкциям.

Исследования ИП ЖКХ в 1996 г. позволили дать оценку агрессивности техногенных вод по отношению к строительным материалам и показали, что техногенные и грунтовые воды микрорайона «Центральный» – район улиц Карташова, Красноармейской, проспектов Ленина, Фрунзе и др., обладают

углекислотной агрессией и агрессивностью выщелачивания по отношению к бетону (содержание CO_2 агрессивной 14,0–9,2 мг/л).

В районе переулка Нахановича, улицы Сибирской, проспектов Комсомольского, Фрунзе, Ленина, воды обладают хлоридной агрессией, по отношению к стальным и железобетонным конструкциям. Содержание хлоридов составляет 227,2–305,8 мг/л. Повышенное содержание сульфатов наблюдается в районе ул. Нахимова, ул. Усова, пр. Ленина и др., может служить причиной коррозии водонесущих коммуникаций, (рис. 1.4). По отношению к бетону нормальной плотности, техногенные воды являются слабо агрессивными по водородному показателю по ул. Сибирской, в районе пр. Комсомольского, пр. Фрунзе, в районе ул. Красноармейской и др.

В зависимости от интенсивности агрессивного воздействия на бетонные и железобетонные конструкции подземные воды подразделяют на неагрессивные, слабоагрессивные, средне агрессивные и сильно агрессивные. Основные показатели агрессивности подземных вод: бикарбонатная щелочность, содержание сульфатов, хлоридов, водородный показатель рН, содержание агрессивной углекислоты CO_2 , содержание солей магния, солей аммония, редких щелочей, органических соединений, суммарное содержание хлоридов, сульфатов, нитратов и др. солей при наличии испаряющих поверхностей. Показатели агрессивности грунтов и подземных вод приведены в СП 28.13330.2012 (СНиП 2.03.11). Загрязнение грунтов и подземных вод характерно для промышленных и селитебных зон. Показатели агрессивности даны при скорости потока до 1,0 м/с. В случае, если скорость потока воды превышает 1,0 м/с, оценка агрессивности среды выполняется на основании исследований специализированных организаций.

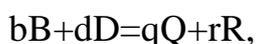
2.3.3. Физико-химический анализ минералообразующей способности подземных вод

Для получения представления о способности вод к тому или иному минералообразованию нами были проведены физико-химические расчеты равновесия вод с минералами горных пород или, иначе говоря, выполнено так называемое гидрогеохимическое тестирование вероятности того или иного современного гидротермального минералообразования. Такой подход к изучению гидрогеохимических процессов зоны гипергенеза разрабатывался и успешно использовался многими авторами [18, 42, 151].

Оценка равновесности вод с алюмосиликатными минералами производилась путем нанесения данных состава вод, контролирующих то или иное минеральное равновесие, на построенные по методике Р.М. Гаррелса и Ч.Л. Крайста диаграммы полей устойчивости конкретных минералов, а относительно карбонатов в том числе и – расчетами показателей состояния системы вода – порода (индексов неравновесности), выполненными с использованием программного комплекса HydroGeo, разработанного М.Б. Букаты [17]. Напомним, что на диаграммах полей устойчивости свидетельством равновесности подземных вод по отношению к тому или иному минералу является положение точки в поле этого минерала. Подобным образом, приведенные в таблице полученные расчетом положительные значения индексов неравновесности свидетельствуют о способности системы к образованию тех или иных минералов, а отрицательные – о способности системы к их разрушению.

Для проведения физико-химических расчетов было выбрано 10 скважин, состав вод которых отражал типичную картину для вод четвертичных, палеогеновых и палеозойских отложений города Томска (табл. 2.5).

В общем виде любая реакция взаимодействия может быть выражена следующим схематическим уравнением:



где b , d , q , r – стехиометрические коэффициенты исходных веществ B и D и продуктов реакции Q и R . Исходя из закона действующих масс,

термодинамическую константу равновесия подобной реакции можно выразить уравнением

$$K_{\text{реак}}^0 = \frac{a_Q^q a_R^r}{a_B^b a_D^d}$$

Таблица 2.5

Данные о химическом составе вод, использованные для проведения физико-химических расчетов, мг/дм³

№ ск в.	Место отбора	Возраст водоносного горизонта	рН	Анионы			Катионы			Si, мг/л	M, мг/л	Ж, общ, мг-экв/л
				HCO ₃ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Na ⁺ , мг/л			
1	Шпалопроточный з-д, ул. Труд.	Q	6,7	421	0	106,3	120,2	30,4	28	20	705,9	7,3
2	Нижний склад, скв 273р	Q	7,4	254	0	7,45	56,1	14,6	7,63	10	339,8	3,4
3	Скв. 161р	Pg	7	436	0	1,4	112,2	14,5	9,3	15	573,4	6,2
4	Скв. 302р	Pg	7,4	200	0	7,4	40	14,6	7,1	8	269,1	2,6
5	Пос. Свечной	Pg	7,2	428	0	14,9	120	14,6	6	15	583,5	6,6
6	Томскмясо	Pg	7,8	342	0	11,7	66	17,1	29,9	12	466,7	4,0
7	Т.Л.З., ул. Белинского	Pz	7,4	500	50	37,6	142	30,5	16	21	776,1	8,4
8	Кислородная станция, ул. Елизаровых	Pz	7,6	276	4	6,8	60	15,9	12	10	374,7	3,7
9	Дрожзавод, пр. Ленина	Pz	6,7	400	22,6	51,4	130,3	15,7	14,5	19,5	634,5	7,2
10	Агрофирма Томич	Pz	7,6	439,6	0	56,8	134	17,1	16,5	20	664,0	7,4

Состояние системы вода-минерал можно оценивать через индекс неравновесности (А):

$$A = \lg Q^*/K_{\text{реак}}^0,$$

где Q* – квотант реакции; K_{реак}⁰ – константа реакции. По мере насыщения раствора солями индекс неравновесности растет от отрицательных значений до нуля. При пересыщении раствора его значения становятся положительными.

Нулевое значение характеризует равновесие раствора с солью или минералом. Константа реакции может определяться по справочникам или рассчитываться с помощью энергии образования веществ [18, 151].

$$Q = \frac{a_{\text{прод.реак}}}{a_{\text{исх.вещ}}}$$

Квотант реакции равен отношению активности конечных и исходных веществ. Расчет активностей элементов был показан нами ранее. Его также можно выполнить средствами ПК HydroGeo [17].

Результаты изучения равновесия подземных вод города Томска с карбонатными минералами показаны на рисунках 2.13–2.21 и в таблице 2.6.

Равновесие контролируется реакцией конгруэнтного растворения и для кальцита описывается уравнением:



На диаграмме насыщения вод равновесие с кальцитом при данной температуре показано линиями. Если точки, характеризующие состав конкретной пробы воды выше, линии, то подземные воды насыщены к карбонату кальция, а ниже – не насыщены (рис. 2.13).

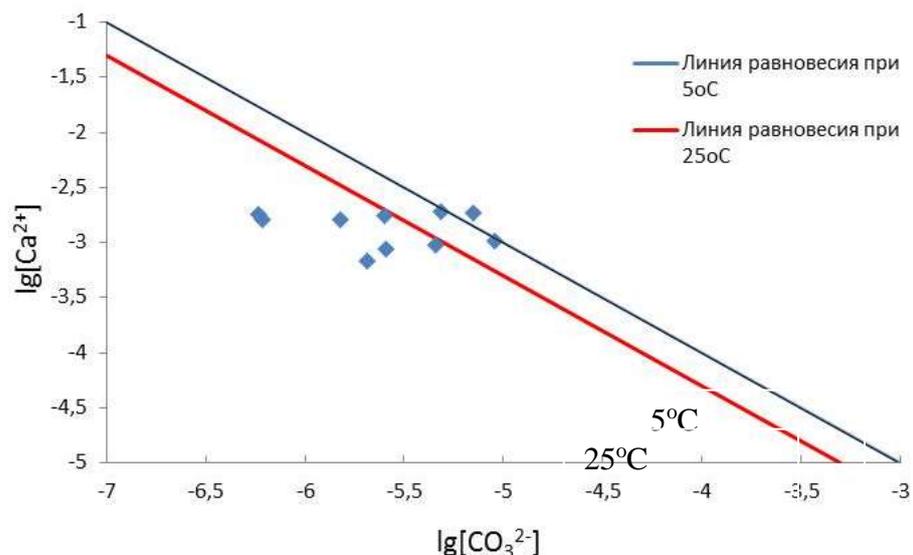


Рис. 2.13. Диаграмма равновесия подземных вод г. Томска с кальцитом при температурах 5 °С, 25 °С
 $\log K(\text{CaCO}_3) = -8,31$

При 5°C (в пластовых условиях) к кальциту равновесны или насыщены воды палеозойских отложений, воды палеогеновых и четвертичных недонасыщены к кальциту. При повышении температуры до 25°C (при подъеме воды на поверхность в скважине или разгрузке подземных вод на дневную поверхность) количество насыщенных к кальциту вод значительно возрастает и уже насыщаются некоторые воды палеогеновых отложений.

Равновесие вод к магнезиту не наблюдается (рис. 2.14).

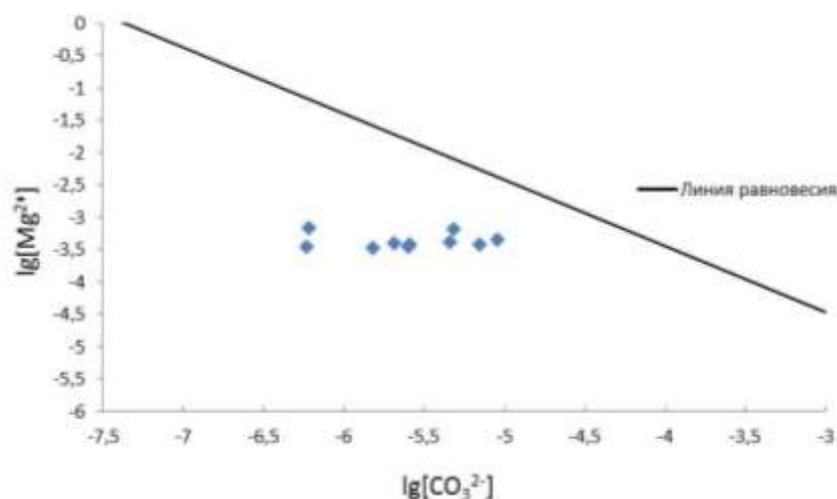


Рис. 2.14. Диаграмма равновесия подземных вод г. Томска с магнезитом при температуре 25 °C $\log K(\text{MgCO}_3) = -7,46$

На рис. 2.15, 2.16 показана равновесность вод к сидериту

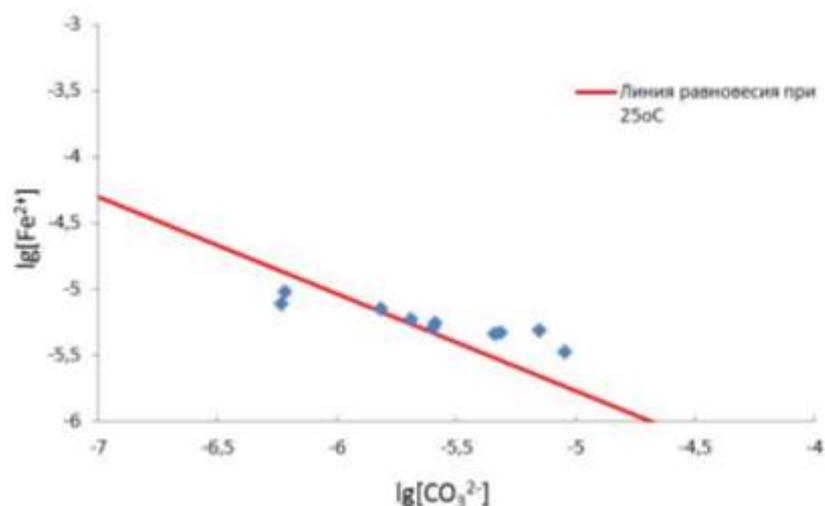


Рис. 2.15. Диаграмма равновесия подземных вод г. Томска с сидеритом при температуре 25 °C

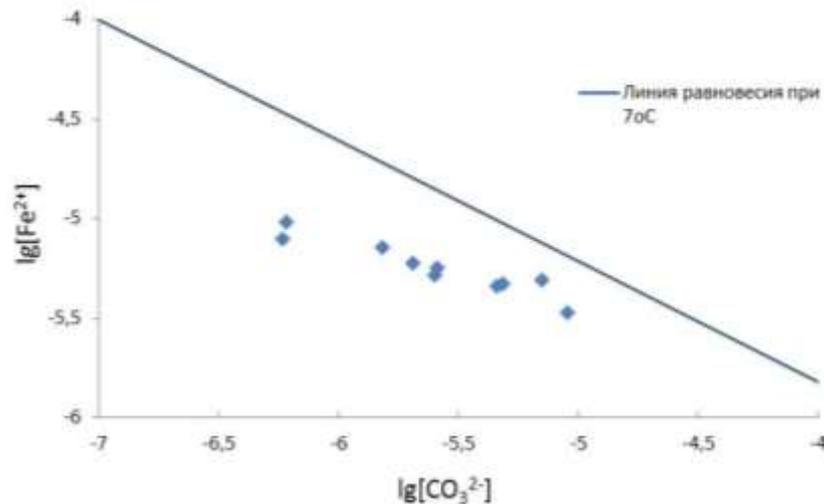


Рис. 2.16. Диаграмма равновесия подземных вод г. Томска с сидеритом при температуре 7 °C $\log K(\text{FeCO}_3) = -10,89$

В результате проведенных расчетов установлено, что подземные воды города Томска не насыщены относительно магнезита, вследствие чего не способны высаживать их в виде вторичного минерала, но воды большинства скважин палеозойских отложений насыщены относительно кальцита.

Таблица 2.6

Индексы неравновесности

№ скв.	Место отбора	Возраст водоносного горизонта	pH	CaCO ₃	CaMg(CO ₃) ₂	MgCO ₃	FeCO ₃
1	Шпалопропиточный з-д, ул. Труд.	Q		0,70	-1,87	9,19	0,34
2	Нижний склад, скв 273р	Q	6,7	0,33	-2,86	8,57	-0,05
3	скв 161р	P	7,4	0,30	-2,66	8,80	0,08
4	скв 302р	P	7	0,55	-2,54	8,67	0,02
5	Пос. Свечной	P	7,4	0,05	-3,14	8,58	-0,01
6	Томскмясо	P	7,2	-0,28	-4,02	8,02	-0,38
7	Т.Л.З., ул. Белинского	Pz	7,8	-0,27	-3,73	8,29	-0,25
8	Кислородная станция, ул. Елизаровых	Pz	7,4	0,05	-3,39	8,32	-0,21
9	Дрожзавод, пр. Ленина	P	7,6	0,67	-1,87	9,21	0,45
10	Агрофирма Томич	Pz	6,7	-0,42	-4,05	8,13	-0,43

Степень насыщения подземных вод относительно основных породообразующих минералов алюмосиликатных пород можно выяснить

посредством нанесения данных по составу вод на диаграммы полей устойчивости алюмосиликатов.

На диаграммах ниже вынесены данные, характеризующие степень насыщения подземных вод города Томска относительно минералов группы алюмосиликатов (полевых шпатов, монтмориллонитов, иллитов, каолинита, хлорита, мусковита и гиббсита при стандартных условиях) (рис. 2.17–2.21).

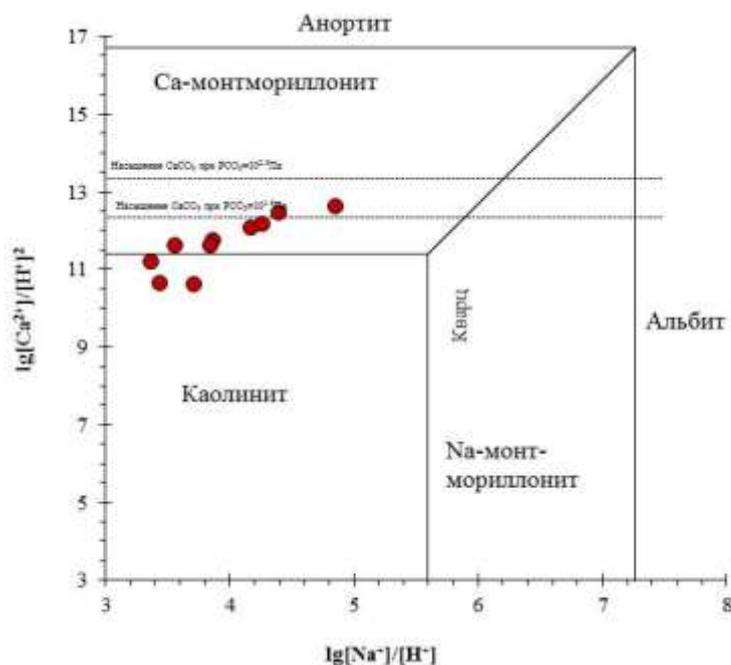


Рис. 2.17. Диаграмма равновесия подземных вод г. Томска с основными алюмосиликатами при 25 °С в системе $H_2O - Al_2O_3 - CO_2 - Na_2O - CaO - SiO_2$

В поле каолинита попали воды палеогенового горизонта (Шпалопроточный завод, Дрожзавод) и воды четвертичного горизонта.

С Na-монтмориллонитом равновесны воды палеозойских отложений и воды из горизонта четвертичных отложений (скв. 1 – характеризующаяся высокой степенью загрязнения).

С иллитом равновесны воды палеогеновых и палеозойских отложений (скв. 8, 9). С каолинитом равновесны воды палеогеновых отложений, с монтмориллонитом равновесны воды палеозойских отложений.

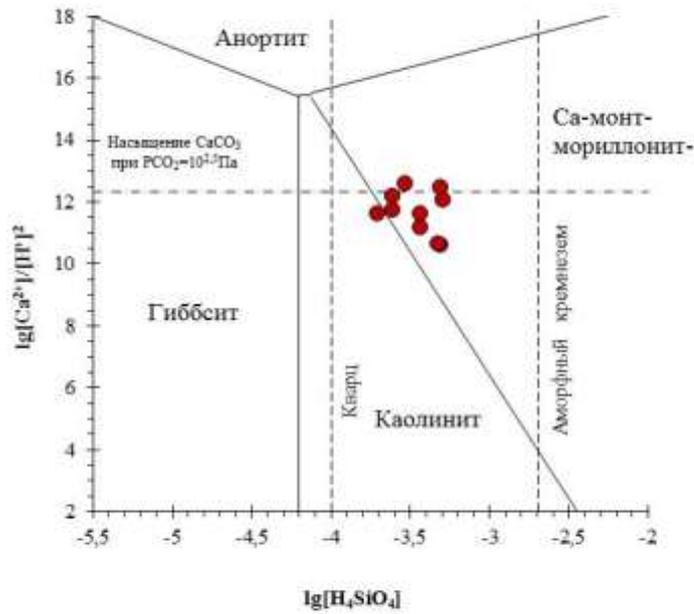


Рис. 2.18. Диаграмма равновесия подземных вод г. Томска с основными алюмосиликатами при 25°C в системе $\text{H}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CO}_2 - \text{CaO} - \text{SiO}_2$

С каолинитом равновесны воды четвертичных отложений.

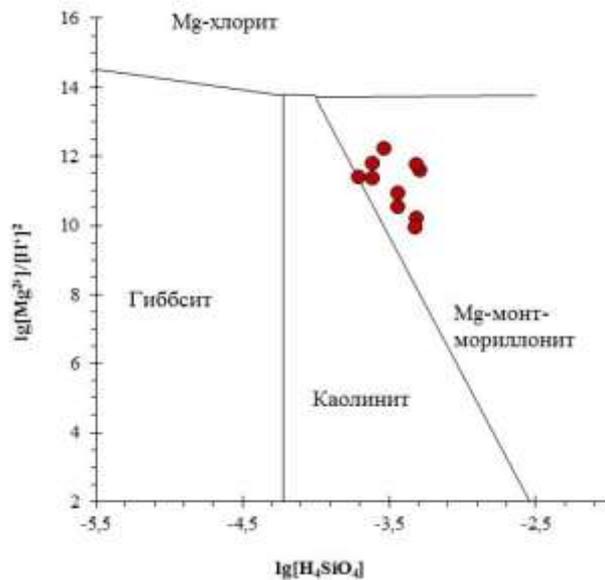


Рис. 2.19. Диаграмма равновесия подземных вод г. Томска с основными алюмосиликатами при 25°C в системе $\text{H}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{SiO}_2$

Воды палеозойских отложений относятся к щелочному карбонатно-кальциевому геохимическому типу (по кл. С.Л. Шварцева) [152], а воды

остальных отложений относятся к кремнисто-натриевым группам равновесных с минералами гидрослюд и монтмориллонитов.

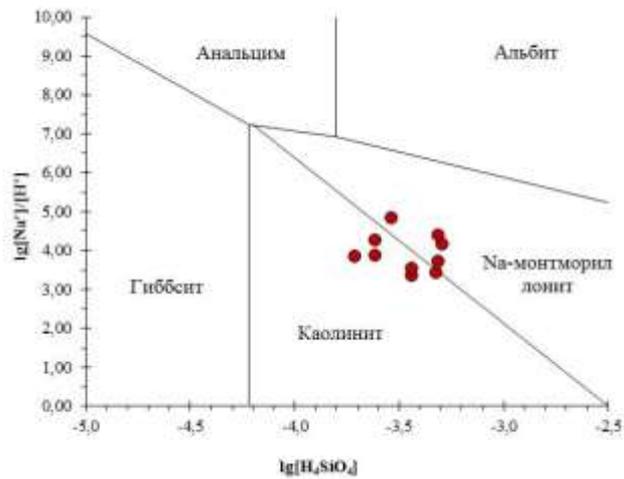


Рис. 2.20. Диаграмма равновесия подземных вод г. Томска с основными алюмосиликатами при 25 °С в системе $H_2O - Al_2O_3 - Na_2O - SiO_2$

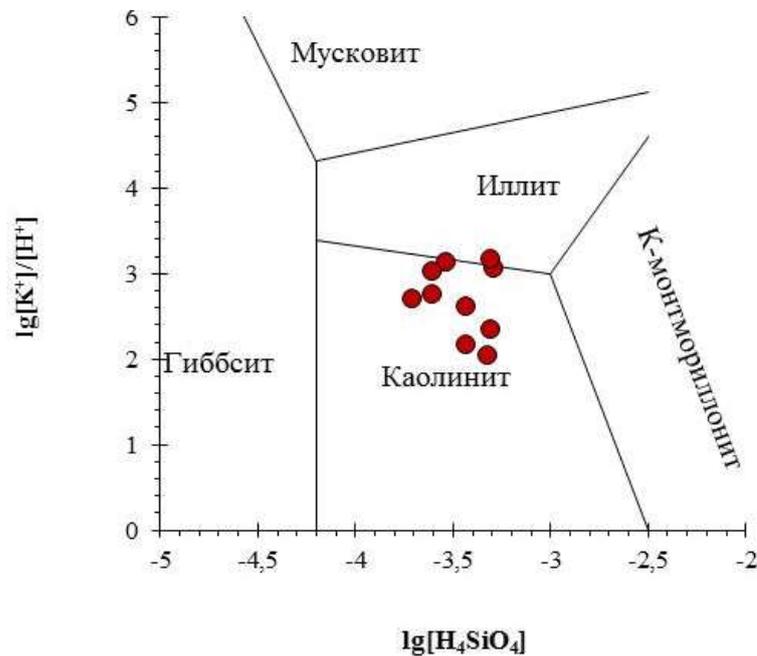


Рис. 2.21. Диаграмма равновесия подземных вод г. Томска с основными алюмосиликатами при 25 °С в системе $HCl-H_2O-Al_2O_3-CO_2-K_2O-SiO_2$

Анализ результатов выполненных исследований позволяет заключить следующее.

Все изученные воды города, независимо состава водовмещающих отложений, недонасыщены относительно первичных алюмосиликатов (микроклина, анортита, альбита, мусковита), ряда вторичных алюмосиликатных минералов (хлорита, Na-, K-монтмориллонитов) и карбонатов (магнезита, доломита).

Многие из этих минералов являются породообразующими среды миграции и, соответственно, служат источниками обогащения подземных вод элементами на протяжении всего времени движения от областей питания до областей разгрузки.

Изучаемые воды города Томска палеозойских и палеогеновых равновесны или насыщены к кальциту. Формирование на протяжении всего времени карбонатных минералов носит закономерный характер, который определяется такими параметрами гидрогеологической среды как pH, температура и минерализация подземных вод.

Воды четвертичных отложений равновесны к каолиниту, а воды палеозойских и палеогеновых равновесны к различным монтмориллонитам. Загрязненные воды четвертичных отложений, также равновесны к Na-монтмориллониту.

Все упомянутые минералы способны к новообразованию из подземных вод и выводят из них соответствующие элементы. Присутствия этих минералов в количествах и соотношениях, отражающих конкретный химический состав водной среды, из которой они формируются, следует ожидать в составе минеральных новообразований систем водоснабжения [79], при разгрузке подземных вод в горных выработках, на выходах родников, в скважинах дренажных систем. Применительно к нашим проблемам, особо следует обратить внимание на кальцитсодержащие минеральные новообразования [79], повышающих жесткость структурных связей грунтовых откосов, что, в принципе, увеличивает его (откоса) устойчивость, однако выпадение карбонатов уменьшает пористость и, соответственно, фильтрационные свойства грунтов, что приводит к формированию процессов близких по физическому смыслу к проявлению барражного эффекта и, как следствие, к повышению уровня подземных вод в

грунтовым массиве, вызывающем, в отдельных случаях, подтопление территорий и оползнеобразование.

Натечные сталактитоподобные карбонатные образования отмечались нами в штольне Лагерного сада в г. Томске (рис. 2.22), кальматация иглофильтров фиксировалась сотрудниками Томскгеомониторинга.

Минералообразующей средой для формирования различных карбонатных образований при этом, как правило, являются собственно пресные воды, со средней минерализацией порядка 600 мг/л. нейтральные и слабощелочные гидрокарбонатные, преимущественно кальциевые с различной долей магния и натрия широко распространенные в подземной гидросфере Томска. При разгрузке таких вод на дневную поверхность масштабы кристаллизации вторичного кальцита обязаны как повышению щелочности среды и поступлению избыточного кальция при разрушении минералов к тому же и активному удалению углекислоты. Поэтому из литра таких вод при выходе на поверхность кристаллизуется до нескольких десятков миллиграммов кальцита.



Рис. 2.22. Натечные сталактитоподобные карбонатные образования в штольне Лагерного сада в г. Томске

2.3.4. Режим, условия питания и разгрузки подземных вод

Территория города Томска относится к провинции с устойчивым сезонным промерзанием зоны аэрации, в пределах которой основное питание грунтовых вод осуществляется весной, путем инфильтрации снеготалых вод и входит в зону умеренное питания грунтовых вод по классификации А.А. Коноплянцева [60]. Интенсивность питания грунтовых вод обуславливает особенности сезонных колебаний их уровней. Колебания уровней грунтовых вод в течение года весьма четкие, а амплитуда колебаний достаточно значительна.

По видам режима грунтовых вод, в соответствие с классификацией Г.Н. Каменского [57], выделяется три типа режима: прибрежный, водораздельный и искусственный, в пределах которых колебания уровней зависят от различных факторов. Причем следует подчеркнуть, что влияние искусственных факторов формирования режима проявляется, в той или иной мере, практически, на все водоносные горизонты.

Прибрежный тип режима характерен для грунтовых вод пойменных отложений крупных рек и их притоков, а также подстилающих их отложений при отсутствии разделяющих водоупоров. Основное питание водоносных горизонтов происходит путем инфильтрации атмосферных осадков и притока со стороны террас. Гидродинамический режим грунтовых вод в пределах таких участков зависит не только от условий питания горизонта, но и от гидрологического режима рек. Колебания уровней грунтовых вод следуют за колебаниями уровней рек с незначительным отставанием и постепенно затухающей вглубь берега амплитудой. В годовом цикле для них характерен четко выраженный весенний подъем, совпадающий по времени с паводком рек, и более плавный осенний, имеющий значительно меньшую амплитуду и обусловленный дополнительным питанием горизонта за счет инфильтрации жидких атмосферных осадков.

Прибрежным типом режима характеризуются подземные воды, имеющие гидравлическую связь с водотоками. Наиболее ярко такой режим свойственен для подземных вод низких террас р. Томи и подземных вод палеогеновых отложений на участках, где имеется тесная гидравлическая связь последних с горизонтами

низких террас. Такой же тип режима характерен для водоносных палеозойских образований, выходящих на дневную поверхность на склоне Лагерного сада и в долине реки Ушайки прирусловых ее частях.

Уровенный режим подземных вод низких террас р. Томи связан с подпорными явлениями в паводковый период. Роль подпора проф. М.И. Кучин отмечал еще в 1932 г. [72]. Им были составлены для двух периодов (весеннего и летнего) карты гидроизогипс (рис. 2.23), где четко видны подпорные явления, процессы насыщения поймы в весенний период и разгрузка подземных вод в реку в летний период.

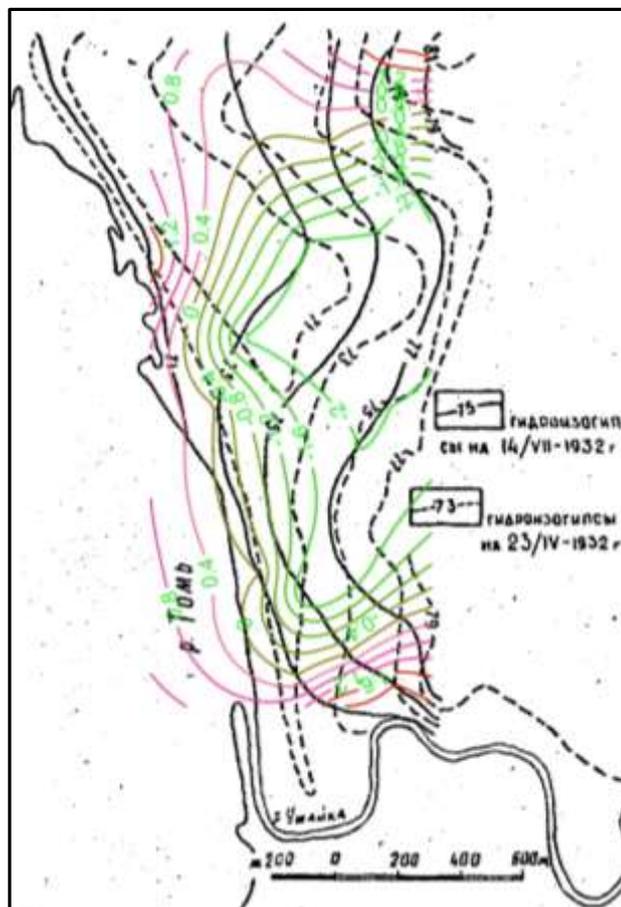


Рис. 2.23. Карты гидроизогипс весеннего и летнего периодов (составлено по материалам М.И.Кучина с дополнениями автора) [71].

Цветом показан диапазон сезонных изменений уровня грунтовых вод в пределах I-ой террасы р. Томи

Материалы более поздних [7, 8] и современных (Томскгеомониторинг) исследований показали, что колебания уровней, в сглаженном виде, практически полностью, повторяют сезонные изменения уровней р. Томи. Как для

поверхностных, так и для подземных вод, характерен весенний и осенний подъем уровня и наиболее его низкое стояние зимней и летней меженью (рис. 2.24).

Подъем уровня в весенний период, связанный с подпорными явлениями начинается в начале апреля. Высокое положение уровней сохраняется до середины июня и, зачастую, проявляется несколькими паводковыми пиками, связанными с колебаниями уровней в реке. Спад уровней происходит медленно, параллельно с уровенным режимом реки.

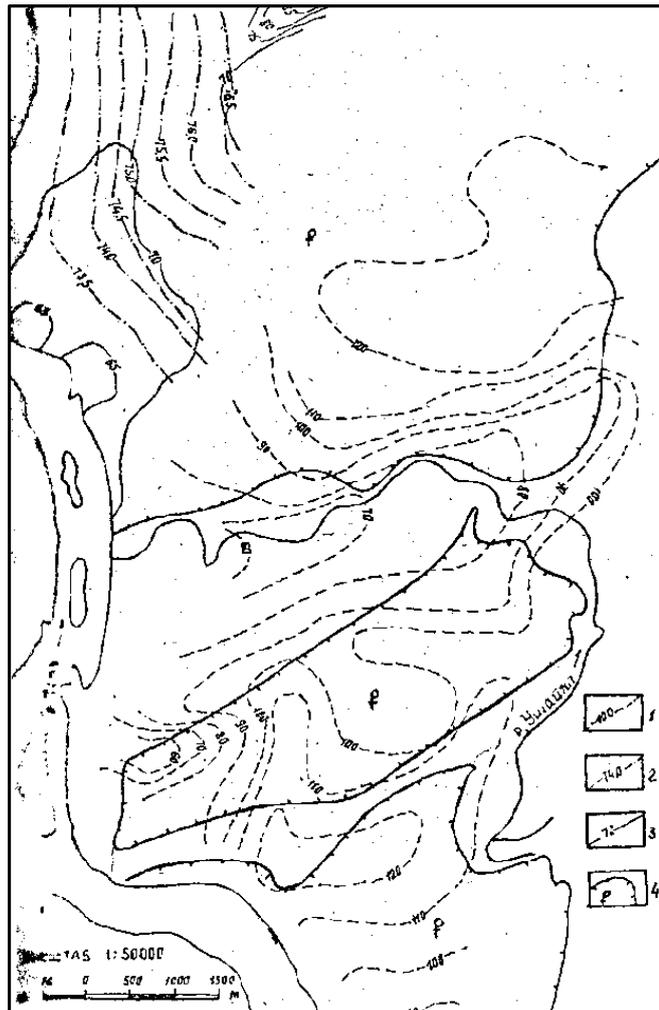


Рис. 2.24. Схематическая карта гидроизогипс подземных вод палеозойских и палеогеновых отложений [23]:

гидроизогипсы и их абсолютные отметки: 1 – водоносного горизонта (комплекса) палеозойских отложений; 2 – водоносного горизонта палеогеновых отложений в условиях естественного режима; 3 – водоносного горизонта палеогеновых отложений в условиях нарушенного режима; 4 – контуры развития палеогеновых отложений.

Наиболее низкое положение уровней замечено в сентябре. Диапазон колебаний уровней подземных вод зависит от высоты подъема воды паводка,

расстояния до реки и фильтрационных свойств пород. Четко проявляется зона интенсивного подпора полосой, шириной около километра, где величины амплитуд колебаний уровней достигают 5–8 м.

В прибрежной полосе уровенный режим подземных вод палеогеновых отложений подчиняется аналогичным закономерностям, но с более сглаженными формами кривых и меньшими величинами амплитуд колебаний. Питание подземных вод палеогеновых отложений в пределах водораздела осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетекания из вышележащих отложений. В пойменной части долины р.Томи горизонты палеогеновых отложений и горизонты низких террас имеют тесную гидравлическую связь, определяющую сложный режим как условий питания, так и разгрузки. В меженный период подземные воды палеогеновых отложений имеют более высокие уровни, чем уровни подземных вод четвертичных отложений, соответственно, и разгружаются в последние. Во время весеннего половодья и при насыщении поймы паводковыми водами водоносный горизонт палеогеновых отложений через слабопроницаемые отдельные слои и литологические окна получает дополнительное питание из галечников путем перетекания.

Поведение в течение года уровней подземных вод с водораздельным типом режима связано с интенсивностью инфильтрационного питания водоносного горизонта. Для данного типа режима характерен четкий весенний подъем уровня, амплитуда которого и скорость спада после максимально высокого положения, в первую очередь, зависят от мощности и состава зоны аэрации. При небольшой мощности и песчаном составе зоны аэрации снеготалые воды, инфильтруясь, быстро достигают уровня грунтовых вод, вызывая его подъем. Хорошие фильтрационные свойства отложений зоны аэрации способствуют быстрому оттоку подземных вод в сторону областей разгрузки, поэтому подъем уровней обычно невелик и быстро сменяется их интенсивным спадом. В пределах участков с мощной зоной аэрации преимущественно глинистого состава время добегания инфильтрационных вод до поверхности грунтовых гораздо длительнее, весенний подъем уровней выражен менее четко, спад плавный, растянутый на

несколько месяцев. Водораздельный тип режима характерен для подземных вод высоких террас р. Томи и водораздела. По данным исследований разных лет (Б.В. Плотникова, В.А. Афолина) годовые амплитуды колебаний уровней подземных вод в скважинах, находящихся на хорошо дренированных участках, не превышают одного метра. Особенности поведения уровня подземных вод, а именно, совпадение точек максимумов с весенними и осенними периодами указывают на преимущественно инфильтрационное питание за счет талых вод и атмосферных осадков осенних дождей. Летний период, в связи с высоким испарением, несмотря на значительное количество атмосферных осадков, для питания неблагоприятен.

Искусственный тип режима подземных вод на территории города обусловлен инженерной деятельностью человека, развит достаточно широко. Наиболее яркие проявления этого типа режима связаны с водами палеогеновых и каменноугольных отложений, которые эксплуатируются для целей водоснабжения. Наиболее активно подземные воды в черте города отбирались до 1973 года, начала пуска Томского водозабора из подземных источников. По материалам исследований, выполненных в 1972 г. [23], эксплуатация подземных вод локальными водозаборами вызвала общее региональное понижение уровней и сформировала депрессионную поверхность сложной формы, уклоны которой ориентированы в направлении долин рек Томи и Ушайки (рис. 2.20). На участках, приуроченных к ряду групп скважин, отмечаются весьма большие воронки депрессии с низкими отметками, временами до 10–15 м ниже меженного уровня воды в р. Томи. С вводом в эксплуатацию Томского водозабора многие скважины, использующиеся различными предприятиями, были законсервированы. Некоторые из них, впоследствии, вновь были введены в эксплуатацию. Скважины эксплуатируются с разными дебитами и различной интенсивностью по времени. Некоторые работают практически непрерывно, другие периодически, по несколько часов в сутки. Все это, в конечном итоге, изменяет отметки уровенных поверхностей.

В районах индивидуальной застройки имеются мелкие скважины колодцы, эксплуатирующие грунтовые воды и горизонты верховодки. Водоотбор из них весьма неравномерен и его интенсивность резко увеличивается в летний период и снижается в зимний.

Разгрузка подземных вод осуществляется путем перетекания в низезалегающие водоносные горизонты, а также в виде многочисленных родников расположенных на склонах речных долин и логов. Зачастую разгрузка имеет скрытый характер и проявляется в переувлажнении перекрывающих выходы водосодержащих пластов на склонах и в тальвегах логов. В этих случаях основной расходной составляющей баланса является испарение и транспирация [103].

Наиболее полное представление о распространении, состоянии родников и родниковых полей города, о качестве родниковой воды были представлены А.Д. Назаровым и Е.Г. Вертманом. Проведенные этими авторами в 2001 году исследования по теме «Изучение гидродинамического и гидрогеохимического режима родников г. Томска» (в рамках территориальной Программы геологоразведочных работ по Томской области на 2001 г.) позволили выявить и закартировать основные зоны сосредоточенного и рассеянного выхода родников; произвести ландшафтно-родниковое мега-, макро- и мезональное районирование городской территории (рис 2.25); построить 1-ю схематическую карту родников и ландшафтно-родниковых зон г. Томска масштаба 1:10000; произвести инвентаризацию и диагностику современного состояния родников и родниковых полей; наметить основные закономерности изменчивости режима родников и влияния на него метеогенных и техногенных факторов разработать концепцию оптимального использования, обустройства и охраны родников и родниковых зон; наметить основные критерии оценки ландшафтно-экологической и историко-культурной ценности родников и родниковых полей; провести типизацию ландшафтно-родниковых зон по степени приоритетности и наметить наиболее ценные в историко-культурном, эстетическом и ландшафтно-экологическом отношениях родники и родниковые зоны; дать краткую характеристику основных

ландшафтно-родниковых мега-, макро- и мезозон и родников; наметить контуры будущих макро-, мезо-, милли- и микроаквапарков и пути их ландшафтного обустройства и рекреационного использования; заложить картографическую ландшафтно-родниковую основу в Генеральный план развития г.Томска, разработать рекомендации по комплексному подходу в сохранении городского ландшафтно-экологического каркаса, ценностной оценке городских земель и созданию природных аквапарков с обустройством родников, по рациональному их использованию и охране.

В пределах городской территории этими исследователями на тот период были выявлены (в количестве): крупные зоны разгрузки – 7; ландшафтно-родниковые мегазоны – 15; ландшафтно-родниковые макрозоны – 54; ландшафтно-родниковые мезозоны – 147; ландшафтно-родниковые миллизоны – 388; родники (разной степени проявленности) – 638; водотоки (речки и ручьи) – 179; водоёмы (озёра и пруды) – 170 (табл. 2.7). Речки и ручьи отражают концентрированный родниковый сток, а миллизоны – концентрированные выходы родников (от 1 до 7). Визуальный рекогносцировочный анализ вновь присоединенных к городу территорий, проведенный А.Д. Назаровым, показывает, что число родников должно возрасти до 1000, а ландшафтно-родниковых мегазон – до 20, макрозон – до 50, мезозон – до 150, миллизон – до 500, озер и прудов – до 200 и ручьев и речек – до 500.

В пределах застроенной части города большинство родников имеют ярко выраженный, чаще всего мелкоцирковый, суффозионный, выход, в то время как за её пределами цирковые выходы родников почти повсеместно заболочены и проявляются лишь в виде ручьёв. Размеры родниковых цирков колеблются от единиц до сотен метров в диаметре. В Южной зоне, Михайловской и Солнечной рощах и на улице М. Сычёва усиленный концентрированный выход родников сопровождается формированием от мелких до крупных оползневых цирков.

Ландшафтно-родниковые зоны г. Томска [22]

№	Шифр зоны	Название мегазоны	Количество					
			Макро-зон	Мезо-зон	Милли-зон	Родников	Озёр (прудов)	Ручьев (речек)
1	МТ	Московско-трактовая	4	14	20	57	8	9
2	Вс	Воскресенская	4	6	15	23	2	4
3	КЧ	Каштачно-Черемошниковская	4	14	34	90	12	8
4	ЖМ	Жуковско-Михайловская	2	9	28	66?	3	13
5	Ст	Степановская	3	12	42	83	14	17
6	Ак	Академическая	3	9	21	54?	3	16
7	Юж	Южная	7	18	83?	114?	9	46
8	Сл	Солнечная	2	11	27?	37	6	15
9	МК	Малокиргизкинская	7	22	47?	55?	22	19
10	АС	Алтае-Сибирская	5	8	9?	18	1	3
11	Бк	Бактинская	1??	3	34?	4??	2??	3??
12	Лб	Левобережная	4?	13		8??	81?	10??
13	НХ	Нефтехимовская	2?	6?	2??	9??	3??	7??
14	БК	Большекиргизинская	3??	?	?	3??	1??	2??
15	Аэ	Аэропоротовская	5??	?	5?	17??	3??	7??
		Итого	56	145	367	638	170	179

Примечание: ? – недоисследованные небольшие пограничные труднодоступные участки; ?? – слабоисследованные удалённые и пригородные труднодоступные зоны.

По мнению А.Д. Назарова, непрофессиональное (с гидрогеологических позиций) освоение склонов и оврагов Воскресенской и Каштачной гор, Солнечной роци, Алтае-Сибирской и Учебной зон, Московского тракта, Ботанического массива, Лагерного сада, улиц Беленца, Елизаровых, Герцена, пр. Фрунзе и других могут привести к подвижке грунта в результате подъема уровня пережатых подземных вод, переувлажнения пока сухих и потому устойчивых крутых склонов, усиления суффозионных процессов и мерзлотного пучения. Особенно опасна засыпка глубоких оврагов влагоемким материалом, приводящим к накоплению в нем и подъему в соседних останцах уровня подземных вод и потенциальному обрушению блоков, ослабленных обычно суффозионными процессами вытекающих из-под них обильных родников.

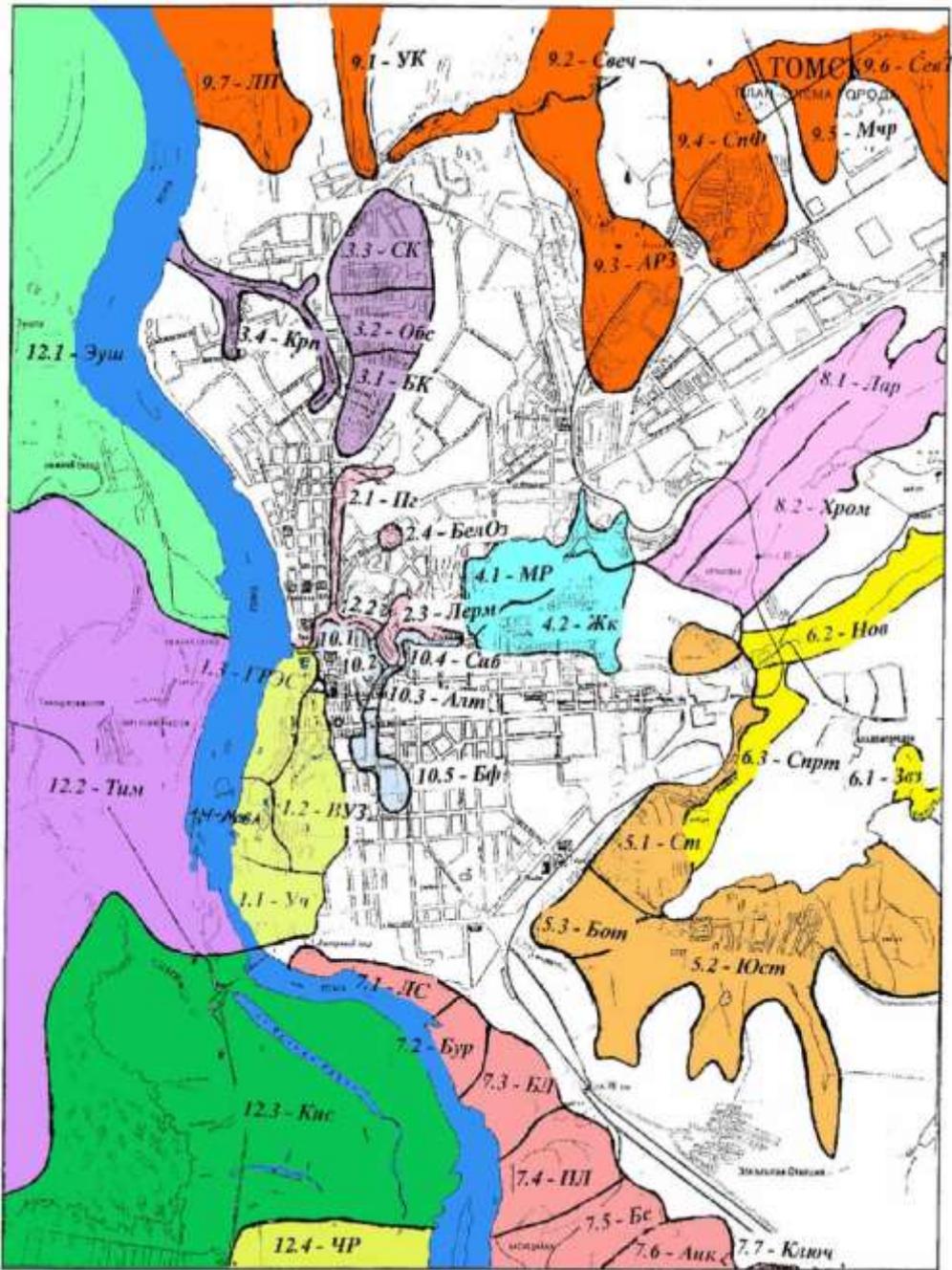


Рис. 2.25. Схема ландшафтно-родниковых зон г. Томска [22]

Цветом выделены мегазоны.

Особо охраняемые природные территории и памятники: Δ – геологические, \blacklozenge – архитектурные, * – водные, \clubsuit – ботанические, \oplus – культовые, \diamond – вузовские, \square – административные,

\ominus – досуговые.

Особо ценные водные объекты: \bullet – родники, Ω – миллизоны.

3. ТЕХНОГЕННОЕ ПОДТОПЛЕНИЕ

3.1. Факторы подтопления

Для урбанизированных территорий, подверженных развитию процессов подтопления, интенсивность изменения гидрогеологических условий определяется совместным воздействием естественных и техногенных факторов. Ведущими среди них являются: искусственное инфильтрационное питание, особенности геологического разреза, глубина залегания подземных вод и горизонтов техногенной верховодки, что выражается в условиях дренированности освоенных территории. Наиболее трудно поддаётся количественной оценке интенсивности дополнительного питания вод первого от поверхности водоносного горизонта. Это связано с отсутствием специальных гидрогеологических исследований из-за сложности и трудоёмкости режимных наблюдений такой целевой направленности. Поэтому нами предложено использовать приём косвенной оценки дополнительного инфильтрационного питания по величине водопотреблению, отнесенного к единице освоенной (или планируемой к застройке) площади.

В основу оценки потенциальной подтопляемости городской территории нами положено её районирование по типам фильтрационного разреза. Такой методический приём использован для оценки роли геологического строения в формировании техногенного подтопления с позиций вероятности увеличения уровней подземных вод при интенсивном поступлении дополнительного питания подземных вод [67].

Нами предложено использовать типы фильтрационных разрезов, разработанные Д.С. Покровским и К.И. Кузевановым [104]. Они представляют собой классификацию последовательности различных литологических разновидностей грунтов, которые в своём сочетании образуют ограниченное число типовых схем, которые дают возможность выполнять оценку степени потенциальной подтопляемости выбранных участков городской территории или площадей перспективной застройки.

Использованная классификация включает три основных типа фильтрационных разрезов, в основу выделения которых положено соотношение легко проницаемых горизонтов и относительно водоупорных слоев. Количество типов определяется степенью однородности строения разреза. Выделяются типовые однослойные, двухслойные и трёхслойные разрезы, в пределах которых предложено различать 6 подтипов по сочетанию проницаемых и водоупорных горизонтов.

Районирование городской территории выполнено до глубины сферы взаимодействия большинства существующих зданий с геологической средой. Для современной застройки города районирование характеризует строение верхней части геологической среды до глубины 15–18 м. Этот интервал соответствует глубине инженерно-геологических скважин, использованных для обобщения огромного объёма фактического материала (более 2000 производственных отчётов) положенного в основу карты районирования городской территории по типу фильтрационного разреза (рис. 3.1.).

В целом территория города имеет весьма слабую гидрогеологическую изученность. Достаточно отметить, что на сегодняшний день отсутствует кондиционная гидрогеологическая карта. В этой связи наиболее слабо изучены фильтрационные свойства слабопроницаемых слоёв разреза. В отношении песчаных разностей горных пород имеется гораздо больше сведений об их фильтрационных свойствах, но в большинстве своём они опираются на данные косвенных оценок. Для слоёв песков, как правило, имеется информация о данных их гранулометрического состава. Это позволяет расчётным путём оценить их фильтрационные свойства. Поскольку для слабопроницаемых отложений такие данные практически отсутствуют, то количественная оценка их фильтрационных свойств максимально затруднена и может быть охарактеризована весьма приближённо. Поэтому хорошо и плохо проницаемые горизонты выделены преимущественно на основе качественной оценки их фильтрационных свойств с заметной степенью условности. Таким образом, к хорошо проницаемым породам отнесены все виды супесей, пески различной зернистости и сортировки, все виды

насыпных грунтов и гравийно-галечниковые отложения. Лёссовидные суглинки, широко развитые на территории города, отнесены к хорошо проницаемым грунтам в силу выраженной анизотропии фильтрационных свойств. В толще этих грунтов фильтрационные свойства в вертикальном направлении значительно выше, чем коэффициенты фильтрации для латерального фильтрационного потока (по горизонтали). Этому способствует выраженная вертикальная отдельность лёссовидных суглинков.



Рис. 3.1. Типы фильтрационных разрезов

К слабопроницаемым слоям отнесены горизонты суглинков всех разновидностей, кроме покровных лёссовидных отложений, иловатые литологические разности, глинистые отложения коры выветривания и глины.

На основе выявленного сочетания типов отложений, различающихся по своим фильтрационным свойствам, можно оценить предопределенность территории к развитию процессов подтопления с учетом литологической изменчивости горных пород в сфере взаимодействия инженерных сооружений с

геологической средой. Результатом анализ пространственного распределения выделенных типов фильтрационных является карта районирования (рис. 3.2).

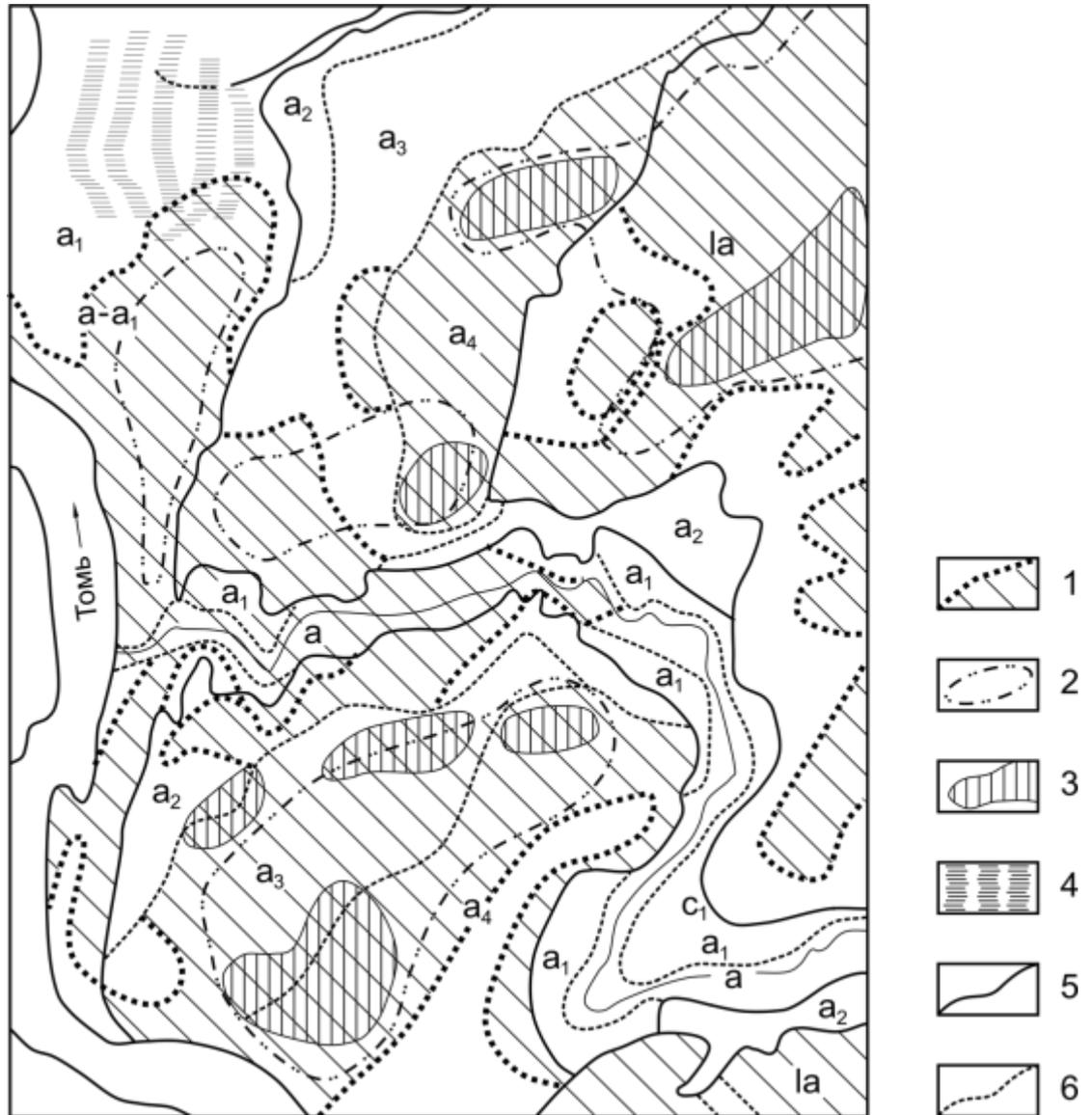


Рис. 3.2. Схематическая гидрогеологическая карта г. Томска [103]:

1 – территории, имеющие строение, благоприятное для формирования техногенной верховодки и процессов подтопления; 2 – контуры развития верховодки; 3 – участки развития подтопления; 4 – заболоченные участки; 5 – границы водоносных горизонтов; 6 – границы геоморфологических элементов. Буквами обозначены водоносные горизонты низких (а – низкая и высокая поймы, а₁ – первая надпойменная) и высоких (а₂ – вторая, а₃ – третья, а₄ – четвертая надпойменные) террас, водораздела (la) и водоносный комплекс карбонových отложений (с₁).

Приведём краткую характеристику выделенных на территории города типов и подтипов фильтрационных разрезов.

1. Однослойный тип фильтрационного разреза (подтипы Ф-1-1 и Ф-1-2)

К подтипу типу Ф-1-1 отнесены грунты с высокими фильтрационными свойствами. К ним относятся: пески, супеси и галечники, которые могут встречаться в разнообразных сочетаниях с общей мощностью проницаемой толщи, превышающей 15 м. На большей части городской территории поверхность фильтрационного разреза перекрыта насыпными грунтами и лессовидными суглинками. Условия образования техногенной верховодки, а, следовательно, и процессов антропогенного подтопления можно оценить, как неблагоприятные. На отдельных участках не исключена вероятность появления горизонтов переувлажненных пород (так называемое подтопление второго рода). Переувлажнение массива горных пород носит локальный характер, связанный с фациальной изменчивостью грунтов, как в вертикальном направлении, так и по латерали. Подобные явления весьма характерны и для однородного разреза, сложенного лессовидными суглинками. Их особенностью является высокая степень проницаемости в вертикальном направлении. В таких условиях за счёт нарушения структурных связей возникают благоприятные условия для выноса глинистых частиц в нижнюю часть разреза, что может приводить к кольматации порового пространства и резкому подъёму уровня подземных вод при весьма ограниченной возможности бокового оттока. Принципиальная возможность такого изменения фильтрационных свойств лёссов под влиянием техногенного инфильтрационного питания с последующим формированием верховодки на созданном таким образом искусственном слабопроницаемом слое указывалось многими исследователями.

Подтип Ф-1-2 образуют разрезы, сложенные породами с низкими фильтрационными свойствами до глубины 10–15 м. К таким породам относятся: суглинки (от легких до тяжелых), глины и иловатые литологические разности пород. Для этого подтипа разреза условия развития процессов техногенного подтопления можно охарактеризовать как неблагоприятные. Негативные последствия строительного освоения могут сказываться в случаях нарушения условий поверхностного стока при проведении планировочных работ (формирование искусственных понижений) и изменения естественного сложения

грунтов (разуплотнения). В этом случае не исключается проявление процессов техногенного заболачивания локальных участков и снижения прочностных свойств грунтов под влиянием утечек из водонесущих коммуникаций.

2. Двухслойный тип фильтрационного разреза (подтипы Ф-II-I и Ф-II-2)

Разрезы подтипа Ф-II-I сложены грунтами, которые обладают высокими фильтрационными свойствами, развиты до глубины от 2 до 10–12 м и имеют в основании водоупорные породы. Этот подтип фильтрационного разреза способствует формированию процессов техногенного подтопления при обязательном выполнении дополнительных условий, которые затрудняют отток подземных вод (ухудшают дренированность территории). К таким условиям можно отнести: слабую расчлененность рельефа, проявление барражного эффекта, вызванного как фациальной изменчивостью в разрезе слоев супесей, песков и суглинков, так и влиянием свайных оснований инженерных сооружений.

Фильтрационные разрезы подтипа Ф-II-2 характеризуются развитием в верхней части разреза слабопроницаемых горных пород, которые на глубинах от 3-х до 5-ти метров сменяются грунтами с высокими фильтрационными свойствами. На участках городской территории, представленных этим подтипом фильтрационного разреза, развиваются процессы заболачивания. В целом картина проявления процессов техногенного подтопления повторяет особенности его развития для подтипа Ф-I-2, но, как правило, с меньшей интенсивностью, в связи с проявлением дренирующего влияния нижних горизонтов с более высокой проницаемостью грунтов.

3. Трехслойный тип фильтрационного разреза (подтипы Ф-III-I и Ф-III-2)

К фильтрационному разрезу подтипа Ф-III-I относятся грунтовые толщи с высокими фильтрационными свойствами, но имеющие в разрезе отдельный слой относительно водоупорных пород мощностью 2–6 м. Этот подтип фильтрационного разреза характеризуется условиями, благоприятными для образования техногенной верховодки и, следовательно, склонен к развитию процессов техногенного подтопления. Общая схема изменения гидрогеологических условий под влиянием строительного освоения подобна

особенностям фильтрационного разреза подтипа Ф-II-I. Однако, проявление негативных последствий может быть существенно ослаблено за счет формирования вертикальных перетоков через относительно водоупорный раздельный слой и дренирующего воздействия нижнего слоя, способствующего боковому оттоку. Следует отметить, что в тех случаях, когда в нижнем проницаемом слое залегает напорный водоносный горизонт, рассматриваемый подтип в гидравлическом отношении становится аналогичным подтипу Ф-II-I. Примеры такой аналогии прослеживаются на пространствах развития низких террас р. Томи.

Фильтрационный разрез подтипа Ф-III-2 сложен горными породами с низкими фильтрационными свойствами, в толще которых встречается хорошо проницаемый раздельный слой мощностью 5–6 м. Верхняя часть разреза представлена суглинками, в основании разреза залегают обычно суглинки в сочетании глинистыми литологическими разностями. По отношению к развитию процессов техногенного подтопления рассматриваемый подтип фильтрационного разреза весьма близок к подтипу Ф-II-2 [67].

Описанные типы фильтрационных разрезов положены в основу оценки потенциальной подтопляемости городской территории, что находит отражение на карте районирования. Обобщённая оценка степени потенциальной подтопляемости показана в таблице 3.1.

Прорайонировать территорию города по указанным признакам (рис. 3.3), и с качественной стороны охарактеризовать ее по степени потенциальной подтопляемости позволило выделение охарактеризованных типов фильтрационных разрезов. Описание фильтрационного строения территории по геоморфологическим элементам приводится ниже.

Тип фильтрационного разреза низких террас р. Томи (пойма и первая надпойменная) предопределяется развитием в их пределах выдержанных песчано-гравийно-галечниковых отложений и техногенных образований, которые были сформированы в ходе планировок территории, засыпке старых озер, использовании пойменных участков для свалки мусора и складирования

производственных отходов. Наиболее широким распространением на участках низких террас пользуются подтипы фильтрационных разрезов Ф-II-2 и Ф-III-I. Причём большая часть городской территории в границах долины р. Киргизки принадлежит первому из них. Для подтипа разреза Ф-II-2 в этом районе характерно наличие суглинисто-глинистых, часто иловатых и гумусированных грунтов в верхнем слое.

Таблица 3.1

Зависимость степени потенциальной подтопляемости территории от типа фильтрационного разреза

Типы фильтрационных разрезов	Степень потенциальной подтопляемости
Ф-I-1	Степень потенциальной подтопляемости низкая. Территории не склонны к развитию процессов подтопления и формирования верховодки.
Ф-I-2 Ф-II-2 Ф-III-2	Степень потенциальной подтопляемости умеренная. При нарушении водного баланса территории развиваются процессы заболачивания и локальные зоны переувлажненных грунтов.
Ф-II-1 Ф-III-1	Степень потенциальной подтопляемости высокая. Нарушение водного баланса территории при техногенном воздействии (ухудшение условий дренирования, фильтрационные потери из водопроводно-канализационных сетей, зарегулированность поверхностного стока и т.д.) приводит к формированию верховодки и развитию процессов подтопления.

Нижний слой представлен галечником. На территории речного порта и участке, прилегающем к устью I террасы, севернее выхода р. Киргизки на I надпойменную террасу, отмечается строение разреза, который может быть отнесен к типу Ф-III-I. В районе Черемошников и южнее, практически на всей площади развития низких террас до Лагерного сада, преобладает разрез типа Ф-III-I, закономерно сформированный путем техногенного преобразования разреза Ф-II-2 за счет создания культурного слоя различной мощности. Фильтрационный разрез типа Ф-II-2 находящихся здесь только в виде узких полос в прибрежной зоне южнее устья р. Ушайки и от Лагерного сада вдоль Московского тракта (неосвоенные

площади у дамбы). В пределах развития низких террас р. Ушайки также преимущественным распространением пользуются разрезы типа Ф-III-I и Ф-II-2.

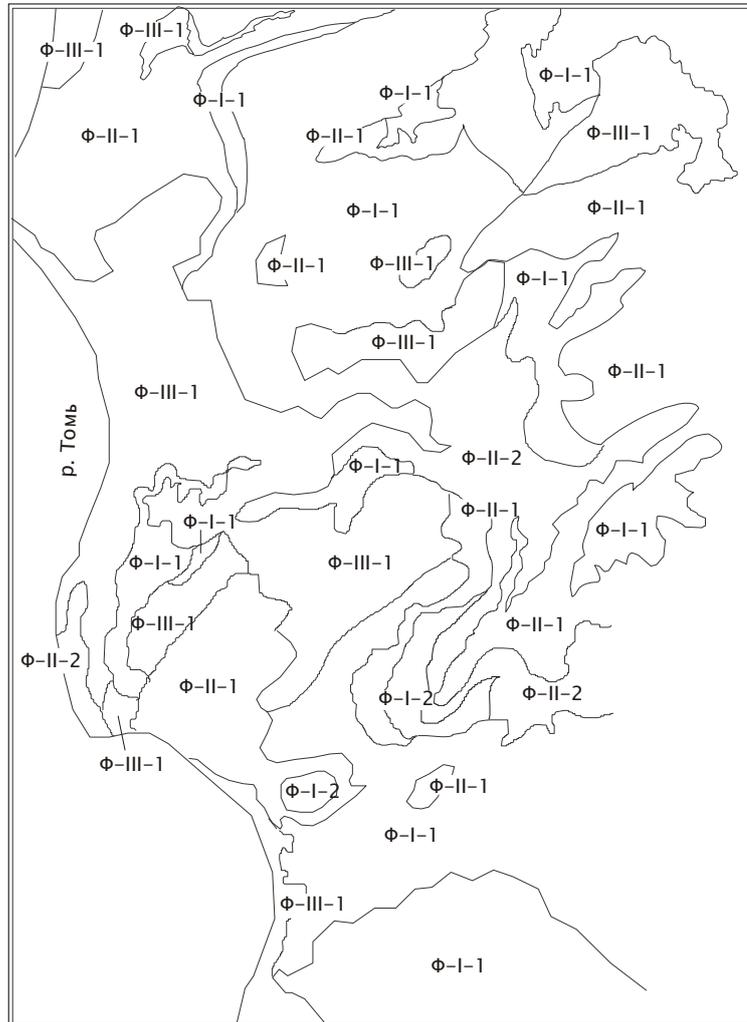


Рис.3.3. Типы фильтрационных разрезов [127]

Строение II надпойменной террасы, для которой характерно развитие фильтрационных разрезов Ф-II-2 и Ф-III-I и здесь же, значительную роль играет фильтрационный разрез типа Ф-I-I, площади его распространения приурочены к северной части территории города. В районе р. Киргизки, по левому борту долины II терраса занимает узкую полосу и развита на обширных территориях правобережья. Разрез преимущественно сложен супесями – терраса по левому берегу полностью представлена супесями с прослоями мелкозернистых песков (тип фильтрационного разреза Ф-I-I), по правому берегу на глубинах 6,5–8,5 м

залегает хорошо выдержанный слой легких суглинков, разделяющих горизонты подстилающий песчаный горизонт мощностью 3–4 м и покровных супесей. В рассматриваемый интервал глубины (15 м) здесь также входят подстилающие пески, толща суглинков, не вскрытая на полную мощность скважинами. Учитывая отсутствие подземных вод как в песчаном горизонте, так и в супесях, а также то, что песчаный горизонт хорошо дренирован и возможное увеличение инфильтрации с поверхности будет способствовать только формированию верховодки в супесчаном слое, разрез можно отнести к типу Ф-III-1. Вблизи психоневрологической больницы мощность песков возрастает до 6,5 м, а суглинистый прослой замещается супесями, и разрез преобразуется в тип Ф-II-2. Вместе с тем, в связи с высокой дренированностью территории, ожидать здесь интенсивного процесса подтопления не следует. Рассматривая территорию II террасы на левом берегу р. Ушайки (пр. Ленина – Батенькова – Сибирская) в районах старой городской застройки с юга на северо-восток, можно проследить смену гравийно-галечниковых отложений, перекрытых переслаивающимися супесями и песками (разрез Ф-I-1) на преимущественно супесчаные, перекрытые мощным слоем техногенных отложений, и это позволяет отнести разрез к типу Ф-I-1. Непосредственно же в долине р. Ушайки в основании разреза появляются гравийно-галечниковые отложения отделенные от покровных супесей и культурных слоев иловатыми суглинками (разрез Ф-III-1). Правобережная II терраса р. Ушайки, протягивающаяся узкой полосой, сложена гравийно-галечниковыми отложениями, перекрытыми суглинками, и относится к фильтрационному разрезу Ф-II-2.

Значительная часть территории исторической застройки принадлежит площадям развития III и IV надпойменных террас р. Томи. Ввиду близкого характера геологического строения этих террас, их целесообразно рассматривать совместно.

Территория развития III и IV террас в северной части города пересекает междуречье рек Ушайки и Киргизки, а породы, слагающие террасы, по большей части сложены супесями, иногда сменяющимися песками. Покровные отложения здесь представлены лессовидными суглинками мощностью 3,5–7 м. На большей

части территории геологический разрез представлен типом Ф-I-I. На некоторых слабо поддающихся локализации участках (на северо-востоке, у р. Киргизки, на Каштаке) может быть отнесен к типу Ф-II-I за счет появления слоев суглинка в нижних горизонтах. Несколько специфичны также условия в районе Воскресной горы, в наиболее древней части города, где сформированы мощные толщи культурного слоя. За счет техногенных образований, развитых по суглинистым горизонтам, подстилающимся супесчано-песчаными отложениями, разрез типа Ф-II-2 трансформируется в разрезе типа Ф-III-I.

В южной части города III терраса и склон водораздела выполняют почти всю площадь междуречья Томь-Ушайка и характеризуются наиболее сложным и разнообразным строением фильтрационного разреза. Фациальная изменчивость отложений, разнообразие литологии и неустойчивость мощностей слоев, развитие на значительных площадях отложений культурного слоя приводит к присутствию всех типов фильтрационного разреза, за исключением типов Ф-II-2 и Ф III-2.

Преобладающим типом разреза является Ф-III-I, обусловленный преимущественным супесчано-песчаным строением террас. Указанные отложения перекрываются двухслойной толщей лессовидных суглинков причем нижний слой выполнен деградированными разностями, имеющими плотное сложение и могущими рассматриваться в качестве относительных водоупоров, на которых при благоприятных условиях развиваются верховодки. Такое формирование фильтрационного разреза типа Ф-III-I наиболее характерно для склона водораздела террасы.

На площадях развития третьей террасы в толще этого подтипа фильтрационного разреза, кроме повсеместно развитых лессовидных разностей, встречаются линзы суглинков, залегающие среди супесей различного состава. Лессовидные суглинки играют определяющую роль среди основных особенностей строения разреза, которые определяют его подтип. В границах плоских пространств водоразделов эти виды суглинков характеризуются достаточно хорошо выдержанными по пространству мощностями. Лессовые разновидности пород в единой толще с подстилающими супесями и песками

образуют проницаемый разрез мощностью до 15-ти и более метров. Это даёт возможность отнести подобные разрезы к подтипу Ф-I-I. Однако, в тех случаях, когда на участках пониженного рельефа на склонах террас заметно сокращается мощность четвертичных отложений, в границы сферы взаимодействия могут попадать и глинистые отложения палеогенового возраста. В этом случае разрез превращается в подтип Ф-II-I, который в свою очередь проявляет склонность к развитию процессов техногенного подтопления. Подобная трансформация геологического разреза с последовательным переходом от подтипа Ф-III-I к подтипу Ф-I-I и в итоге к подтипу Ф-II-I отчётливо прослеживается на юго-восточном склоне четвёртой террасы, которая ориентирована в сторону долины р. Ушайки.

В отличие от описанного перехода другой порядок формирования подтипа фильтрации склонного разреза Ф-II-I, склонного развитию процессов подтопления прослеживается в районах относительно высоких гипсометрических отметок рельефа в районе улиц Елизаровых, Нахимова, Красноармейской, Артема и Усова. В этом случае нижний слабопроницаемый горизонт представлен в основном тяжёлыми аллювиальными суглинками. Эти отложения имеют особенности залегания, которые на севере городской территории участвуют в формировании подтипа Ф-II-I, где залегают в виде отдельных линз и образуют маломощные слои. В то время как на южной окраине города в районе ул. Елизаровых переходят в единую толщу, выдержанную по простиранию. Она залегает непосредственно под покровными отложениями, которые в основном представлены лёссовидными суглинками. Такие особенности строения геологического разреза формируют благоприятные предпосылки для формирования техногенной верховодки. На поверхности третьей террасы и на склоне водораздела широким развитием пользуются насыпные грунты различной мощности. По отношению к фильтрационным потокам они обладают общими чертами, среди которых наиболее существенной характеристикой является их высокая степень проницаемости. В результате наличие насыпных грунтов не может изменить фильтрационного строения типового разреза. Это объясняется

тем, что техногенные грунты залегают на проницаемых разновидностях лёссовидных суглинков.

В заключении рассмотрим особенности фильтрационных разрезов в границах водораздела Томь-Яйского междуречья. В черте городской территории к этому геоморфологическому элементу принадлежат значительные по величине площади правого склона долины р. Ушайки. Это плотные участки жилой высокоэтажной застройки в районах Академгородка, Иркутского тракта, микрорайона Спичечной фабрики и южных окраинных участков городской территории.

Характерными чертами геологического строения междуречных пространств является широкое развитие фациально изменчивых озерно-аллювиальных отложений, которые представлены русловыми, пойменными и озерными фациями. Покровные отложения лёссовидных суглинков образуют единую толщу. Тип фильтрационного разреза сохраняется двухслойным, как и на пространствах склона водораздела. Высокая степень расчлененности рельефа создает благоприятные условия для формирования разнообразных подтипов фильтрационного разреза. Наиболее широким распространением пользуются под типы разрезов Ф-II-I и Ф-III-I, которые являются благоприятными для развития горизонтов техногенной верховодки. Характерные черты фильтрационного разреза подтипа Ф-II-I формируются под влиянием лёссовидных суглинков, которые залегают на их деградированных разностях, сменяющихся вниз по разрезу суглинками и глинистыми породами средне- и нижнечетвертичного возраста. В пределах пониженных форм рельефа супеси и пески могут залежать на поверхности глинистых отложений коры выветривания мел-палеогенового возраста. Подтип фильтрационного разреза Ф-III-I пользуется преимущественным развитием на тех участках, где субэральные деградированные суглинки подстилаются песками и супесями. Значительно меньшим распространением пользуются площади, на которых развит подтип фильтрационного разреза Ф-I-I. В большинстве случаев это такие зоны, в пределах которых нижний горизонт лёссовидных суглинков замещен супесчаными отложениями. Распространён и

другой вариант, относящийся к долинам глубоко врезуемых логов, где не сохранились покровные отложения, а эрозионный врез вскрывает глубоко залегающие песчано-гравийные отложения и горизонты супесей.

Покровским Д.С. и Кузевановым К.И. [108] также выделены типовые условия разгрузки подземных вод и дана оценка степени потенциальной склоновой активности на основе описанных фильтрационных разрезов.

Однослойные (Ф-I-1) разрезы с хорошими фильтрационными свойствами создают благоприятные условия дренирования и, как правило, характеризуются достаточно тесной гидравлической связью с естественными дренами в основании разреза.

Однослойные (Ф-I-2) разрезы со слабыми фильтрационными свойствами создают весьма благоприятные условия для активного поверхностного стока. Они образуют участки, исключаящие разгрузку подземных вод.

Двухслойные (Ф-II-1) разрезы благоприятны для формирования разгрузки подземных вод на высоких гипсометрических уровнях. В случае увеличения расхода фильтрационного потока за счет дополнительного питания возможны проявление и активизация суффозии и активизация склоновых процессов.

Двухслойные (Ф-II-2) разрезы способствуют поверхностному стоку. Основание разреза хорошо дренировано и не способствует росту уровней подземных вод.

Трехслойные (Ф-III-1) разрезы характеризуются наиболее сложным взаимоотношением потенциально обводняемых толщ. Этот хорошо дренированный разрез в наибольшей степени подвержен техногенному влиянию, верхние слои, при избытке дополнительного питания склонные к развитию процессов подтопления, в эрозионных уступах могут провоцировать развитие суффозии и оврагообразования. Утяжеление пород на склоне за счет замачивания может способствовать активизации оползневых процессов. Именно этот тип фильтрационного разреза наиболее опасен с точки зрения развития барражных эффектов.

Трехслойные (Ф-III-2) разрезы являются наиболее потенциально опасными в отношении развития оползневых процессов. Изменение водного баланса на сопряженных территориях может приводить к появлению разгрузки на склонах в первоначально сухих породах. Разрез благоприятен для развития процессов суффозии, а увлажнение кровли водоупора резко снижает прочностные свойства пород в основании разреза. В условиях городской застройки весьма вероятно дополнительное утяжеление горных пород за счет строительства инженерных сооружений. Сочетание этих факторов делает весьма вероятным развитие оползневой активности.

Дренированность территории используется как термин широкого толкования, часто применяющийся в практике поисково-разведочных работ для характеристики общих условий формирования ресурсов и запасов подземных вод. Особую роль дренированности по отношению к формированию техногенного подтопления для территории г. Томска впервые отметил Д.С. Покровский [107]. Им впервые сформулированы положения, обосновывающие наличие двух уровней дренированности городской территории. Первый уровень относится к характеристике приповерхностных водоносных горизонтов грунтовых фильтрационных потоков. Второй уровень дренированности предложено рассматривать по отношению к условиям движения подземных вод в горизонтах верховодки.

Дренированность территории является одним из ведущих факторов, определяющих степень потенциальной подтопляемости, как отдельных участков, так и территории в целом, причём должна учитываться совместно с районированием застроенных застраиваемых участков как по типу фильтрационного разреза, так и по интенсивности источников дополнительного инфильтрационного питания. Для качественной характеристики условий разгрузки подземных вод оценку степени дренированности принято связывать с взаимным соотношением высотного положения областей питания и разгрузки подземных вод, степени расчлененности рельефа, характерных особенностей литологического строения геологического разреза и наличия благоприятных

условий для формирования оттока (дренирования) подземных вод. Косвенным показателем степени дренированности территории может выступать глубина залегания уровней подземных вод на участках плоских водораздельных пространств. В работах указанного автора, посвященных гидрогеологическим условиям города Томска, обращается внимание на необходимость учёта наличия обширных площадей развития техногенной верховодки, как при оценке структуры фильтрационных потоков, так и при анализе условий строительного освоения городской территории. Поскольку формирование антропогенных водоносных горизонтов происходит в границах сферы взаимодействия инженерных сооружений с геологической средой и может существенно осложнять как технологические процессы строительства, так и условия эксплуатации объектов городской инфраструктуры. В связи с этим предлагается расширить классическое толкование термина дренированности и рассматривать её отдельно по отношению к фильтрационным потокам грунтовых вод и горизонтам верховодки техногенного происхождения.

В целом территорию г. Томска можно охарактеризовать как хорошо дренируемую. Для такого вывода имеются все предпосылки: высокие гипсометрические отметки, хорошо развитая гидрографическая сеть, интенсивная расчлененность рельефа и широкое развитие выдержанных песчаных горизонтов, залегающих выше местных базисов эрозии. Сочетание этих факторов определяет весьма благоприятные условия для разгрузки подземных вод. На большей части городской территории уровни грунтовых вод залегают на глубинах, превышающих 10 м. На севере в границах междуречья рр. Ушайки и Киргизки эти глубины достигают 20-ти и более метров. В подобных условиях заметный подъём уровней грунтовых вод при строительстве и эксплуатации промышленных и гражданских сооружений весьма маловероятен даже в случае значительного увеличения интенсивности техногенного инфильтрационного питания. Другие условия дренирования подземных вод сформировались на локальных водораздельных участках. Для верхних частей геологического разреза как самостоятельной области формирования подземного стока необходимо отметить

особую роль подстилающего раздельного слоя. Примерами являются подтипы фильтрационных разрезов Ф-II-I и Ф-III-I. Они могут быть охарактеризованы как слабодренируемые участки. В пределах их развития отмечается выположенный рельеф и низкие фильтрационные параметры водовмещающих пород. Это затрудняет отток грунтовых и способствует, как образованию верховодки, так и развитию процессов подтопления.

Градации глубин целесообразно принять равными: до 1,8 м (глубина заложения фундаментов); 1,8–5,0; 5,0–10,0; 10,0–20,0; более 20,0 м.

При неблагоприятных условиях дренирования (слабая расчлененность рельефа проявление барражного эффекта, связанного с естественными и искусственными факторами, такими как фациальная смена супесчаных и песчаных грунтов суглинистыми, перехваты потока свайными основаниями сооружений, уступы и западины в поверхности нижнего слабопроницаемого слоя и др.) на территории развития фильтрационных разрезов, наиболее склонных к формированию верховодки и процессов подтопления, степень дренированности целесообразно снизить путем экспертной оценки на одну-две категории.

Техногенное питание подземных вод является одним из ведущих искусственных факторов подтопления. Оно определяется главным образом интенсивностью инфильтрации утечек из водонесущих коммуникаций. Потери воды из систем горячего, холодного водоснабжения и канализационных сетей могут достигать весьма значительных величин и нередко изменяются в пределах от 15 до 30 % от водоподачи. Их величина напрямую зависит от технического состояния напорных трубопроводов и сточных коллекторов, которое определяется сроками эксплуатации, качеством монтажных работ и гидравлическими характеристиками водонесущих магистралей. Для освоенных территорий, оснащенных относительно новыми подземными коммуникациями, потери на утечки могут составлять 15–18 %. При увеличении срока эксплуатации подземных трубопроводов до 50 лет утечки возрастают до 18–30 %, в случае работы систем водоснабжения в течении весьма длительного времени от 50 до 100 лет утечки могут достигать 30–50 % [135].

На территории города Томска существует развитая водопроводно– канализационную сеть, которая эксплуатируется в течение многих десятилетий. Впервые городские водопроводные сети начали эксплуатироваться в 1903 году. Первая сеть ливневой канализации была введена в работу в 20-х годах прошлого столетия. За длительный период эксплуатации и водопроводные и канализационные сети неоднократно и реконструировались. На территориях относительно новых микрорайонов, к которым можно условно отнести Иркутский тракт и Каштак имеются сравнительно новые водопроводные сети. В то время как на участках старой застройки водонесущие коммуникации эксплуатируются в течение 50 лет и более. Наиболее полная количественная оценка утечек на городской территории приведена в сводной комплексной работе «Отчет по наладке учета воды и снижению утечек на водопроводе г. Томска», проведенной ревизионной комиссией Новосибирского управления водопроводно– канализационных сетей. По данным этого отчёта потери воды только на водопроводных системах составляли 14,6 % от подаваемого расхода, а количество повреждений трубопроводов, регистрируемых на 10 км длины водоводов за год, достигали в среднем 40. Причём фиксировалась значительная амплитуда размаха этих значений от 20 на сравнительно новых магистральных водоводах с достаточно большими диаметрами до 100 аварий на старых водопроводящих сетях. Эти цифры убедительно показывают, что с учётом дополнительных значительных потерь при сбросе использованной воды через канализационные сети, есть основание утверждать, что на территории города теряется не менее 20 % от суммарного водопотребления, т.е. в абсолютных цифрах утечки достигали 25–30 тыс. м³/сутки.

В самое последнее время обозначились современные тенденции в формировании техногенного инфильтрационного питания на городской территории. Во-первых, заметно снизилось суммарное водопотребление от пиковых значений на уровне 200 тыс. м³/сут в 70-х годах прошлого века до 140–150 тыс. м³/сут. Такое уменьшение расходования водных ресурсов объясняется активным внедрением в повседневную практику эксплуатации систем

водоснабжения приборов учета потребляемой воды, что не только способствует более рациональному её использованию, но и напрямую влияет на снижение темпов развития подтопления. Во-вторых, нельзя не заметить и появления факторов прямо противоположной направленности. На сегодняшний день не только появилась, но и активно развивается застройка жилых кварталов повышенной этажности (более 9-ти этажей). Для Томска такой тип освоения территории является новинкой строительной индустрии. В связи с этим нельзя не отметить возрастающей роли барражного эффекта за счёт значительного увеличения длины свай до 18–20 м [107].

Пространственное распределение потерь воды по площади города при отсутствии инструментальных методов учета можно считать в первом приближении прямо пропорциональным величине водопотребления. Для городской территории характерной особенностью является практически полное отсутствие крупных промышленных предприятий с высоким уровнем водопотребления, поэтому его распределение по площади можно считать относительно равномерным. По данным управления водопроводно-канализационного хозяйства, которые в своё время были систематизированы для целей обоснования автоматизированной системы управления водоснабжением, установлено, что на большей части городской территории в границах низкоэтажной селитебной застройки удельное водопотребление составляет менее $50 \text{ м}^3/\text{сут}/\text{га}$. Для новых микрорайонов с развитыми водопроводными и канализационными сетями удельное водопотребление характеризуется максимумом, не превышающим $100 \text{ м}^3/\text{сут}/\text{га}$. На территориях промышленных предприятий удельное водопотребление находится в пределах от 100 до $200 \text{ м}^3/\text{сут}/\text{га}$. Только в отдельных случаях оно может превышать $200 \text{ м}^3/\text{сут}/\text{га}$. Анализ существующего распределения водопотребления позволяет дать обобщённую характеристику городской территории по интенсивности потребляемой воды на единицу площади. За методическую основу такой оценки приняты «Рекомендации по прогнозам подтопления» [122]. В соответствии с их требованиями городская территория отнесена к двум группам *Д* (до $50 \text{ м}^3/\text{сут}/\text{га}$)

и G (50–500 м³/сут/га), т.е. к площадям с малым уровнем водопотребления. Поэтому Томск относится к территориям, для которых интенсивность водопотребления можно относить к условиям, способствующим усилению степени потенциальной подтопляемости, только при односторонней направленности действия всех факторов подтопления.

Таким образом, анализ основных факторов, определяющих степень потенциальной подтопляемости, позволяет утверждать, что территория города в целом не является склонной к формированию процессов подтопления грунтовыми водами. Высокие гипсометрические отметки подавляющей части городской территории, преимущественно песчаный и супесчаный геологический разрез, глубокое залегание уровней и достаточно высокая степень дренированности основных водоносных горизонтов не способствуют значительным подъемам грунтовых вод. Потенциально подтопляемыми являются верхние части разреза плоских поверхностей высоких террас и водораздела, где при благоприятном геологическом строении (фильтрационные разрезы типов Ф-II-I и Ф-III-I) могут формироваться слабо дренируемые горизонты верховодки. Это явление и его возможные отрицательные последствия должны находить отражение в методике изыскательных работ и принятых инженерных решениях при освоении территорий [67].

3.2. Характеристика подтопляемых территорий

На территории Томска, подтопление широко развито. Осложнения, связанные с изменениями уровня подземных вод, возникают в районе оз. Белого, в Березовой роще, в микрорайоне Каштак, на пересечении пр. Ленина и ул. Беленца, в Университетской роще, в микрорайоне Солнечный и др.

Повышение уровней подземных вод, вызванное освоением новых районов и реконструкцией старых, наиболее четко проявляются на участках, склонных к формированию процессов подтопления. К таким участкам относятся территории, где приповерхностная толща пород сложена грунтами с высокими фильтрационными свойствами (пески, супеси, галечники, слои насыпного грунта, лессовидные суглинки), ниже которых залегают слои слабопроницаемых и водоупорных грунтов (глины, суглинки от легких до тяжелых, иловатые разности пород). К непосредственной причине повышения уровней подземных вод в этих случаях можно отнести ухудшение условий дренирования территории. Прежде всего это можно связать с проявлением барражного эффекта при строительстве сооружений на свайных основаниях. Типичными примерами проявления такого эффекта служат микрорайоны Каштака и Иркутского тракта, жилые кварталы по ул. Нахимова, Елизаровых. В этих случаях свайные фундаменты многоэтажных зданий представляют собой практически водонепроницаемые фильтрационные завесы, резко перестраивающие структуру фильтрационного потока.

В этом отношении характерно изменение гидрогеологических условий в районе Иркутского тракта. Здесь до начала строительных работ верхняя часть геологического разреза была практически безводной. Только на ограниченных участках фиксировались проявления верховодки сезонного типа. После начала активного строительства новых микрорайонов верховодка стала приобретать черты регионального грунтового потока. Массовая застройка внутри жилых кварталов образует площадную систему, резко ухудшающую общие условия разгрузки подземных вод, внося существенный вклад в приходную составляющую водного баланса территории. Локальные участки верховодки, образованные на прослое деградированных лёссов, к настоящему времени

объединились, утратив полностью характер сезонности, и могут рассматриваться как типичный безнапорный водоносный горизонт техногенного происхождения с общим направлением фильтрационного потока.

Особенно опасны процессы подтопления в районах, где в связи с особенностями геологического строения на отдельных участках уже в естественных условиях проявляются нежелательные геологические явления. Такие явления мы наблюдали на участках, прилегающих к микрорайону «Солнечный». Здесь, на склоне долины ручья, деревья в березовой роще имеют наклонные или изогнутые стволы (рис. 3.4).

Такой характер растительности (так называемый «пьяный лес») свидетельствует о неустойчивости склона и идущих на нем оползневых процессах. На это обстоятельство при выборе площадки для строительства обратили внимание, однако, в связи с тем, что сама территория площадки была устойчива, а подземные воды залегали глубоко, от строительства не отказались. В дальнейшем построенные дома оказались в аварийном состоянии. И этого следовало ожидать, так как микрорайон «Солнечный» является типичным примером условий, благоприятных для развития процесса подтопления под влиянием городской застройки [92].



Рис.3.4. Оползневой склон в микрорайоне «Солнечный»

В пределах территории микрорайона «Солнечный» в составе водоносного комплекса четвертичных отложений выделяется водоносный горизонт Томь-Яйского водораздела, залегающий обычно на больших глубинах (15–20 м) и сохраняющий самостоятельное значение при наличии глинистого водоупора. Вмещающие озерно-аллювиальные отложения и перекрывающая их субаэральная покровная толща обводнены локально и содержат подземные воды верховодки. В пределах рассматриваемого участка все эти гидрогеологические подразделения развиты в полном объеме и имеют свою специфику (рис. 3.5).

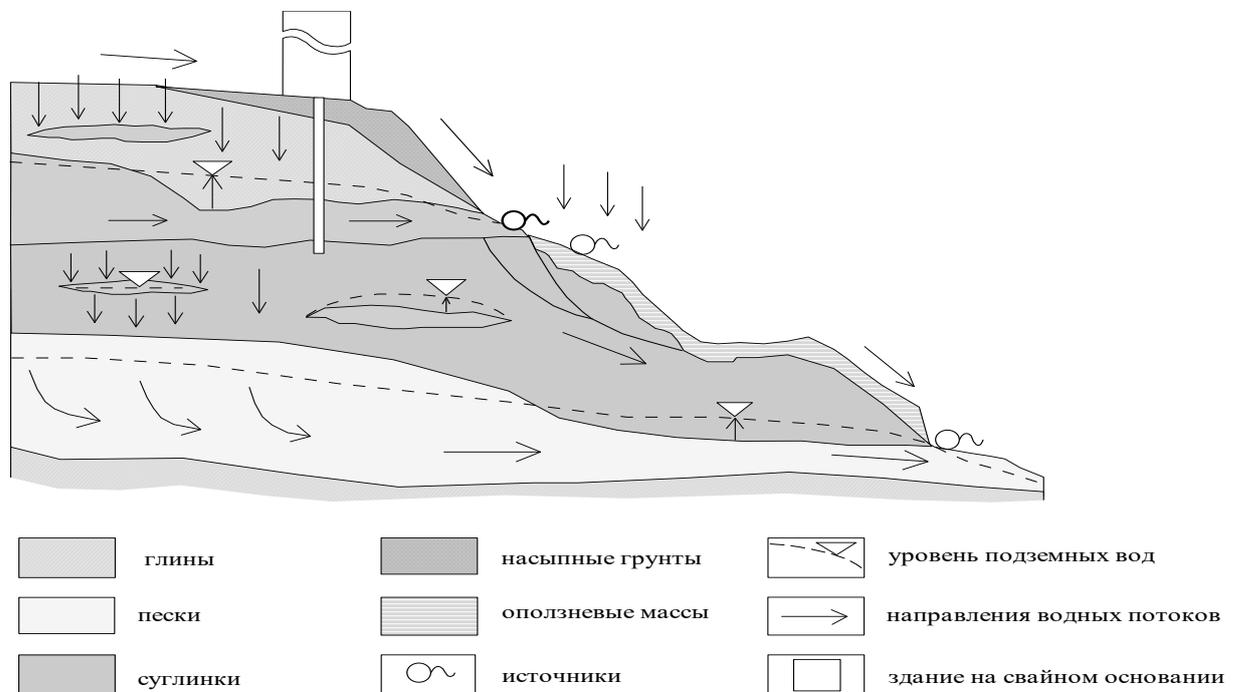


Рис. 3.5. Схема гидрогеологического строения микрорайона «Солнечный»

Верховодка отмечается в различных частях геологического разреза и приурочены преимущественно к супесям, залегающим в толще суглинистых грунтов в виде линз, пропластков и слоев. Наиболее крупным из таких образований является слой супесей, распространенный повсеместно на территории плато, на поверхности которого расположена застройка,

повторяющий его (плато) конфигурацию и обрезающийся по периметру логами, расчленяющими рельеф (рис. 3.6).

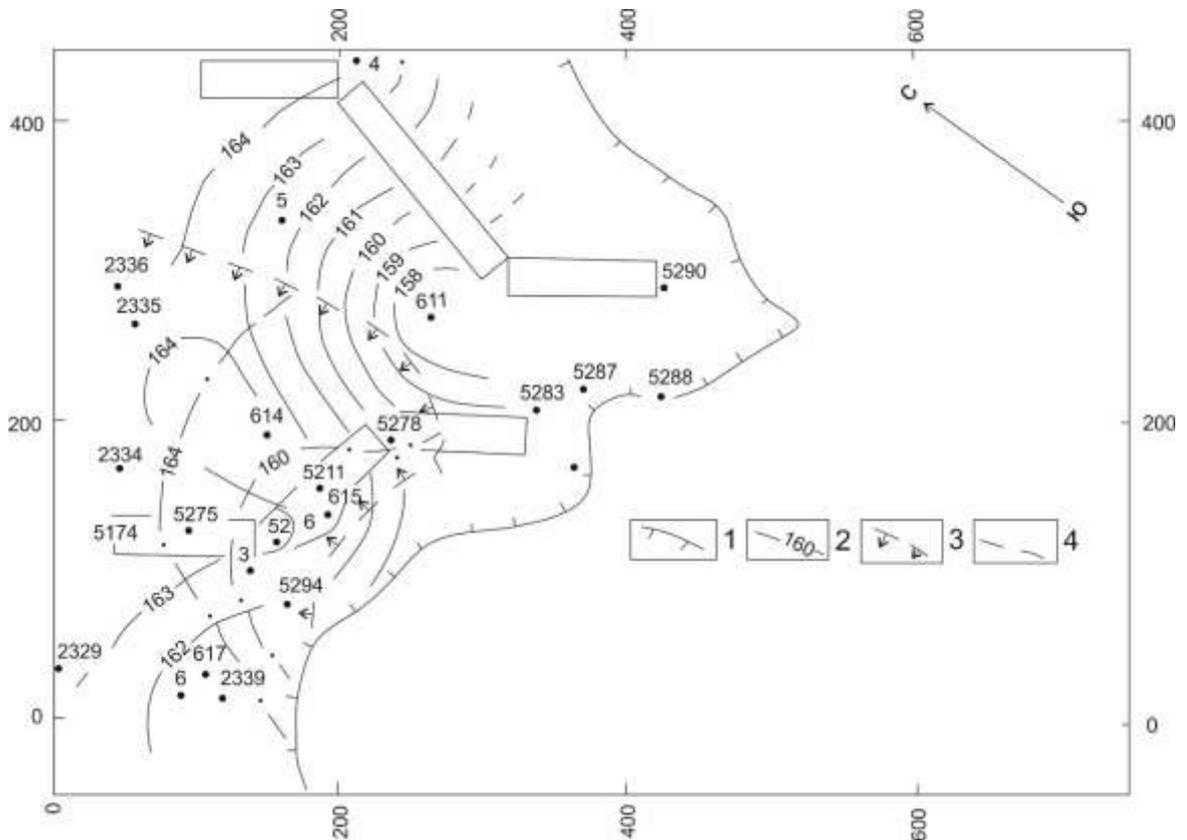


Рис. 3.6. Изолинии уровней подземных вод в супесях

- 1 – граница распространения горизонта супесей;
- 2 – изолинии уровней подземных вод, 1994 г.;
- 3 – граница развития верховодки, 1966 г.;
- 4 – изолинии уровней верховодки.

Глубина залегания горизонта супесей определяется отметками кровли от 161–162 м (скв. 5276, 6 и др.) до 163–164 м (скв. 5281, 4 и др.).

Мощность супесей изменяется от 0,9–1,3 м (скв. 5283-а, 615) до 3,8–4,5 м (скв.6, 2339).

Фильтрационные характеристики в процессе изысканий практически не изучены. По результатам двух экспресс-откачек из скважин 617 и 618 коэффициенты фильтрации составляют 0,28 и 0,77 м в сутки.

Следует отметить, что результаты откачки из скв. 617 относятся к грунтам пласта в естественном состоянии на поверхности плато, а скв. 618 встретила их, вероятно, в переотложенном оползневыми и суффозионными

процессами в виде в днище лога, ниже отметок выклинивания пласта в откосе оползневого цирка.

Кровля и подошва пласта, суглинистые и являются относительными, слабо проницаемыми водоупорами, что предопределяет тип фильтрационного разреза, потенциально склонного к развитию процессов техногенного подтопления. По результатам единичных экспресс-откачек из скважины 606, вскрывающей суглинки подошвы за пределами распространения описываемого горизонта, и скв. 612, расположенной в районе разрушенных гаражей, их коэффициенты фильтрации составляют 0,085 и 0,07 м/сут.

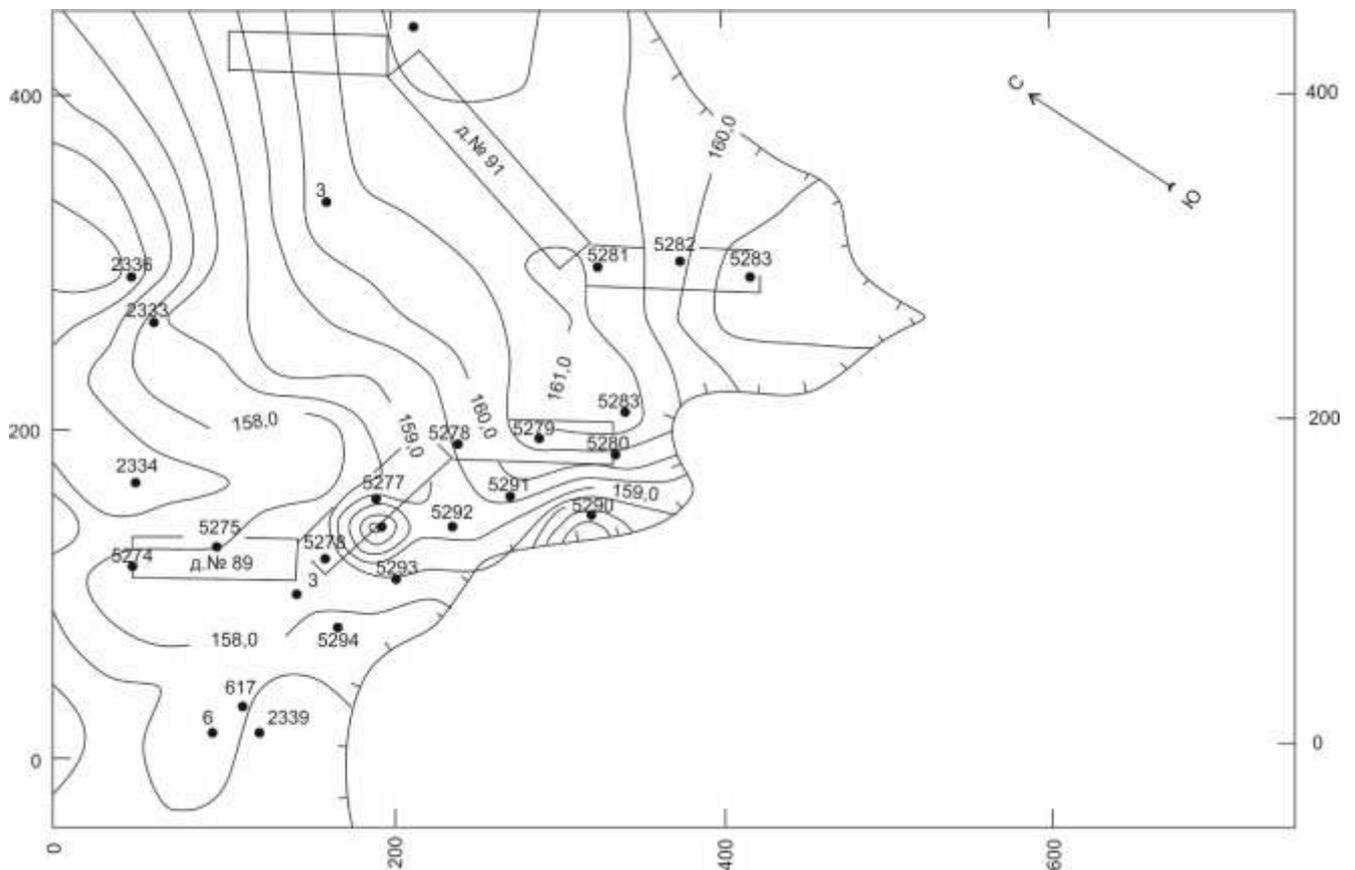


Рис. 3.7. Изолинии подошвы супесей

На рис. 3.6 показаны гидроизогипсы, определяющие господствующее направление разгрузки подземных вод и гидроизогипсы. Первоначально на участке второй и третьей секций дома 89 уже существовала техногенная верховодка, относящаяся к влиянию Иркутского тракта. Она охватывала район скважин 2329–5274–5278–2335–2336 с уровнями воды на отметках

159,2–161,8, в южной части имела прерывистый характер и разгружались частично перетеканием через суглинистую подошву. Скважины восточной части и вдоль южной границы участка были сухими. В дальнейшем верховодка приобрела сливной характер, а уровни на участке поднялись на 3–4,5 м, установившись по скважинам 614 и 615 на отметках 164,2 и 164,35 м (скв. 5277, расположенная в 10 м от скв. 615, в 1986 г. имела уровень 159,75 м абс.). Следует подчеркнуть, что верховодка практически перестала быть таковой и в настоящее время является типичным техногенным межпластовым водоносным горизонтом, напорным на большей части территории.

Направление движения и характер разгрузки определяются строением рельефа и влиянием застройки. В восточной части участка в районе скв. 618, 616, 613 ориентировка потока осталась неизменной. Разгрузка осуществляется в вершине лога, где супеси выходят на дневную поверхность, обнажаясь эрозионными процессами (рис. 3.7). Непосредственно на участке застройки поток резко деформирован. Направление его изменилось за счет дополнительного техногенного питания и барражного эффекта свайных фундаментов.

Расчет, произведенный по разработанным номограммам для оценки подъема уровней при подтоплении, по факту подтопления дает очень высокое значение дополнительной инфильтрации, равное 0,072 м/сут или 720 м³ на 1 га территории. При всей приблизительности расчета (в качестве расчетного коэффициента фильтрации покровных отложений из-за отсутствия сведений принят коэффициент фильтрации подстилающего слоя, что, конечно, не одно и то же), он однозначно свидетельствует как о потерях из водонесущих коммуникаций, так и о существенном влиянии зарегулированности стока.

Песчаный водоносный горизонт развит на территории микрорайона повсеместно. Представлен он мелкими и средней крупности песками переменной мощности, залегающими на волнистой поверхности глинистой подошвы, являющейся региональным водоупором. В кровле горизонта состав отложений более разнообразен – от глин до супесей.

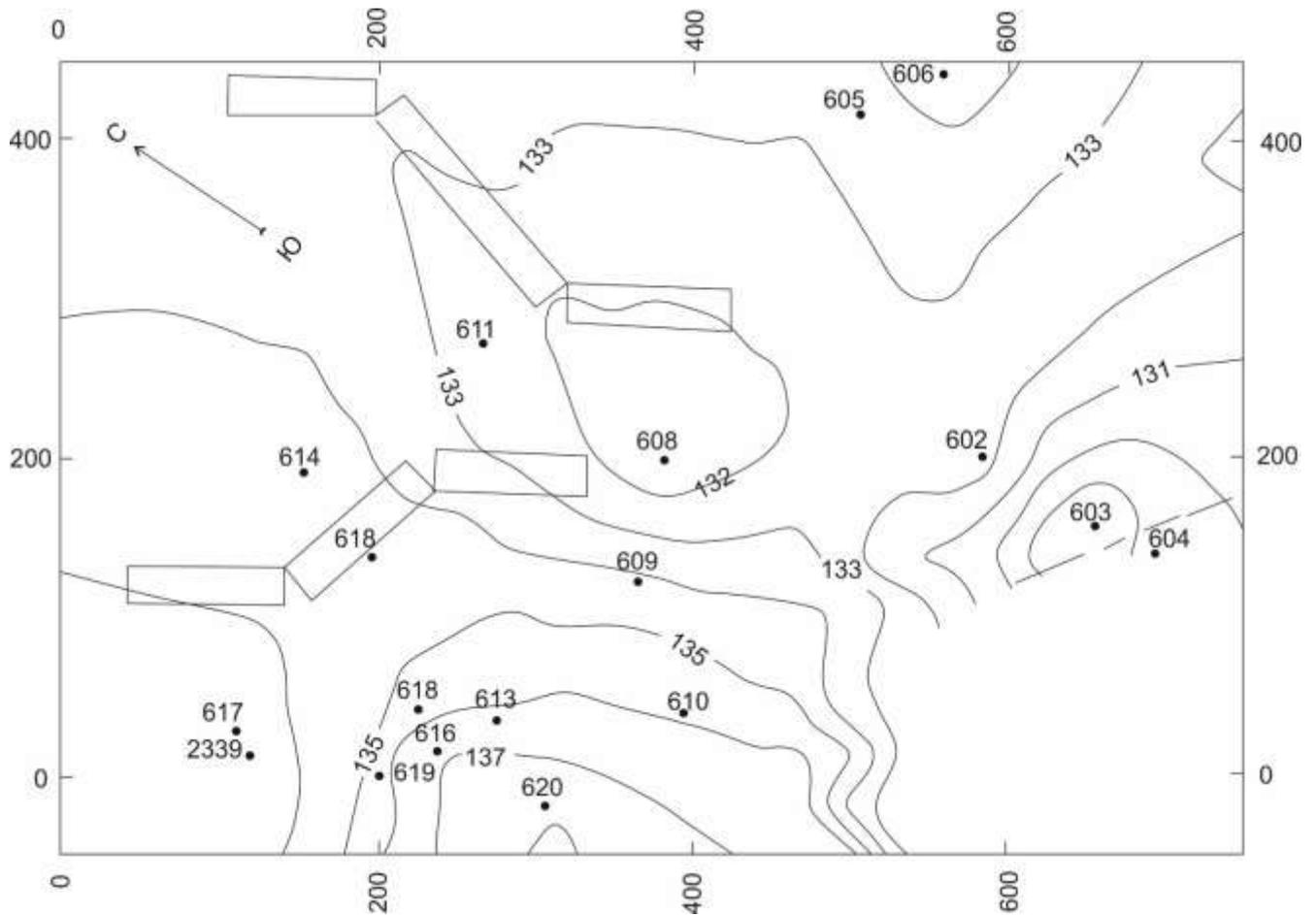


Рис. 3.8. Изолинии подошвы песков

Мощность водоносных песков изменяется и колеблется от 17–18 м на участках частных водоразделов между логами до 3–1,5 м, а иногда и до полного исчезновения в тальвеговых частях лога (со стороны д. 89) (рис. 3.8–3.10).

Водоносный горизонт имеет напорно-безнапорный характер, что зависит, главным образом, от его мощности и гипсометрического положения кровли пласта. На водораздельных участках с повышенной мощностью он безнапорный (скв. 611, 614, 605 и др.), на участках погружения и резкого уменьшения мощностей имеет слабые (1,3–1,6, по скв. 610 до 2,8 м) напоры.

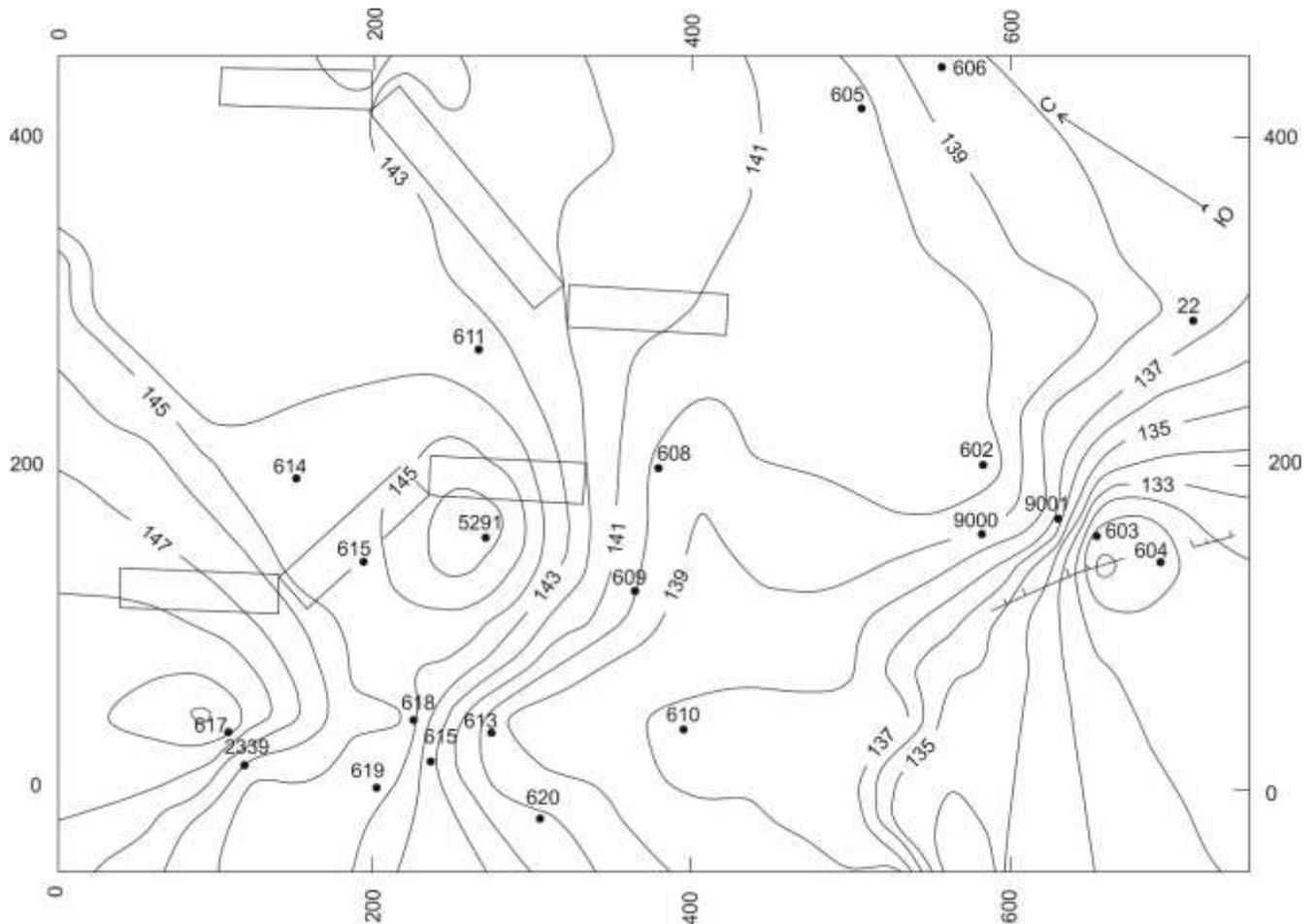


Рис. 3.9. Изолинии кровли песков

Такое геологическое строение обязано, вероятно, истории развития структуры и рельефа. Первоначально горизонт песков, залегающий почти горизонтально, имел повсеместно мощность 10–15 м. Под влиянием эрозионных процессов и стока по логам верхние части горизонта были срезаны до отметок, близких современному положению кровли; после чего плоскостной смыв и аккумуляция сформировали грунты кровли в пределах логов. Таким образом, создалась структура горизонта в миниатюре близкая структурам моноклиальных склонов предгорных шлейфов – ориентированное падение с уменьшением мощностей до полного выклинивания и возникновение напоров в нижней части склона. Основное направление стока юго-восточное, совпадающее с генеральной экспозицией склона водораздела, в пределах участка поток деформируется, создавая купол растекания с максимальными отметками уровней поверхности около 145 м. В

юго-восточном направлении от территории застройки, совпадающем с осью частного водораздела, гидравлические уклоны потока составляют 0,012–0,016, на периферии увеличиваясь до 0,07–0,08, а на узколокализованных участках резкого уменьшения мощностей и экранирования пласта покровными образованиями достигают 0,14. В этих условиях разгрузка подземных вод осуществляется единичными эрозионного типа источниками и мочажинами, а также восходящими перетоками в тальвеговых частях логов.

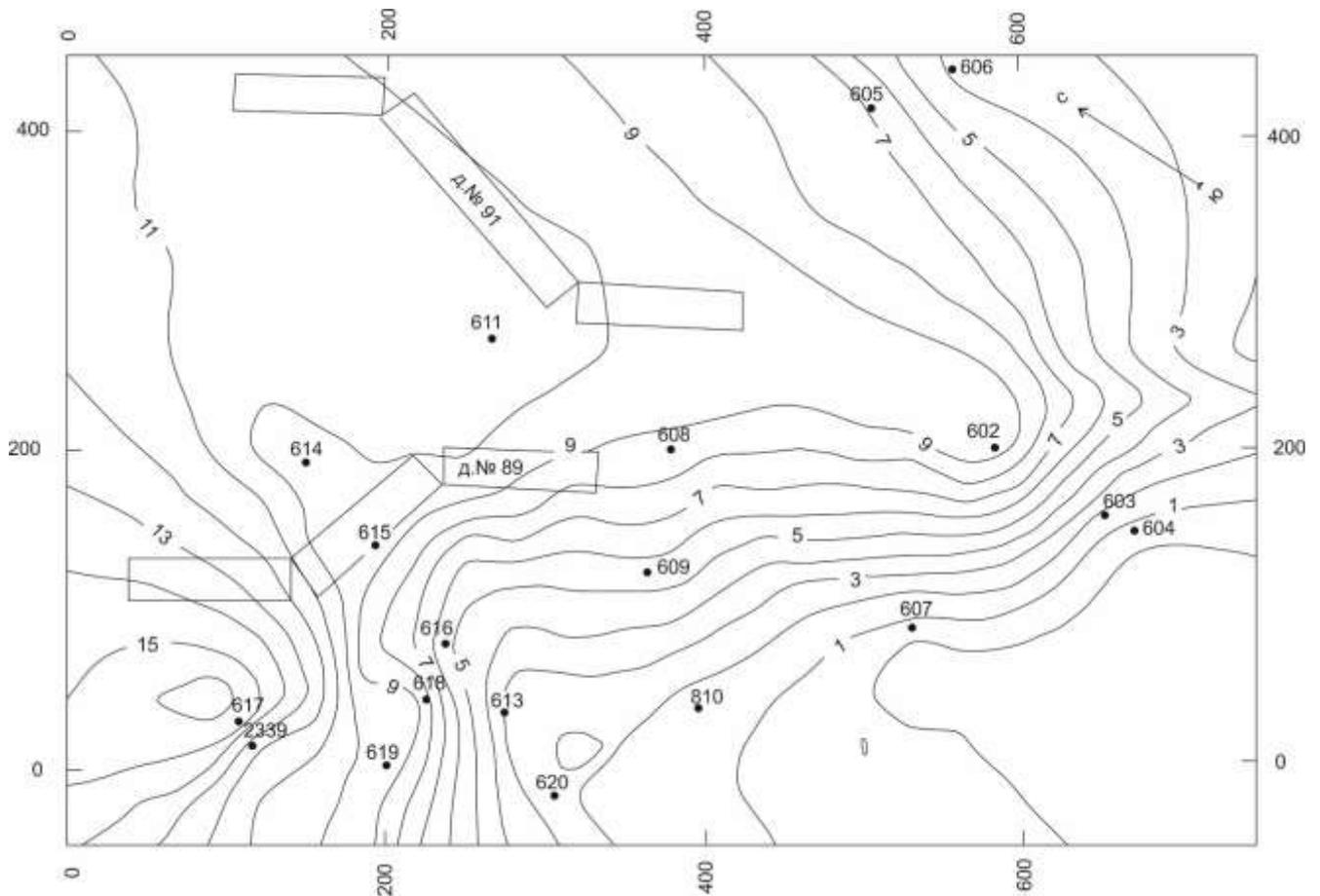


Рис. 3.10. Изомощности горизонта песков

Фильтрационные свойства песков при изысканиях опытно-фильтрационными работами не изучались. По ориентировочным оценкам, проведенным нами на основании единичных сведений о гранулометрическом составе, с использованием номограмм Н.Н. Виндемана, составленным по уравнениям Слехтера и Терцаги, коэффициенты фильтрации составляют 5–7

м/сутки. Проведенный с использованием средней из этих величин ориентировочный расчет величины расхода подземного потока в сечении изогипсы с отметкой 140 м дает величину подземного стока порядка II л/с (рис. 3.11).

Мы отдаем себе отчет в условности такого расчета, но результаты его вполне согласуются с общей обстановкой формирования подземного стока. В частности, полученная величина расхода согласуется с расходом ручья (расход 20–25 л/с), питающегося, в основном, за счет подземных вод. О последнем свидетельствуют химический состав и относительная микробиологическая чистота, сходные с показателями, полученными по пробам воды из родника в тчк. 22.

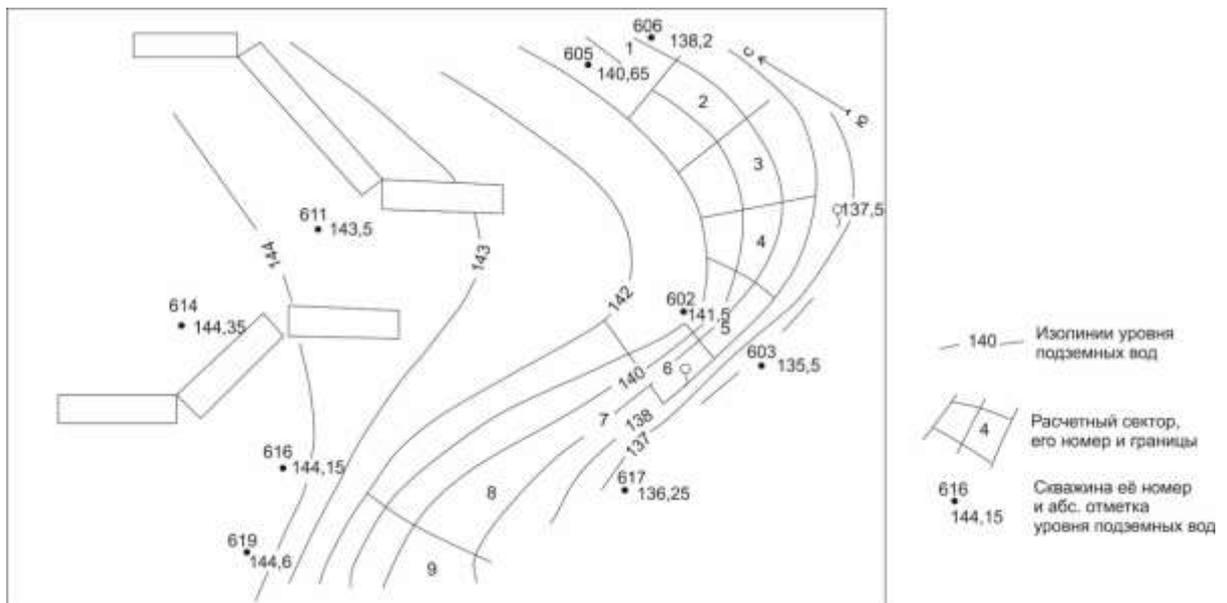


Рис. 3.11. Схема к расчету подземного стока

С точки зрения развития процессов подтопления водоносный горизонт песков непосредственно на территории застройки играет дренирующую роль. Однако, необходимо обратить внимание, что даже на участках повышенных мощностей уровни подземных вод устанавливаются вблизи кровли водоносного горизонта. Это свидетельствует, что емкостные резервы пласта практически исчерпаны и дальнейшее, даже небольшое увеличение интенсивности питания приведет к насыщению пород кровли и,

следовательно, к дальнейшему снижению их прочностных свойств. В пониженных частях пласта, где он имеет напорный характер в естественных условиях, это обстоятельство является одной из основных причин потерь устойчивости грунтовых масс.

Химический состав подземных и поверхностных вод охарактеризован по результатам опробования, проведенного в процессе изысканий ТомскТИСИзом (общий химический анализ) и нашего опробования поверхностных водопроявлений (общий и микробиологический анализы производились в ПНИЛ гидрогеохимии ТПУ).

Скважины характеризуют верхние водоносные горизонты супесчаных и суглинистых пород, водопроявления – как собственно подземные воды, так и их смешение с поверхностными, в том числе имеющими техногенное загрязнение. Воды в зависимости от их принадлежности различны по величине общей минерализации, содержаниям и соотношениям основных макрокомпонентов, микробиологическому составу.

Воды верхних субаэральных супесчаных и суглинистых горизонтов, по сравнению с водами горизонта песков, наряду с большей минерализацией характеризуются более пестрым катионным и анионным составом. Для этих же вод наблюдается увеличение минерализации и изменение катионно-анионного состава с глубиной. На глубине одного метра они имеют общую минерализацию порядка 500 мг/л и преимущественно гидрокарбонатный кальциевый и кальциево-магниевый состав, но уже на глубине нескольких метров приобретают минерализацию 600–1000 мг/л, а доля содержаний хлоридов, сульфатов и иона натрия возрастают.

О степени техногенного влияния можно судить по величине NH_4 и микробиологическому составу. В водах с глубины один метр содержание NH_4 2 мг/л, с глубины трех метров – 1 мг/л, на больших глубинах NH_4 в следовых концентрациях или не обнаруживается вообще. Поверхностные водопроявления, по сравнению с водами из скважин, обогащены азотистыми соединениями (NH_4 от 1,1 до 30 мг/л). Из опробованных нами водопроявлений

наиболее «чистыми», как по показателям химического, так и микробиологического состава вод, являются пробы 22 и 17, характеризующие собственно разгрузку подземных вод. Схожесть этих вод с подземными подтверждается значительными концентрациями СОН. Наиболее "грязны" по всем показателям воды пробы, отобранной из ручья, сформированного разгрузкой подземных вод и сточными водами. Остальные пробы занимают промежуточное положение.



Рис. 3.12. Разрушенные гаражи и расселенный дом в аварийном состоянии (мкр. Солнечный)

В настоящее время построена дренажная система, состоящая из подпорных стенок и дренажных колодцев, гаражи восстановлены, а дом вновь заселён (рис. 3.12–3.14). При этом во дворе, на месте бывшего котлована, который крайне негативно влиял на развитие процессов подтопления, строится здание на свайном основании.



Рис. 3.13. Дренажный колодец

Такие процессы, хотя и не имеющие столь серьезных последствий, отмечены и в других частях города на участках разгрузки подземных вод на склонах речных долин.

Подобные изменения можно ожидать и на Каштаке. Вероятно, в дальнейшем в этом районе процесс подтопления получит еще более яркие проявления, чем на Иркутском тракте. Основанием для такого вывода является расположение жилых кварталов, вытянутых поперек основного направления разгрузки подземных вод. В этих условиях барражный эффект сказывается наиболее активно.



Рис. 3.14. Подпорная стенка

Интенсивные процессы подтопления отмечены в районе улиц Нахимова, Елизаровых, Красноармейской. На этих территориях развиты геологические разрезы, благоприятствующие подъему уровней подземных вод. При изысканиях под строительство верховодка была отмечена здесь лишь на отдельных участках, большая часть водораздельной территории была практически сухой. В районе пл. Южной располагались карьеры кирпичного завода, которые в дальнейшем были засыпаны. Нарушение поверхностного стока при строительстве, наличие котлованов, заполненных рыхлыми насыпными грунтами, и, особенно, аварийные утечки из водопроводно-канализационных сетей привели к формированию сплошного верховодного горизонта, а строительство жилых домов на свайных основаниях вызвало подпор разгружающегося потока. В результате подвальные помещения отдельных зданий оказались затопленными. Подобные процессы возможны и при дальнейшем освоении этого района [67].

4. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДРЕНИРОВАННОСТИ ТЕРРИТОРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

Понятие дренированности является термином широкого толкования и применяется большинством исследователей как характеристика, отражающая совокупность условий, определяющих скорость и объемы оттока поверхностных и подземных вод с той или иной территории. Это понятие достаточно широко используется при проектировании инженерной защиты от процессов подтопления, при определении структур почвенного покрова для размещения господствующих типов растительности, при разработке схем зонирования для определения мелиоративных мероприятий и проч.

Вместе с тем, четких методических указаний по непосредственной количественной оценке степени дренированности территорий нет. Для получения количественной характеристики, нам представляется целесообразным пойти по пути выявления набора факторов, обуславливающих степень дренированности, и определять их величины и значимость в системе балльных экспертных оценок.

Совокупность основных факторов, определяющих степень дренированности, по нашему мнению, можно разделить на две группы, каждая из которых содержит природную и техногенную составляющие.

Первая группа отражает способность массива к фильтрации подземных вод и определяется как особенностями строения геологического разреза и фильтрационными свойствами пород, так и масштабами, и характером элементов техногенного воздействия (барражи, дренажные системы и проч.).

Вторая группа факторов зависит от характера естественно-природного или техногенно измененного рельефа, определяющего плановое и высотное положение базисов дренирования и, соответственно, возможность формирования, структуру и динамическую составляющую разгружающегося фильтрационного потока.

Для выявления особенностей геологического разреза и определения фильтрационных параметров слагающих его пород необходимы значительные

физические объемы дорогостоящих натурных исследований. Достаточно трудоемкими оказываются и традиционно используемые подходы к специализированному анализу строения рельефа, однако информация о его параметрах может быть получена на основе цифровых моделей (ЦМР).

Появившаяся в настоящее время методическая основа и программное обеспечение по созданию и использованию цифровых моделей рельефа (ЦМР) средствами современных геоинформационных систем (ГИС), позволяет на новом уровне подойти к анализу и решению этих вопросов. Появление ЦМР достаточно высокого пространственного разрешения, а также рост вычислительных возможностей персональных компьютеров способствовали развитию в геоинформационных системах функционала по анализу гидрологических и морфометрических характеристик территорий.

В качестве источника информации для создания ЦМР регионального уровня могут быть использованы данные высотной съемки SRTM-3 Национального управления США по авиации и исследованию космического пространства (NASA) [1–4]. Ранее опыт обработки таких высотных данных, средствами ГИС *Ilwis 3.5*, позволяющей проводить построения гидрографической сети и получение ее морфометрических характеристик был показан в работе [87]. Для создания итогового картографического материала применялся *ArcGIS 9.3* [5,6]. Построенная ЦМР регионального уровня была использована для изучения особенностей формирования подземного стока Кузнецкого Алатау.

Построение ЦМР локального уровня можно производить путем интерполяции оцифрованных изолиний крупномасштабных топографических карт. Такой источник высотных данных был использован нами для оценки дренированности территории города Томска [170].

Общую схему действий, производимых для создания цифровых карт характеристик рельефа, можно условно разделить на три этапа (рис. 4.1). Первые два из них являются вспомогательными, третий – основным.

На первом этапе исследований осуществляются преобразование оцифрованных изолиний топографических карт в точечные объекты, получение

единой сетки высот и оценка качества охвата территории полученными данными. Результирующей процедурой, завершающей первый этап, является передача полученной ЦМР в ГИС.



Рис. 4.1. Основные этапы проведения исследований по оценке дренированности территории на основе ЦМР

Обработка данных, созданной ЦМР (рис. 4.2), производится на втором этапе исследований. В целях обеспечения расчета направлений стока со всей территории выполняется процедура по ликвидации бессточных понижений рельефа за счет их выравнивания относительно окружающего пространства (средствами инструмента «fill sinks»). Ликвидируемые при выполнении данной процедуры бессточные понижения рельефа могут рассматриваться как объекты накопления поверхностного и транзита подземного стока.

Затем, на основе выровненной ЦМР определяется направление стока в пределах каждой её элементарной ячейки. Для этого производится расчет величин уклонов для центральной ячейки в блоке размером 3x3. Направление стока определяется путем обнаружения наибольшего уклона (инструмент «flow direction», метод определения направления потока – «steepest slope»). Помимо

направлений стока указанная операция позволяет охарактеризовать экспозицию элементарных ячеек ЦМР. Далее для каждой элементарной ячейки ЦМР производится расчет кумулятивных значений стока. Эти значения представляют собой число ячеек, вносящих свой сток в оцениваемую ячейку под действием сил гравитации, т. е. фактически характеризуют площадь водосбора. Данная операция реализуется инструментом «flow accumulation». [87]

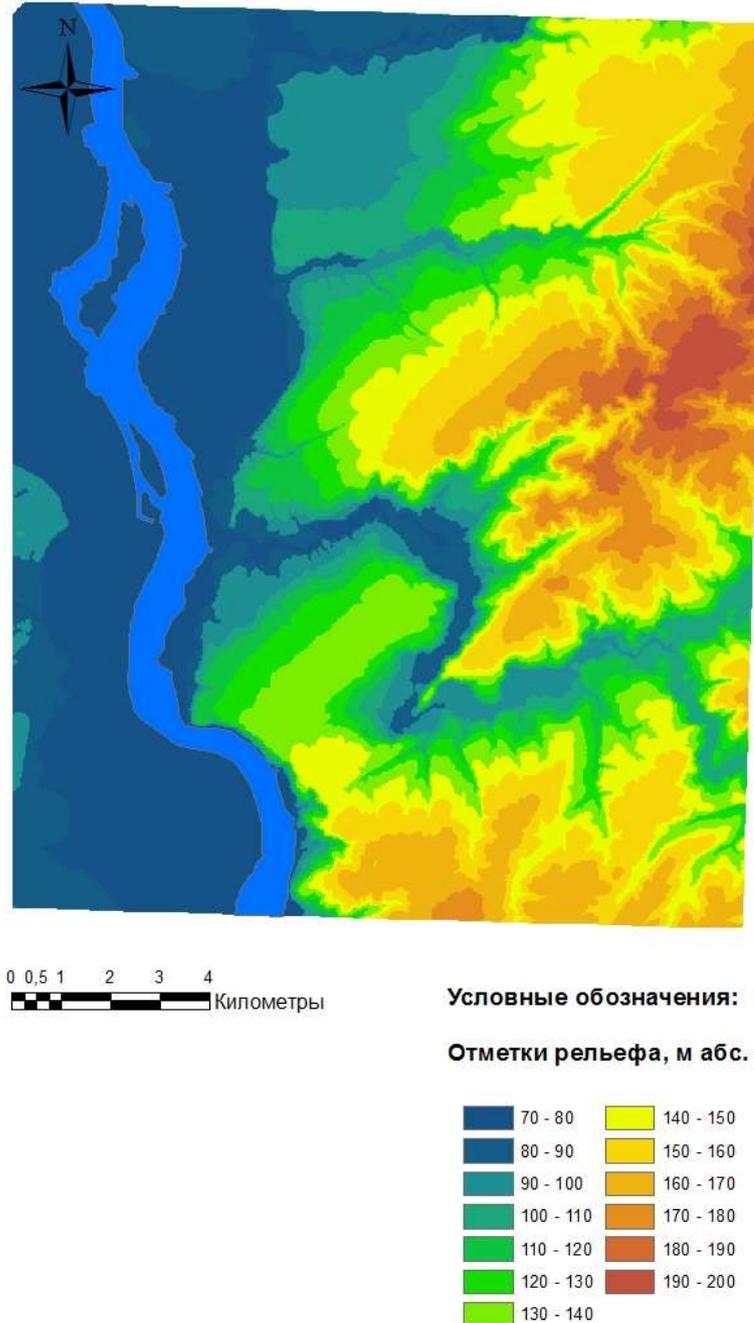


Рис. 4.2. Карта рельефа дневной поверхности территории города Томска

На третьем, заключительном, этапе производится построение карт плотности и глубины вреза эрозионной сети, уклонов дневной поверхности территории (рис. 4.3, 4.4), а также результирующей карты, содержащей интегрированную информацию.

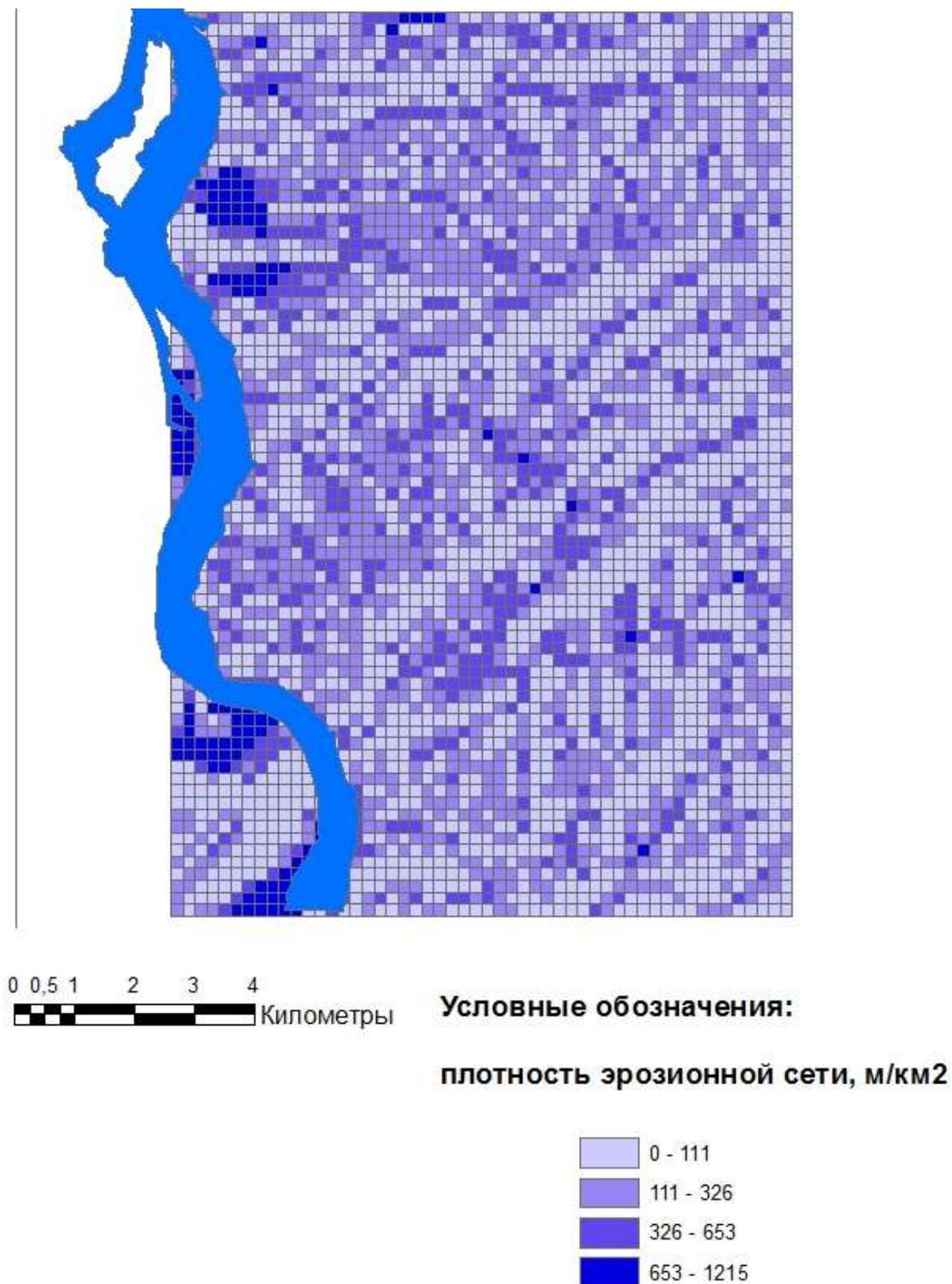


Рис. 4.3. Карта плотности эрозионной сети территории города Томска

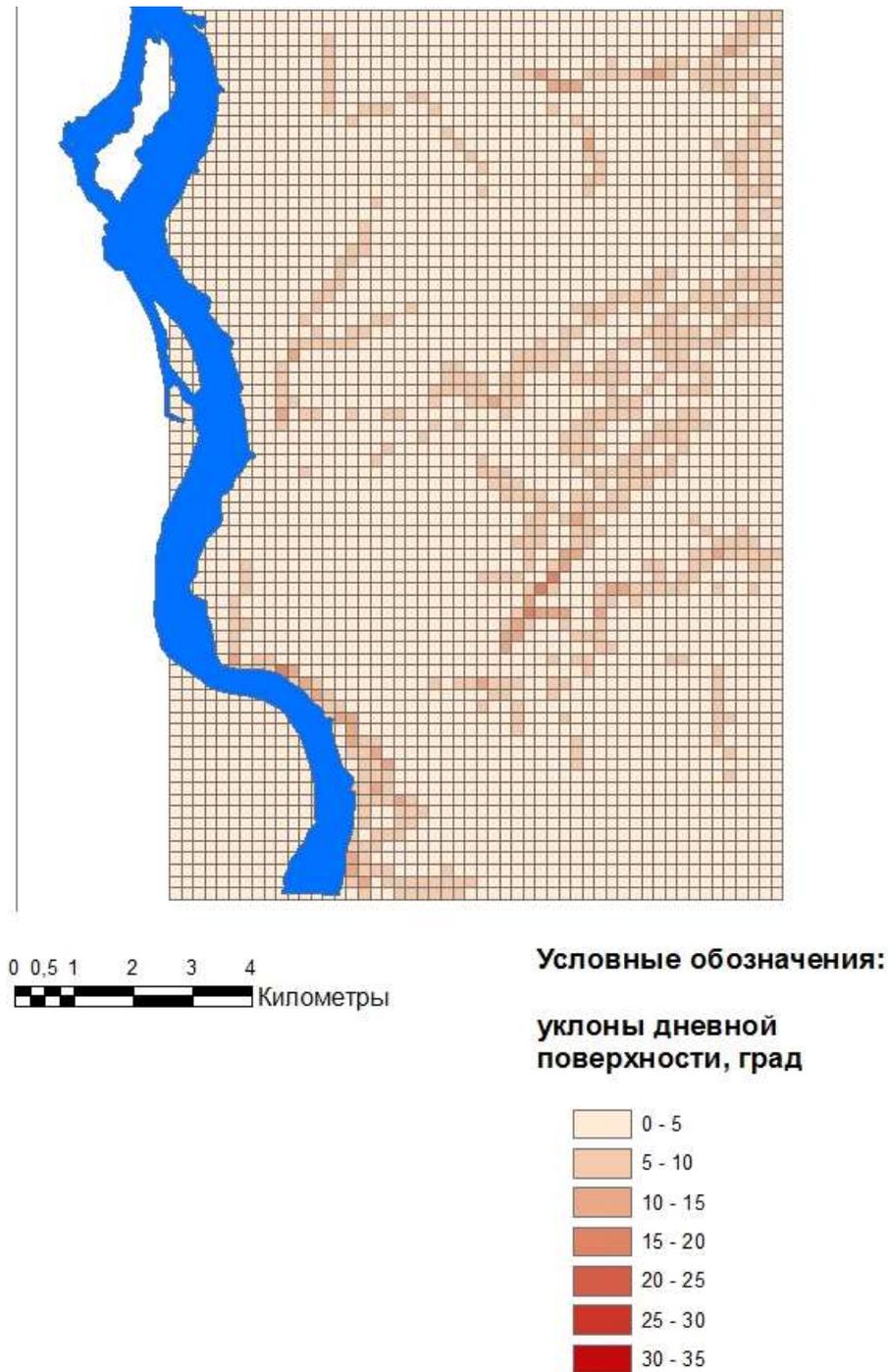


Рис. 4.4. Карта уклонов дневной поверхности города Томска

Построение карты эрозионной сети осуществляется путем вычитания из матрицы кумулятивных значений стока всех его значений, имеющих величину ниже заданного порогового предела, представляющего собой минимальную величину, формируемую путём суммирования элементарных ячеек водосбора, сток с которых попадает в оцениваемую ячейку. Пороговое значение выбирается

исходя из представлений о том, при какой минимальной площади водосбора образуются поверхностные водотоки с устойчивым в течение всего года стоком. В нашем случае пороговое значение принято в 300 элементарных ячеек, что соответствует площади водосбора порядка 2,5 км². Затем выполняется идентификация отдельных водотоков на основе данных по точкам слияниям и их векторизация. Для выполнения этих операций использовался инструмент «drainage network extraction». Точность картографических построений (привязки вершин, конфигурация речной сети), полученных средствами ГИС на основе данных SRTM оценивается путем сопоставления с аналогичными элементами на традиционной топографической карте соответствующего масштаба [87, 101].

Последующие картографические построения и вычисления производились применительно к единице площади ячейки.

Карта уклонов дневной поверхности строится с использованием инструмента «Slope», работа которого в целом аналогична работе инструмента “flow direction”. Оценка уклонов производится путём расчета уклона между центром оцениваемой ячейки и центрами её соседей. Наибольшее значение, присваивается в качестве величины уклона оцениваемой ячейки.

Для оценки плотности эрозионной сети вся территория исследований была покрыта равномерной квадратной сеткой со стороной элементарной ячейки в 100 м. Затем в пределах каждой элементарной ячейки рассчитывалась суммарная длина элементарных дрен и делится на её площадь. Полученное значение присваивается ячейке.

Карта глубины вреза эрозионной сети строится на основе статистического анализа рельефа в рамках сетки, построенной на этапе оценки плотности эрозионной сети. Глубина вреза эрозионной сети оценивается как разность между максимальными и минимальными отметками рельефа, значение которой присваивается оцениваемой ячейке сетки.

Совокупность этих трех характеристик рельефа – уклона поверхности, плотности и глубины вреза эрозионной сети территории, нам представляется,

можно использовать в качестве комплексной оценки роли рельефа и называть коэффициентом дренированности.

Плотность и глубина вреза эрозионной сети характеризуют степень эрозионной изрезанности территории, соответственно, отвечают за связь поверхностных и подземных вод и определяют потенциальную возможность разгрузки поверхностных и подземных вод эрозионной сетью, а величина уклона поверхности косвенно, через гидравлические градиенты отражает интенсивность этой разгрузки.

Результирующая карта коэффициента дренированности территории, выраженного в системе балльных оценок, составляется с помощью функции “field calculator”. Показанные на карте элементы соответствуют выделенным группам дренированности: недренируемые, слабо дренируемые, умеренно дренируемые, хорошо дренируемые.

Общая схема оценки коэффициента дренированности территории Томска в соответствии с приведенные методические приемы показана на рис. 4.5.

Дренированность территории, наряду с типом фильтрационного разреза и интенсивностью источников обводнения, предопределяет степень потенциальной подтопляемости. Для территории Томска впервые важность специального рассмотрения этого вопроса отметил Д.С. Покровский, роль дренированности на тот период исследований учитывалась лишь качественно. Косвенным критерием для ее оценки использовалась глубина залегания грунтовых вод.

На рис. 3 приведена результирующая карта коэффициента дренированности территории города, построенная на количественной основе. Показанные на карте элементы соответствуют выделенным группам дренированности: недренируемые, слабо дренируемые, умеренно дренируемые, хорошо дренируемые. Характеристика, показанных на итоговой карте элементов, соответствующих выделенным группам дренированности, приведена в таблице 4.1.

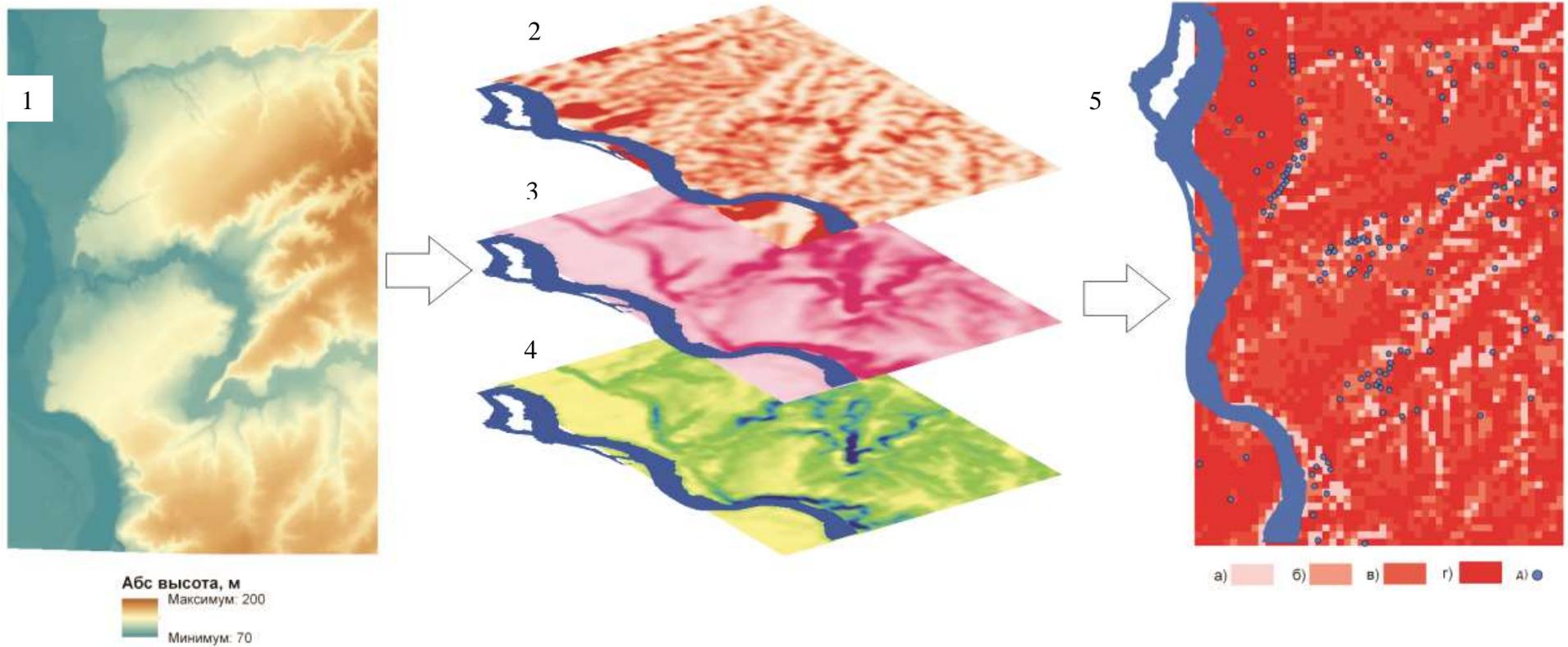


Рис. 4.5. Общая схема оценки дренированности территории города Томска
 1 – цифровая модель рельефа; 2 – карта плотности эрозионной сети; 3 – карта уклонов дневной поверхности;
 4 – карта глубины эрозионного вреза; 5 – карта дренированности

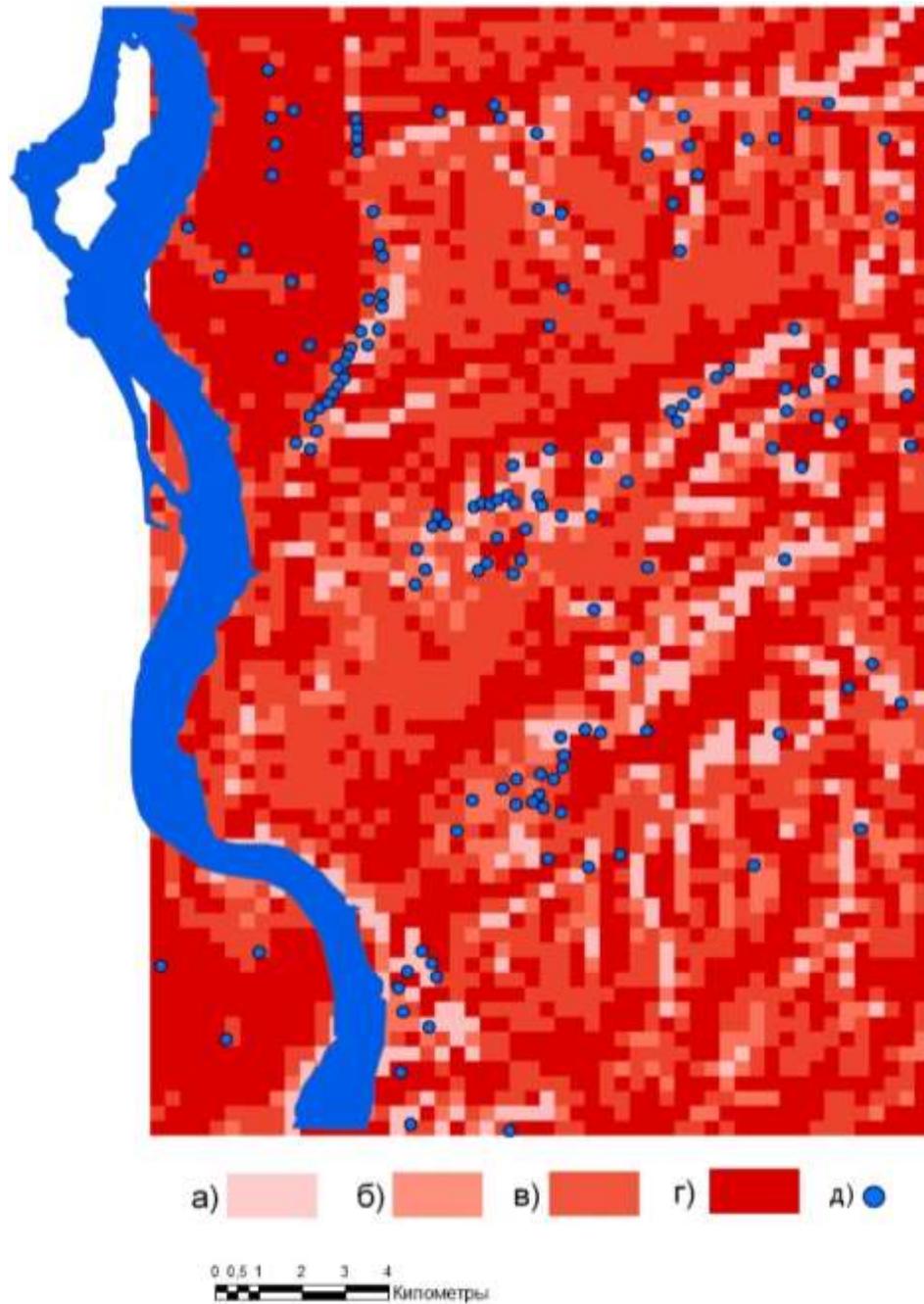


Рис. 4.6. Карта коэффициента дренированности территории города Томска
 а) – хорошо дренируемые; б) – умеренно дренируемые; в) – слабо дренируемые;
 г) – не дренируемые; д) – родники

Для подтверждения правильности предлагаемых подходов к оценке дренированности нами использованы проведенные исследования по картированию родников. Конфигурация полученных полей градаций дренируемых территорий хорошо коррелирует с конфигурацией полей распространения родников, тщательно закартированных А.Д.Назаровым. Это

свидетельствует о принципиальной правильности выбранных подходов к оценке дренированности.

Таблица 4.1

Показатели, характеризующие степень дренированности территории

Категории степени дренированности	Плотность эрозионной сети, min-max	Глубина вреза эрозионной сети, min-max	Уклон дневной поверхности, min-max	Коэффициент дренированности, min-max
	km/km ² (number)	m (number)	degree (number)	(number)
Хорошо дренируемые	0,01–0,03 (0,33–1)	31–62 (0,5–1)	4,8–17,3 (0,28–1)	1,01–3
Умеренно дренируемые	0,005–0,01 (0,17–0,33)	9–31 (0,14–0,5)	2,4–4,8 (0,14–0,28)	0,45–1,01
Слабо дренируемые	0,002–0,005 (0,07–0,17)	4–9 (0,06–0,14)	1,2–2,4 (0,07–0,14)	0,2–0,45
Недренируемые	0–0,002 (0–0,07)	0–4 (0–0,06)	0–1,2 (0–0,07)	0–0,2

Полученные выше характеристики дренированности, зависящие от параметров естественно-природного или техногенно измененного рельефа, определяющего плановое и высотное положение базисов дренирования и, соответственно, возможность формирования, структуру и динамическую составляющую разгружающегося фильтрационного потока, дополненные характеристиками способности массива к фильтрации подземных вод, определяющиеся как особенностями строения геологического разреза (литологический состав пород) и фильтрационными свойствами пород (водопроницаемость), так и масштабами и характером элементов техногенного воздействия (барражи, дренажные системы и проч.) позволят дать полноценную оценку степени дренированности территории в целом.

При неблагоприятных условиях дренирования (слабая расчлененность рельефа проявление барражного эффекта, связанного с естественными и

искусственными факторами, такими как фациальная смена супесчаных и песчаных грунтов суглинистыми, перехваты потока свайными основаниями сооружений, уступы и западины в поверхности нижнего слабопроницаемого слоя и др.) на территории развития фильтрационных разрезов, наиболее склонных к формированию верховодки и процессов подтопления, степень дренированности целесообразно снизить путем экспертной оценки на одну-две категории.

5. ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРА И СТЕПЕНИ ТЕХНОГЕННОГО ПОДТОПЛЕНИЯ

5.1. Состав информационно-поисковой системы

Процесс техногенного подтопления, как это показано в третьей главе, представляет собой многофакторную, развивающуюся во времени систему, способную в процессе своей эволюции приводить к негативным последствиям с точки зрения воздействия на разнообразные сооружения и инженерные коммуникации. В условиях постоянного развития городской территории при уплотнении застройки и освоении новых площадей требуется надежный прогноз изменения гидрогеологических условий под влиянием как существующего, так и перспективного освоения городской среды. На сегодняшний день считается общепризнанным, что решение таких задач, связанных с количественной оценкой движения подземных вод, наиболее эффективной основой прогнозных решений является идеология разномасштабного мониторинга подземной гидросферы, конечным итогом эксплуатации которого является компьютерные карты геоэкологического содержания. Для территории г. Томска такой подход реализовать в современных условиях невозможно, так как в городской черте практически отсутствует сеть режимных гидрогеологических скважин и единая система мониторинга. В таких условиях исключительно важное значение приобретает информационное обеспечение решений прогнозных гидродинамических задач, которые являются методической основой прогноза изменения гидрогеологических условий на осваиваемых территориях.

Несмотря на отсутствие целенаправленных съёмочных геологических и гидрогеологических работ, к настоящему времени для городской территории накоплены значительные объёмы разнородной информации, которая может быть полезной для анализа не только современных гидрогеологических условий, но их изменений под влиянием жизнедеятельности города. Методической основой совместного использования архивных информационных массивов может служить

использование геоинформационных систем, которые получили в последнее время широкое распространение в практике геоэкологических исследований.

Эффективность применения ГИС для этих целей определяется возможностью интеграции, оперативного анализа и комплексной интерпретацией разнотипных данных, обоснованием прогнозов, моделированием техногенных воздействий на геологическую среду и планированием перспективных проектных решений. Активное применение ГИС связывается, прежде всего, с оптимизацией управления территориями и рациональным использованием природных ресурсов. Повышенный интерес к внедрению ГИС-технологий в управленческие структуры обусловлен удобным и интуитивно понятным интерфейсом, в том числе и для неподготовленного пользователя. Основным привлекательным свойством ГИС является их способность к оперативному объединению разнородной информации на основе ее координатной привязки в сочетании с богатым арсеналом средств обработки.

В этой связи, нами предпринята попытка разработки информационно-поисковой системы для актуализации результатов гидрогеологических исследований прошлых лет на основе использования ГИС и технологий гидродинамического моделирования. Ранее на основе обобщения материалов инженерно-геологических изысканий, накопленных в фондах ТомскТИСИЗа, сотрудниками кафедры ГИГЭ были выполнены масштабные работы по изучению процессов техногенного подтопления территории г. Томска [66, 107, 108, 110], которые положены в основу функционирования информационно-поисковой системы.

Информационно-поисковая система (рис. 5.1) включает несколько относительно самостоятельных функциональных блоков, каждый из которых ориентирован на хранение, частичную обработку и передачу информации в рамках решения задач информационно-поисковой системы.



Рис. 5.1. Структурная схема информационно-поисковой системы

Выделение функциональных блоков объясняется необходимостью использования разнородной исходной информации, требующей различных методов её обработки. Краткая характеристика функциональных блоков приведена в таблице 5.1.

Архивный картографический материал представляет собой набор накопленных к настоящему времени результатов исследования городской территории в форме картографических композиций на традиционной бумажной основе. В рамках использования информационно-поисковой системы появляется уникальная возможность представления материалов предыдущих исследований в виде самостоятельных электронных слоев, доступных для оперативного совмещения в единой системе географических координат.

Предварительная обработка картографического материала включает: сканирование бумажных оригиналов с подбором оптимальной степенью

разрешения растровых изображений, сшивку отсканированных фрагментов средствами графических редакторов или геоинформационных систем, оцифровка растровых изображений для перевода их в форматы векторной графики с последующей координатной привязкой.

Таблица 5.1

Функциональные блоки информационно-поисковой системы

Функциональный блок	Пример информационного наполнения	Методы обработки
Архивный картографический материал (на бумажных носителях)	Карта-схема удельного водопотребления	Сканирование, сшивка фрагментов, оцифровка с последующей координатной привязкой
	Гидроизогипсы техногенной верховодки	
	Гидроизогипсы грунтовых вод	
	Границы техногенной верховодки	
	Карта-схема типов фильтрационных разрезов	
Электронные базы данных	Геологические скважины	Согласование файловых форматов, согласование координатных систем, координатная привязка точечных объектов
	Гидрогеологические скважины	
	Родники	
	Памятники архитектуры	
Архивные электронные карты	Отметки и изолинии рельефа	Согласование координатных систем, координатная привязка графических примитивов
	Гидрографическая сеть	
	Границы застроенных территорий	
Иерархические гидродинамические модели	Модель города	Использование баз данных для разработки численных моделей. Включение результатов численного моделирования в состав синтетических карт ИПС
	Модель района	
	Модель строительной площадки	
Электронные карты информационно-поисковой системы	Карта уклонов дневной поверхности	Инструментальные средства геоинформационных систем
	Карта плотности эрозионной сети	
	Карта дренированности территории	
	Карта глубин залегания уровня подземных вод	
	Карта потенциальной подтопляемости территории	

Электронные базы данных содержат исходную информацию в табличном виде, которая сформирована из отдельных записей и полей. Поля электронных баз данных могут быть ключевыми, т. е. дают возможность реализации поисковых критериев для фильтрации всего информационного массива.

Предварительная обработка на этапе наполнения электронных баз данных включает разработку унификации ключевых полей для реализации возможности пополнения электронных таблиц атрибутивной информацией необходимых слоёв электронной карты.

В зависимости от первоначального источника в составе отдельных записей может присутствовать или отсутствовать координатная привязка. В последнем случае требуется дополнительная работа по уточнению местоположения объектов. В отдельных случаях необходимо согласование координатных систем, которое постигается средствами геоинформационных калькуляторов.

Архивные электронные карты используются в качестве топографической основы информационно-поисковой системы. В нашем случае такой базой выступает четыре листа карты масштаба 1:25000. Привязка к системе географических координат даёт возможность точного совмещения разновременных и разномасштабных картографических фрагментов на единой основе.

Предварительная обработка топографической основы заключалась в объединении базовых электронных слоёв четырёх отдельных фрагментов в общий файл. Выделены в самостоятельные электронные слои: данные о рельефе (точечные объекты и изолинии), гидрографической сети (линейные и площадные объекты) и границы застройки (полигоны отдельных зданий).

Иерархические гидродинамические модели представляют собой автономные информационные блоки, созданные в различных программных комплексах для решения прогнозных гидродинамических задач различной степени обобщения. Особенностью этой частью информационной системы

является её тесная связь с другими функциональными блоками. На этапе разработки численных моделей требуется использовать всю полноту имеющихся исходных данных, а результаты численного моделирования выступают в качестве итоговой количественной оценки степени развития процессов подтопления, непосредственно входя в состав результирующих электронных карт информационно-поисковой системы.

Предварительная обработка в рамках использования технологии прогнозного численного гидродинамического моделирования представляет собой комплекс самостоятельных задач по разработке отдельных численных моделей, которые требуют использования данных всех перечисленных вспомогательных функциональных блоков информационно-поисковой системы.

Электронные карты информационно-поисковой системы представляют собой результат обработки данных, содержащихся во вспомогательных функциональных блоках, и служат основой для итоговой оценки потенциальной подтопляемости выбранного участка городской территории. Возможна как экспертная оценка комплексного учета факторов влияющих на развитие процессов техногенного подтопления, так и оценка степени потенциальной подтопляемости в автоматическом режиме. В основе такой оценки лежит общепринятое представление о соподчинённости факторов, определяющих интенсивность развития процессов техногенного подтопления (рис. 5.2).

Оценку потенциальной подтопляемости предлагается выполнять на основе выявленной взаимосвязи факторов подтопления с учётом определения их количественной оценки, сопровождающейся построением специализированных электронных карт (цифровой модели рельефа, карты порядков речных долин, уклонов поверхности рельефа, дренированности территорий). Главной особенностью использования для этих целей информационно-поисковой системы является возможность оценки степени подтопления в любой произвольно выбранной точке городской территории [102].

Подтопление формируется под действием природных и техногенных факторов, среди которых наибольшее значение имеют геологическое строение, интенсивность дополнительного питания подземных вод и дренированность территории, характеризующая скорость и объем оттока гравитационных вод.

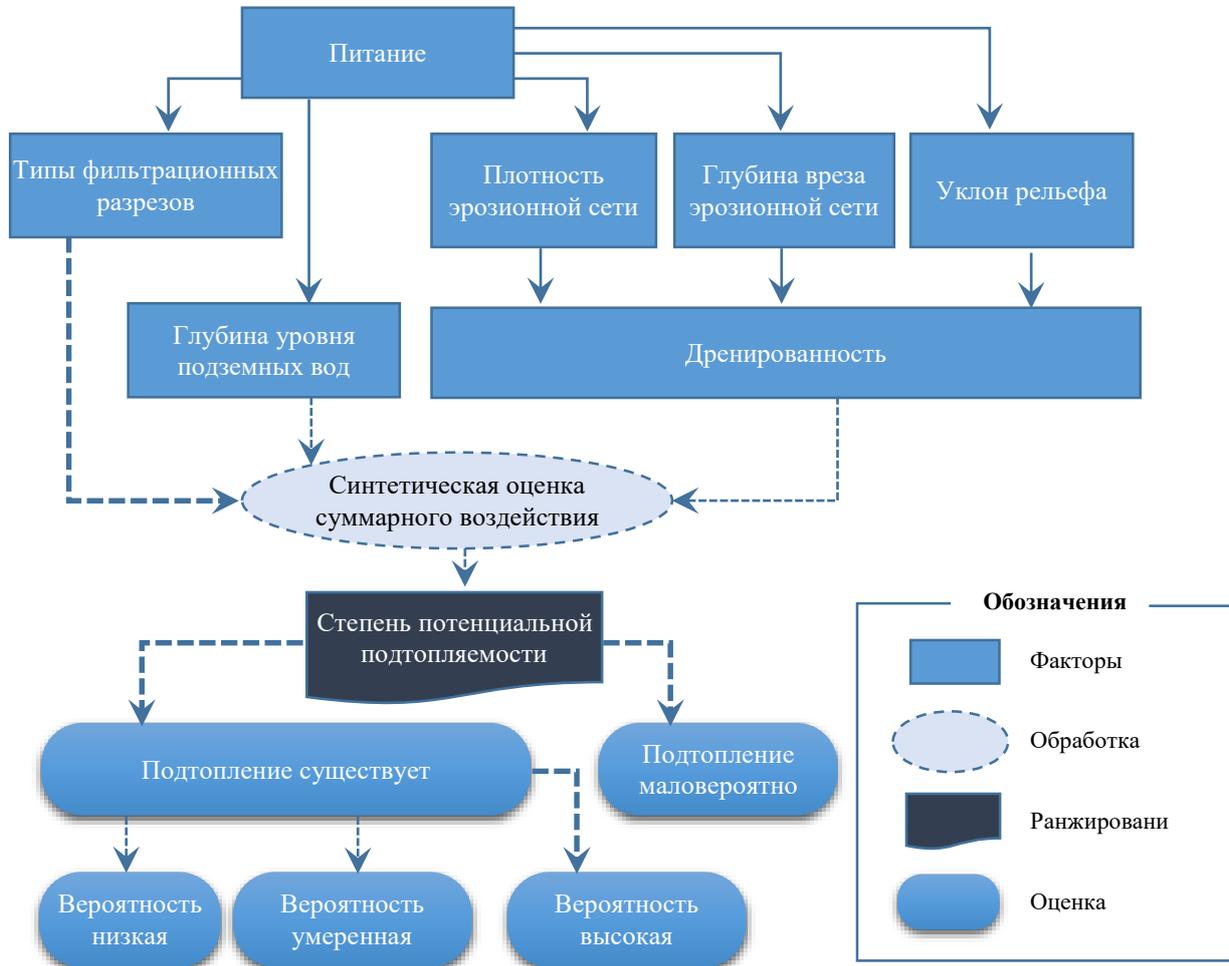


Рис. 5.2. Соподчинённость факторов, определяющих развитие подтопление

5.2. Оценка потенциальной подтопляемости

Для оценки геологического строения городской территории, с точки зрения возможности формирования процессов подтопления, нами использованы результаты обобщения данных многолетних инженерно-геологических изысканий. Результаты этих исследований нашли отражение в районировании центральной части городской территории по типам фильтрационного разреза (рис. 5.3.). В основу типизации положено соотношение легко проницаемых и относительно водоупорных пород до глубины 20 м. Эта толща представляет

собой мощность сферы взаимодействия зданий с геологической средой. Выделены одно-, двух- и трехслойные типы разрезов, среди которых наиболее склонны к формированию верховодки и процессов подтопления двух- и трехслойные разрезы, обозначенные индексами Ф-II-I и Ф-III-I. Эти разрезы представлены грунтами с высокими фильтрационными свойствами мощностью от 2 до 10–12 м, подстилающимися слабопроницаемыми и водоупорными разностями горных пород.

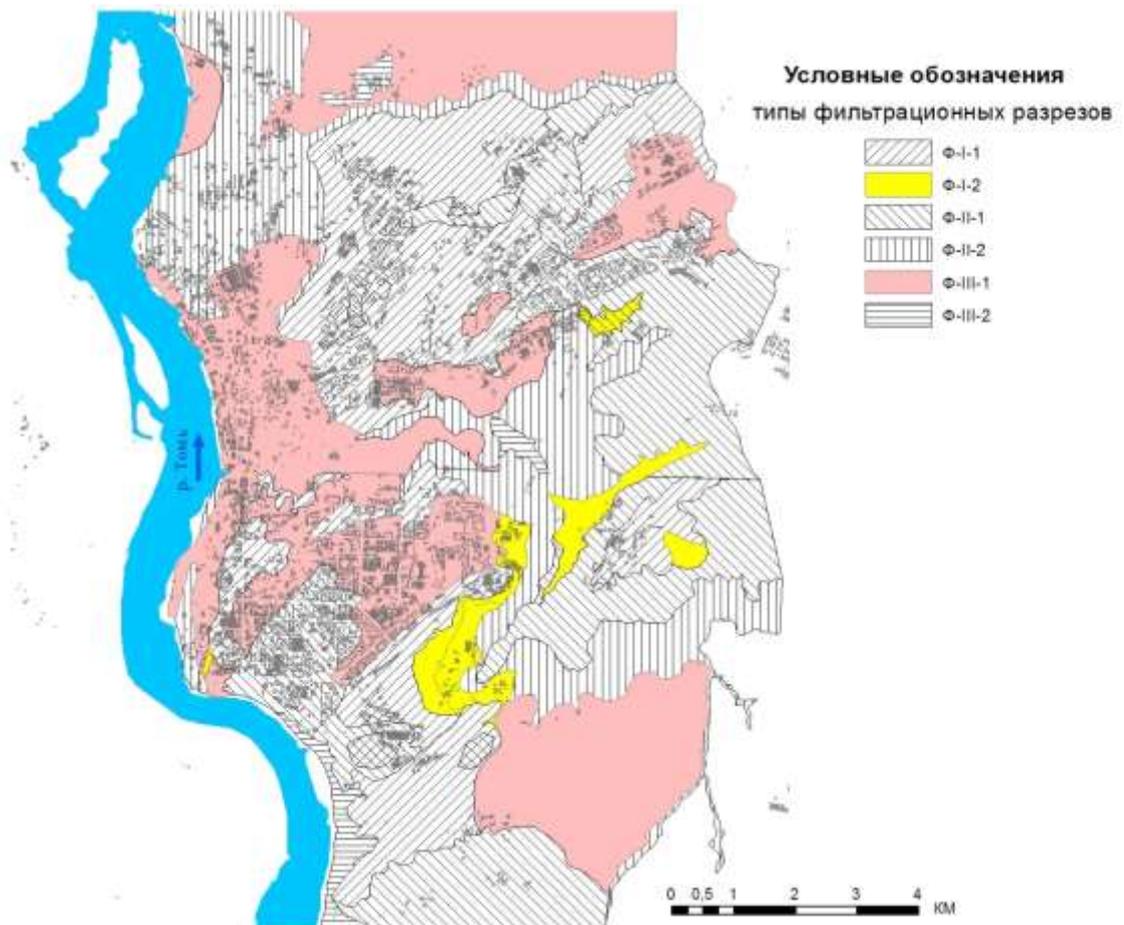


Рис. 5.3. Карта типов фильтрационных разрезов территории г. Томска

Карта типов фильтрационных разрезов оцифрована в среде программного комплекса *ArcGis*. При помощи полигональных объектов выделены различные типы фильтрационных разрезов. Территории, наиболее склонные к развитию подтопления, относящиеся к разновидностям Ф-II-1, Ф-III-1 по типу фильтрационного разреза, выделены цветным контуром. В пределах этих участков нарушение водного баланса с высокой степенью вероятности приводит к

формированию верховодки и развитию процессов подтопления. Площадь таких территорий по данным карты, представленной на рис. 5.3, составляет 55 % городской территории.

Количественная оценка величины дополнительного инфильтрационного питания представляет определённые трудности из-за отсутствия надёжного учёта утечек из водонесущих коммуникаций. По этой причине нами предложено использовать косвенные методы оценки этого важного показателя. Можно считать, что интенсивность неконтролируемых утечек находится в прямо пропорциональной зависимости от величины водопотребления.

В электронном виде показатель дополнительного инфильтрационного питания представлен оцифрованными полигональными объектами, соответствующими в своих границах участкам городской территории с различной интенсивностью водопотребления (рис. 5.4).

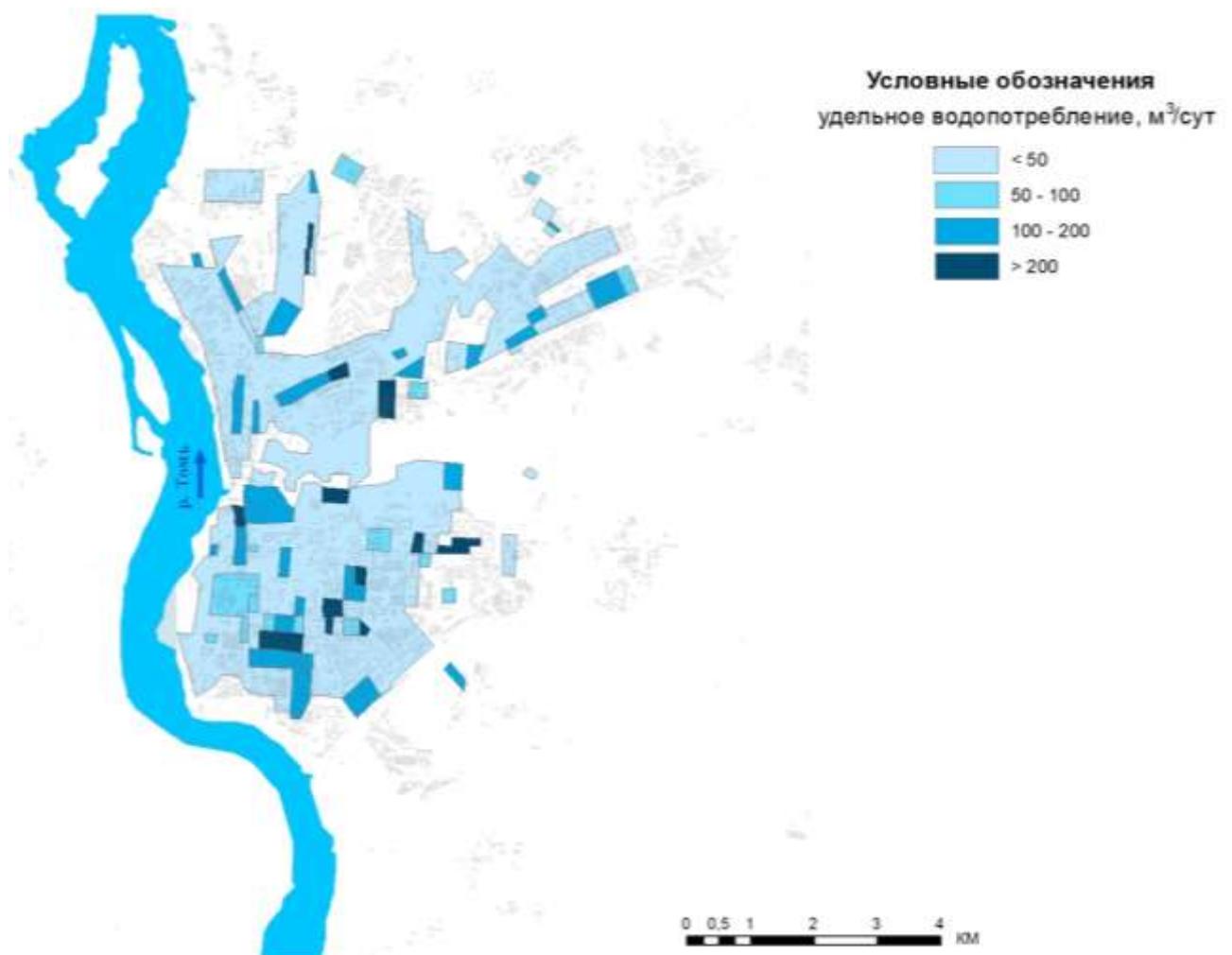


Рис. 5.4. Удельное водопотребление на территории города

Электронный слой уровней подземных вод восстановлен по данным схематической гидрогеологической карты, составленной сотрудниками кафедры ГИГЭ (рис. 5.5).

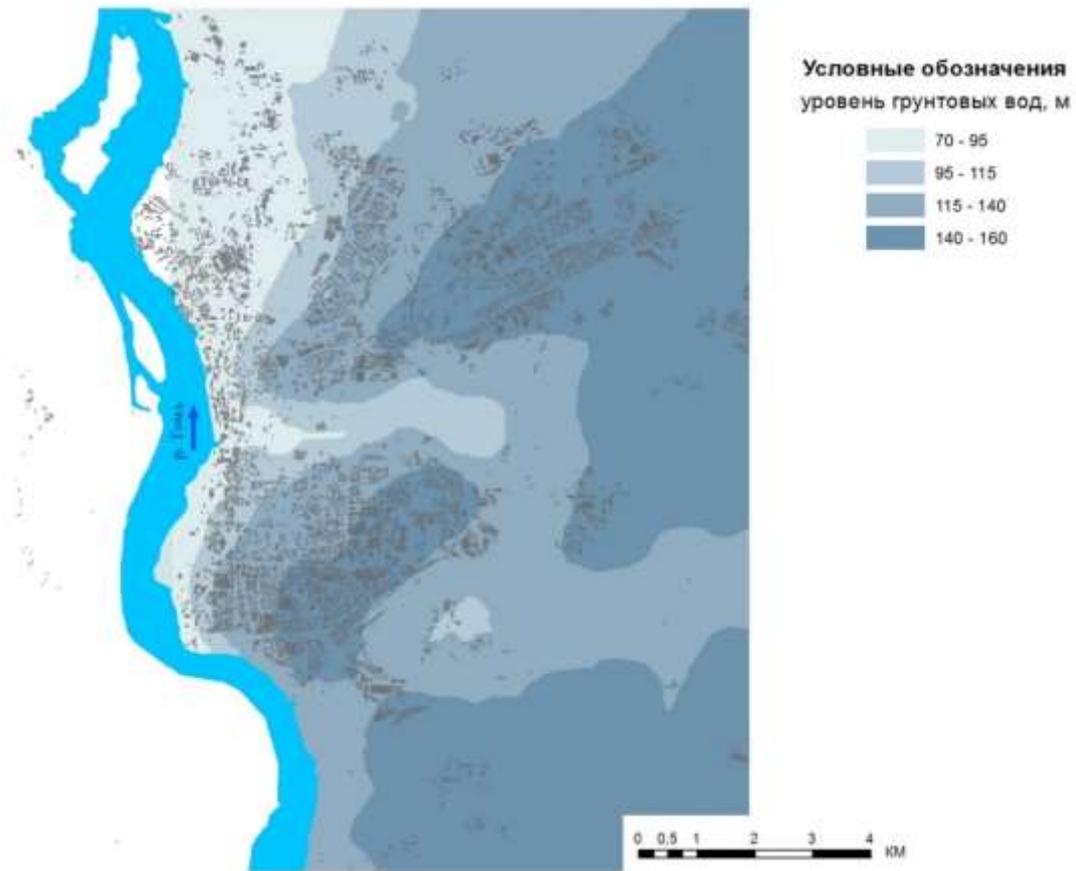


Рис. 5.5. Карта гидроизогипс грунтовых вод

При построении карты использованы инструментальные средства геоинформационной системы *ArcGis*. В результате последовательной обработки исходной карты в виде изолиний на бумажной основе выполнена оцифровка гидроизогипс с последующим созданием grid-покрытия, позволяющего представить уровень грунтового фильтрационного потока непрерывной поверхностью абсолютных отметок. Такая форма представления информации даёт возможность при использовании информационно-поисковой системы в полуавтоматическом режиме определять глубину залегания подземных вод путем вычитания абсолютных отметок поверхности рельефа и уровня подземных вод в любой точке городской территории.

Наряду с типом фильтрационного разреза и интенсивностью дополнительного инфильтрационного питания к ведущим факторам, контролирующим процесс развития подтопления, относится и дренированность территории. Теоретические подходы к способам количественной оценки дренированности территории рассмотрены в главе 4. Степень дренированности территории качественно характеризует условия разгрузки подземных вод и зависит от гипсометрических взаимоотношений областей питания и разгрузки подземных вод, расчлененности рельефа, особенностей литологического состава геологического разреза и наличия благоприятных условий для формирования подземного стока. Косвенным критерием для оценки степени дренированности территории может служить глубина залегания грунтовых вод.

В региональном плане территория г. Томска может быть отнесена к хорошо дренируемым площадям. Высокие гипсометрические отметки местности, развитая гидрографическая сеть, интенсивная расчлененность рельефа логами и процессами оврагообразования, а также наличие в верхней части разреза мощных достаточно хорошо выдержанных песчаных горизонтов, залегающих выше местных базисов дренирования, создают благоприятные условия для разгрузки подземных вод. Уровни грунтовых вод на подавляющей части городской территории находятся на глубинах более 10 м, а в северной части города – на глубинах 20 и более метров. В этих условиях даже существенное увеличение интенсивности инфильтрации не может привести к ощутимому подъему грунтовых вод. В то же время, рассматривая верхние части разреза как локальные области питания подземных вод, необходимо отметить, что при наличии подстилающего раздельного слоя (типовые фильтрационные разрезы Ф-II-I и Ф-III-I), они имеют все черты, характерные для слабо дренируемых и недренируемых территорий. Этому способствуют: выположенный рельеф и низкие фильтрационные параметры водосодержащих пород. Такие условия затрудняют латеральный отток подземных вод и способствуют образованию верховодки, т.е. развитию процессов подтопления [68].

Комплексная карта с оценкой степени дренированности территории,

составлена с помощью встроенной функции “field calculator” в среде программного комплекса *ArcGis*. Общая схема последовательности необходимых преобразований показана на рис. 4.5. Результирующая карта, полученная в результате этих построений, приведена на рис. 4.6. Она показывает пространственное распределение участков, соответствующих выделенным ранее группам дренированности территории: недренируемые, слабо дренируемые, умеренно дренируемые, хорошо дренируемые.

Конфигурация полученных полей соответствующих градаций хорошо коррелирует с конфигурацией потенциально подтопляемых территорий, показанных на ранее составленных в бумажном варианте картах, что свидетельствует о принципиальной правильности выбранных подходов к оценке дренированности.

Ядром информационно-поисковой системы служит функциональный блок, отвечающий за формирование комплексной оценки потенциальной подтопляемости выбранного объекта (участка).

Степень потенциальной подтопляемости застраиваемых территорий определяется суммарным воздействием природных и техногенных факторов (рис. 5.2).

Поскольку система многофакторная, с многочисленными прямыми и обратными связями, необходимо, используя принципы системного подхода, определиться с параметрами ее целого и отдельных составляющих.

Глубина уровня залегания подземных вод непосредственно определяет, относится ли оцениваемый участок к категории подтапливаемых. Территория Томска преимущественно представлена селитебной застройкой, учитывая этот факт, нами были приняты четыре категории, характеризующие глубину залегания подземных вод:

- 1) Приповерхностная (0–2 м)
- 2) Неглубокая (2–5 м)
- 3) Средняя (5–10 м)
- 4) Глубокая (10–15 м)

В городе из водопроводно-канализационных сетей теряется не менее 30–40 % от подаваемого расхода, т. е. до 60–80 тыс. м³/сутки. Распределение потерь по площади можно считать пропорциональным водопотреблению. В Томске, практически не имеющего предприятий с резко повышенным водопотреблением, для целей ранжирования дополнительного питания предлагается такое выделение категорий: менее 50; 50–100; 100–200; более 200 м³/сут на 1 га территории.

Наличие связи между интенсивностью развития подтопления и важнейшими факторами показывает, что каждый из них обладает относительной самостоятельностью и собственными особенностями воздействия на геологическую среду. Взаимодействие факторов дает начало цепи причинно-следственных явлений, которые приводят к развитию (или блокировке) процессов подтопления. (Табл. 5.2). Сказанное позволяет расположить основные факторы, контролирующие подтопление, в определенной соподчиненности, которая наглядно представлена ранее на схеме (рис. 5.2).

Таблица 5.2

Сводные показатели степени потенциальной подтопляемости

Степень потенциальной подтопляемости территории	Тип фильтрационного разреза	Дренированность, усл. ед.	Удельное водопотребление, м ³ /сут *га	Глубина залегания подземных вод, м
Неподтопляемая (развитие процессов подтопления маловероятно)	Ф-I-I	>30	50	>15
Низкая (территории не склонны к развитию процессов подтопления и	Ф-I-2; Ф-II-2; Ф-III-2	20–30	50–100	10–15
Умеренная (развиваются процессы заболачивания и локальные зоны	Ф-I-2; Ф-II-2; Ф-III-2	10–30	100–200	5–10
Высокая (формируются верховодка и процессы подтопления)	Ф-II-I; Ф-III-I	10–20	>200	2–5
Подтопленная (существующее подтопление)	Ф-I-I; Ф-I-2; Ф-II-I; Ф-II-2; Ф-III-I; Ф-III-2	<10	>200	0–2

Подтопление не связано непосредственно ни с интенсивностью питания, ни со степенью дренированности территории, хотя каждый из этих факторов оказывает определенное влияние на геологическую среду, но характер этого

влияния проявляется через такие параметры, как глубина залегания подземных вод, удельное водопотребление на территории, характер строительной инфраструктуры. Например, строительство с использованием свайных оснований затрудняет отток подземных вод, т.е. искусственно изменяет степень дренированности территории, и в тоже время сказывается радикальном изменении фильтрационных параметров водоносного горизонта.

Понятно, что степень воздействия основных факторов неравномерна и может резко отличаться на тех или иных участках территории, поэтому основные факторы целесообразно ранжировать не только по величине характеризующих их параметры, но и привести к системе однотипных единиц, в данном случае, к балльной системе. Значение всех факторов можно разбить на пять градаций (по количеству степеней интенсивности развития процессов подтопления, обозначенных ранее), совокупное влияние всех основных факторов будет в этом случае выражено суммой балльных оценок отдельных факторов. Доля воздействия этих факторов учитывается шириной интервалов градации конкретных факторов. Такой подход позволяет ввести в структуру информационно-поисковой системы результирующий информационный слой, содержащий итоговые интегральные сведения, интересующие потребителя.

Информационно-поисковая система базируется на анализе факторов, взаимосвязь которых описана ранее, и позволяет определить степень потенциальной подтопляемости выбранного объекта (участка). Система является многофакторной. При её работе в определенном порядке происходит анализ разнородных электронных картографических материалов, отражающих дренированность территории, выраженную в условных единицах, глубину залегания подземных вод, типы фильтрационных разрезов, удельное водопотребление, по анализу которого мы можем определить интенсивность дополнительного питания, и проч.

Каждый из факторов разбит на градации в порядке от наименее до наиболее благоприятствующих развитию процессов подтопления. Такой подход, по формальному признаку позволяет использовать балльную систему оценки

комплексного воздействия факторов. Однако, чисто формальный подход в данной ситуации неприемлем, т. к. факторы, во-первых, имеют различный удельный вес, а, во-вторых, отсутствие или малое значение вклада некоторых из них (например, отсутствие дополнительного инфильтрационного питания при неизменном уровне дренированности), может полностью исключить возможность подтопления. В связи с этим, система учета факторов дополнена логическими связями, учитывающими соподчиненность и возможный вклад отдельных из них. Например, однослойные разрезы Ф-I-I и Ф-I-II, представленные песками или глинами, мы объединили в одну категорию. Таким образом, в процессе принятия решения предлагается автоматически присваивать низкую степень опасности развития процессов подтопления тем участкам, которые попадают в сферу влияния однослойных разрезов. Однако, если известно, что глубина залегания уровней подземных вод в данной точке составляет менее 2-х метров (в нашей информационно-поисковой системе это категория 1), то этот участок необходимо относить к зоне уже существующего подтопления. Имеются и другие ограничения. В целом, итоговая характеристика степени подтопляемости территорий представлена в виде логических функций описывающих соподчиненность факторов и вес каждого из них, а реализованные логические связи, характеризующие степень потенциальной подтопляемости (низкая, умеренная, высокая, существующее подтопление) имеют следующий вид:

(ЕСЛИ (И (СУММ (A2:D2)<12;СУММ (A2:D2)>10); "Низкая";

(ЕСЛИ (И (СУММ (A2:D2)>7;СУММ (A2:D2)<=10); "Умеренная";

ЕСЛИ (И (СУММ (A2:D2)<=7;СУММ (A2:D2)>4); "Высокая";

(ЕСЛИ (И (СУММ (A2:D2)<=4;СУММ(A2:D2)>0); "Существующее подтопление"),

где столбцы атрибутивной таблицы соответствуют ведущим факторам развития подтопления:

А – глубина залегания подземных вод

В – дренированность территории

С – тип фильтрационного разреза

D – удельное водопотребление

Кроме того, учитывая логические допущения, степень потенциальной подтопляемости принята низкой при B2, C2 и D2, равным четырем, а существующее подтопление возникает при A2=1. Пример визуализации решения для одного из точечных объектов (Ансамбль Богородице-Алексеевского монастыря) показан на рисунке 5.6.

Схема последовательности действий по оценке вероятности развития процессов подтопления на городской территории показана на рис. 5.7, а результирующая карта приведена на рис. 5.8.

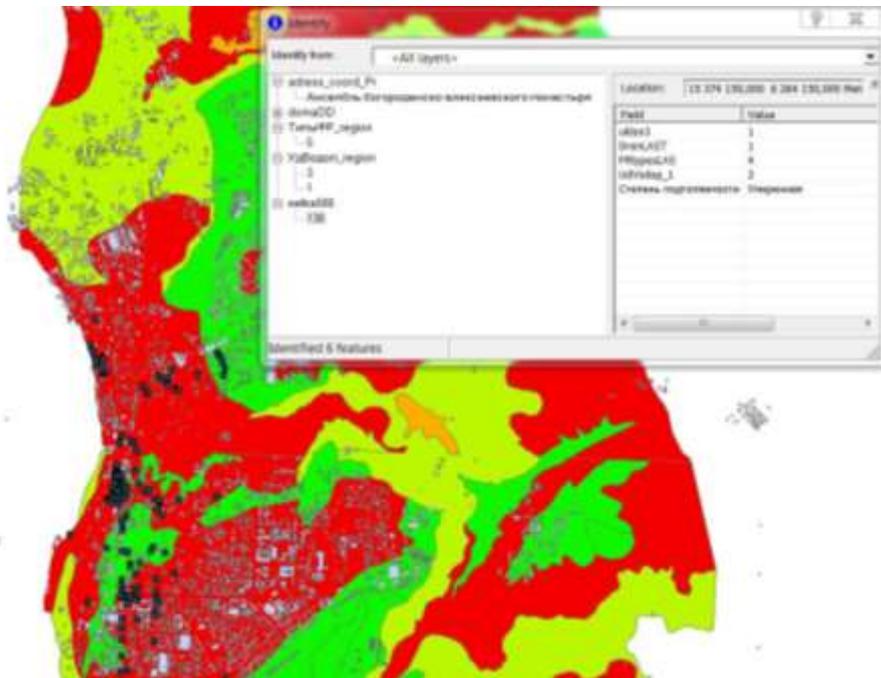


Рис. 5.6. Экран информационно-поисковой системы в режиме оценки степени подтопляемости

Рабочая версия информационно-поисковой системы позволяет проверить принципиальную работоспособность системы на примере эталонных, обладающих известными параметрами, объектов. Адекватность результатов оценки одной и той же территории с помощью созданной поисково-информационной системы, и оценки, основой которой является натурное обследование, может рассматриваться в качестве основного фактора, характеризующего успешное выполнение проекта. Информационно-поисковая система является открытой, что позволяет расширять круг

используемых первоисточников фактических материалов за счёт увеличения количества фактографических и картографических баз данных. Допускается совершенствование пользовательского интерфейса для решения дополнительных узкоспециальных поисковых задач.

В режиме постоянно действующей эксплуатации информационно-поисковой системы, имеющиеся в наличии данные, могут пополняться за счёт обновления параметров динамических систем.

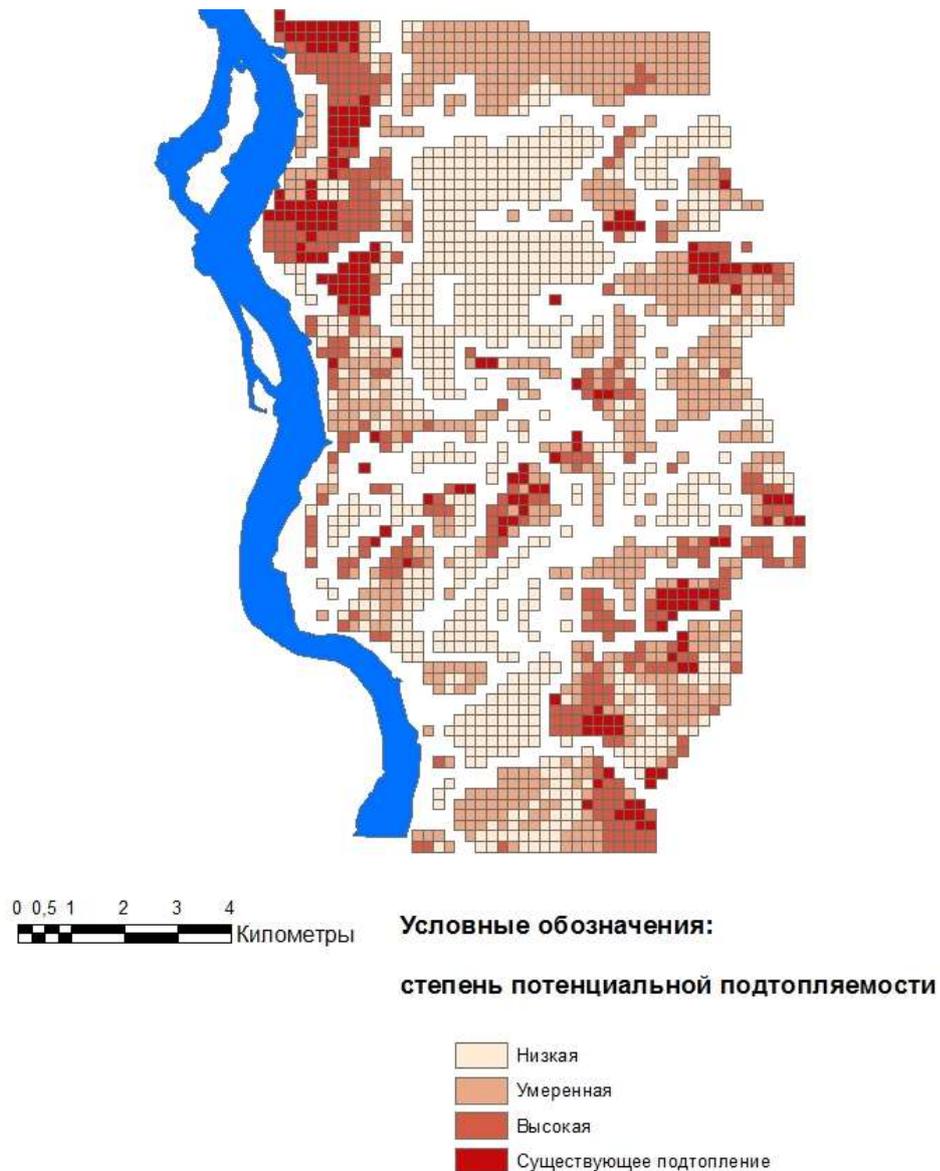


Рис. 5.8. Карта потенциальной подтопляемости территории города Томск

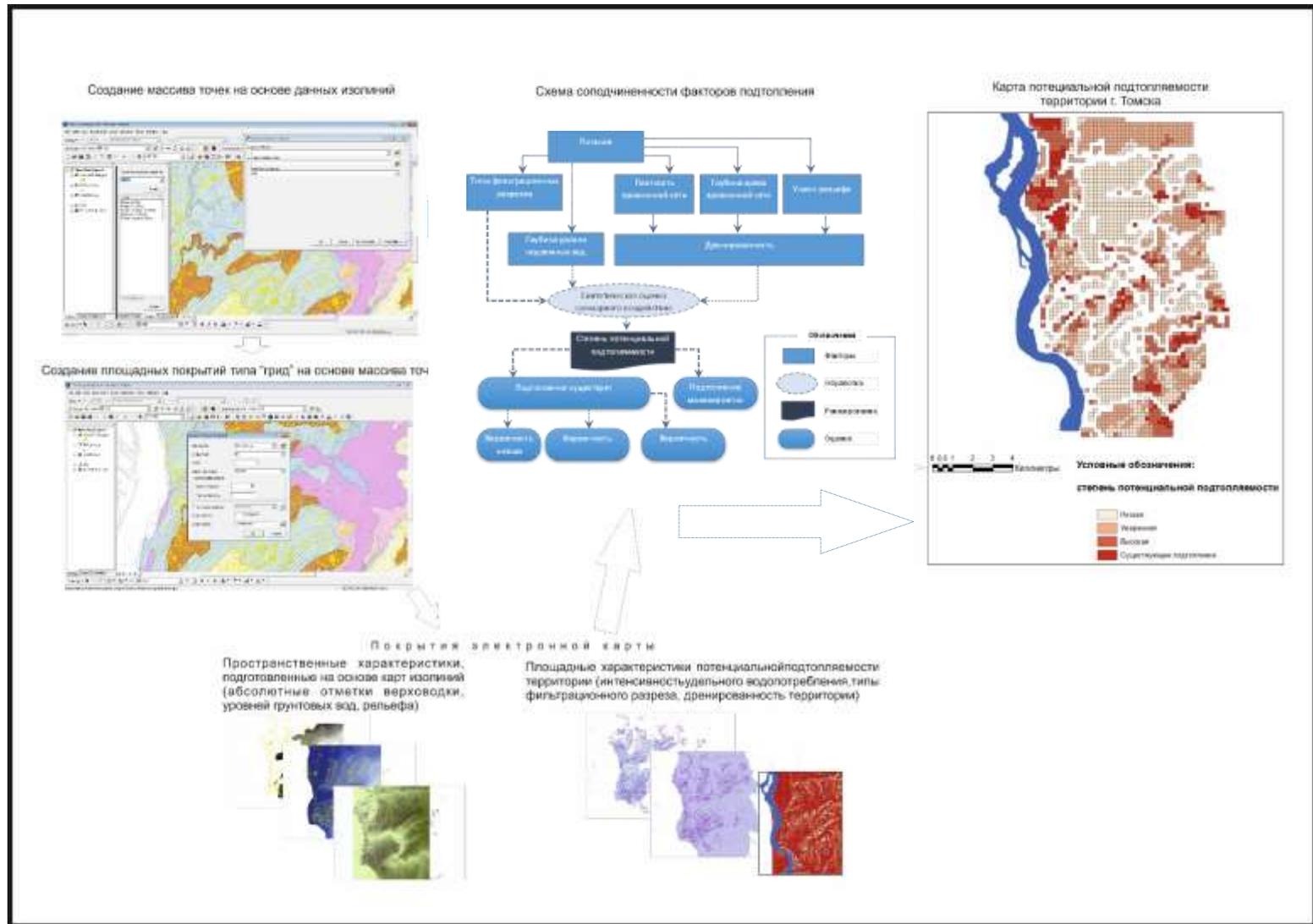


Рис. 5.7. Схема обработки данных для оценки вероятности развития процессов подтопления на территории г. Томска

К таким динамично изменяющимся характеристикам многофакторной системы могут быть отнесены отметки уровней подземных вод, величины удельного водопотребления, планы перспективной застройки и прочее. Возможно формирование разнообразных поисковых условий, например, обычному пользователю интересно общее заключение о возможной опасности развития подтопления, тогда как специалиста-гидрогеолога может заинтересовать более подробная информация об исследуемом участке. Пользователю предоставляется удобный интерфейс для поиска любой интересующей его информации, при помощи формирования поисковых условий и перемещения курсора по карте города.

5.3. Оценка степени подтопления архитектурных памятников с использованием информационно-поисковой системы

Содержание оценки степени подтопления городской территории с использованием информационно-поисковой системы показано на примере архитектурных памятников. Эти многочисленные объекты рассредоточены по территории города, очень часто являясь неотъемлемой частью жилой застройки. Индивидуальная оценка условий подтопления таких уникальных объектов максимально затруднена, поскольку требует не только значительных финансовых затрат, но и постановки трудоёмких специальных исследований. Между тем такая оценка необходима, так как многие объекты архитектурного наследия, представленные памятниками деревянного зодчества, требуют неотложных мер по реставрации или срочной консервации. По этим причинам архитектурные памятники являются одним из наиболее удачных примеров для демонстрации эффективности работы информационно-поисковой системы с вполне понятным практическим применением.

В отличие от других электронных слоёв база данных архитектурных памятников имеет более сложную структуру. В ходе наполнения этой базы данных было проведено натурное обследование, которое состояло в координатной

привязке, фотографировании архитектурных памятников, изучении архитектурного стиля, времени построек, установлении имен архитекторов - авторов проектов, визуальной оценке современного состояния. В соответствии с полученной информацией, была разработана структура базы данных. Ядро этого информационного массива было сформировано в среде электронных таблиц *Microsoft Office Excel*. На этапе разработки структуры предусматривалась возможность импорта данных в другие, необходимые для управления режимами визуализации программы, такие как *ArcInfo, ArcView, ArcGis*.

Информационный массив архитектурных памятников структурно систематизирован в виде пяти относительно самостоятельных блоков.

Первый (собственно архитектурный) блок включает: адрес архитектурного памятника, его наименование, стиль, статус, документ о принятии на государственную охрану, датировка, автор проекта, современное физическое состояние (рис. 5.9).

№ п/п	Адрес памятника	Наименование	Стиль	Статус памятника	Документ о принятии на охрану	Датировка	Автор проекта	Современное физическое состояние	Координата X
1									
2	Вельяминов,19	Двухэтажный дом (дворянский)	Полонезский стиль	ПАФ	Постановление СМ РСФСР №624 от 04.12.74г.	1904г.	инж.-арх.С.В.Ханжа	хорошее	
3	Вельяминов,12	Домик (дворянский)	Стиль модерн	ПАФ	Указ Президента РФ от 20.02.95г. №176	1911г.	арх. П. Ф. Орлов	улучшительное	
4	Войкова,21	Двухэтажный армянский жилой дом	Стиль - традиция	ПАФ	Постановление СМ РСФСР от 04.12.74г. №624	1897г.		улучшительное	
5	Гагарина,42	Жилой А. Трунова (Сен-эй особняк)	Стиль - русский модерн	ПАФ	Решение облисполкома от 17.02.76г. №51	1908г.	арх. В. Ф. Орлов	улучшительное	
6	Гарьина,7	Обществен. А. Д. Кривина	Стиль - модерн	ПАФ	Указ Президента РФ от 20.02.95г. №176	1909-1910гг.	арх. А. Д. Кривин	реставрируется	
7	Красноярский-скв.67	Дом жилой, двухэтажный	Стиль - традиция	ПАФ	Постановление СМ РСФСР от 04.12.74г. №624	Кол. 19г.		хорошее	
8	Красноярский-скв.67а	Дом жилой, двухэтажный	Стиль - традиция	ПАФ	Постановление СМ РСФСР от 04.12.74г. №624	1890г., модерн	П. Ф. Феодорской	улучшительное	
9	Красноярский-скв.68	Дом жилой быстротечного (дворянский)	Стиль - модерн	ПАФ	Постановление СМ РСФСР от 04.12.74г. №624	Нач. 20г.		улучшительное	
10	Красноярский-скв.71	Усадьба наследника князя Головкина. Дом жилой, двух-этаж.	Стиль - полонезский	ПАФ	Постановление СМ РСФСР №624 от 04.12.74г.	1862г.		хорошее	
11	Ленина,56	Дом жилой, трехэтажный	Стиль - традиция	ПАФ	Постановление СМ РСФСР от 04.12.74г. №624	1906-е гг.		улучшительное	
12	К.Маркса,21	Дом жилой, двухэтажный на газонном участке	Стиль - модерн	ПАФ	Указ Президента РФ от 20.02.95г. №176	1912г.		разрушен	
13	Пушкина,40	Дом А.С.Троцкого, жилой, двухэтажный	Стиль - традиция	ПАФ	Постановление СМ РСФСР от 04.12.74г. №624	1902		улучшительное	
14	Путянина,66	Дом жилой Московина. Дом с верандой	Стиль - традиция	ПАФ	Постановление СМ РСФСР от 04.12.74г. №624	1902г.		улучшительное	
15	Путянина,66	Обществен. усадьба, двухэтажный	Стиль - полонезский	ПАФ	Указ Президента РФ от 20.02.95г. №176	1896г.	арх. А. Д. Кривин	плохое	
16	Шопова,10	Дом жилой, двухэтажный, в котором находится В. Шопова. Дом с колодезью	Стиль - традиция	ПАФ	Постановление СМ РСФСР №624 от 04.12.74г.	1866г.		плохое	

Рис. 5.9. Фрагмент структуры базы данных (архитектурный блок)

Второй блок включает координатную привязку памятника архитектуры, выполненную нами с помощью современных средств навигации.

Третий блок содержит геолого-гидрогеологическую информацию, импортированную из доступных слоев электронных карт об уровне и глубинах залегания грунтовых вод, наличии верховодки, типов фильтрационных разрезов, удельном водопотреблении.

Четвертый блок объединяет современную, специализированную гидрогеологическую информацию, полученную в результате опросов населения и ориентированную на локальные проблемы подтопления того или иного архитектурного объекта. Опросы производились при выполнении маршрутных исследований. Нами выяснялось: наличие воды на поверхности (бывает; не бывает; если бывает, то в какое время года, после выпадения осадков или постоянно), наличие воды под поверхностью земли: наличие воды в подполье, погребах; имеются ли скважины, если имеются, то на какой глубине залегает уровень подземных вод.

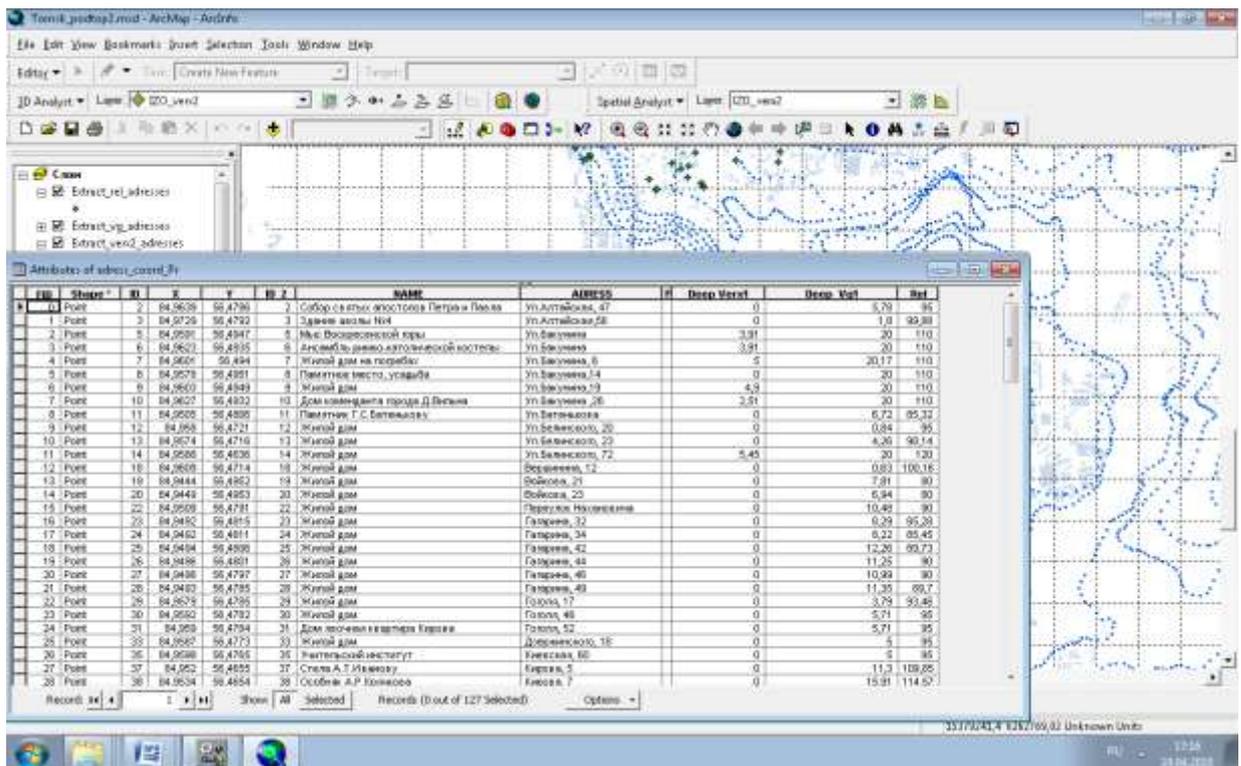


Рис. 5.10. Фрагмент атрибутивной таблицы памятников архитектуры в рабочем окне геоинформационной системы

Пятый блок включает файлы фотографических изображений архитектурных памятников или отдельных их деталей, полученные автором или профессиональными фотохудожниками (<http://www.tomsk.ru>) рис. 5.11.

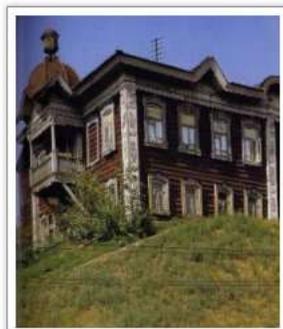
Подготовленный таким образом информационный массив может быть подключен к любой геоинформационной системе, что позволяет в полной мере реализовать универсальные возможности визуализации и дополнительной обработки (рис. 5.10). На основе реализации этих возможностей построена информационно-поисковая система, разработанная для оценки степени техногенного подтопления городской территории.

Созданный информационный массив данных готов для работы в других программных продуктах. С использованием этой системы был выявлен ряд первоочередных объектов для выполнения реставрационных работ, расположенных на территориях существующего либо потенциально возможного техногенного подтопления (районы Белого озера, Московского тракта, Богоявленский собор, отдельные здания ТГУ и др.).

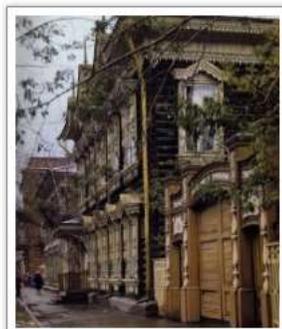
В качестве топографической основы, на которую производились привязки, использованы покрытия электронной карты города: изолинии абсолютных отметок рельефа и кварталы застройки с адресной привязкой. Работа над картографическим материалом выполнялась в определенной последовательности. Твердые копии оригинальных карт были отсканированы и сохранены в формате растрового изображения файла формата **.bmp*. На этом этапе важнейшей процедурой является привязка растрового изображения к системе условных координат. Полученные растровые изображения использовались в геоинформационной системе *MapInfo* в качестве подложки для оцифровки картографического материала. Собственно оцифровка элементов геологического строения заключалась в прорисовке графических элементов (линий, полигонов), идентификации их табличных значений и сохранения слоев в виде векторной графики. Таким образом, геолого-гидрогеологическая информация в электронном виде представлена семейством линий (изолинии уровней грунтовых вод, верховодки) и замкнутых полигонов (контуры территорий развития верховодки и различных типов фильтрационных разрезов, участки с различной интенсивностью водопотребления) (рис. 5.12).



25



53



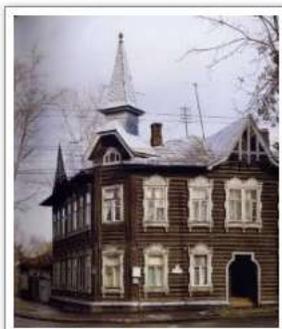
152



158 (2)



158



159



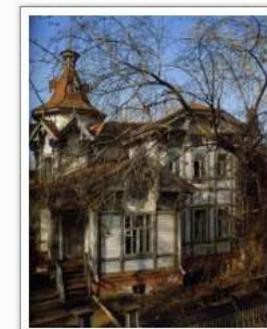
160



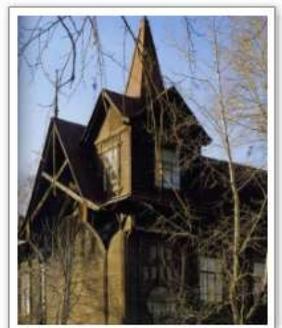
161



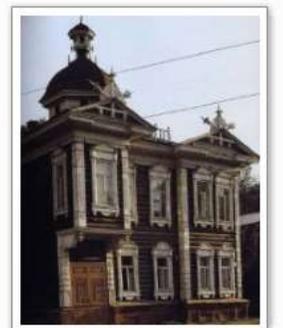
162 (2)



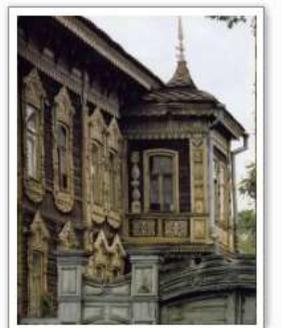
162



163



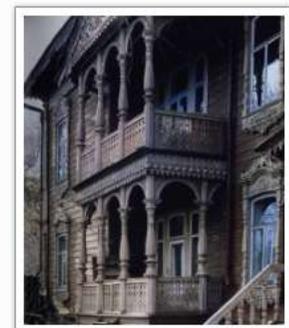
164



165 (2)



165



166

Рис. 5.11. Примеры файлов изображения памятников каменной архитектуры

Архитектурные памятники были вынесены на электронную топографическую основу как точечные объекты, а в атрибутивную таблицу внесены информация о памятниках и ссылки на файлы изображений, которые могут быть визуализированы с помощью встроенной функции «горячей связи» (5.13, 5.14).

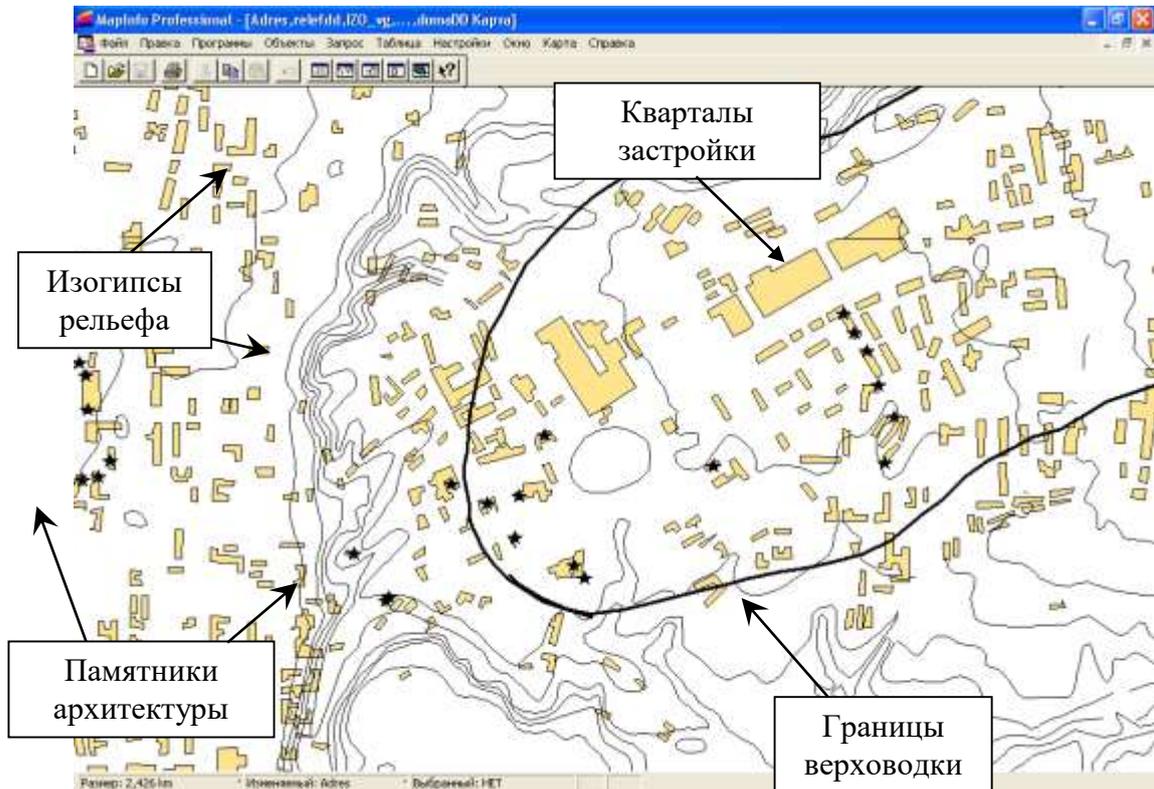


Рис. 5.12. Результат оцифровки растрового изображения фрагмента схематической гидрогеологической карты средствами *ПК MapInfo*. На фоне горизонталей рельефа и кварталов городской застройки показаны границы верховодки и памятники архитектуры

Для оперативной оценки степени подтопляемости выбранных объектов городской инфраструктуры (архитектурных памятников) использовались возможности среды программного комплекса *ArcGis*. На этом этапе исследований из предложенных факторов нами выбраны глубины залегания уровней грунтовых вод и верховодки. В отличие от традиционного представления, электронный вариант карты глубин залегания подземных вод допускает анализ этой важнейшей, с точки зрения условий развития процессов техногенного подтопления, информации в полуавтоматическом режиме.

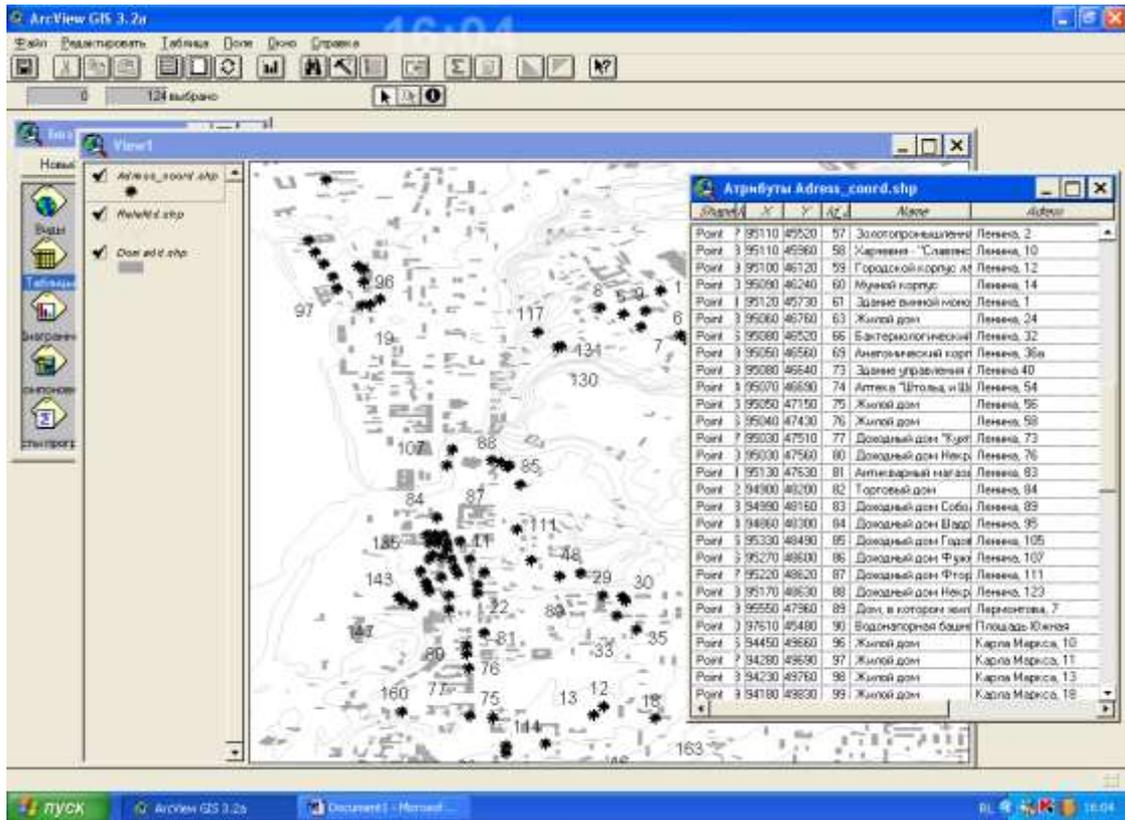


Рис. 5.13. Окно информационно-поисковой системы (*ArcView*) в режиме просмотра атрибутивной таблицы памятников архитектуры

Затем оцифрованные границы (линии с отметками) были конвертированы в точечные объекты, которые в дальнейшем были преобразованы в *grid*-объекты, позволяющие оценивать гидрогеологические, геологические и географо-геодезические условия в любой точке городской территории.

На основе цифровой модели рельефа и уровней подземных вод (рис. 5.15) созданы *grid*-представления этих поверхностей с непрерывным распределением по площади проинтерполированных значений абсолютных отметок рельефа и уровней подземных вод (верховодки и первого от поверхности грунтового водоносного горизонта).

Путём пространственного вычитания этих поверхностей (абсолютных отметок рельефа и уровней подземных вод) получена новая результирующая специализированная гидрогеологическая карта глубин залегания подземных вод (рис. 5.16).

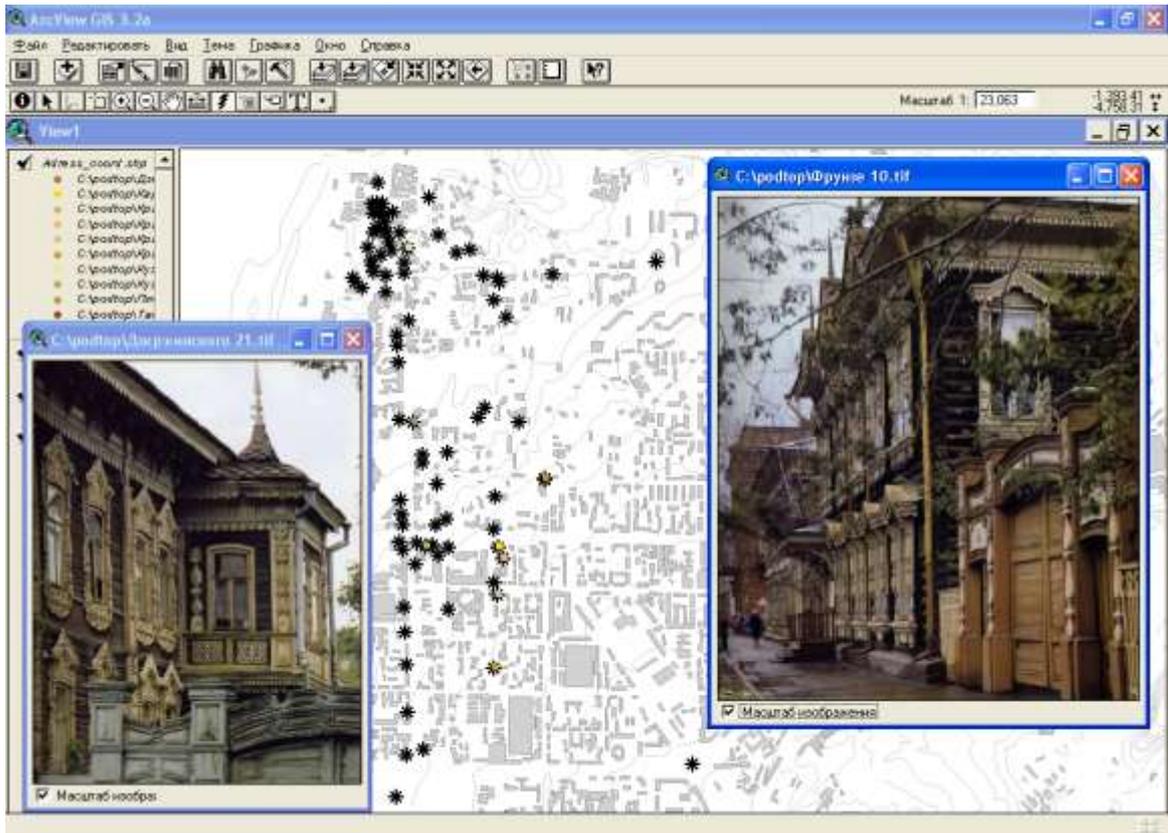


Рис. 5.14. Окно информационно-поисковой системы (ArcView) в режиме просмотра внешнего вида памятников архитектуры с использованием функции «горячей связи» на электронной карте

Средствами ГИС в полуавтоматическом режиме реализована возможность передачи значения глубины залегания подземных вод любому выбранному из электронной базы архитектурных памятников точечному объекту. Технически для выбранной записи из базы данных организована процедура определения глубины залегания подземных вод на основе объединения атрибутов двух электронных слоев (глубин залегания подземных вод и архитектурных памятников) по совпадению координатной привязки. Состав запроса сводится к вводу географических координат объекта, интересующего пользователя, в ручном режиме, а отклик информационной системы вырабатывается автоматически и содержит значение глубины залегания подземных вод в точке запроса (рис. 5.17).

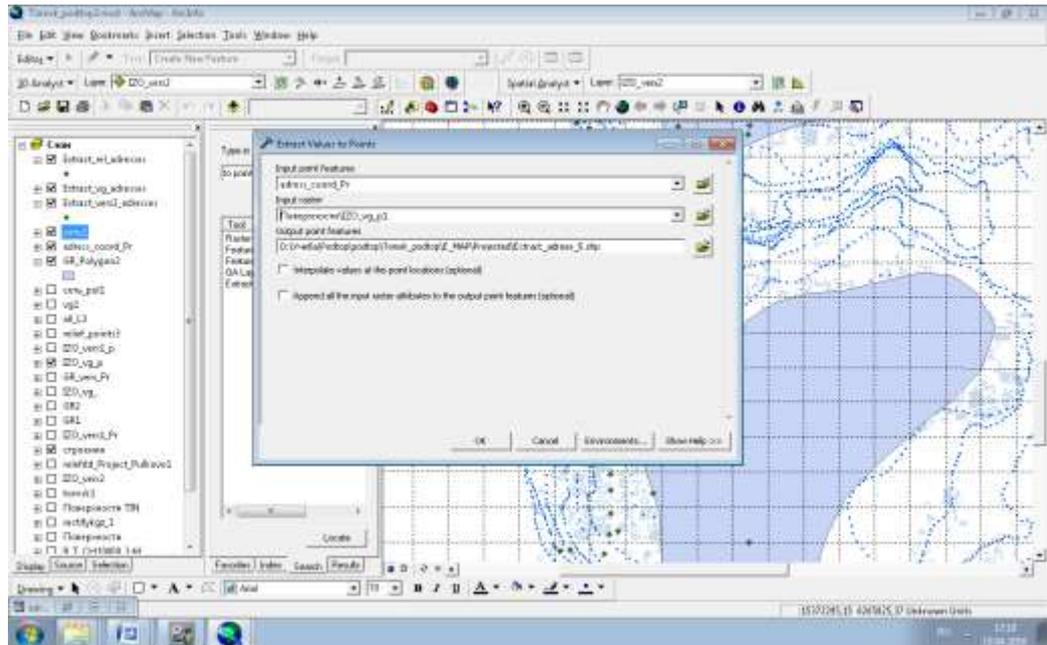


Рис. 5.15. Диалоговое окно модуля “Extract values to points”, преобразующего изолинии в точечный массив для последующего создания grid-представления (поверхности)

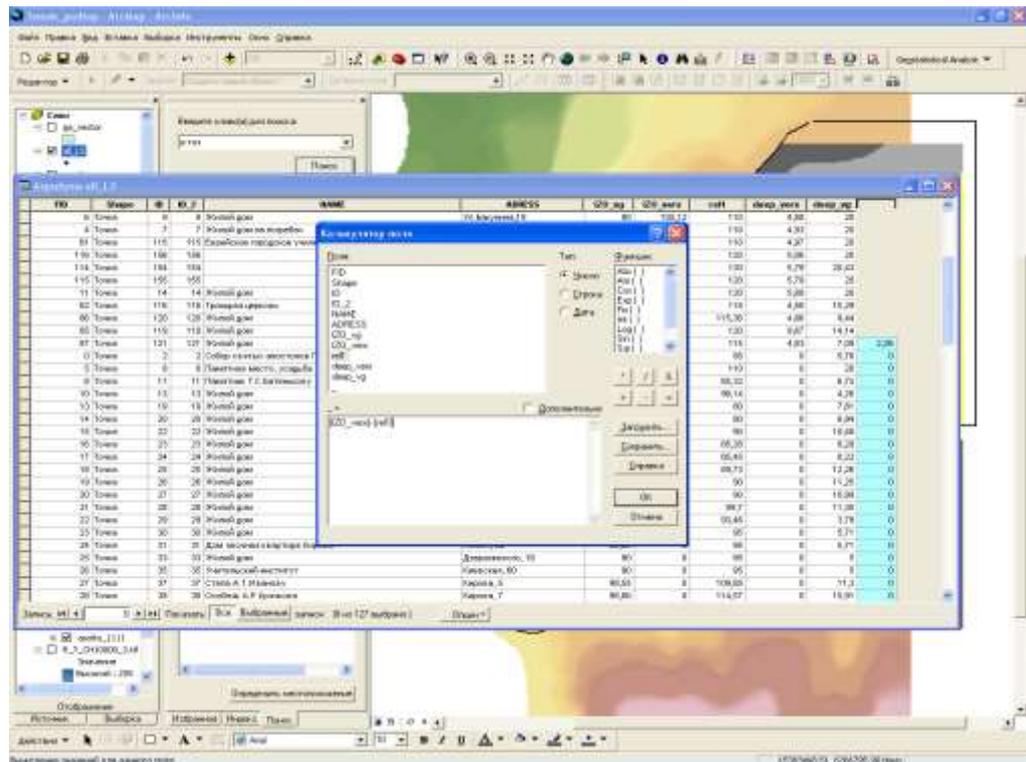


Рис. 5.16. Механизм автоматизированного расчёта глубин залегания уровней подземных вод с использованием полей электронной базы данных

Полученная таким образом информация является одним из ключевых критериев для оценки степени подтопления территории (объекта).

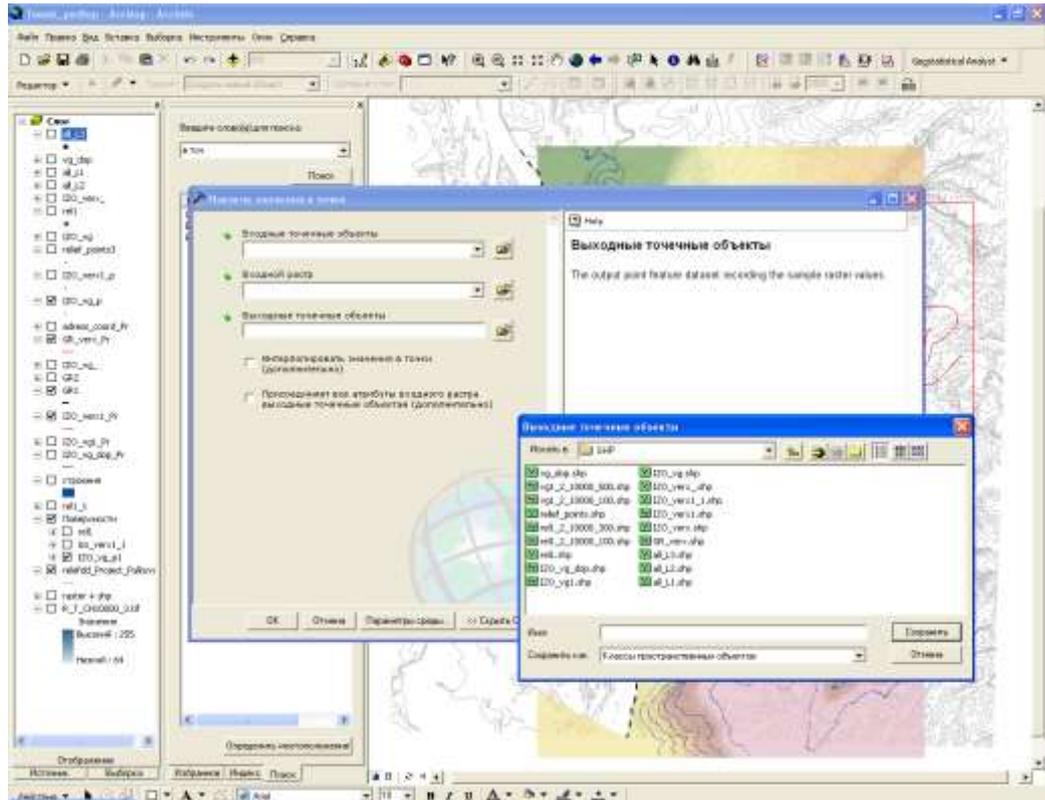


Рис. 5.17. Механизм передачи значений глубин залегания уровней подземных вод выбранным точечным объектам

Анализ условий подтопления памятников архитектуры с использованием информационно-поисковой системы показывает, что на территориях с высокой степенью потенциальной подтопляемости располагаются до 89 % архитектурных памятников зафиксированных в электронной базе данных. Это связано с тем, что многие малые памятники деревянного зодчества расположены на низких террасах р. Томи и ее притоков. Кроме этого даже такие капитальные объекты, как Богоявленский собор и Дом губернатора, оказываются в сложных гидрогеологических условиях, не говоря уже о ряде памятников деревянного зодчества на Московском тракте.

5.4. Методическая основа прогноза развития процесса подтопления

Разработанная информационно-поисковая система является статичной. Она оперативно с высокой достоверностью и детальностью отражает существующее

состояние геологической среды, позволяет охарактеризовать отдельные факторы формирования подтопления. В тоже время, возникающие профессиональные, технические, управленческие, социальные и экономические вопросы зачастую требуют обоснованного эволюционного представления развития состояния территории, в том числе и развития процессов подтопления. Возможность реализации таких требований может быть осуществлена приданием информационно-поисковой системе функциональных возможностей прогностического характера. При традиционных подходах таких задач используются разнообразные методы вычислений, основными из которых являются аналитические и методы математического моделирования. Оба указанных подхода могут быть реализованы в качестве составных частей созданной нами информационно-поисковой системы [102].

5.4.1. Аналитические расчёты

В качестве примера использования аналитических методов расчёта покажем прогноз роста уровня подземных вод на основе известной формулы И.Б. Корсукской и В.Т. Черновала [127], рекомендованной для условий, при которых в основании проницаемой толщи залегает отдельный слой, а нижележащий водоносный горизонт является безнапорным:

$$h_t = \frac{m[h_0\mu + (w - k)t] + H_0k}{m\mu + kt}$$

$$h_{max} = \frac{m \left[w - k \left(1 - \frac{H_0}{m} \right) \right]}{k}$$

где: h_t – подъем уровня грунтовых вод за время t , м;

h_{max} – предельный (установившийся) подъем уровня, м;

m – мощность отдельного слоя, м;

h_0 – мощность потока до застройки территории, м;

w – инфильтрация, м/сут;

k – коэффициент фильтрации раздельного слоя, м/сут;

H_0 – начальный напор раздельного слоя, м;

μ – недостаток насыщения грунтов зоны аэрации.

Нами выполнены аналитически расчёты по этому уравнению для различных условий геологической среды. В результате были построены номограммы (рис. 5.18–5.21).

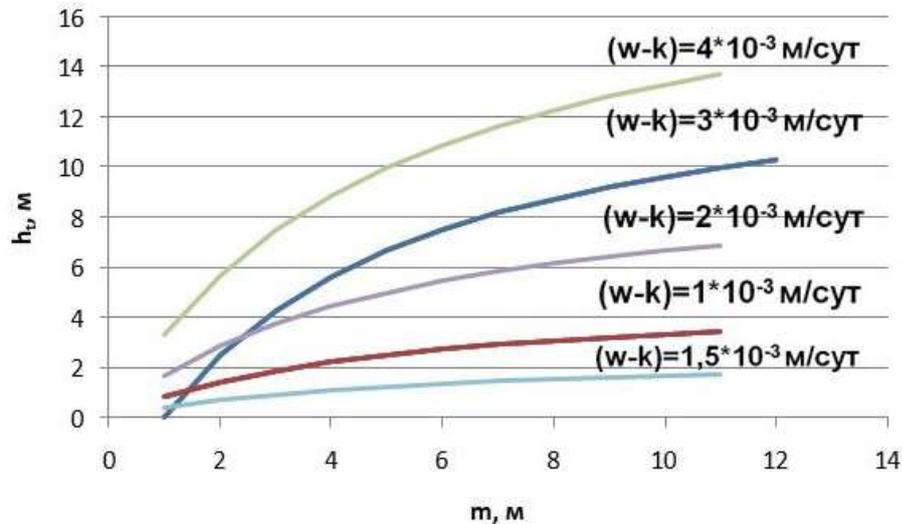


Рис. 5.18. Зависимость подъема уровня грунтовых вод за время t от мощности раздельного слоя

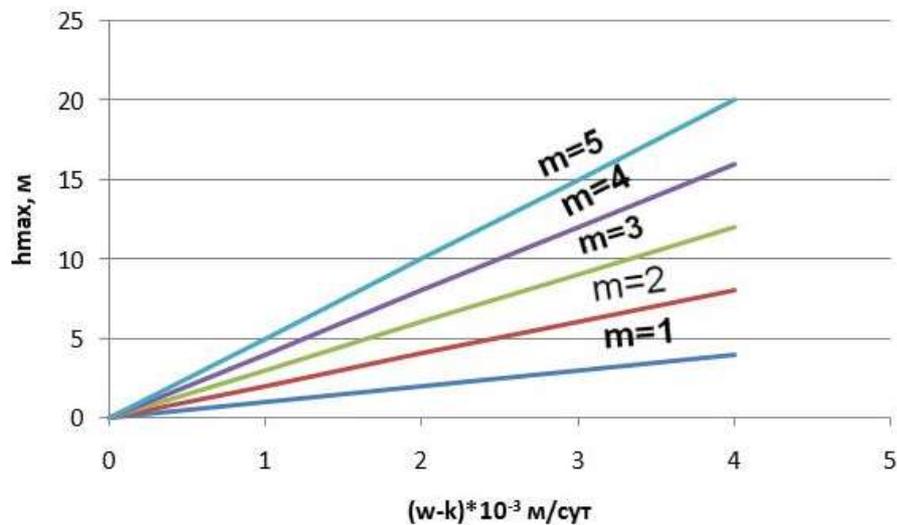


Рис. 5.19. Зависимость предельного (установившегося) подъема уровня от разности инфильтрации и коэффициента фильтрации раздельного слоя.

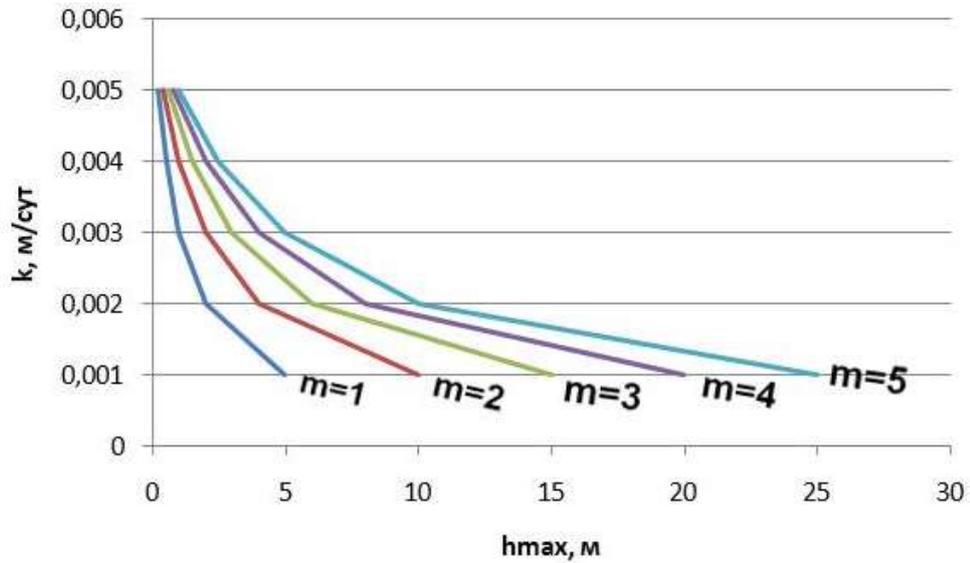


Рис. 5.20. Зависимость предельного (установившегося) подъема уровней от коэффициента фильтрации раздельного слоя.

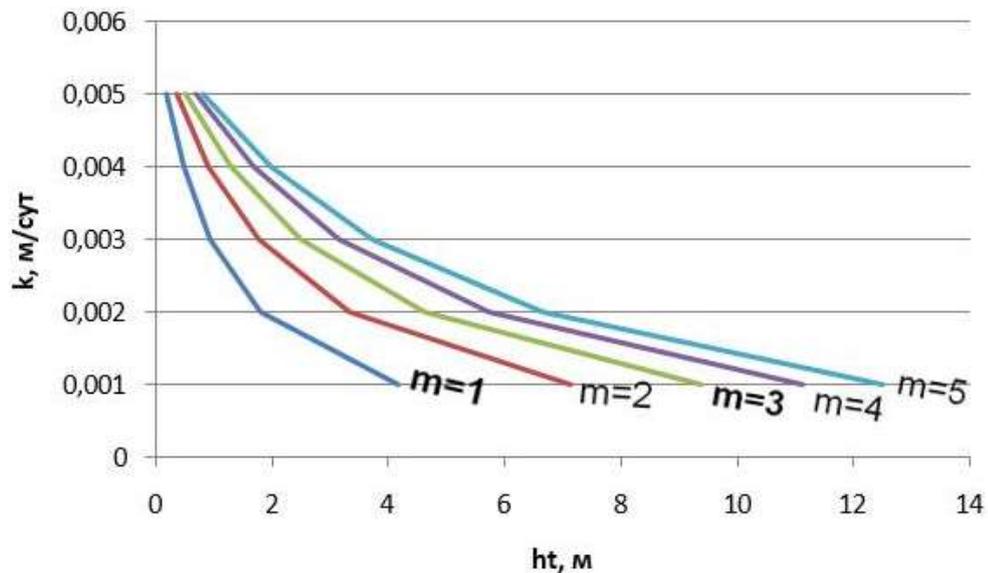


Рис. 5.21. Зависимость подъема уровня грунтовых вод за время t от коэффициента фильтрации раздельного слоя.

Эти уравнения фактически охватывают оба рассмотренных типа фильтрационных разрезов (трехслойный разрез, при возрастании мощности раздельного слоя превращается в двухслойный).

Расчеты произведены для периода наиболее интенсивного подъема уровней, ориентировочно равного 1000 сут (3 года), и для предельного состояния при переменных значениях параметров, входящих в уравнения коэффициенты фильтрации раздельного слоя, и недостаток насыщения, интенсивность

дополнительной инфильтрации, зависящая от водопотребления и колеблющаяся от $0,5 \times 10^{-3}$ до 5×10^{-3} м/сут. Кроме того, как комплексный параметр рассматривается разность инфильтрации и коэффициента фильтрации, оказывающих разнонаправленное воздействие, но имеющих одинаковую размерность. Мощность потока до застройки и начальный напор отдельного слоя для первоначально сухих территорий имеют нулевые значения. Расчетная мощность отдельного слоя принята в пределах от 1 до 5 м. Результаты расчета сведены в номограммы (рис. 5.18–5.21), позволяющие оперативно оценить возможные высоты подъема уровней в зависимости от геологического строения и интенсивности инфильтрационного питания конкретных участков, расположенных на III и IV террасах и водоразделе.

Диаграмма на рис. 5.18 показывает зависимость подъема уровня грунтовых вод за время t от мощности отдельного слоя. Из данного графика следует, что при увеличении мощности отдельного слоя увеличивается подъем уровня грунтовых вод. Увеличение происходит неравномерно. На начальном участке уровень резко возрастает и с возрастанием мощности отдельного слоя постепенно затухает подъем уровня. Так же на графике представлены зависимости при различных разностях w и k . При уменьшении инфильтрации и увеличению коэффициентов фильтрации отдельного слоя подъем уровня грунтовых вод уменьшается.

Диаграмма на рис. 5.19 показывает, что при увеличении разности инфильтрации и коэффициента фильтрации отдельного слоя линейно возрастает предельный подъем уровней. При увеличении мощности отдельного слоя резко возрастает предельный подъем уровней.

Диаграмма на рис. 5.20 показывает, что при увеличении коэффициента фильтрации отдельного слоя уменьшается предельный подъем уровней грунтовых вод.

Диаграмма на рис. 5.21 показывает зависимость подъема уровня грунтовых вод за время t от коэффициента фильтрации отдельного слоя.

Критериальная оценка влияния особенностей строения фильтрационного разреза может быть сведена к определению значений того или иного параметра, приводящего к подъему уровня до глубин заложения фундаментов строительных объектов или коммуникаций промышленных и бытовых комплексов

С помощью уравнений, предложенных И.Б. Корсукской и В.Т. Черновалом и рекомендованных институтом УкрГИИНТИЗ для условий, при которых в основании проницаемой толщи залегает отдельный слой, а ниже лежащий водоносный горизонт безнапорный, мы определили основные закономерности, влияющие на увеличение подъема уровня грунтовых вод и разработали критерии оценки роли типов фильтрационных разрезов.

Использование этого уравнения (или иных относящихся к проблеме исследования) может быть реализована путем выполнения автоматического счета соответствующих параметров по ячейкам электронных слоев составляющих информационно-поисковую систему. В этом случае результаты счета могут рассматриваться, как актуализация параметров слоев информационно-поисковой системы. В этом случае результаты стандартного запроса состояния система будут представлять не что иное, как прогнозные характеристики.

5.4.2. Численное гидродинамическое моделирование

Методы математического моделирования были использованы для создания гидродинамических моделей территории города Томска, позволяющих прогнозировать изменения уровня режима подземных вод на участках интенсивной техногенной нагрузки и оптимизировать управление подземной гидросферой. В качестве инструментального средства моделирования использованы возможности программных комплексов *FEFLOW* для модели регионального уровня *GMS* для моделей отдельных районов и *PMWIN* и для локальных моделей.

Дальнейшее развитие информационно-поисковой системы видится нам в виде разработки оценки характера и степени потенциальной подтопляемости в

любой точки городской территории и создании блока прогнозирования. В основу последнего будет положено гидродинамическое моделирование изменения гидрогеологических условий городской территории под тем или иным воздействием.

5.4.2.1. Модель регионального ранга

Моделирование городской территории в целом даёт возможность оценить обобщённо основные балансовые характеристики фильтрационного потока в естественных условиях и получить количественную оценку структуры фильтрационных потоков, которая может быть положена в основу районирования городской территории с учетом гидродинамических особенностей движения подземных вод. Такое районирование, учитывающее пространственное положение локальных областей питания и разгрузки подземных вод даёт методическую основу для обоснованного работ как по расширению жилищного строительства, так и по планированию реконструкции существующих объектов городского хозяйства.

В основу упрощенной гидродинамической модели городской территории нами положена однослойная модель геологического разреза, где верхней границей является поверхность рельефа (рис. 5.22), а нижняя граница имеет условно горизонтальное положение на уровне отметок в главной дрене, которой выступает русло реки Томи.

Анализ гидрогеологических условий показывает, что структура фильтрационных потоков подземных вод формируется в первую очередь под влиянием дренирующего воздействия хорошо развитой гидрографической сети. Несмотря на комплексный характер условного показателя дренированности городской территории, включающий оценку слоистого строения геологического разреза, типизацию условий взаимодействия подземных частей инженерных сооружений с фильтрационными потоками, дополнительное инфильтрационное питание и т. д., невозможно отрицать ведущей роли постоянно действующих водотоков.

Поэтому на этапе разработки численной модели городской территории карта гидрографической сети (рис. 5.23) использована в качестве основы для учета её конфигурации на конечно-элементной сетке области фильтрации и обеспечения возможности реализации граничных условий первого рода.

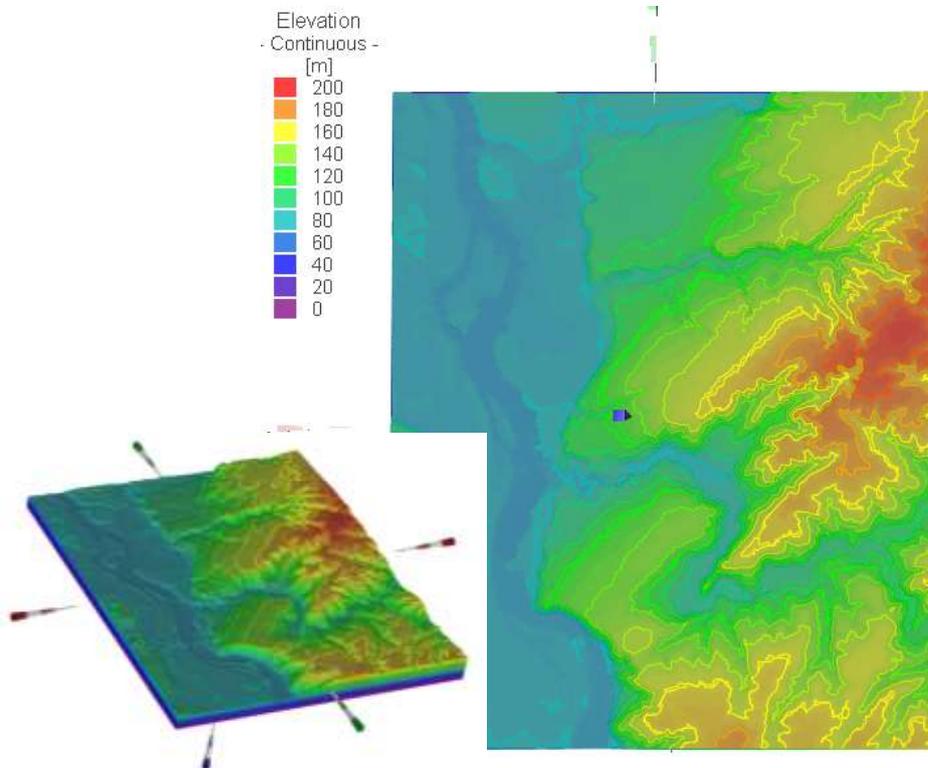


Рис. 5.22. Однослойная геологическая модель центральной части г. Томска (изолинии показывают отметки земной поверхности)

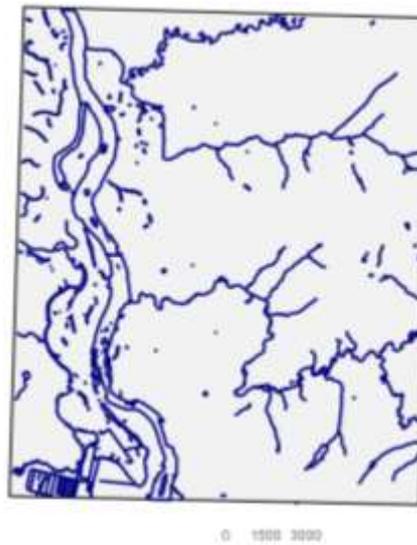


Рис. 5.23. Основные графические примитивы, использованные для создания расчётной сетки численной модели:
(прямоугольные границы области фильтрации и упрощенная конфигурация гидрографической сети)

Использование картографической основы при формировании расчётной сетки численной модели позволяет расположить узловые точки вдоль водотоков, что является определяющим условием для наиболее точного воспроизведения сложной геометрии гидрографической сети и исключает необходимость использования трудоёмкой ручной работы при выделении узловых точек для задания постоянных значений напора.

На рис. 5.24 показан общий вид конечно-элементной сетки. Высокая детальность пространственной разбивки обусловлена выраженной криволинейностью внутренних граничных условий.

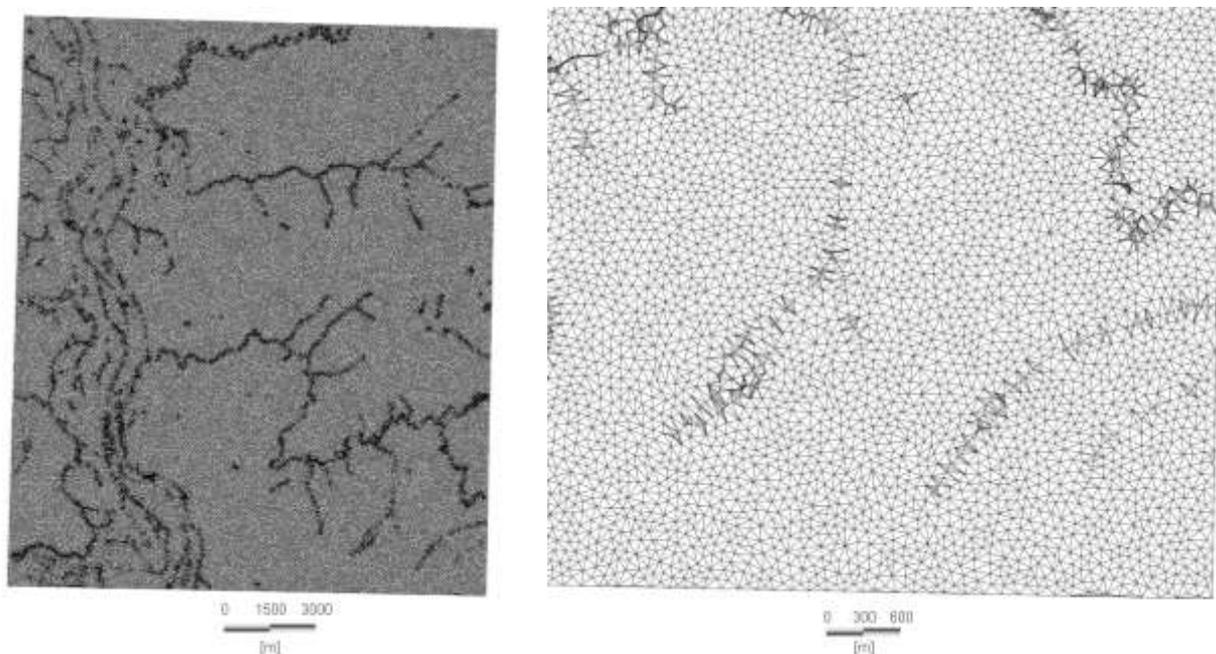


Рис. 5.24. Расчетная сетка области фильтрации (а) и её фрагмент (б) в укрупнённом масштабе (сетка содержит 100707 элементов и 101120 узлов)

Необходимо заметить, что использование картографической основы на этапе формирования расчётной сетки позволяет расширить возможности анализа гидрогеологических условий и на завершающем этапе моделирования. Это в максимальной степени облегчает совмещение в едином пространственном поле различных картографических слоёв не только с исходными параметрами модели (рис. 5.25), но с результатами численного моделирования.

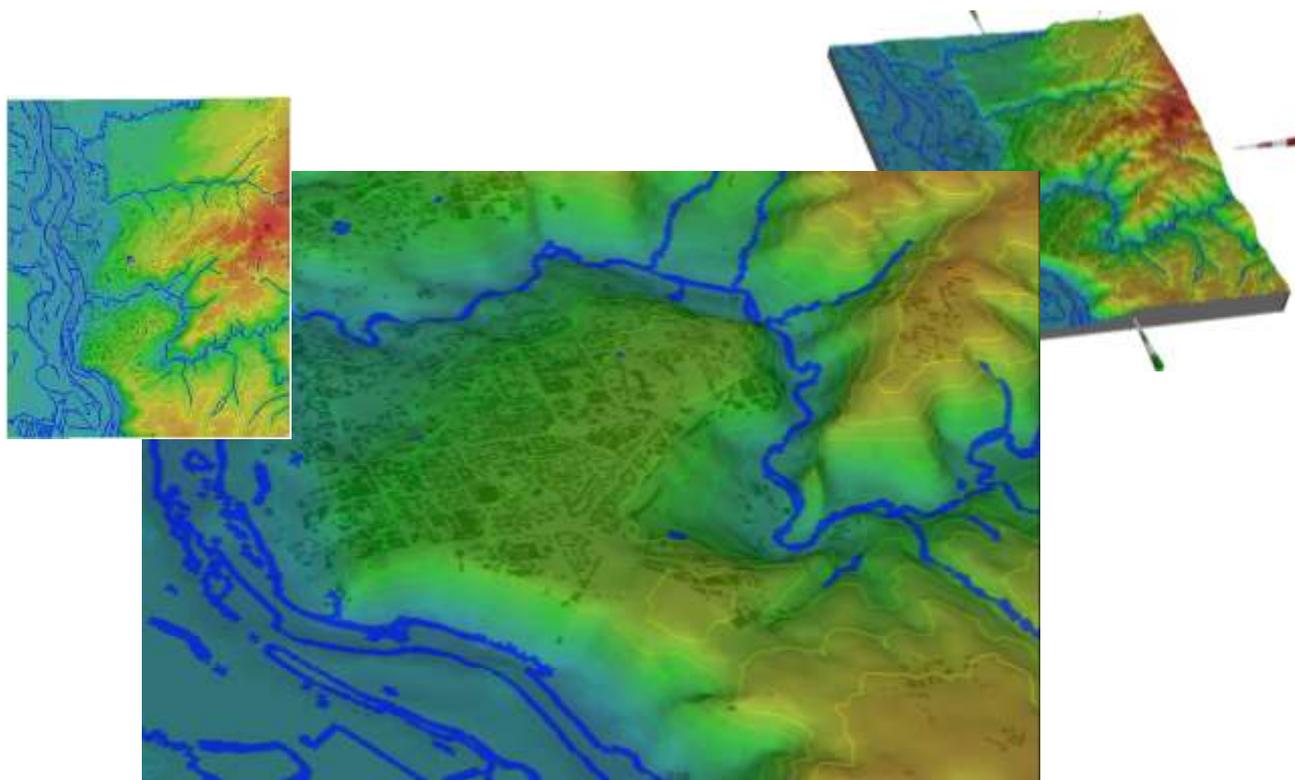


Рис. 5.25. Пример совмещения нескольких картографических слоёв (гидрография и застройка на фоне рельефа)

Карта высотных отметок позволяет не только воспроизвести на численной модели поверхность рельефа (рис. 5.22), но и внутренние граничные условия первого рода (рис. 5.26).

Результаты моделирования гидрогеологических условий в стационарной постановке показывают, что при поступлении на поверхность геологического разреза однородного по фильтрационным свойствам (коэффициент фильтрации 0,1 м/сут) равномерно распределённого инфильтрационного питания (150 мм/год) под влиянием внутренних граничных условий формируется уровенная поверхность подземных вод, повторяющая в сглаженном виде поверхность рельефа (рис. 5.27). Количественное соотношение обобщённой оценки проницаемости геологического разреза и интенсивности инфильтрационного питания установлено на численной модели экспериментально путем целенаправленного подбора параметров. Контроль осуществлялся по

максимальной величине расчётного напора, которая не должна превышать отметок рельефа.

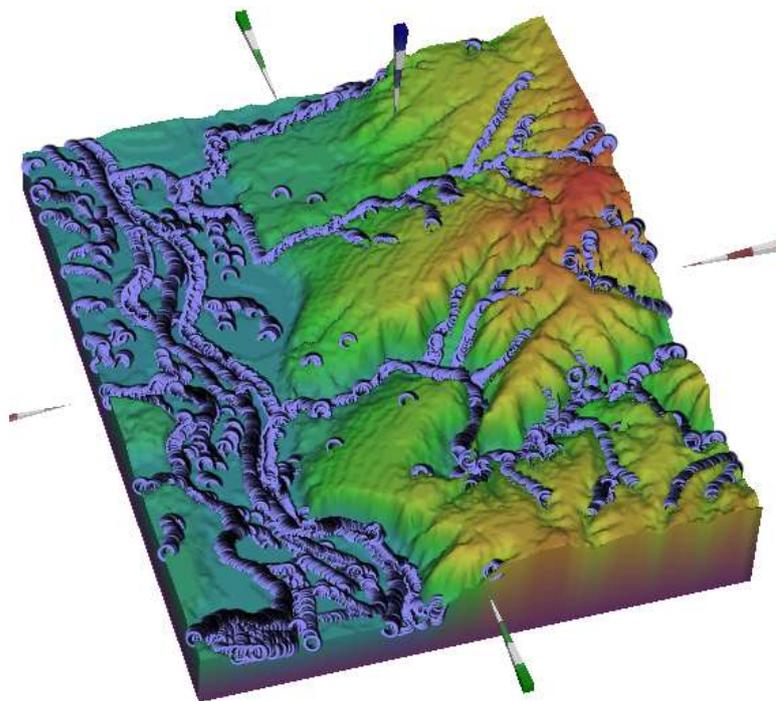


Рис. 5.26. Граничные условия первого рода
(выделены узловые точки, в которых заданы постоянные напоры)

Полученная форма расчётной поверхности уровня подземных вод доказывает существование на территории города стабильной во времени и в пространстве структуры фильтрационных потоков. Возможные изменения гидрогеологических условий под влиянием техногенной нагрузки могут существенно проявляться только на отдельных участках, а их количественный прогноз требует применения локальных численных моделей, которые могут учесть влияние особенностей слоистого строения геологического разреза и особенностей техногенного воздействия на подземные воды.

Районирование территории города на основе гидродинамической структуры фильтрационных потоков подземных вод предполагает выделение относительно обособленных участков, относящихся к областям преимущественно питания, транзита и разгрузки подземных вод. В условиях тесной гидравлической связи

поверхностных и подземных вод на территории города к областям питания можно отнести междуречные пространства, к областям транзита участки склонов, а к областям разгрузки долины постоянных водотоков различных порядков.

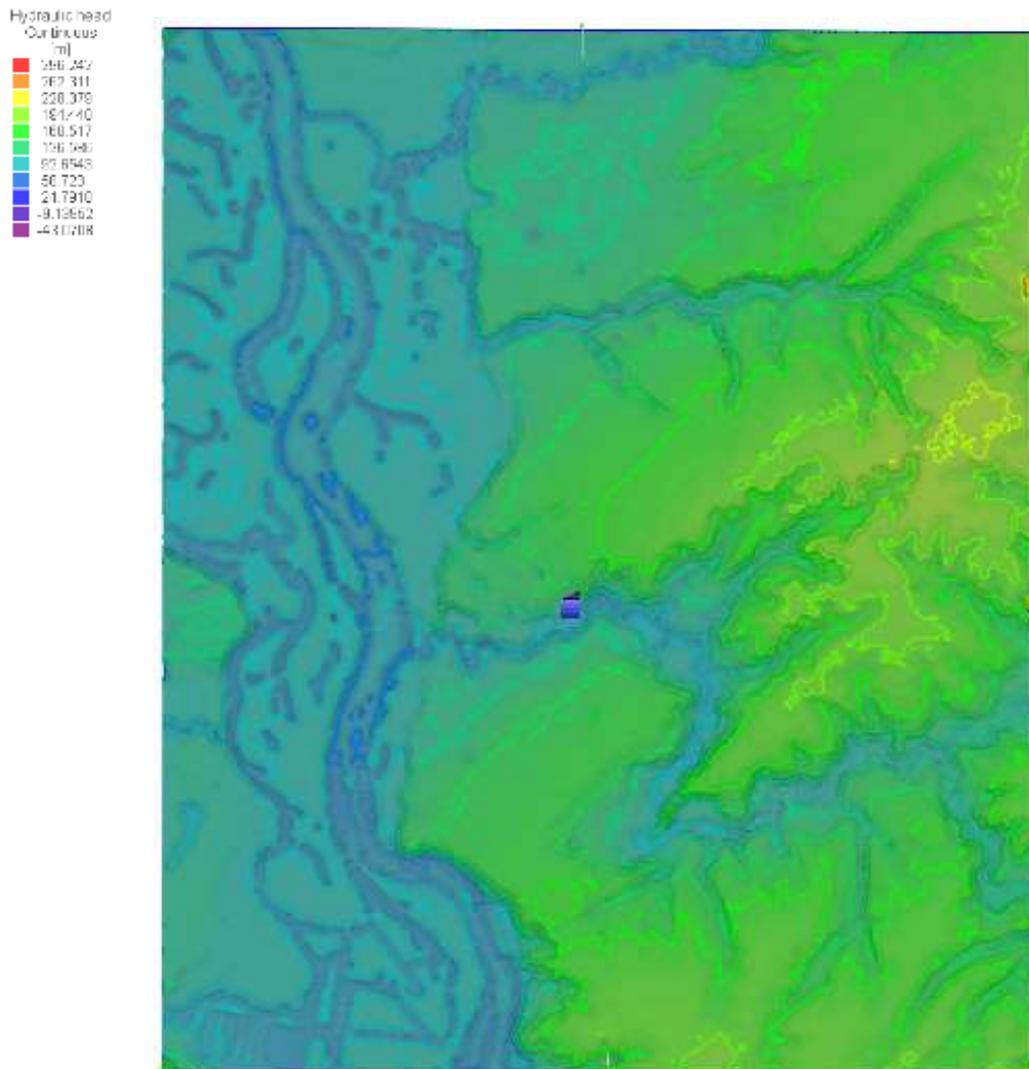


Рис. 5.27. Результат решения стационарной геофильтрационной задачи

На рис. 5.28–5.30 представлен вариант такого районирования, выполненный на основе численной цифровой модели уровенной поверхности подземных вод. В гидродинамическом отношении выделенные зоны обладают некоторыми выраженными особенностями по отношению к техногенному воздействию на подземную гидросферу. Ожидается, что наиболее подвержены развитию техногенного подтопления относительно плоские участки водоразделов, т.е. локальные области питания, где обнаруживаются минимальные величины

гидравлических уклонов и, следовательно, горизонтальных скоростей фильтрационных потоков (рис. 5.28).

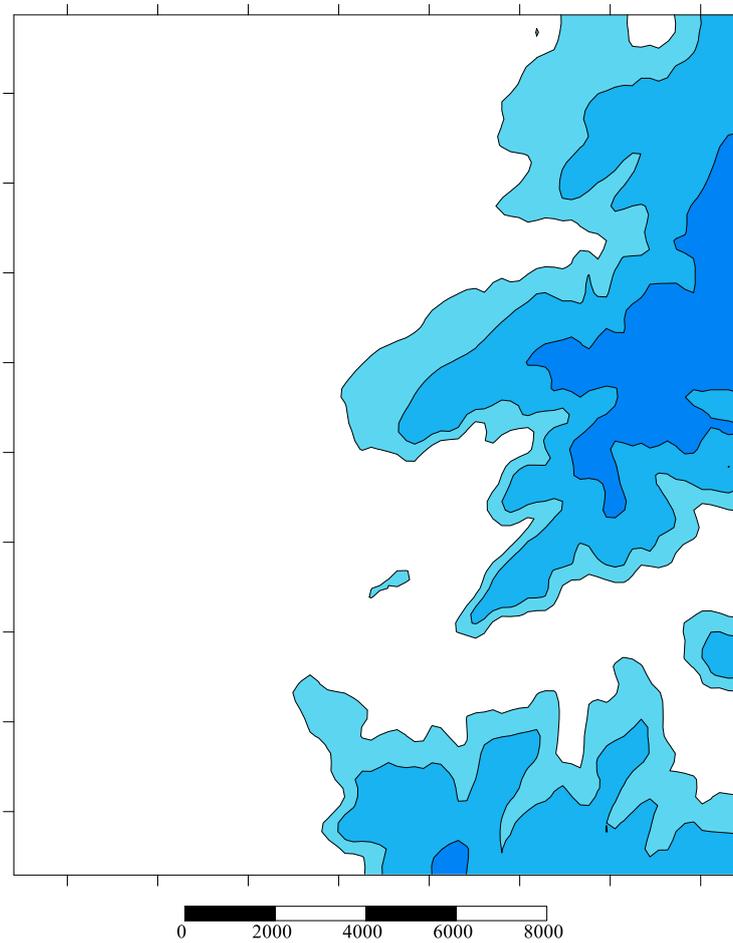


Рис. 5.28. Области питания

Это условие при их максимальной отдалённости от областей разгрузки вызывает благоприятные условия для роста уровней подземных вод под влиянием дополнительного инфильтрационного питания при выраженном преобладании вертикальных фильтрационных потоков. Этому в немалой степени способствует анизотропия фильтрационных свойств рыхлых полупроницаемых разностей горных пород покровной части геологического разреза, представленной преимущественно лёссовидными суглинками и слоистым строением водовмещающей толщи. Отмеченные особенности косвенно подтверждаются и результатами численного моделирования. Удовлетворительной степени адекватности модели удаётся добиться только в том случае, если водовмещающая толща имеет существенные (в пределах одного математического порядка)

различия фильтрационных параметров в горизонтальном и вертикальном направлениях.

На участках транзитного фильтрационного потока наиболее существенную роль в формировании процессов техногенного подтопления могут играть барражные эффекты свайных оснований инженерных сооружений (рис. 5.29). Количественная оценка негативных последствий геометрического воздействия на фильтрационные потоки может быть выполнена путём моделирования гидрогеологических условий локальных участков городской застройки для типовых условий фильтрационных разрезов в пределах сферы взаимодействия фундаментов с геологической средой.

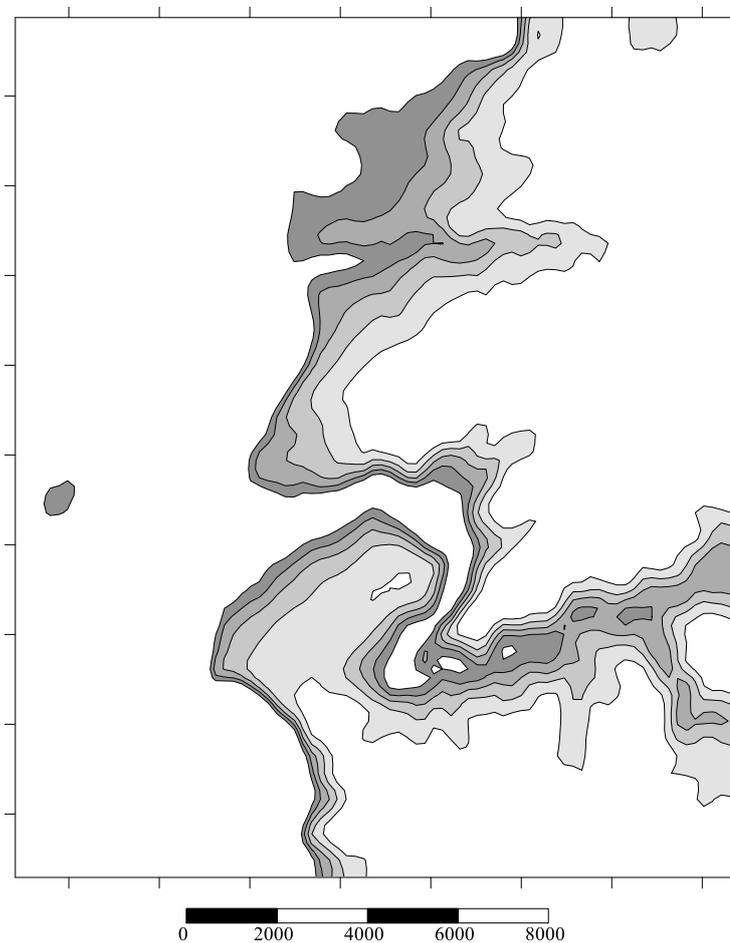


Рис. 5.29. Области транзита

Участки городской территории, приуроченные к областям разгрузки подземных вод, как правило, находятся в условиях не чувствительных к техногенному увеличению дополнительного инфильтрационного питания,

поскольку расположены близко к естественным дренам и находятся под их непосредственным влиянием (рис. 5.30). Однако, с точки зрения потенциального подтопления городской территории эти участки часто находятся в неблагоприятных условиях, поскольку характеризуются близким к поверхности расположением уровней грунтового потока при минимальной глубине их залегания. Участки естественной разгрузки подземных вод можно рассматривать как осваиваемые территории в зонах развития естественного подтопления.

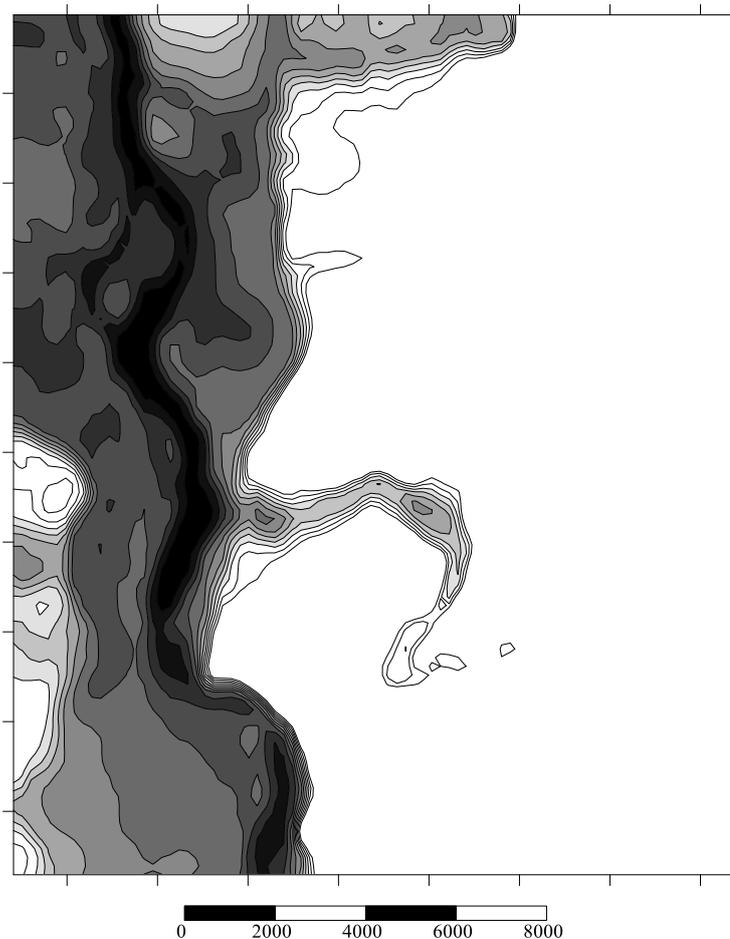


Рис. 5.30. Области разгрузки

Для таких районов города при развитии инфраструктуры, строительном освоении и проектировании реконструкции существующей застройки следует предусматривать комплекс защитных гидроизоляционных мероприятий, как для инженерных коммуникаций, так и для подземных частей зданий промышленной и гражданской застройки.

5.4.2.2. Модель районного ранга

Методы математического моделирования были использованы для создания прогнозной гидрогеологической модели (на примере объекта мкр. Черемошники) для оценки изменения уровенного режима подземных вод на участках интенсивной техногенной нагрузки и управления уровнем подземных вод.

В рамках исследования подтопления территории города Томска был создан блок прогнозирования изменения подтопляемости, выполненный в ПК GMS. Результатом является модель, способная математическим путем вычислить степень подтопляемости при изменении объемов питания подземных вод.

Дальнейшее развитие информационно-поисковой системы видится нам в виде разработки оценки характера и степени потенциальной подтопляемости любой точки городской территории и создании блока прогнозирования. В основу последнего будет положено гидродинамическое моделирование изменения гидрогеологических условий городской территории под тем или иным воздействием. Первоочередным объектом исследований в этом направлении выбран мкр. Черемошники, для которого характерно не только подтопление, но и затопление в весенний период подъема реки.

С использованием комплексного анализа установлено, что на территории микрорайона отчётливо фиксируются отдельные участки подъема уровня подземных вод. Это свидетельствует о наличии локальных областей питания первого от поверхности водоносного горизонта и верховодки.

Региональный поток подземных вод на протяжении значительного времени сохраняется без изменений. Направление фильтрационного потока контролирует основная естественная дрена, в качестве которой выступает русло р. Томи в западной части участка. В области развития водоносного горизонта подземные воды получают питание за счет инфильтрации атмосферных осадков, притока в восточной части участка за счёт разгрузки подземных вод транзитного потока и утечек из водонесущих коммуникаций. Слабые фильтрационные свойства горных пород верхней части гидрогеологического разреза в сочетании с дополнительным

питанием и малыми гидравлическими уклонами создают благоприятные условия для развития процессов техногенного подтопления.

Анализ уровня поверхности подземных вод на основе ГИС-технологий позволяет актуализировать весь объем накопленной гидрогеологической информации для планирования рациональных схем защитных мероприятий.

Для гидродинамического моделирования необходимо схематизировать исследуемую область. Схематизация области фильтрации предусматривает необходимость задания так называемых «условий однозначности решения». Эти условия включают:

- Геометрические параметры области фильтрации (мощность водоносного горизонта, положение водоупоров, расстояния и пр.);
- Расчетные фильтрационные параметры (коэффициенты фильтрации, пьезопроводности и уровнепроводности);
- Граничные условия;
- Начальные условия (положения уровней и напоры в начальный момент времени).

При схематизации микрорайона Черемошники были установлены границы – это проницаемая граница I рода с руслом реки Томь, граница II рода – тыловая часть террасы. Боковыми границами области фильтрации приняты линии тока разгружающегося со стороны Каштачной горы фильтрационного потока (рис. 5.31). Геологическая модель имеет трёхслойное строение водовмещающей толщи: покровные суглинки, супеси, гравийно-галечные отложения. Основание разреза представлено водоупорным слоем подстилающих суглинков. Выводы были сделаны из произведенных ранее исследований в районе мкр.Черемошники, последними являются геофизические исследования, проведенные в 2009 году (микросейсмика, электроразведка) (рис. 5.32).

Также нами для создания, корректировки и отладки численной модели используются картографические материалы, начиная с 1932 г. (карты гидроизогипс, карты глубины залегания грунтовых вод и верховодки на территории г. Томска на июнь-июль 1955-1956-1957 гг.) [69, 70].

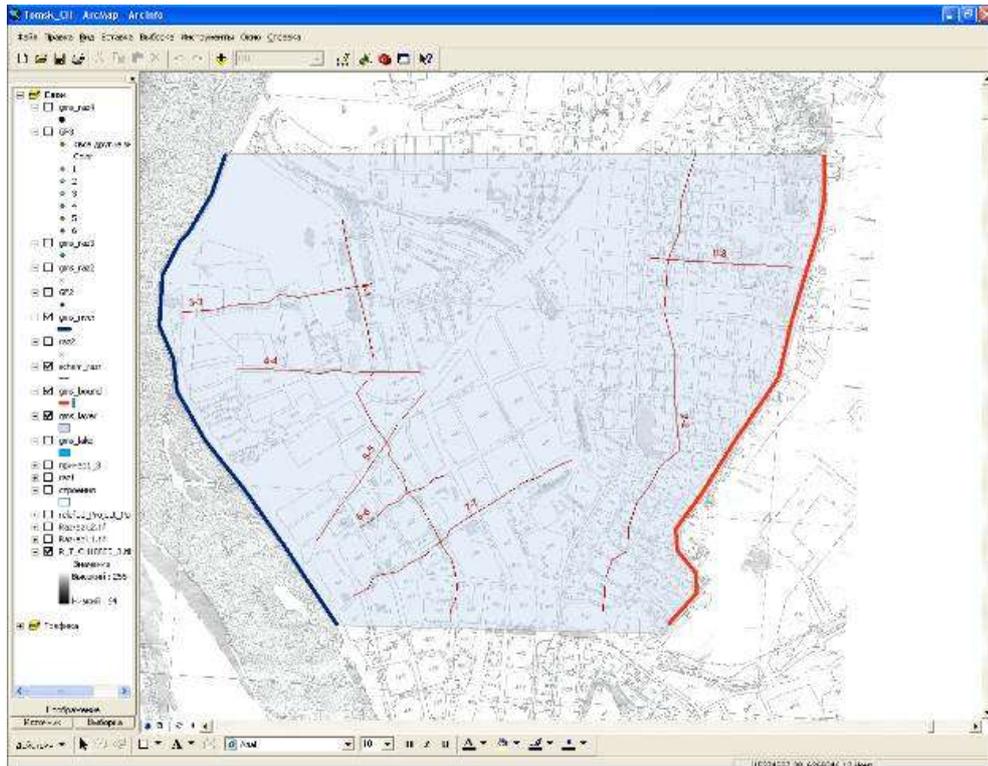


Рис. 5.31. Граничные условия области фильтрации (граница I рода – русло р.Томи, граница II рода – тыловая часть террасы, боковые границы – непроницаемые границы II рода)

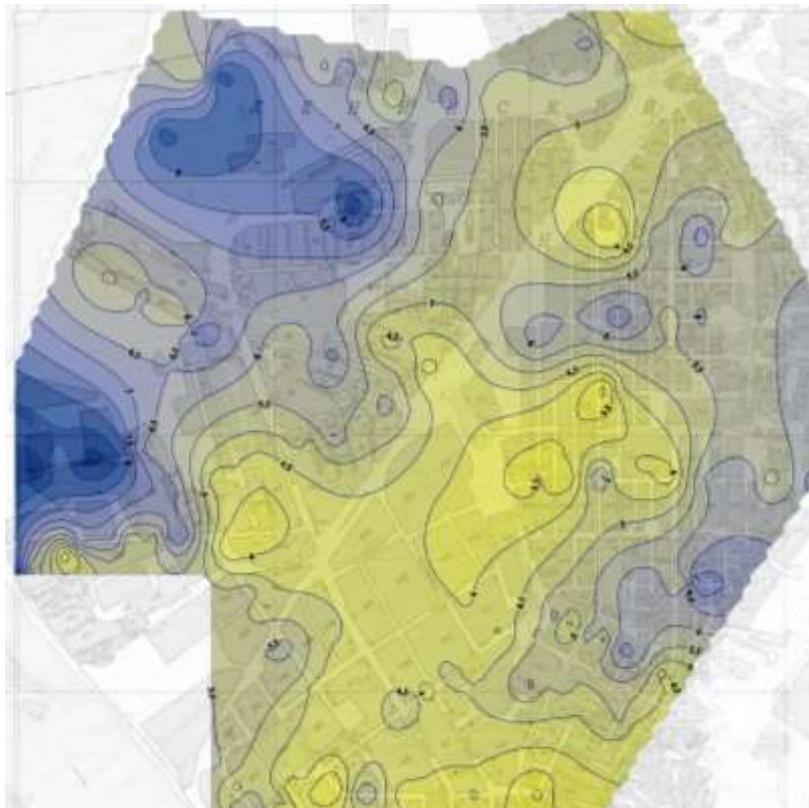


Рис. 5.32. Схема глубин залегания уровня подземных вод по данным микросейсмических исследований 2009 г.

После обработки и схематизации исследуемой области данные из ПК ArcGis экспортировались в ПК GMS, где в дальнейшем создается гидродинамическая модель (рис. 5.33).

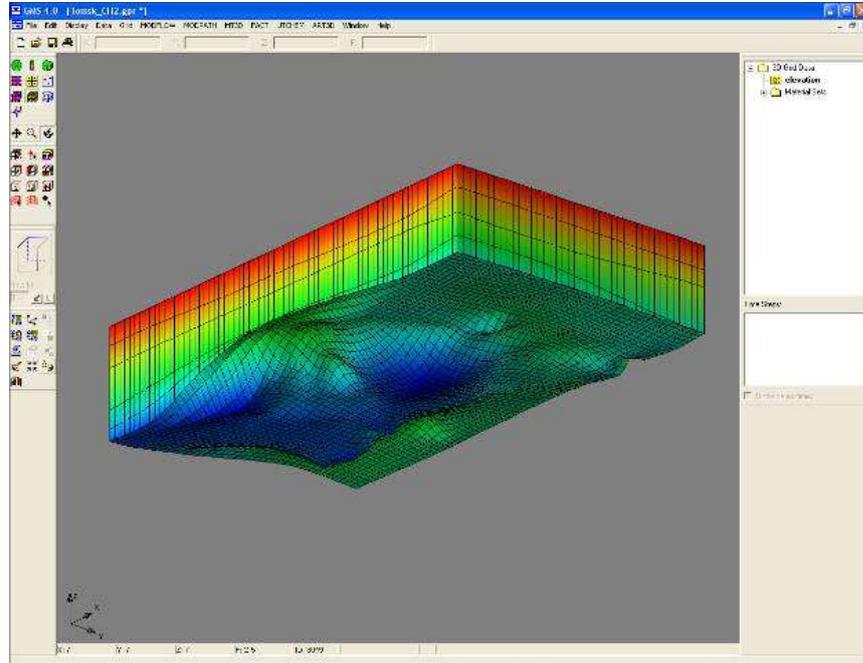


Рис. 5.33. Объемный вид численной модели области фильтрации, подготовленной для проведения численных экспериментов

5.4.2.3. Модель (модели) локального ранга

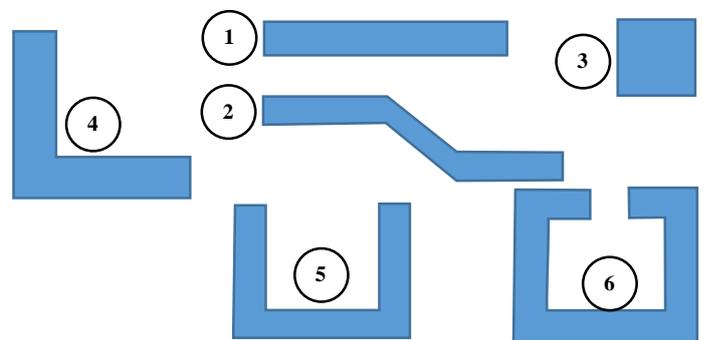
Необходимость применения методов математического моделирования для исследования изменения гидрогеологических условий под влиянием проявления процессов техногенного подтопления на локальных участках объясняется сложностью граничных условий, которые плохо поддаются схематизации в рамках аналитических решений прогнозных геофильтрационных задач (см. приложение к СНиПу по подтоплению).

В пределах городской территории к наиболее трудно прогнозируемым задачам относятся мало исследованные схемы развития подтопления за счёт проявления барражного эффекта свайных оснований. Описание простейших расчётных схем для аналитических решений известно по работам Муфтахова А.Ж., которые нашли своё обобщение в выше упомянутом пособии к СНиП по подтоплению.

Для территории города Томска эти вопросы прогноза геометрического воздействия на структуру фильтрационных потоков приобретают особенно важное значение. Во-первых, анализ гидрогеологических условий показывает, что верхняя часть геологического разреза, сложенная слоистой толщей полупроницаемых рыхлых отложений, склонна к развитию техногенного подтопления при избыточной величине дополнительного инфильтрационного питания. Во-вторых, избыточному увлажнению способствует неидеальное состояние относительно старых водонесущих коммуникаций. В-третьих, в условиях современной застройки преобладающим типом фундаментов гражданских зданий являются свайные основания с длиной свай, как правило, более 9 метров, способные создавать практически непроницаемые преграды для естественных фильтрационных потоков. Максимальный эффект от такого воздействия на подземные воды ожидается в зоне транзита (см. рис. 5.29 в разделе региональная модель).

Обзор освоенных участков городской территории в кварталах высокоэтажной современной застройки (в отличие от районов частного сектора) позволяет систематизировать форму свайных оснований в плане для целей количественной оценки барражного эффекта. По отношению к геометрическому воздействию на естественные фильтрационные потоки нами предлагается выделять следующие типы свайных оснований в плане:

1. Линейный
2. Линейный с особенностями
3. Изометрический сплошной
4. Полукарман
5. Карман
6. Карман закрытый



При ограниченном наборе типовых форм свайных оснований в плане возникает целое семейство расчётных схем в случае различных ориентировок контура фундамента по отношению к направлению фильтрационного потока

(рис. 5.34). Их многообразие возрастает при совместной внутриквартальной компоновке однотипных (рис. 5.35) или разнотипных фундаментов.

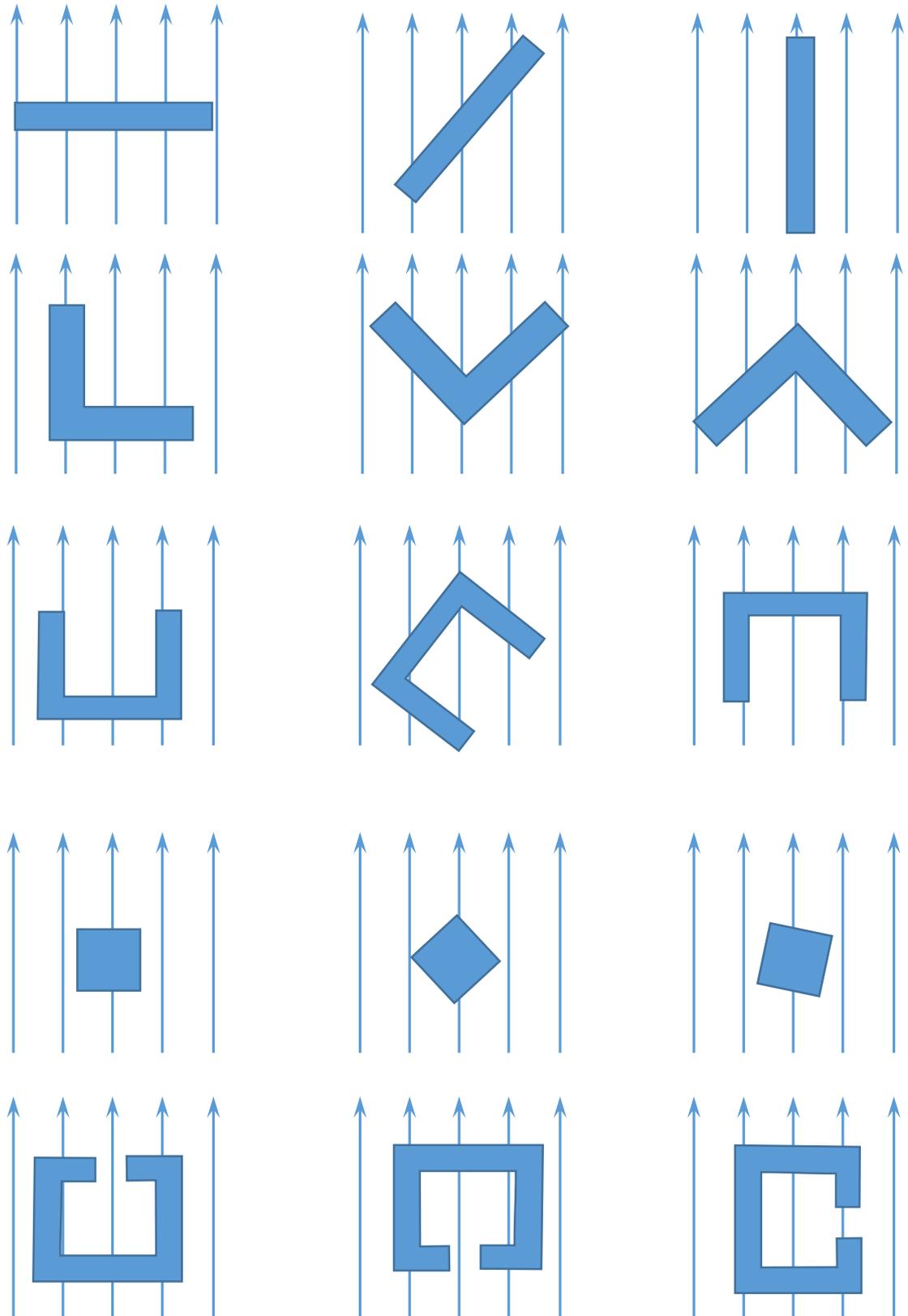


Рис. 5.34. Варианты ориентировки различных типовых форм свайных оснований по отношению к направлению естественного фильтрационного потока

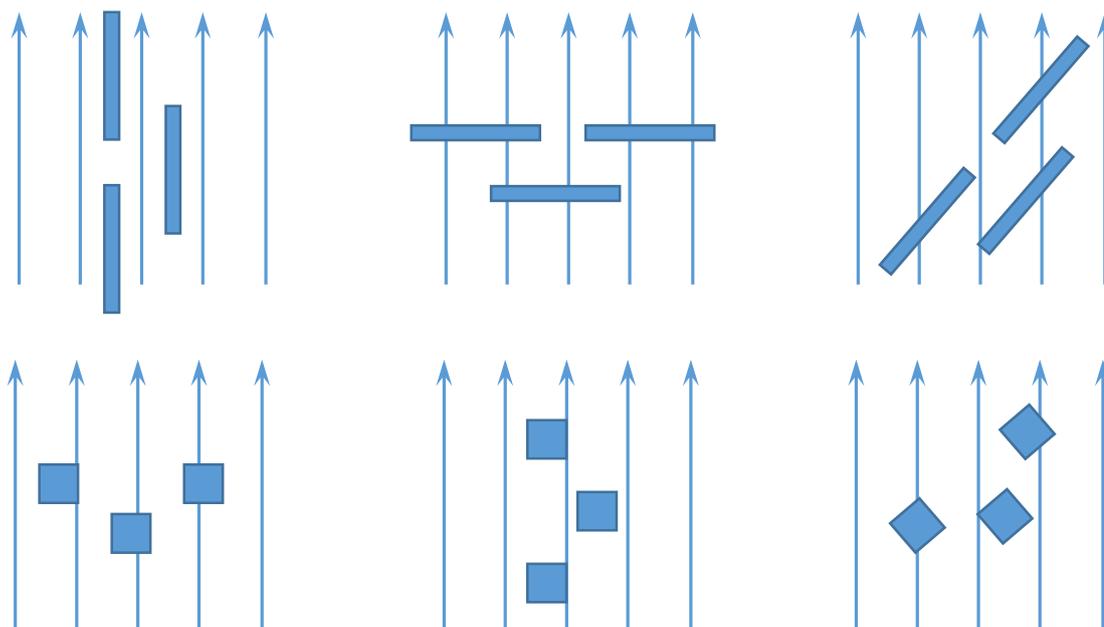


Рис. 5.35. Варианты ориентировки регулярных групп различных типовых форм свайных оснований по отношению к направлению естественного фильтрационного потока

Нами сделана попытка количественной оценки возможного роста уровней подземных вод за счёт проявления барражного эффекта свайных оснований. Поскольку подобное взаимодействие подземных вод с искусственной преградой предполагает искажение линий тока и формирование сложной формы фильтрационного потока, то для оценки изменения уровней целесообразно применять методы численного моделирования гидрогеологических условий. В данном случае моделирование предлагается выполнять в многовариантной постановке для локального участка стандартного размера и типовых условий фильтрационного разреза при размещении в границах исследуемого участка различных по форме свайных фундаментов.

В качестве инструментального средства моделирования локальных моделей нами использованы возможности программного комплекса *Processing Modflow*. Особенностью этой среды программирования является упрощенный интерфейс пользователя, который обладает только самым необходимым набором возможностей по подготовке исходных данных с учётом непосредственного задания фильтрационных параметров и граничных условий на пространство

конечно-разностной сетки. Вместе с тем, программный комплекс использует в составе решающий модуль *modflow96*, который является ядром самых популярных программ гидродинамического моделирования, таких как *Groundwater Modeling System* или *Visual Modflow*.

Для локальных моделей использована квадратная конечно разностная сетка с постоянной размерностью 21×21 расчётных ячеек. Размер ячеек одинаковый 10×10 м, он выбран с таким расчётом, чтобы с одной стороны, минимизировать число расчётных ячеек, а с другой, иметь возможность удовлетворительно аппроксимировать форму свайных оснований.

Все локальные модели имеют трёхслойное строение до глубины 21 м по аналогии со строением типовых фильтрационных разрезов. Однако в составе модели предусмотрено более дробное деление верхнего водонасыщенного и полупроницаемого слоёв для возможности задания водонесущих коммуникаций на глубине 3 м и свай длиной 9 м от поверхности. Таким образом, для моделирования условий взаимодействия типового фильтрационного разреза со свайным фундаментом предлагается использовать пятислойную численную модель, в составе которой слои 1 и 2, 3 и 4 попарно имеют сходственные фильтрационные параметры, поскольку представляют собой один литологический слой геологического разреза, разделённый для удобства задания граничных условий на численной модели (рис. 5.36).

На противоположных границах области фильтрации заданы постоянные напоры, фильтрационная неоднородность ограничена различной проницаемостью слоёв, пространственная неоднородность отсутствует. Для фиксации уровней заданы наблюдательные скважины с таким расчётом, чтобы иметь возможность сравнивать уровни подземных вод в разных слоях численной модели и по направлению фильтрационного потока (рис. 5.37).

Начальные напоры определяются на модели как результат решения стационарной задачи для области фильтрации без учета застройки (рис. 5.38).

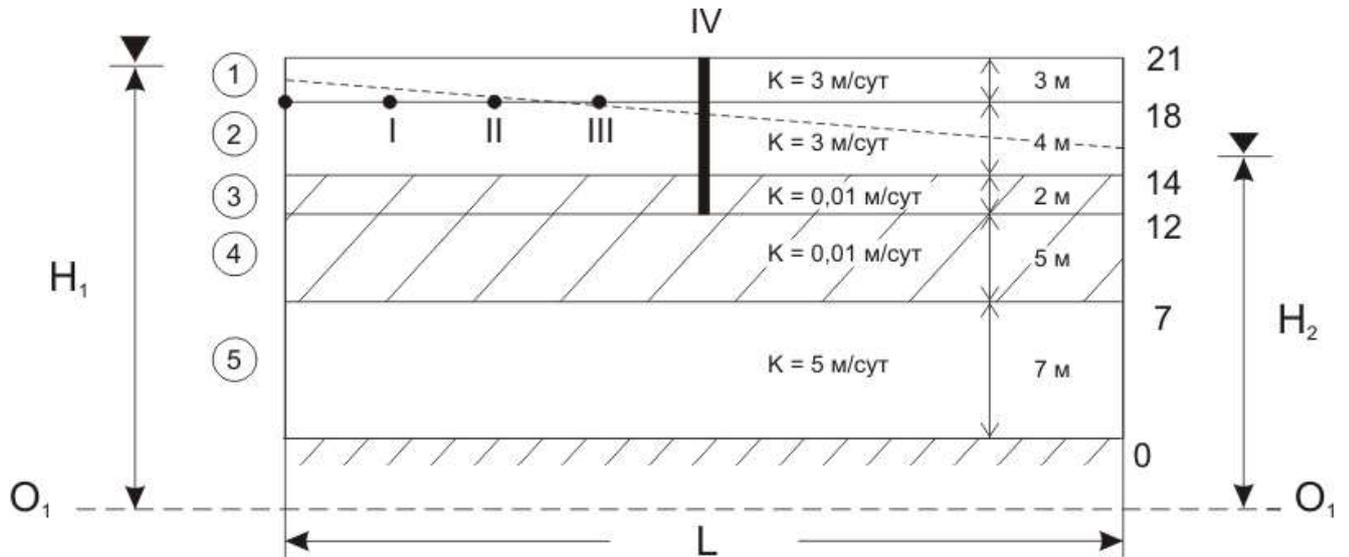


Рис. 5.36. Граничные условия численной модели типового фильтрационного разреза:

1-5 – номера слоёв численной модели; **I – III** – варианты расположения линейного источника дополнительного питания на различных расстояниях от свайного поля; **IV** – свайное поле, выступающее в качестве непроницаемой фильтрационной завесы; H_1 и H_2 – напоры на границе области фильтрации; L – длина области фильтрации (размер квадратной численной модели); \blacktriangledown – уровень грунтовых вод

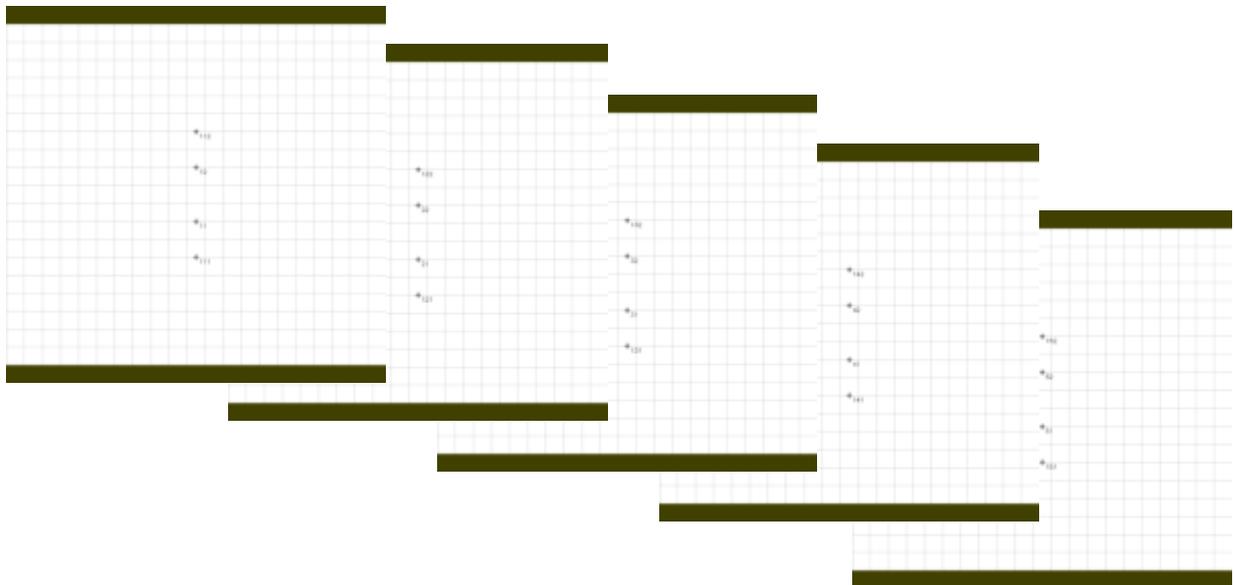


Рис. 5.37. Конечно-разностная сетка пяти слоёв области фильтрации локальной численной модели: цветной заливкой показаны ячейки с постоянным напором; пронумерованы наблюдательные скважины (первая цифра в двухзначном имени и вторая цифра в трёхзначном имени соответствует номеру модельного слоя)

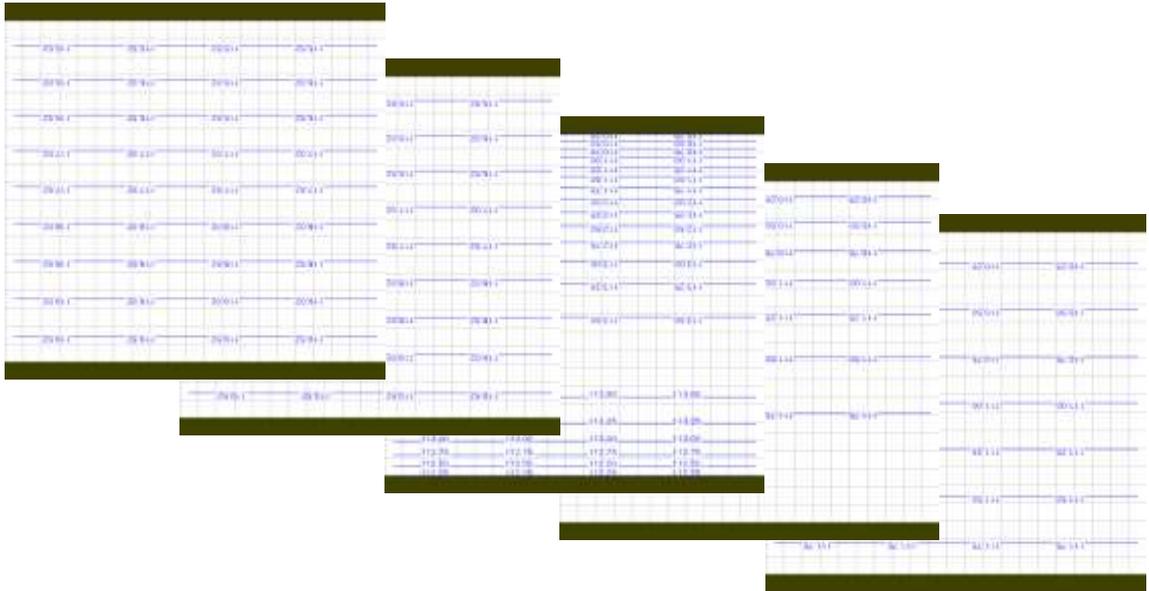


Рис. 5.38. Результат решения стационарной задачи в естественных условиях

Расчётные значения напоров используются для сравнительной оценки влияния геометрического воздействия на структуру фильтрационного потока непроницаемых преград.

Результаты численного моделирования влияния различных по форме в плане типов свайных оснований показаны на рис. 5.39–5.42. Для определённости модельное распределение гидроизогипис показано для второго слоя модели, который занимает положение над поверхностью раздельного полупроницаемого горизонта.

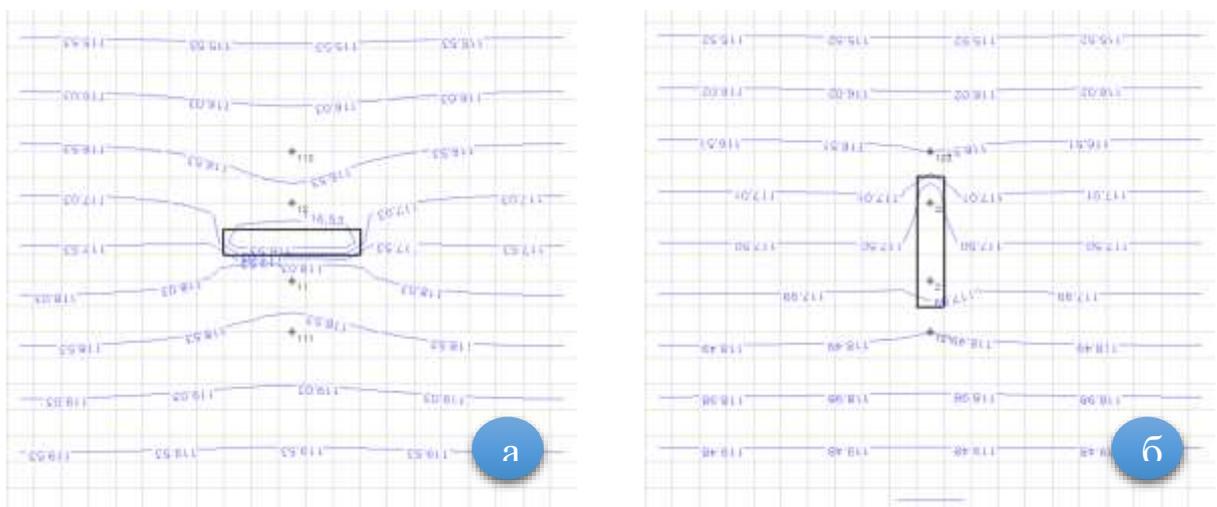


Рис. 5.39. Результат решения стационарной задачи в условиях разных вариантов воздействия линейного типа свайного фундамента на структуру фильтрационного потока: *а* – длинная сторона навстречу потоку; *б* – короткая сторона навстречу потоку

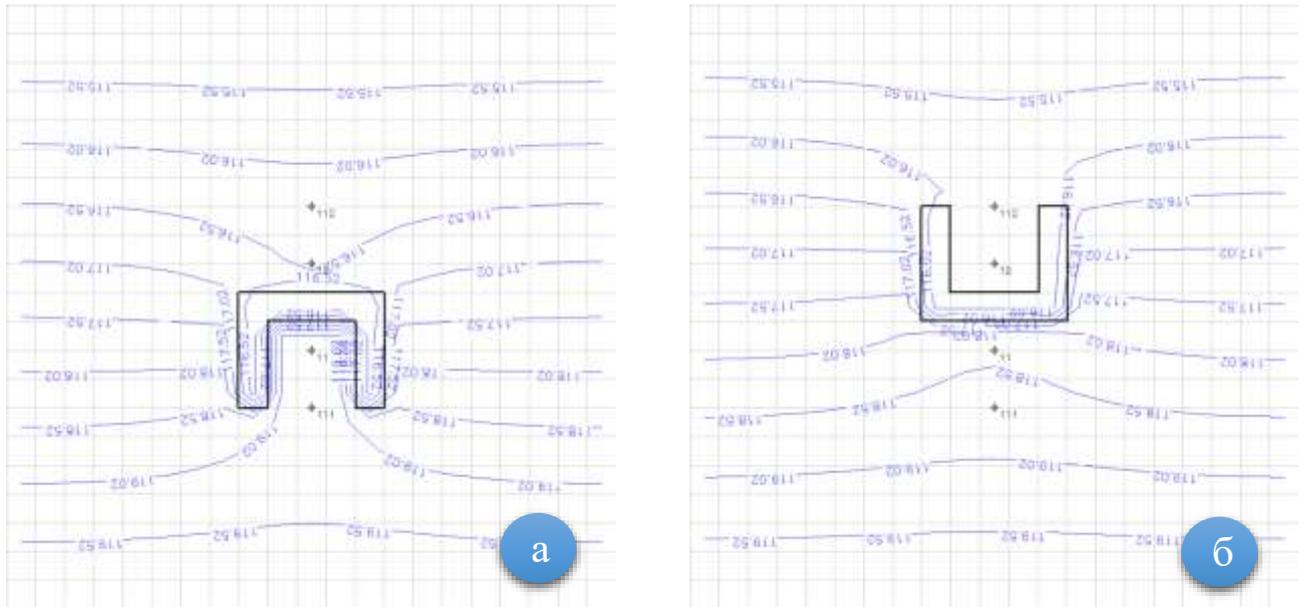


Рис. 5.40. Результат решения стационарной задачи в условиях разных вариантов воздействия свайного фундамента типа «карман» на структуру фильтрационного потока: *а* – выступы навстречу потоку; *б* – выступы по потоку

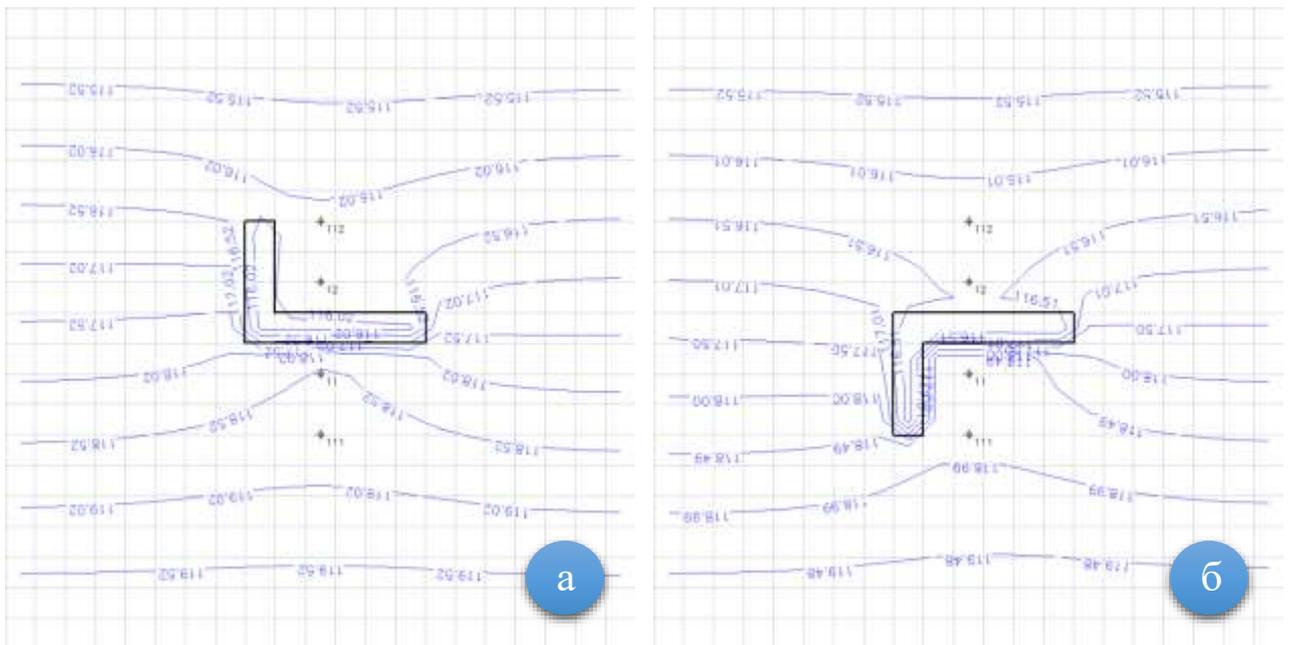


Рис. 5.41. Результат решения стационарной задачи в условиях разных вариантов воздействия свайного фундамента типа «полукарман» на структуру фильтрационного потока: *а* – выступ навстречу потоку; *б* – выступ по потоку

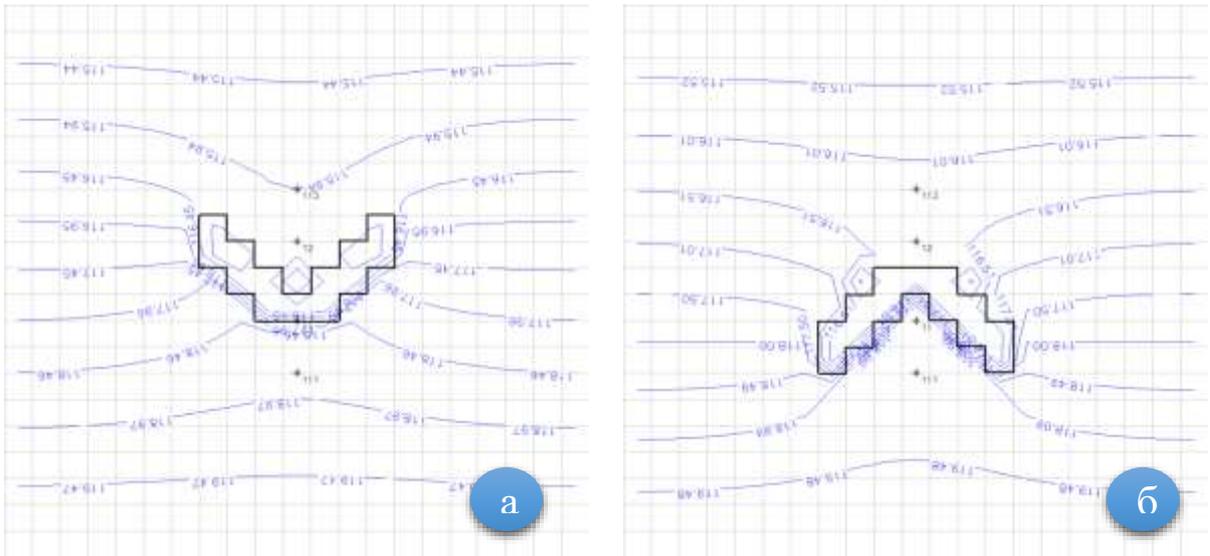


Рис. 5.42. Результат решения стационарной задачи в условиях разных вариантов воздействия свайного фундамента типа «полукарман» на структуру фильтрационного потока: *а* – вершина навстречу потоку; *б* – вершина по потоку

Полученные фрагменты карт гидроизогипс позволяют судить о структуре фильтрационных потоков, формирующихся под воздействием свайных полей с использованием линий тока (рис. 5.43 – 5.46). Визуализация траекторий движения подземных вод может служить основой качественной оценки техногенного воздействия на естественный фильтрационный поток.

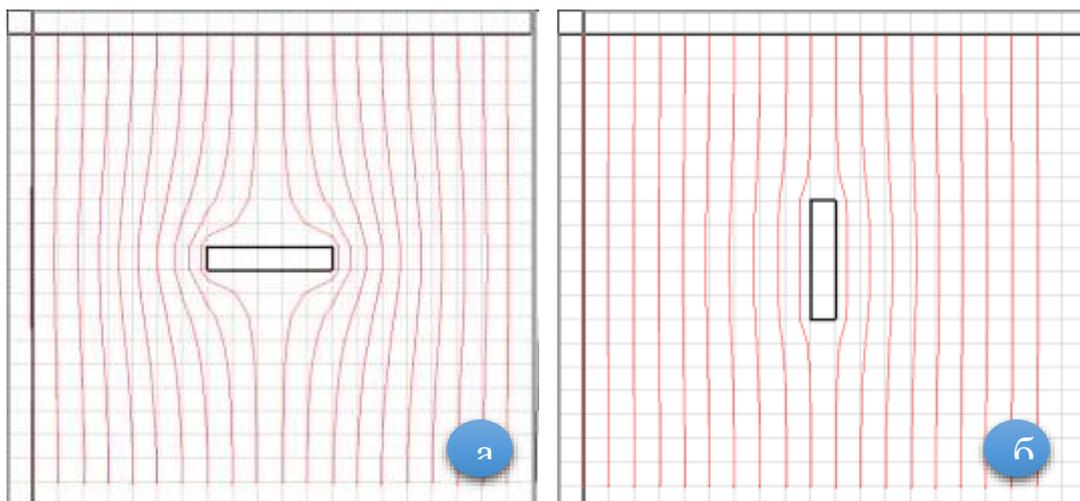


Рис. 5.43. Линии тока в условиях разных вариантов воздействия линейного типа свайного фундамента на структуру фильтрационного потока: *а* – длинная сторона навстречу потоку; *б* – короткая сторона навстречу потоку

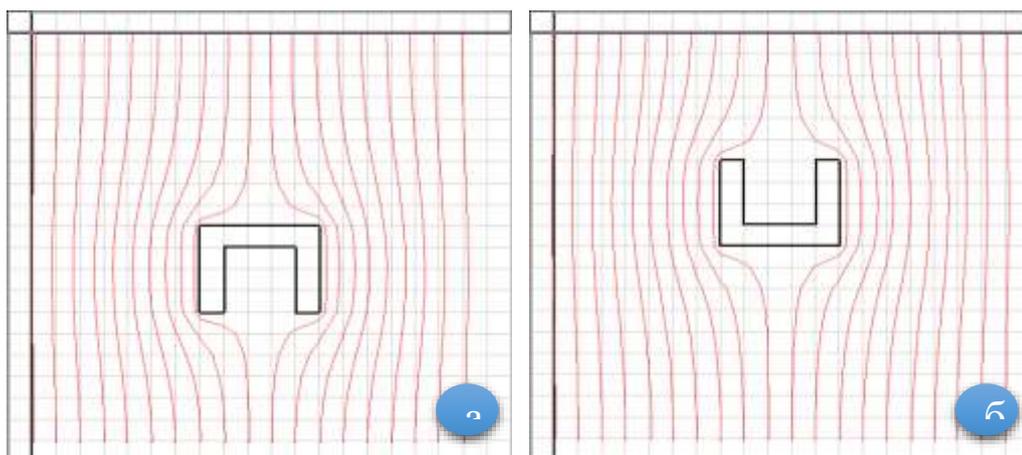


Рис. 5.44. Линии тока в условиях разных вариантов воздействия свайного фундамента типа «карман» на структуру фильтрационного потока: *a* – выступы навстречу потоку; *б* – выступы по потоку

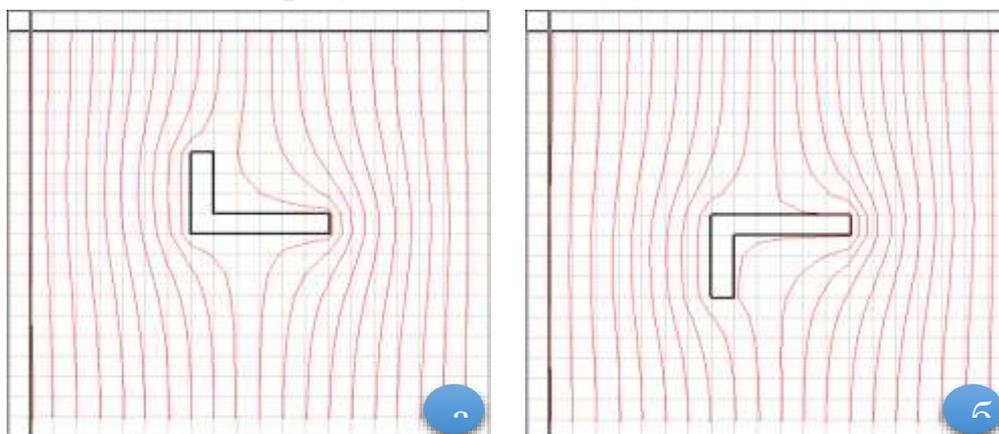


Рис. 5.45. Линии тока в условиях разных вариантов воздействия свайного фундамента типа «полукарман» на структуру фильтрационного потока: *a* – выступ навстречу потоку; *б* – выступ по потоку

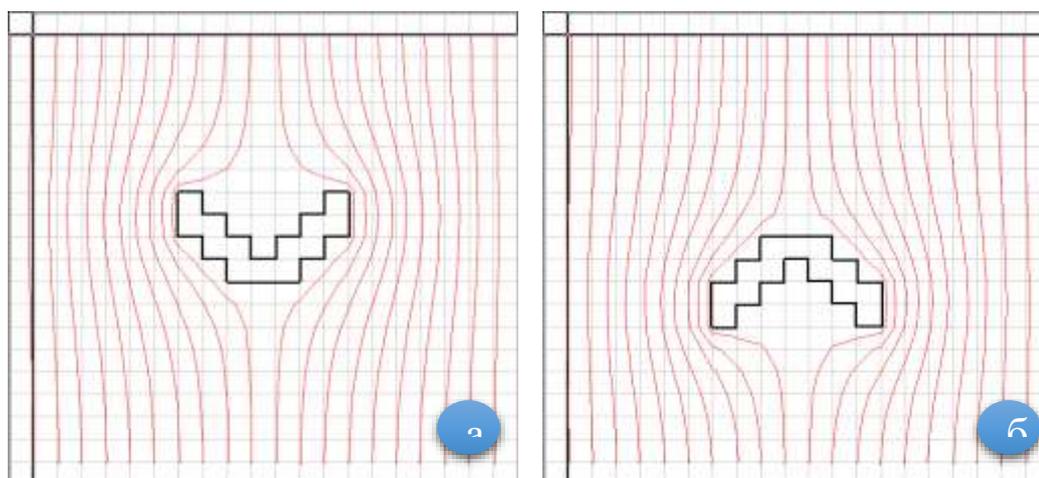


Рис. 5.46. Линии тока в условиях разных вариантов воздействия свайного фундамента типа «полукарман» на структуру фильтрационного потока: *a* – вершина навстречу потоку; *б* – вершина по потоку

Количественная оценка проявления барражного эффекта может быть выполнена как путём сопоставления структурных планов гидроизогипс нарушенного фильтрационного потока в различных типовых условиях, так и сравнением напоров по наблюдательным скважинам (табл. 5.1). Для получения более убедительных результатов сравнительной оценки нами использовано фиксированное пространственное положение наблюдательных скважин для всех вариантов моделирования, включая случай воссоздания естественного напорного поля (рис. 5.38).

Таблица 5.1

Модельные значения напора в наблюдательных скважинах

№ скв	Нет свай	Типы свайных фундаментов по форме в плане							
		«линейный»		«карман»		«полукарман»			
		Ширина по потоку	Длина по потоку	Выступы навстречу потоку	Выступы по потоку	Выступ по потоку	Выступ навстречу потоку	Вершина навстречу потоку	Вершина по потоку
11	117,	118,40	116,96	119,08	118,49	118,54	118,77	117,80	119,20
12	117,	116,60	116,96	116,51	115,92	116,23	116,46	116,00	116,46
21	117,	118,39	116,12	119,07	118,48	118,53	118,76	117,36	119,20
22	117,	116,60	115,94	116,51	115,92	116,23	116,45	116,00	116,40
31	113,	113,82	113,91	114,08	113,86	113,89	113,97	113,87	114,02
32	113,	112,87	113,90	112,82	112,43	112,64	112,79	112,49	112,81
41	111,	111,58	111,58	111,58	111,58	111,58	111,58	111,58	111,58
42	111,	111,27	111,27	111,27	111,27	111,27	111,26	111,26	111,26
51	111,	111,15	111,15	111,15	111,15	111,15	111,15	111,15	111,15
52	110,	110,86	110,86	110,86	110,86	110,86	110,86	110,86	110,86
111	118,	118,65	118,50	119,09	118,72	118,76	118,90	118,85	119,22
112	116,	116,35	116,50	116,28	115,91	116,10	116,24	115,94	116,22
121	118,	118,64	118,69	119,08	118,72	118,75	118,89	118,84	119,21
122	116,	116,35	116,30	116,27	115,91	116,10	116,24	115,94	116,18
131	113,	113,76	113,65	113,90	113,79	113,81	113,85	113,82	113,87
132	112,	112,57	112,59	112,53	112,26	112,40	112,51	112,29	112,51
141	111,	111,73	111,73	111,74	111,74	111,74	111,74	111,74	111,73
142	111,	111,01	111,02	111,01	111,01	111,01	111,01	111,01	111,00
151	111,	111,34	111,34	111,34	111,34	111,34	111,34	111,34	111,34
152	110,6	110,66	110,66	110,66	110,66	110,66	110,66	110,66	110,66

Наблюдательные скважины расположены по одному общему лучу попарно в каждом слое численной модели. Их местоположение выбрано с таким расчётом,

Полученные результаты моделирования позволяют обоснованно судить о тех особенностях и различиях изменения гидрогеологических условий, которые сопровождают строительство зданий на разных типах свайных оснований.

В условиях трёхслойного фильтрационного гидрогеологического разреза, когда свайное поле по глубине не выходит за пределы полупроницаемого отдельного слоя, в нижнем водоносном горизонте изменений уровней подземных вод не происходит. Об этом свидетельствует отсутствие разницы напоров в условиях естественного и искусственных потоков по всем типам свайных фундаментов (скв. №№ 51, 52, 151, 152, табл. 5.2).

Особенностью проявления барражного эффекта является не только повышение изменение уровней подземных вод со стороны набегающего фильтрационного потока, но и одновременное падение уровней за непроницаемой преградой по сравнению с естественными условиями (табл. 5.3). Почти во всех рассмотренных случаях амплитуда таких изменений превышает величину одного метра, достигая максимума более двух метров.

Таблица 5.3

Амплитуда разрыва уровней подземных вод по разные стороны фильтрационной преграды

Слой	№ скв	Типы свайных фундаментов по форме в плане							
		«линейный»		«карман»		«полукарман»			
		Ширина по потоку	Длина по потоку	Выступы навстречу потоку	Выступы по потоку	Выступ по потоку	Выступ навстречу потоку	Вершина навстречу потоку	Вершина по потоку
2	21	0.53	-1.75	1.20	0.62	0.67	0.89	-0.50	1.33
	22	-0.53	-1.18	-0.62	-1.20	-0.89	-0.67	-1.13	-0.73
	121	0.28	0.33	0.72	0.36	0.39	0.54	0.48	0.86
	122	-0.28	-0.33	-0.36	-0.72	-0.53	-0.39	-0.69	-0.45
Амплитуда		1,06	0,66	1,82	1,82	1,56	1,56	1,61	2,06

(по второму модельному слою)

Примечание: выделены ячейки, принятые в расчёт амплитуды с учётом особенностей формы свайного основания.

Среди рассмотренных форм свайных фундаментов наиболее сильным воздействием на фильтрационный поток обладают типы «карман» и «полукарман», которые способны вызвать даже в проницаемых породах с коэффициентом фильтрации 3 м/сут рост уровня на 1,2 м и 1,3 м соответственно. Моделирование показывает, что только за счёт выбора оптимальной ориентировки свайного поля по отношению к направлению фильтрационного потока прогнозируемое повышение уровня можно снизить почти в два раза до 0,62 м и 0,67 м соответственно (табл. 5.2).

Опираясь на материалы моделирования, можно утверждать, что минимальным уровнем воздействия на структуру фильтрационного потока обладают такие фильтрационные преграды, ось которых в плане прямолинейна. Максимальный рост уровней подземных вод способны вызвать фильтрационные преграды с одним и двумя изменениями направления их продольной оси под углом в 90 градусов, образующими полузакрытую форму.

Полученные выводы дают только общее представление о возможностях прогноза изменения уровней подземных вод. Отметим, что учёт дополнительного питания может существенно изменить полученные оценки роста уровней подземных вод. Однако, приведённых примеров вполне достаточно для обоснования необходимости учета регионального направления фильтрационных потоков на всех этапах разработки проектов районной планировки городских кварталов.

Методы гидродинамического моделирования дают возможность решать широкий круг практических задач по прогнозу изменения гидрогеологических условий. Некоторые частные примеры, дающие представление о возможном характере изменения уровней подземных вод для локальных участков городской территории приведены на рис. 5.47–5.54. Эти модели выполнены в среде программного комплекса *FEFLOW*.

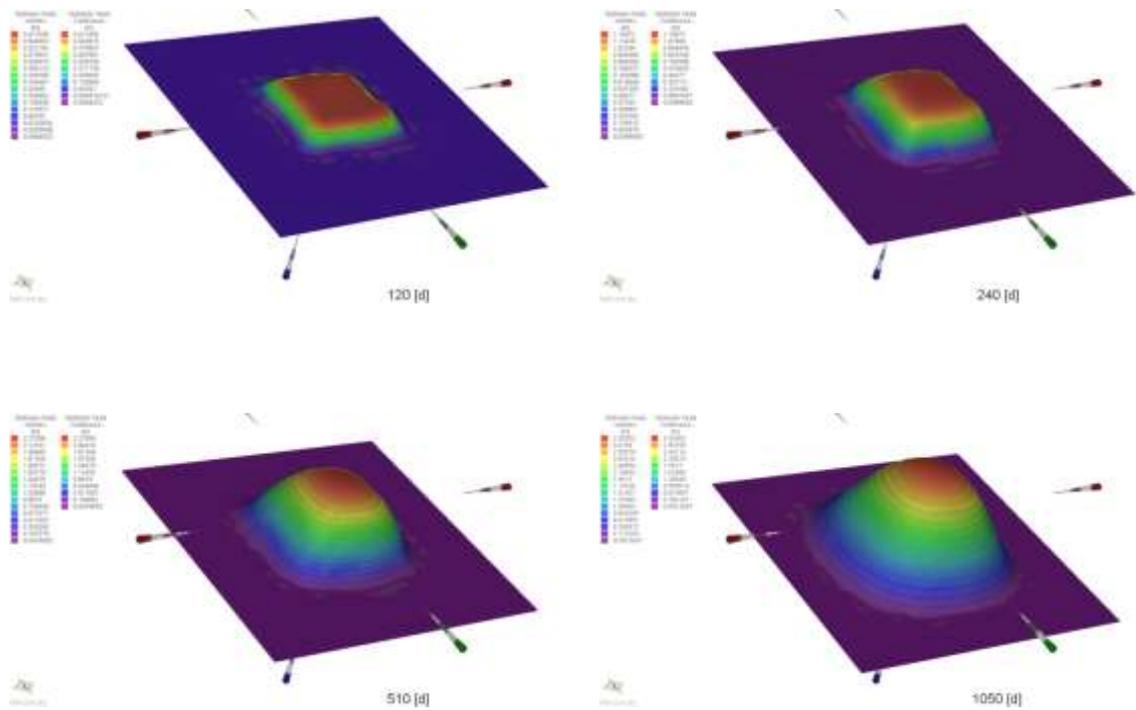


Рис. 5.47. Этапы формирования техногенной верховодки на первоначально сухих однородных по фильтрационным свойствам грунтах

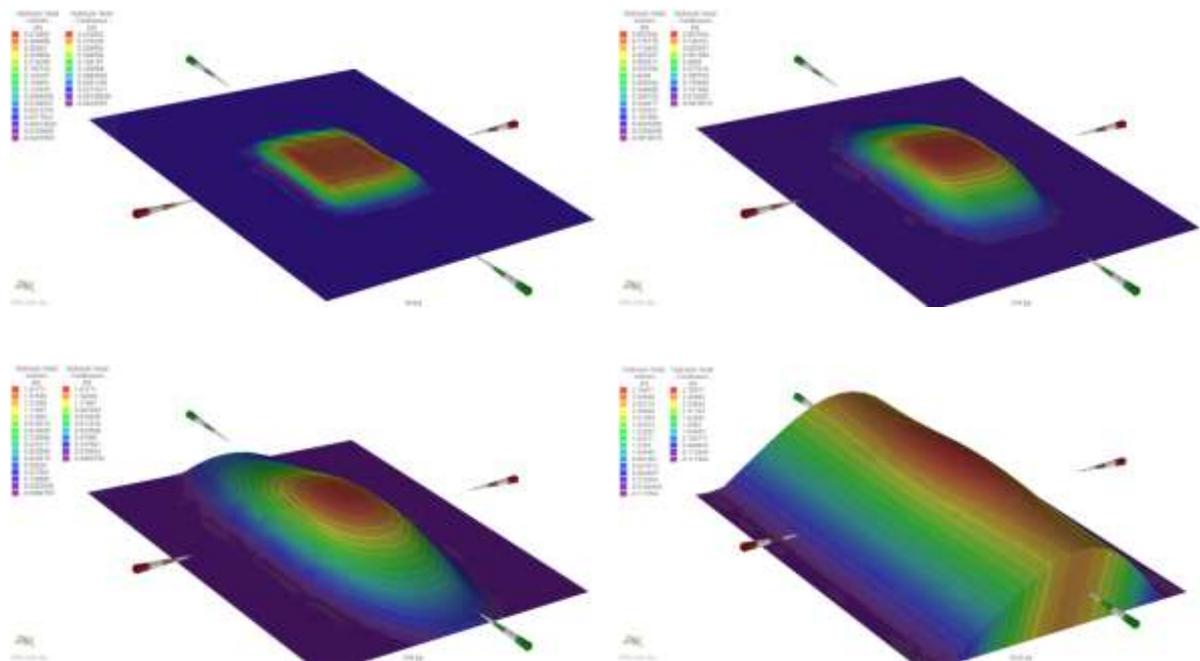


Рис. 5.48. Этапы формирования техногенной верховодки на первоначально сухих анизотропных по фильтрационным свойствам грунтах

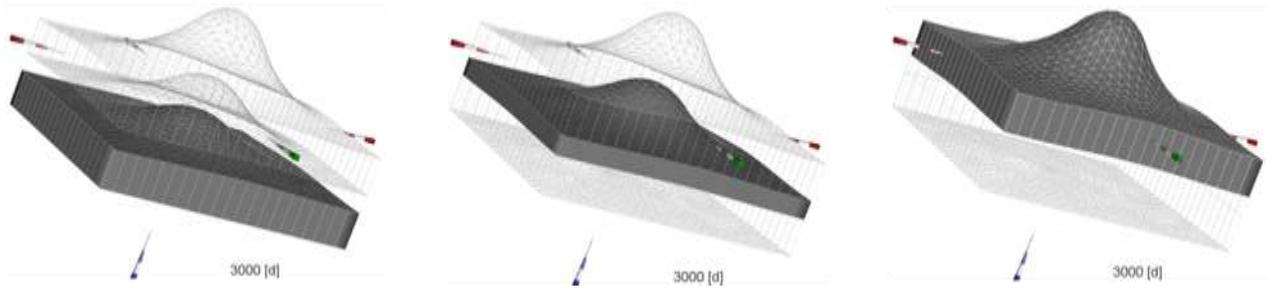


Рис. 5.49. Результат формирования техногенной верховодки в трёхслойной толще первоначально сухих изотропных по фильтрационным свойствам грунтов

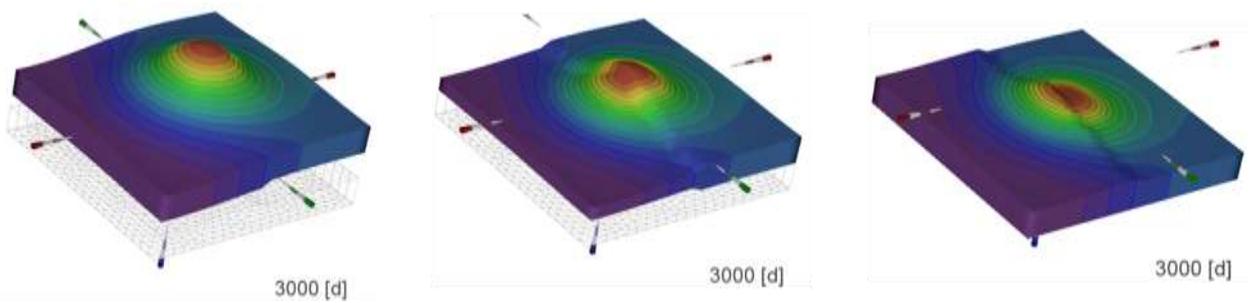


Рис. 5.50. Результат формирования техногенной верховодки в трёхслойной толще первоначально сухих неоднородных по фильтрационным свойствам грунтов

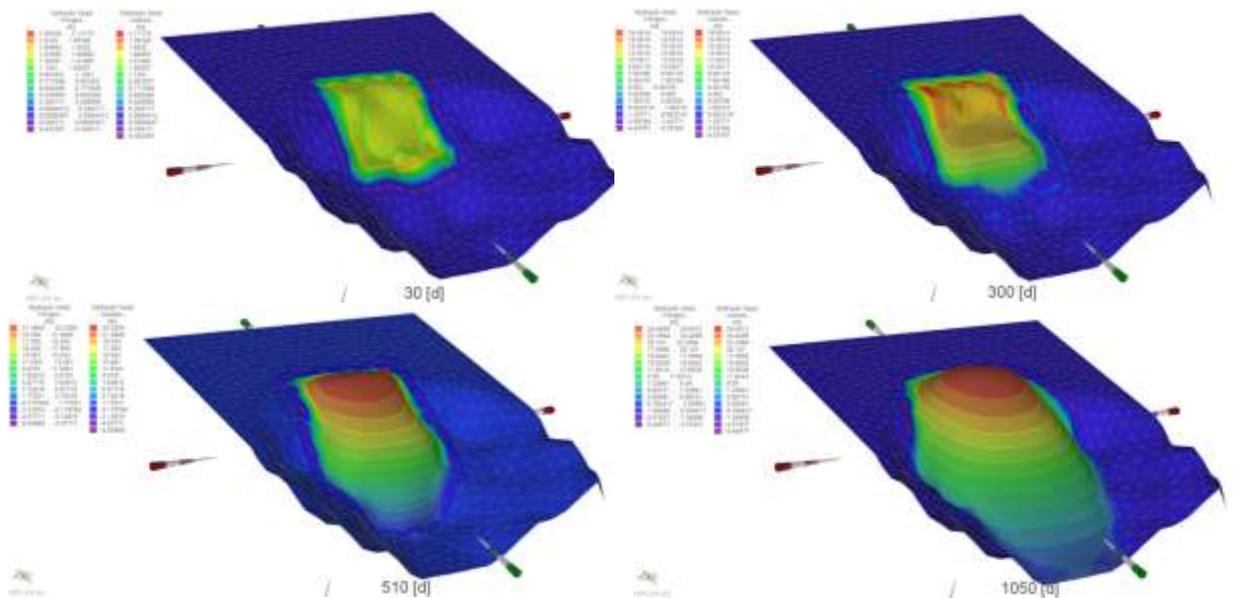


Рис. 5.51. Этапы формирования техногенной верховодки на наклонном водоупорном основании сложной формы

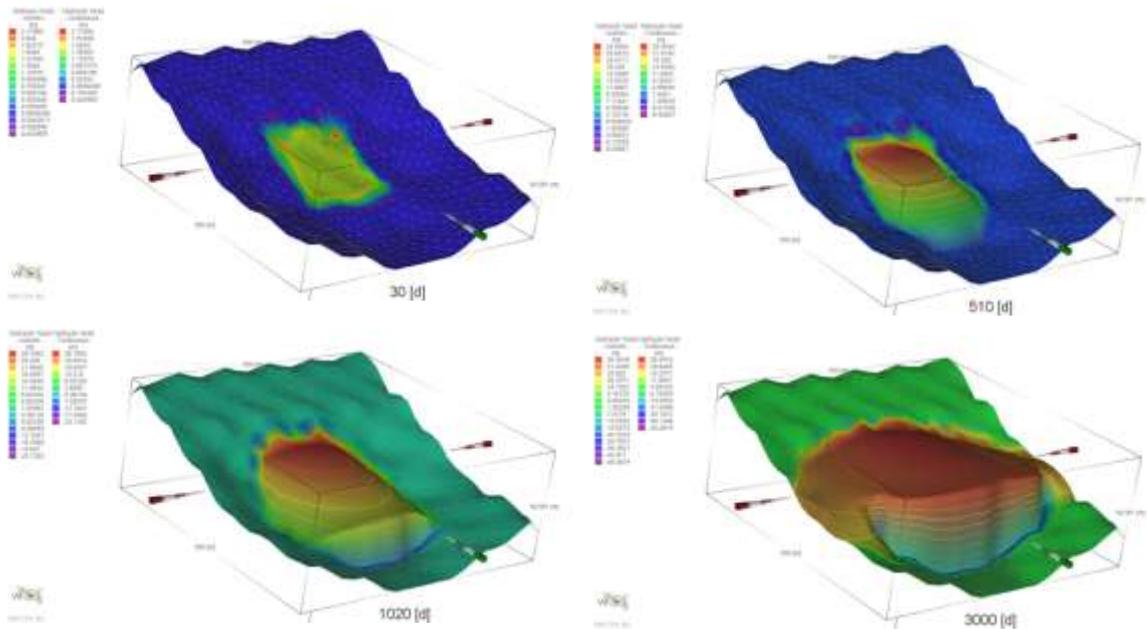


Рис. 5.52. Этапы формирования техногенной верховодки на наклонном водоупорном основании сложной формы под влиянием непроницаемой преграды

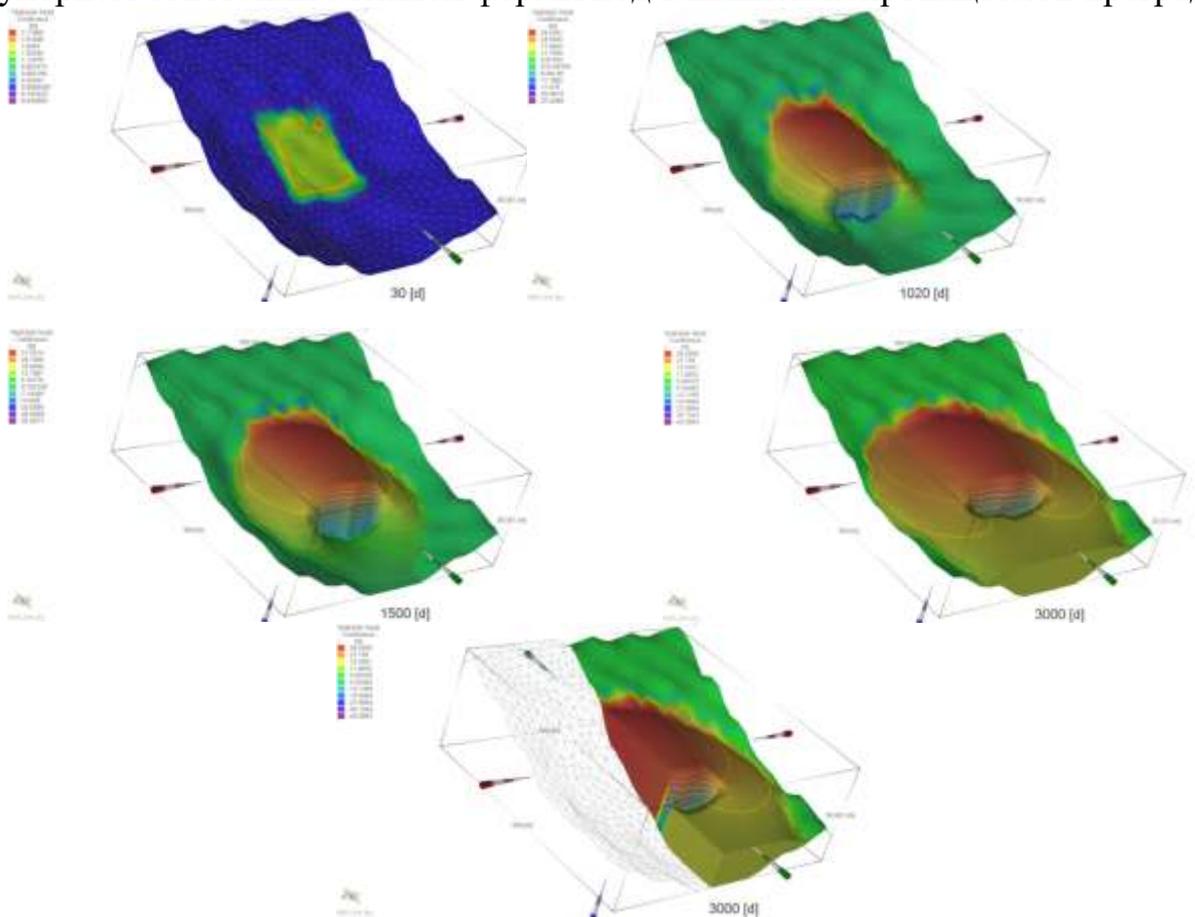


Рис. 5.53. Этапы формирования техногенной верховодки на наклонном водоупорном основании сложной формы под влиянием непроницаемой преграды малой ширины

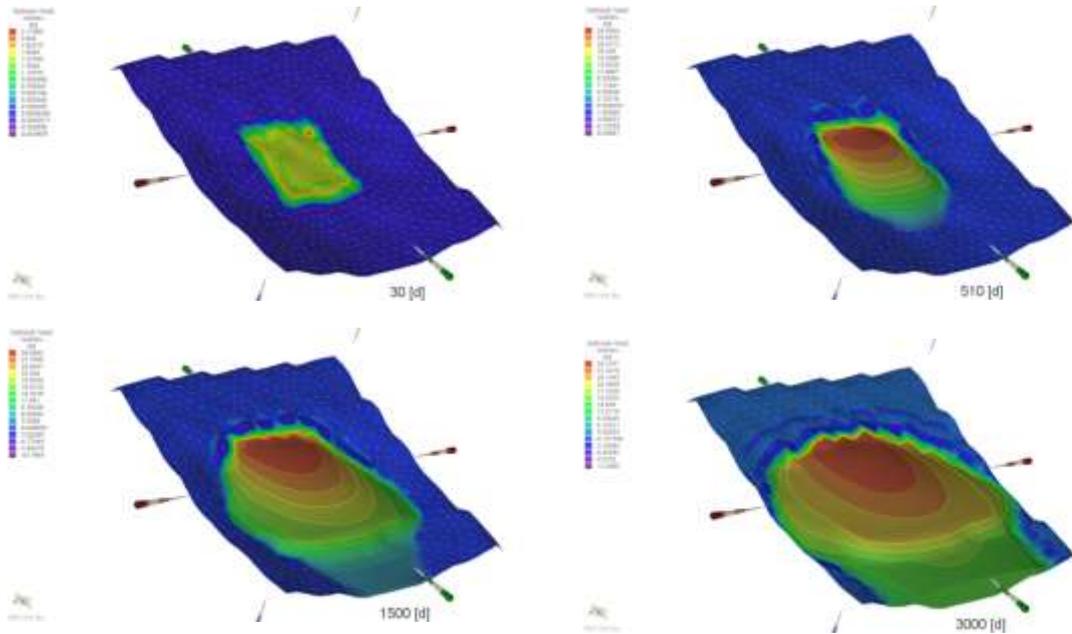


Рис. 5.54. Этапы формирования техногенной верховодки на наклонном водоупорном основании сложной формы под влиянием полупроницаемой преграды

С целью прогноза возможных изменений гидрогеологических условий на стадии проектирования кварталов новой застройки необходимо выполнять численное моделирование с учетом строения разреза; существующего направления естественного и вынужденного (искусственного) фильтрационного потока и интенсивности дополнительного инфильтрационного питания в условиях стационарного и нестационарного режима фильтрации. Результаты численных экспериментов способны дать прогнозную оценку различных вариантов предельного роста уровней подземных вод. Даже в условиях острого дефицита исходной информации о количественных параметрах фильтрационных свойств водовмещающих пород можно получить удовлетворительные результаты прогноза, например, используя решение в стационарной постановке.

Результаты численного гидродинамического моделирования, использованные в качестве методической основы для окончательного принятия проектных решений на стадии районной планировки, способны без дополнительных капитальных затрат снизить риски появления техногенного подтопления за счёт минимизации проявлений барражного эффекта свайных оснований.

5.5. Коммерциализация разработки

Предполагаемое название компании: «Урбангео».

Ключевые слова: урбанизированные территории, инженерная геология, гидрогеология, подтопление, техногенное подтопление, строительство, строительство зданий и сооружений, домостроительство, застройка, селитебная застройка.

Описание услуг

В настоящее время идёт активное строительство на городских территориях. Осваиваются окраины городской территории, уплотняется застройка центральных частей. Ведутся геологические и инженерно-геологические изыскания, но при этом влияние гидрогеологических условий градостроительными компаниями рассматривается весьма поверхностно, либо вообще не рассматривается. При строительстве частных домов в малых и средних населённых пунктах характеристики подземной гидросферы изучаются только попутно в случае необходимости бурения скважин на воду для организации локальных систем водоснабжения. При этом не учитывается то, что критическое значение превышения уровня грунтовых вод ведёт к нарушению условий эксплуатации зданий, сооружений и территорий в целом, а повышение влажности вызывает подтопление второго типа, которое кроме снижения несущей способности фундаментов, может приводить и к другим неблагоприятным последствиям, например, к появлению влаголюбивых насекомых и повышению общего уровня заболеваемости населения.

Подъем уровня подземных вод, называемый подтоплением, относится к одной из наиболее актуальных проблем, как при застройке территорий, так и при их эксплуатации. При современном активном развитии процессов подтопления, особенно в гумидных зонах, к которым относится район расположения города Томска, практически не существует организаций, которые целенаправленно занимаются прогнозом изменения уровня грунтовых вод.

Широко применяемые методики исследования геолого-гидрогеологических условий в основном состоят из дорогостоящего бурения, которого не всегда

достаточно для планирования дренажных систем, т.к. компании редко идут на лишние затраты по детальному исследованию местности и дорогостоящему бурению большого количества скважин.

Фирма «Урбангео», о которой далее пойдёт речь, призвана заполнить вышеуказанную нишу рынка геолого-гидрогеологических исследований. Ее деятельность направлена на изучение и прогнозирование изменения состояния подземной гидросферы.

Основная ценность проекта: применение современных геоинформационных технологий при анализе подземной гидросферы. НОУ-ХАУ проекта: оценка степени потенциальной подтопляемости территории и моделирование прогноза изменения уровня грунтовых вод. «Урбангео» предполагает предоставлять эти услуги комплексно: курировать изучение, начиная от полевых работ и заканчивая камеральными исследованиями, в том числе, для прогноза изменения состояния гидрогеологической среды на длительную перспективу.

Бизнес-модель заключается в организации веб-сайта для знакомства с облегченной версией ГИС-системы. Этот ресурс позволит в интерактивном режиме получить краткую информацию о вероятности развития процессов подтопления; ясное описание преимуществ от предоставления доступа к расширенной версии. Полный доступ к системе даёт подробную характеристику каждого из факторов, обуславливающих состояние подземной гидросферы на интересующем участке и консультации специалиста по упредительным мерам (в случае вероятности возникновения негативных геологических процессов). По мере необходимости специалисты компании может предоставлять услуги по бурению инженерно-геологических и гидрогеологических скважин.

Риски

- Неправильный маркетинговая кампания (медленная раскрутка проекта). Для борьбы с этим на первое время оборудование (буровые

машины) будут арендованы, а сотрудники их обслуживающие и персонал будут наняты на почасовую занятость.

- Недоверие к современным информационным технологиям. Облегченная онлайн-версия будет служить примером работоспособности и показателем соответствия данных, полученных путём компьютерных вычислений реальной обстановке на объектах.

Приложения

Стратегия продвижения проекта состоит из нескольких частей:

- 1) Продвижение в сети интернет упрощённой GIS-версии.
- 2) Подготовка специалистами компании развёрнутого отчёта о возможности развития подтопления на данной территории по запросу и после предварительной оплаты работ.
- 3) Моделирование гидрогеологических условий участка с целью обоснованного прогноза на перспективу с использованием архивных материалов.
- 4) Выполнение комплекса буровых работ и опробования скважин для уточнения особенностей гидрогеологических условий.
- 5) Создание математической модели исследуемого участка на основе уточнения фактического материала, полученного при проведении буровых работ. Обоснование прогноза изменения уровней грунтовых вод в составе подробного отчета, который включает в себя не только собственно величину прогнозного роста уровней подземных вод, но и советы по уменьшению рисков развития негативных гидрогеологических процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные выводы по работе.

Подтопление формируется под действием природных и техногенных факторов, среди которых наибольшее значение

имеют геологическое строение верхней части разреза, интенсивность дополнительного питания подземных вод, дренированность территории и ухудшение условий стока вод, влияние барражного эффекта свайных оснований инженерных сооружений. Степень подтопления территории поддается анализу и функциональному описанию через экспертные количественные оценки, определяющих ее факторов.

Созданная геоинформационная система, базирующаяся на основе электронного представления существующих карт г. Томска гидрогеологического содержания (районирования застроенной территории по типу фильтрационного геологического разреза, интенсивности дополнительного инфильтрационного питания, дренированности, уровня подземных вод) позволяет оперативно производить оценку степени потенциальной подтопляемости отдельных участков городской застройки. Эффективность использования предлагаемой системы обеспечивается расширением доступности гидрогеологических (узкоспециальных материалов) для практического использования широким кругом заинтересованных лиц за счет применения эффективного алгоритма предварительной обработки большого объема специальной информации и представления её в удобном для принятия управленческого решения виде.

Гидрогеологические модели городской территории (на примере объекта мкр. Черемошники) для прогноза изменения уровня режима подземных вод на участках интенсивной техногенной нагрузки могут актуализировать и электронный слой уровня подземных вод геоинформационной системы.

Результаты исследований могут, использоваться при инженерно-геологических изысканиях и быть востребованы различными ведомствами и службами, обеспечивающими жизнедеятельность города, для:

- Контроля и оперативного управления состоянием геологической среды;
- Оценки вероятности возникновения, масштабов и интенсивности нежелательных последствий антропогенного воздействия;
- Обоснования управленческих и инженерных решений обеспечения комфортной экологически безопасной обстановки, принимаемых на различных уровнях, от разработки генерального плана до природоохранных мероприятий на конкретных участках городской территории;
- Оценки стоимости земель городской территории;
- Оптимизации планирования выделения финансовых средств для проведения реставрационных работ в исторически значимой части г. Томска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов С.К. Борьба с подтоплением промышленных площадок. – М., Госстройиздат, 1949 – 95 с.
2. Абрамов С.К., Кузнецова Н.А., Муфтахов А.Ж. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. – М.: Стройиздат, 1973. – 280 с.
3. Адам А.М., Новоселов А.Л., Чепурных Н.В. Экологические проблемы регионов России. Информационный выпуск. – № 6. – Томская область. – М., 2000.
4. АО «Томскгеомониторинг». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tgm.ru>, свободный.
5. Аравин В.И., Носова О.Н. Натурные исследования фильтрации: теоретические основы. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1969. – 256 с.
6. Аузина Л.И., Прогноз подпора подземных вод при освоении застроенных территорий с использованием аналитических зависимостей // Международное научное издание Современные фундаментальные и прикладные исследования. – 2013. – Т. 1. – № 1 (8). – С. 57–63.
7. Афонин В.А., Юдин Г.Г. Отчет по работе Басандайской партии по теме 4-а за 1972 г. – Томск, 1972.
8. Афонин В.А., Юдин Г.Г. Условия залегания подземных вод в районе шпало-пропиточного завода (отчет Ушайского гидрогеологического отряда по работам 1972-74 гг.). – Томск, 1972.
9. Афонин В.А. Режим использования и охрана подземных вод юго-восточной части Западно-Сибирского артезианского бассейна и Колывань-Томской складчатой зоны: автореф. ... дис. канд. геол.-мин. наук: 25.00.36 / В.А. Афонин. – Томск, 1974. – 22 с.
10. Биндеман, Н.Н. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – 204 с.

11. Бондаренко С.С. Геолого-экономическая оценка месторождений подземных промышленных вод / С.С. Бондаренко, Л.А. Лубенский, Г.В. Куликов. – М.: Недра, 1988. – 203 с.
12. Бондарик Г.К., Пендин В.В. Методика количественной оценки инженерно-геологических условий и специального инженерно-геологического районирования // Инж. геология. – 1982. – № 4. – С. 82–89.
13. Бракоренко Н.Н. Зависимость распространения нефтепродуктов в грунтах от их состава (на примере г. Томска) // Проблемы геологии и освоения недр: труды X Междунар. симпозиума им. акад. М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ, 2006. – С. 130–132.
14. Бракоренко Н.Н. Типизация грунтовых толщ территории г. Томска в связи с прогнозом загрязнения их нефтепродуктами // Проблемы геологии и освоения недр: сборник научных трудов XI Междунар. симпозиума им. акад. М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ, 2007. – С. 138–140.
15. Бракоренко Н.Н., Емельянова Т.Я. Прогноз загрязнения геологической среды нефтепродуктами на примере г. Томска // Новые технологии в решении экологических проблем ТЭК: вторая Междунар. научно-практическая конференция. Москва, РГУ нефти и газа им И.М.Губкина. – М.: РГУ, 2007. – С. 12–14.
16. Бракоренко Н.Н., Емельянова Т.Я. Экологические аспекты воздействия нефтепродуктов на геологическую среду // Эколого-экономическая эффективность природопользования на современном этапе развития Западно-Сибирского региона: Труды международной научно-практической конференции. – Омск: ОмГПУ, 2006. – С. 29–32.
17. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Известия ТПУ Геология поиски и разведка полезных ископаемых Сибири. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – Т. 305. – Вып. 6. – С. 348–365.

18. Букаты М.Б., Шварцев С.Л. Равновесие высокоминерализованных подземных рассолов с эвапоритовыми минералами // Советская геология. – 1983. – № 8. – С. 114–123.
19. Бычкова А.С. Гидрогеологические условия и оценка эксплуатационных запасов подземных вод территории пос. Черемошники. – Томск, 1968.
20. Валенюк Л.Ф. Отчет Томской партии за 1955 г. по водоснабжению сельского хозяйства Томской области. – ОФ ЗСГУ, 1956.
21. Вевиоровская М.А., Кравченко И.П., Румянцев С.А. Метод гидравлических аналогий В.С. Лукьянова и метод электрогидродинамических аналогий Н.Н. Павловского применительно к фильтрационным расчётам. – М.: МГУ, 1962. – 258 с.
22. Вертман Е.Г., Назаров А.Д. Изучение гидродинамического и гидрогеохимического режима родников. – Томск, 2004. – 201 с.
23. Винниченко Г.Л., Губенский А.И. Отчет тематической партии по теме № 4 за 1971-1972 гг., ОФ ТТГУ.
24. Вологодина И.В. Дутова Е.М., Покровский Д.С., Радюк И.В. Природно-техногенные минеральные новообразования на водозаборах Томской области // Вестник СПбГУ. – Сер. 7. – 2015. – Вып. – С. 58–72.
25. Гавич И.К. Гидрогеодинамика. Учебник для вузов. – М.: Недра, 1988. – 349 с.: ил.
26. Гавич И.К., Зекцер И.С., Ковалевский В.С. и др. Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика. – Новосибирск: Изд-во Наука, 1983. – 242 с.
27. Гавшина З.П., Дзекцер Е.С. Условия подтопления грунтовыми водами застраиваемых территорий. – М.: Стройиздат, 1982. – 116 с.
28. Гарайс О.Д., Михайленко Л.И., Солоницкая Л.М., Шантыков А.Н. Отчет о комплексных инженерных изысканиях для обоснования схемы инженерной защиты г. Томска от опасных геологических процессов. – Томск, 1988. – Т.1. – Кн. 1. – 239 с.
29. Герасимов В.Я. и др. Окончательный отчет Обь-Томской и Таганской партий 1966-1974 гг. – Томск, 1974.

30. Гидрогеодинамические расчеты на ЭВМ / Р. Штенгелов, В. Веселова, С. Гриневский и др. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – С. 335.
31. Глебова Н. ГИС для управления городами и территориями. ДАТА+ArcReview. Электронный ресурс. – 2006. – Вып. 3 (38). URL: http://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=1544&SECTION_ID=43, свободный.
32. Голодковская Г.А., Зеегофер Ю.О., Лебедева Н.И. и др. Вопросы и методика комплексного картирования городских территорий для прогнозной оценки изменения геологической среды // Новые типы карт: Методы их создания. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – С. 48–73.
33. Голодковская Г.А., Демидюк Л.М. Некоторые методологические вопросы оценки техногенных изменений геологической среды // Комплексные оценка и прогноз техногенных изменений геологической среды. – М.: Наука, 1985. – С. 11–17.
34. Градостроительный атлас города Томска. [Электронный ресурс]. URL: <http://map.admin.tomsk.ru/>, свободный.
35. Градостроительный кодекс РФ (ГрК РФ) от 29 декабря 2004 г. N 190-ФЗ. [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/12138258/>, свободный.
36. Гусельникова О.А., Тельцова М.М. Окончательный отчет Северо-Томской партии по гидрогеологическим исследованиям, проведенным в северо-восточной части г. Томска для водоснабжения Томской психоневрологической больницы (1961-1963 гг.). – Томск, 1964.
37. Дегтярев Б.М. Дренаж в промышленном и гражданском строительстве. – М.: Стройиздат, 1990. – 238 с.
38. Дегтярев Б.М., Дзекцер Е.С., Муфтахов А.Ж. Защита оснований зданий и сооружений от воздействия подземных вод. – М.: Стройиздат, 1985. – 264 с.
39. Дзекцер Е.С. Гидрогеологические исследования на застраиваемых территориях: [Сб. ст.] / АН СССР, Госстрой РСФСР, Произв. и НИИ по инж. изысканиям в стр-ве. – М.: Наука, 1988.

40. Дзекцер Е.С., Казенков С.М. Принципы районирования территорий городов по их потенциальной подтопляемости грунтовыми водами // Методы типизации картирования геологической среды городских агломераций для решения задач планирования инженерно-хозяйственной деятельности. – М.: ПО «Стройизыскания», 1981. – С. 72–81.
41. Долгоносов Б.М., Корчагин К.А. Вероятностные закономерности неблагоприятных гидрохимических явлений // Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32. – № 4. – С. 452–458.
42. Дутова, Е.М. Гидрогеохимия зоны гипергенеза Алтае-Саянской складчатой области: дис. ... д-ра геол.-минер. наук: 25.00.07 / Дутова Екатерина Матвеевна. – Томск, 2005. – 390 с.
43. Дутова Е.М., Наливайко Н.Г. Особенности химического и микробиологического состава подземных вод территории города Томска // Геология и разведка. Известия вузов. – М., 2011. – № 5. – С. 56–61.
44. Дутова Е.М., Покровский Д.С., Парначев В.П., Покровский В.Д. Геохимические особенности подземных вод хозяйственно-питьевого назначения Республики Хакасия // Вестн. Том. гос. ун-та. – 2015. – № 394. – С. 239–249.
45. Егоров Б.А. Обобщение и анализ геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических материалов по территории г. Томска с целью обоснования проведения картографирования масштаба 1:25000 / Б.А. Егоров и др. – Томск, 1997. – 87 с.
46. Ентов В.М., Нумеров С.Н. Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917-1967). – М.: Наука, 1969. – 546 с.
47. Жернов И.Е., Павловец И.Н. Моделирование фильтрационных процессов. – Киев: ВШ, 1976. – 192 с.
48. Жернов И.Е., Шестаков В.М. Моделирование фильтрации подземных вод. – М.: Наука, 1971. – 266 с.

49. Жук Д.М. Системы автоматизированного проектирования. В 9 кн. Иллюстрированный словарь / Д.М. Жук, П.К. Кузьмик, В.Б. Маничев и др. – Минск: Высшая школа, 1988. – 159 с.
50. Зеегофер Ю.О. Постоянно действующие модели гидросферы территорий агломераций / Ю.О. Зеегофер, И.С. Клюквин, И.С. Пашковский, А.А. Рошаль. – М.: Наука, 1991. – 198 с.
51. Зуев В.А., Шинкоренко В.П., Шварцева Н.М. Геохимия снеговых талых вод г. Томска // Всероссийское XIII совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока, Томск-Иркутск. – 1991. – С. 119.
52. Иванов И.П., Хромых Д.П. Моделирование в инженерной геодинамике. Учебное пособие. – Л.: ЛГУ, 1991. – 98 с.
53. Иванчура А.Л. Отчет Лагерносадской партии (оползневой станции) по результатам работ 1983-86 гг., Томская ГРЭ, Томск, 1987. – 182 с. № 35832/55. Инв. № 757/1.
54. Инженерная защита территории от затопления и подтопления, СНиП 2.06.15-85. [Электронный ресурс]. URL: www.intrad.ru/1/snip2.06.15-85.doc, свободный.
55. Информационная система обеспечения градостроительной деятельности (ИС ОГД). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.admin.tomsk.ru/pgs/1k2>, свободный.
56. Калинина С.Н. Развитие подтопления города на основе анализа режима подземных вод // Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии территории городов и городских агломераций: сборник / Акад. Наук СССР. – М., 1987.
57. Каменский Г.Н. Основы динамики подземных вод. – М.-Л.: Геолразведиздат, 1933. – 279 с.
58. Карлсон В.Л., Емельянова Т.Я. и др. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия листа 0-45-XXXI. (Отчет Нелюбинской партии по работам за 1973-1975 гг.). – ОФ ТТГУ, 1975 – 338 с.

59. Карлсон В.Л., Карлсон Н.А., Макушин Ю.В., Еремеев А.И. Предварительная разведка трещинных вод для водоснабжения Академгородка г. Томска. Отчет академической партии по работам 1986-90 гг. – 1990. – Т. 1–6.
60. Коноплянцев А.А. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия территории городов: методы изучения и прогноза изменений. – Академия наук СССР, 1989 – С. 116.
61. Коносавский П.К., Соловейчик К.А. Математическое моделирование геофильтрационных процессов. Учебное пособие. – С-Пб.: СПбГТУ, 2001. – 98 с.
62. Коробкин В.А., Оглезнев К.Е. Отчет тематической партии № 70 «Вода III» по результатам работ за 1969-1970 гг. – Томск, 1970.
63. Косова Л.С. Природа города Томска. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТГУ, 1999. – 115 с.
64. Крепша Н.В. Типологическое районирование геологической среды территории Томска как основа прогноза ее изменений при освоении // Обской вестник. – Новосибирск, 1999. – С. 18–25.
65. Куваев А.А. Геофильтрационные модели потоков подземных вод переменной минерализации: дис. ... д-ра геол.-минер. наук: 25.00.07 / Куваев Андрей Алексеевич. – М., 2002. – 322 с.
66. Кузеванов К.И. Гидрогеологическая основа экологических исследований города Томска // Обской вестник. – 1999. – № 1–2. – С. 53–58.
67. Кузеванов К.И. Исследование техногенных изменений гидрогеологических условий г. Томска: дис. ... канд. геол.-минер. наук: 04.00.06 / Кузеванов Константин Иванович. – Томск, 1988. – 221 с. ил.
68. Кузеванов К.И., Савичев О.Г., Решетько М.В. Математическое моделирование процессов в компонентах природы: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 144 с.
69. Кучин М.И. и др. Инженерно-геологические условия строительства на территории г. Томска. – Томск, 1932.

70. Кучин М.И. Объяснительная записка к сводной гидрогеологической карте листа 0-45. Томск, 1947.
71. Кучин М.И. Состояние водоснабжения г. Томска и пути покрытия дефицита в воде. – ОФ ТТГУ, 1945.
72. Кучин М.И., Бейром С.Г., Крахмалова В.Ф. Инженерно-геологические условия строительства на территории г. Томска. – Фонды ЗСГУ, 1932.
73. Лебедева Н., Самохина А. Цифровые картографические основы для Информационных систем градостроительной деятельности. ДАТА+ ArcReview, 2006. – Вып. 3 (38). [Электронный ресурс]. URL: http://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=1562&SECTION_ID=43, свободный.
74. Лехов М. Гидрогеологические изыскания и моделирование в городском строительстве: критические комментарии // Инженерные изыскания. – 2013. – № 1. – С. 24–29.
75. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. – М.: Недра, 1988. – 228 с.
76. Лукнер Л., Шестаков В.М. Моделирование геофильтрации. – М.: Наука, 1976. – 407 с.
77. Льготин В.А., Макушин Ю.В., Егоров Б.А. Мониторинг экзогенных геологических процессов на территории СФО // Разведка и охрана недр – 2007. – № 7. – С. 41–44.
78. Мананков А.В. Проблемы геоэкологического состояния территории г. Томска / А.В. Мананков, В.П. Парначев // Основные проблемы охраны геологической среды. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1995. – С. 47–55.
79. Минеральные новообразования на водозаборах Томской области / Д.С. Покровский, Е.М. Дутова, Г.М. Рогов и др. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 176 с.
80. Мироненко В.А. Динамика подземных вод. Учебник. Изд. 3-е. – М.: МГГУ, 2001. – 519 с.

81. Муфтахов А.Ж. Гидродинамические основы прогноза подтопления промплощадок и фильтрационные расчеты защитного дренажа в сложных гидрогеологических условиях: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1975. – 44 с.
82. Муфтахов А.Ж. О влиянии интенсивности дополнительной инфильтрации на динамику уровней грунтовых вод при подтоплении территорий // Инженерная защита территорий. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1982. – С. 20–24.
83. Назаренко И.А. ГИС в гидрогеологических исследованиях (на примере ОАО «АвтоВАЗ»). География и геология / Гидрология и водные ресурсы. – ГНЦ РФ НИИ «ВОДГЕО», Москва. [Электронный ресурс]. URL: http://www.rusnauka.com/10_NPE_2010/Geographia/62643.doc.htm, свободный.
84. Найфельд Л.Р. Инженерная подготовка пойменных и заболоченных территорий для градостроительства. – М.: Стройиздат, 1974. – 179 с.
85. Найфельд Л.Р., Тарасов Н.А. Освоение неудобных земель под городскую застройку. – М.: Стройиздат, 1968. – 224 с.
86. НИИПИ Градостроительного и системного проектирования. [Электронный доступ]. URL: <http://www.ecocity.ru/>, свободный.
87. Никитенков А. Н. Особенности формирования подземного стока северной части Кузнецкого Алатау. дис. ... канд. геол.-минер. наук: 25.00.07 / Никитенков Алексей Николаевич; [Том. политехн. ун-т]. – Томск, 2010. – 176 с. ил.
88. Нуднер В.А. и др. Геология и минеральные воды долины р. Ушайки а районе г. Томска. – Томск, ТПИ, 1950.
89. Нуднер В.А., Смоленцев Ю.К. Геология и минеральные воды долины р. Ушайки (Отчет о работах партии № 73, проведенных в 1953-56 гг. на месторождении минеральных вод долины р. Ушайки). – ОФ ТТГУ, 1957.
90. Ольховатенко, В.Е. Геоэкологические проблемы города Томска и разработка мероприятий по инженерной защите территории // Обской вестник. – Новосибирск, 1999. – С. 13–17.

91. Ольховатенко В.Е. Опасные природные и техногенные процессы на территории г. Томска и их влияние на устойчивость природно-технических систем. – Томск, 2005. – 141 с.
92. Ольховатенко В.Е., Щербак Г.Г., Полищук А.И. и др. Отчет по теме «Комплексные научно-исследовательские работы по определению причин, связанных с критическим состоянием двух 10 этажных жилых домов по ул.Иркутский тракт № 89 и № 91 в г. Томске». – Томск, 1995. – 337 с.
93. ОАО «НИИ ВОДГЕО». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.watergeo.ru/>, свободный.
94. Осипов Ф.П. Отчет Томской тематической гидрогеологической партии по теме № 70 за 1966-1967 гг. – Томск, 1967.
95. Парначёв В.П., Парначёв С.В. Геология и полезные ископаемые окрестностей города Томска. Материалы к полевой геологической экскурсии. Справочное пособие. – Томск: Томский государственный университет, 2010. – 192 с.
96. Пасечник Е.Ю. Эколого-геохимическое состояние природных сред территории города Томска. – Вестник ТГУ. – 2008. – № 306. – С. 149–154.
97. Писарев А.Е. Эколого-гидрогеологические условия территории г. Тюмени и обоснование методов защиты её от подтопления: дис. ...канд. геол.-минер. наук: 04.00.06. / Писарев Александр Евгеньевич. – Тюмень, 1998. – 202 с. ил.
98. Плевако Г.Л. и др. Условия водоснабжения за счет подземных вод городов и населенных пунктов Томской области в особый период. – Томск, 1987.
99. Плевако Г.Л., Егоров Б.А., Жульмина Г.А., Варюгина А.Г., Савичева О.Г., Пешехонова М.В. – Информационный бюллетень о состоянии недр Сибирского федерального округа за 2008 год, – Вып. 5.
100. Плевако Г.Л., Шнайдер Л.А., Бычкова А.С. Условия водоснабжения за счет подземных вод городов и населенных пунктов Томской области в период за 1985-1987 гг. – ОФ ТТГУ, 1987.

101. Покровский В.Д., Дутова Е.М., Никитенков А.Н., Кузеванов К.И., Покровский Д.С. Методические подходы к оценке степени дренированности урбанизированных территорий // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. [Электронный ресурс]. URL:<http://www.science-education.ru/125-20130>, свободный.
102. Покровский В.Д. Этапы создания информационно-поисковой системы для оценки степени подтопляемости территории города Томска. Материалы Всероссийской научной геологической молодежной школы «Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от В.А. Обручева, М.А. Усова, Н.Н. Урванцева до наших дней», посвященные 150-летию со дня рождения академика В.А. Обручева, 130-летию академика М.А. Усова, основателям Сибирской горно-геологической школы и 120-летию Н.Н. Урванцева. – Томск, 2013. – С. 19–22.
103. Покровский Д.С. Геоэкологические условия водоснабжения населения юга Сибирского региона: дис. ... докт. геол.-минер. наук / Д.С. Покровский; ТГАСУ – Томск, 2005. – 46 с.
104. Покровский Д.С. и др. Изучение техногенного подтопления и степени потенциальной подтопляемости территории г. Томска (отчет о НИР). – Томск, ИПЖКХ, 1990.
105. Покровский Д.С., Дутова Е.М., Балобаненко А.А., Покровский В.Д., Рехтин А.Ф. Гидрогеоэкологические условия водоснабжения населения юга Сибирского региона // Вестн. Том. гос. ун-та. – 2014. – № 384. – С.189–197.
106. Покровский Д.С., Кузеванов К.И. Гидрогеологические условия и процессы подтопления территории г. Томска // Подземные воды юга Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во Наука СО, 1987. – С. 146–153.
107. Покровский Д.С., Кузеванов К.И. Гидрогеология и подтопление территории г. Томска // Подземные воды юга Западной Сибири. Формирование и проблемы рационального использования: Сб. научн. тр. /

- Институт геологии и геофизики СО АН СССР / Отв. ред. В.А. Николаев. – Новосибирск: Наука, 1987. – Вып. 683. – С. 146–153.
108. Покровский Д.С., Кузеванов К.И. Гидрогеологические проблемы строительного освоения территории г. Томска // Обской вестник. – 1999. – № 1–2. – С. 96–101.
109. Покровский Д.С., Кузеванов К.И. Гидрогеологические условия и процессы подтопления территории г. Томска. – Новосибирск: Изд-во Наука СО, 1987.
110. Покровский Д.С., Кузеванов К.И. Типовые фильтрационные разрезы как основа геоэкологического картирования урбанизированных территорий // Геоэкологическое картирование: тез. докл. Всерос. конф. – М., 1998. – С. 60–63.
111. Пономаренко Ю.В., Анпилов В.Е. Лучевой дренаж застроенных территорий. – М.: Недра, 1989. – 198 с.
112. Попов В.К. Институт проблем ЖКХ в районах Севера, Сибири и Дальнего Востока. – Чистый город. 2001. – № 3 (15).
113. Попов В.К., Лукашевич О.Д., Коробкин В.А. Техногенное подтопление: оценка, развитие, превентивные меры. Сб. научных трудов: Город: прошлое, настоящее, будущее. – Иркутск, 2004. – С. 24–27
114. Последствия подтопления застроенных территорий и способы их дренирования / Н.П. Куранов, А.Ж. Муфтахов, А.П. Шевчик, И.М. Бывальцев // Итоги науки и техники: Гидрогеология. – М.: Изд-во ВИНТИ, 1991. – Т.13. – 130 с.
115. Пособие к СНиП 2.06.15–85 Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях. [Электронный ресурс]. URL: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/2/2697/, свободный
116. Постановление Администрации Томской области “Об изменении уровня подземных вод в г. Томске и возможных чрезвычайных последствиях» от 8 июля 1994 г. № 273. – 2 с.

117. Постановление мэрии города Томска «О программе комплексных научно-практических работ по инженерной защите территории г. Томска от опасных природных и техногенных процессов» от 29 мая 1995 г. № 222. – 4 с.
118. Постановление правительства Российской Федерации «О мерах по защите от подтопления территорий Российской Федерации» от 21 марта 1996 г. №306. – 2 с.
119. Прогноз и предотвращение подтопления грунтовыми водами территорий при строительстве / С.К. Абрамов, Б.М. Дегтярев, Е.С. Дзекцер, Г.В. Донской, А.Ж. Муфтахов; под. ред. С.К. Абрамова. – М.: Стройиздат, 1978. – 177 с.
120. Прогнозы подтопления и расчёт дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях: Справочное пособие к СНиП / А.Ж. Муфтахов, И.В. Коринченко, Н.М. Григорьева, В.И. Сологаев, А.П. Шевчик; ВНИИ ВОДГЕО. – М.: Стройиздат, 1991. – 272 с.
121. Рассказов Н.М., Удодов П.А., Плотников Б.В., Санданов И.Б. Перспективы водоснабжения Томска / Охраняй природу, Западно-Сибирское книжное изд-во (Томское отделение), 1967. – С.38–41.
122. Рекомендации по прогнозам подтопления промышленных площадок грунтовыми водами / ВНИИ ВОДГЕО. – М.: Изд-во ВНИИ ВОДГЕО, 1976. – 324 с.
123. Рекомендации по проектированию и расчетам защитных сооружений и устройств от подтопления промышленных площадок грунтовыми водами / ВНИИ ВОДГЕО. – М.: Изд-во ВНИИ ВОДГЕО, 1979. – 328 с.
124. Ретхати Л. Грунтовые воды и строительство / Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1989. – 432 с.
125. Рихванов Л.П. и др. Геохимия почв и здоровье детей Томска: монография. – Томск: Изд-во Томского университета, 1993. – 142 с.
126. Рогов Г.М., Лукашевич О.Д., Попов В.К. Геоэкологические проблемы и водохозяйственная деятельность города. Вестник Иркутского

- Государственного технического университета. – 2005. – № 1 (21). – С. 15–16.
127. Рождественская Л.А., Крепша М.В., Покровский Д.С. Инженерно-геологические условия территории г. Томска и их изменения в связи с хозяйственным освоением. – Томск, 1981. – 286 с.
128. Рутман, М.Г. Закономерности развития опасных природных и техноприродных процессов на территории г. Томска и их влияние на устойчивость природно-технических систем: дис. ... канд. тех. наук. – Томск, 2003. – 209 с.
129. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. – М.: Наука, 1977.
130. Серяков С.В., Попов В.К. Техногенное подтопление как фактор, влияющий на Стабильное функционирование городов // Вестник ТГАСУ. – 2007. – № 22. – С. 131–137.
131. Скогорев А.И., Егоров Б.А. и др. Проект по инженерно-геологической съемке масштаба 1:25000 г. Томска. – Томск, 1997. – 135 с.
132. Смоленцев Ю.К. и др. Региональная оценка запасов пресных подземных вод Томской области. – Томск, 1963.
133. Смоленцев Ю.К. Отчет о работах отряда Обской партии по изучению гидрогеологических условий Томской области за 1959 г. – Томск, 1960.
134. Смоленцев Ю.К. Подземные воды и условия водоснабжения населенных пунктов южной части Томской области (Отчет о работах отряда Чулымской партии по изучению гидрогеологических условий Томской области за 1958-1959 гг.). – ОФ ТТГУ, 1960.
135. СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территории от затопления и подтопления. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 20 с.
136. Сологаев В.И. Анализ причин и последствий подтопления объектов г. Омска по результатам работы экспертной группы городской администрации в 1993 г. // Автомобильные дороги Сибири: тезисы докл. Всероссийской междунар. научно-технической конференции. – Омск, 1994. – С. 165–166.

137. Сологаев В.И. Влияние свайных оснований на фильтрацию подземных вод на застроенных территориях // Совершенствование методов инженерных изысканий в строительстве; ПНИИИС. – Деп. ВНИИС 14 апреля 1986 г. – М., 1986. – С. 78–88.
138. Сологаев В.И. Защита от подтопления в городском строительстве. Устройство и работа. – Омск: Изд-во СибАДИ, 1999. – 56 с.
139. Сологаев В.И. Применение при проектировании, строительстве и эксплуатации защиты от подтопления г. Омска аналитических методов расчета и компьютерного моделирования // Тезисы докл. междунар. конференции «Роль России в развитии экологии на пороге XXI века». – Омск: Изд-во ОГПУ, 1997. – С. 108–110.
140. Сологаев В.И. Фильтрационные расчеты и компьютерное моделирование при защите от подтопления в городском строительстве: Монография. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2002. – 416 с.
141. Состояние недр территории Сибирского федерального округа. Информационный бюллетень за 2012 год. – Вып. 9 – Томск: Территориальный центр «Томскгеомониторинг», 2012.
142. Состояние недр территории Сибирского федерального округа. Информационный бюллетень за 2013 год. – Вып. 10 – Томск: Территориальный центр «Томскгеомониторинг», 2013.
143. Состояние недр территории Сибирского федерального округа. Информационный бюллетень за 2014 год. – Вып. 11 – Томск: Территориальный центр «Томскгеомониторинг», 2014.
144. Сулакшина Г.А. и др. Инженерно-геологическая характеристика условий строительства в г. Томске. – Томск, ТПИ, 1957.
145. Тельцова М.М. и др. Отчет Богашевской партии по комплексной геолого-гидрогеологической съемке масштаба 1:25000. – Томск, 1962.
146. Томский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteo-tsk.ru/site>, свободный.

147. Тюменцева О.В. О развитии процесса подтопления в городе Омске // Труды СибАДИ. – Омск: Изд-во Сиб АДИ, 1999. – Вып. 3, ч. 1. – С. 67–73.
148. Удодов П.А. Гидрогеохимические поиски в условиях полузакрытых геологических структур Томь-Яйского междуречья / П.А. Удодов и др. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1965. – 200с.
149. Удодов, А.П. Гидрогеохимические исследования Колывань-Томской складчатой зоны. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1971. – 282с.
150. Философский словарь / под ред. И.Т. Фролова. – М.: Изд-во полит. литер., 1981. – 445 с.
151. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
152. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология: учебник для вузов / С.Л. Шварцев. – М.: Недра, 1996. – 423 с.
153. Шевелев А.И., Жаркова Н.И., Бубнов Ю.П., Латыпов А.И., Хузин И.А., Галеев Р.К.. Ведение мониторинга геологической среды города Казани / Георесурсы. – 2014. – №3 (58). – С. 3–8.
154. Шевелев А.И., Жаркова Н.И., Хузин И.А. и др. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия города Казани. – Казань: Казан. уни-т, 2012. – 236 с.
155. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. Изд. 2-е, перераб. и доп., Учебник. – М: МГУ, 1979. – 369 с.
156. Шипачев В.П. Гидрогеологические условия южной и центральной части Томской области. (Пояснительная записка к гидрогеологической карте масштаба 1:500000). – ОФ ТТГУ, 1962.
157. Ширинкина В.Г. и др. Геолого-гидрогеологические условия Левобережного участка Томского района. – Томск, 1964.
158. Штенгелов Р.С., Веселова В.Л., Гриневский С.О., Казаков М.И., Козырицкая М.Е., Куваев А.А., Лёхов А.В., Петров А.Л., Шестаков В.М., Язвин А.Л. Гидрогеодинамические расчёты на ЭВМ. – М.: МГУ, 1994. – 336 с.

159. Щербак, Г.Г. Современные проблемы инженерной геологии г. Томска и пути их решения // Обской вестник. – Новосибирск, 1999. – С. 27–32.
160. Щипачев В.П. Гидрогеологические условия южной и центральной части Томской области. – Томск, 1962.
161. Экологический мониторинг: состояние окружающей среды Томской области в 2010 году: ежегодный обзор / А. М. Адам, О. А. Антошкина, М. Ю. Барашев и др.; гл. ред. А. М. Адам; Департамент природных ресурсов и охраны окр. среды Том. обл. и ОГУ "Облкомприрода". – Томск: Графика ДТР, 2011. – 144 с.: ил.
162. Экологический мониторинг: состояние окружающей среды Томской области в 2003 году: Ежегодник / Ред. Адам А. М.; Департамент природ. ресурсов и охраны окружающей среды и ОГУ "Облкомприрода" администрации Том. обл. – Томск: Дельтаплан, 2004. – 204 с.
163. Языков Е.Г., Шатилов А.Ю. Геоэкологический мониторинг. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 276 с.
164. Abu-Rizaiza O.S., Sarikaya H.Z., Ali Khan M.Z. Urban groundwater rise control // J. Irrigation and Drain. Eng. – 1989. – 115. – № 4. – P. 588–607.
165. Blower Tim, Simpson Brian. Rising ground-water levels beneath London // «Struct. Surv.», 1988. – 6. – № 3. – P. 229–232.
166. Borreman N. Onderzoek naar de oorzaak van te lage grondwaterstanden in stedelijk gebied // Tijdschr. Watervoorz. En afvalwaterbehandel. –1988. – 21. – № 26. – S. 776–779, 755, 775.
167. Davies J.A. Groundwater control in the design and construction of a deep excavation // Groundwater Eff. Geotechn. Eng: Proc. 9th Eur. Conf. Soil Mech. And Found. Eng., Dublin, 31 Aug. – 3 Sept., 1987. – Vol. 1. – Rotterdam; Bostn. 1987. – P. 139–144.
168. Geldof G.D., Boere E.N., Ven F.H. M., Ach W.N. Grondwaterbeheersing in stedelijke gebieden. // «PT/Civ. Techn.», 1987. – 42. – № 1. – S. 43–48.
169. Perger Laszlo. Belteruleti talajviiproblemak // Mernokgeol. Szem. –1988. – №36. – S. 69–84.

170. Pokrovsky V., Pokrovsky D., Dutova E., Nikitenkov A., Nazarov A. Degree of areal drainage assessment using digital elevation models. Institute of Physics Publishing. – Scopus: 2 – s2.0 – 84906952928. ISSN/ISBN: 17551307
171. Sochatzy G. Verfahren zur Beherrschung der Grundwasserprobleme in Zuge von NOT-Vortrieben beim U-Bahn-Bau der Stadt Wien // «Berg- und Huttenmann. Monatsh.». – 1988. – 133. – №6. – S. 287–296.
172. White Ar. F. Chemical weathering rates of silicate minerals in soils // Reviews in Mineralogy. Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals / Mineralogical Society of America. – 1995. – Vol. 31. – P. 405–462.