

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Янкович Елена Петровна

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА «ТОМСКИЙ»
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук,

профессор Л.П. Рихванов

Томск – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАБОТЫ С ПРОСТРАНСТВЕННО-ОРИЕНТИРОВАННЫМИ ДАННЫМИ.....	12
ГЛАВА 2. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА «ТОМСКИЙ»	20
2.1 Природные особенности территории.....	20
2.2 Геохимические особенности компонентов природной среды полигона «Томский»	27
ГЛАВА 3. МЕТОДИКИ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ.....	44
3.1 Методы химико-аналитических исследований.....	45
3.2 Методики оценки экологического состояния снегового и почвенного покровов	47
3.3 Методика оценки экологического состояния подземных вод.....	50
3.4 Картографирование эколого-геохимической оценки природной среды.....	53
ГЛАВА 4. ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН «ТОМСКИЙ»	57
4.1 Алгоритм эколого-геохимической оценки природной среды на основе геоинформационных технологий	57
4.2 Характеристика геоинформационной системы «Гидрогеоэкологический полигон Томский».....	60
4.3 Анализ геохимической трансформации почвенного и снегового покровов с использованием созданной ГИС "ГГЭП Томский"	69
4.5 Анализ влияния техногенных факторов на подземные воды с использованием созданной ГИС «ГГЭП Томский»	72
ГЛАВА 5. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ ВОДА-ПОРОДА И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	81

5.1 Определение базовых параметров распределения элементов в однородных гидрогеохимических совокупностях.....	82
5.2 Коэффициент контрастности как мера аномальности	98
5.3 Выявление формирующихся очагов загрязнения.....	101
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	111
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	113

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Широкие интегративные и функциональные возможности современных геоинформационных технологий в получении нового знания о пространственных и временных свойствах природных объектов предопределили их повсеместное применение для решения различных научно-исследовательских и прикладных задач. Велика востребованность технологий геоинформационных систем (ГИС) и при эколого-геохимической оценке территорий [13; 12; 146; 145; 26; 55; 95; 96; 102; 133; 139; 149 и др.]. В ходе эколого-геохимических исследований накапливается большой объем разнородной информации, ГИС позволяет объединить эти данные на основе пространственной привязки к территории и представляет собой многофункциональный инструмент комплексной оценки природной среды, в том числе, ее изменений, обусловленных техногенным воздействием.

Процесс технического развития производства неизбежно трансформирует все компоненты природной среды. Прежде всего, изменения связаны с концентрацией и рассеиванием химических элементов в атмосфере, гидросфере, литосфере, почвенном и растительном покровах в количествах несвойственных для естественных условий. Такое загрязнение природной среды существенно ухудшает экологическое состояние территории, что, в свою очередь, отрицательно влияет на здоровье населения [138; 137; 2; 3; 15; 150, 151; 28 и др.].

Наиболее ярко влияние техногенеза проявляется на территориях концентрации многопрофильных предприятий. Для промышленного юга Томской области характерна существенная техногенная нагрузка, обусловленная, во-первых, эксплуатацией предприятия ядерного топливного цикла с полигонами подземного захоронения и прудами-накопителями жидких радиоактивных отходов (ЖРО), которые загрязняют почти все компоненты окружающей среды техногенными радионуклидами; во-вторых, функционированием промышленных предприятий и автотранспорта, загрязняющих атмосферу и почвы отходами производства; в-третьих, вторичным загрязнением приземной атмосферы

вследствие ветрового переноса загрязняющих веществ с почвы, а также возможностью поступления в подземные воды загрязняющих веществ в результате фильтрации их с поверхности и со стороны полигонов ЖРО [117; 111; 110; 150; 151; 154 и др.]. Поэтому вопрос всесторонней экологической оценки современного состояния компонентов природной среды в районе г. Томска и прилегающей территории особенно актуален.

Для адекватного и качественного исследования состояния геологической среды при разнообразных видах техногенного воздействия и определения рационального комплекса необходимых показателей, позволяющих эффективно решать практические задачи прогноза, на территории Обь-Томского междуречья и прилегающем правом берегу р. Томь по инициативе ТЦ «Томскгеомониторинг» (АО «Томскгеомониторинг») в 2001 г. был организован гидрогеоэкологический полигон «Томский» (полигон «Томский») [207; 209]. Создание полигона «Томский» явилось важным методическим этапом в изучении эколого-геохимических характеристик территории, который позволил аккумулировать имеющиеся к этому времени многолетние ряды систематических наблюдений за подземными водами, почвами, снегом и перейти к комплексным, обобщающим исследованиям. Одним из таких исследований и является настоящая диссертационная работа.

Современная нормативная база геохимической оценки экологического состояния территорий – теоретическая основа данной диссертации – основывается на коэффициентах и показателях, применяемых при изучении ландшафтов и поисках полезных ископаемых (А.И. Перельман, В.А. Алексеенко, Н.С. Касимов, М.А. Глазовская, А.П. Соловов, Н.И. Сафронов и др.). Сотрудниками ИМГРЭ (Ю.Е. Саэт, Э.К. Буренков, Е.П. Янин и др.) разработаны основы практического применения экологической геохимии для решения многих задач по выявлению и картированию источников и очагов техногенного загрязнения, оценки состояния окружающей среды, определения степени риска для здоровья населения, проживающего в очагах загрязнения. На кафедре ГЭГХ ТПУ развивают методы комплексной эколого-геохимической оценки территорий

с комбинационным характером техногенного воздействия (Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков и др.) [150; 151; 152; 204 и др.].

Широкие возможности применения геоинформационных технологий и их реализации в виде геоинформационных систем для эколого-геохимической оценки различных территорий продемонстрированы во многих работах российских и зарубежных ученых (В.Т. Жуков, Л.Н. Гинзбург, В.С. Тикунов, Н.И. Куракина; С.А. Куролап, Б.А. Новоковский и др.).

Коллективом кафедры ГЭГХ ТПУ, участником которого являлся и автор, проведены научные обобщения геохимического мониторинга окружающей среды и заболеваемости Томского района на основе геоинформационных технологий и опубликована монография [151].

Поскольку постоянно повышаются требования к объективности и уровню надежности оценки и прогноза экологической ситуации на территории с интенсивными условиями техногенеза, особую актуальность приобретают как детальные геохимические исследования компонентов природно-антропогенной среды, так и комплексная эколого-геохимическая оценка такой территории на базе новых научных достижений. Так, оценка возможного воздействия антропогенных факторов на подземную гидросферу является достаточно сложной задачей, поэтому совместное использование современных методологических разработок в исследовании геологической эволюции системы вода-порода-органическое вещество (В.П. Зверев, Р.М. Гаррелс, Ч.Л. Крайст, С.Р. Крайнов, Б.П. Рыженко, С.Л. Шварцев и др.) и геоинформационных технологий позволяет по-новому подойти к решению данной проблемы.

Сложность комплексной эколого-геохимической оценки заключается в разобщенности имеющихся данных, в отсутствии единой системы хранения и обработки информации. Объединение, обобщение разнородных результатов исследовательских работ, проведенных различными организациями для получения комплексной оценки природной среды, возможно на основе геоинформационных технологий, так как все полученные данные имеют четкую пространственную привязку.

Цель работы – выполнить эколого-геохимическую оценку компонентов природной среды гидрогеоэкологического полигона «Томский» с использованием геоинформационных технологий.

Объект исследований. Компоненты природной среды (почва, снег, подземные воды) территории гидрогеоэкологического полигона «Томский».

Предмет исследований. Геохимические показатели компонентов природной среды.

Задачи исследования:

1. Разработать геоинформационную систему «Гидрогеоэкологический полигон Томский» (ГИС «ГГЭП Томский») хранения, обработки и представления эколого-геохимической информации.
2. Построить комплект карт по степени геохимической трансформации почв, снегового покрова с использованием созданной ГИС.
3. Провести анализ гидрогеохимических данных с выделением однородных гидрогеохимических совокупностей, используя функционал ГИС, для чего создать программу для выделения однородных гидрогеохимических совокупностей на основе теории взаимодействия вода-порода, интегрированную в ГИС «ГГЭП Томский».
4. Определить базовые параметры показателей качества подземных вод изучаемой территории.
5. Оценить эколого-геохимическое состояние подземных вод относительно базовых данных.

Методологическая основа. В работе использованы теоретические разработки отечественных и зарубежных авторов по геоэкологии, геоинформационным системам, моделированию (В.А. Алексеенко, А.И. Перельман, Ю.Е. Саэт, Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, В.К. Попов, В.С. Тикунов, М. Зейлер, Э. Митчелл, М. Н. ДеМерс, Р. Томлинсон и др.) и эволюционному развитию системы вода-порода (Р.М. Гаррелса, Ч.Л. Крайста, С.Л. Шварцева, С.Р. Крайнова, Б.П. Рыженко, В.П. Зверева, Г.Б. Наумова, М.Б. Букаты, Ю.Г. Копыловой, Е.М. Дутовой и др.).

Методическая база представлена теорией геоинформационных систем, методами химической термодинамики, геоэкологии и геохимии, математической статистики. Программное обеспечение: ArcGIS, Statistica.

Фактический материал. База геоданных сформирована на основе обширного фактического материала, полученного в ходе комплексных эколого-геохимических исследований изучаемой территории сотрудниками АО «Томскгеомониторинг», учеными ТПУ, ТГУ, ТГАСУ и другими организациями. В работе использованы материалы, полученные в ходе комплексных исследований, проведенных сотрудниками и студентами кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов ТПУ (зав. каф Л.П. Рихванов), в которых автор диссертации принимал непосредственное участие, фондовые (ОА «Томскгеомониторинг» генеральный директор В.А. Льготин) и опубликованные источники. В рамках хоздоговорных работ (2009-2011 гг.) с ОА «Томскгеомониторинг» автором совместно с сотрудниками НОЦ «Вода» (начальник Ю.Г. Копылова), каф. ГИГЭ (зав. каф. С.Л. Шварцев) ИПР ТПУ проводились исследования состояния подземных вод территории гидрогеоэкологического полигона «Томский».

Личный вклад автора заключался в сборе, систематизации и анализе эколого-геохимических данных исследуемой территории; создании программы для выделения однородных гидрогеохимических совокупностей, построении карт; участии в проведении полевых исследований, в составлении научно-исследовательских отчетов; создании базы геоданных и построении геоинформационной системы.

Научная новизна:

- Впервые создана геоинформационная система «ГГЭП Томский», реализованная в среде ArcGIS, включающая базу результатов геохимического опробования компонентов природной среды, системные и авторские инструменты для обработки данных.

- На основании анализа карт, построенных с использованием созданной базы геохимических данных, установлены участки техногенной трансформации компонентов природной среды.
- Предложены новые методики оценки эколого-геохимического состояния подземных вод на основе геоинформационных технологий. (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015662947 РФ Федерация, Е.П. Янкович, 07.12.2015 г., дата публикации 20.01.2016 г.)
- Получены новые данные о распространенности базовых концентраций химических элементов в подземных водах с учетом их геохимических типов.
- Выявлена природно-техногенная составляющая повышенных содержаний химических элементов в подземных водах.

Защищаемые положения:

1. Геоинформационная система «Гидрогеоэкологический полигон Томский», реализованная в среде ArcGIS, является эффективным инструментом комплексной эколого-геохимической оценки природной среды, позволяющим получать модели пространственной локализации химических элементов в почве, снеге, подземных водах и картографировать эколого-геохимическую обстановку.
2. Разработанная геоинформационная технология выделения однородных гидрогеохимических совокупностей в водоносных комплексах с учетом взаимодействия системы вода–порода позволяет получить базовые параметры распределения химических элементов в подземной гидросфере (подземных водах).
3. Коэффициенты контрастности, определенные относительно базовых параметров, позволяют обнаруживать формирующиеся геохимические аномалии в подземных водах и идентифицировать избыточное поступление химических элементов преимущественно техногенного происхождения.

Практическая значимость определяется возможностью использования базы геохимических данных, карт фоновых значений при комплексной эколого-геохимической оценке природной среды и прогнозировании последствий

антропогенного воздействия. Материалы исследований были использованы в процессе выполнении хоздоговорных работ и грантов. Внедрение новой технологии обработки гидрогеохимических данных на основе анализа геохимических типов вод с использованием геоинформационных технологий способствует совершенствованию мониторинга качества вод и может использоваться при оценке эколого-геохимического состояния водной среды и прогноза её изменения в условиях техногенного стресса. Результаты исследований по гидрогеоэкологическому полигону «Томский» переданы АО «Томскгеомониторинг» и представлены в сводном информационном отчете о состоянии недр на территории Томской области. Предложенная методика выявления природно-техногенных повышенных содержаний химических элементов в подземных водах может быть применена при ведении государственного мониторинга подземных вод.

Материалы диссертационной работы используются в учебных курсах «Геоинформационные системы», «Исследование водохозяйственных систем природно-техногенных комплексов», «Геохимический мониторинг», читаемых для студентов Института природных ресурсов ТПУ.

Достоверность защищаемых положений определяется большим массивом фактического материала, современными методами обработки данных с использованием специализированного программного обеспечения. Результаты исследований получены на современном сертифицируемом аналитическом оборудовании с использованием как передовых, так и традиционных методов исследования в аналитических центрах: НОЦ «Вода» ИПР ТПУ (г. Томск), Лаборатория ядерно-геохимических методов исследования кафедры геоэкологии и геохимии ИПР ТПУ, Гидрохимическая лаборатория АО «Томскгеомониторинг».

Апробация работы и публикации. Результаты исследований и основные положения докладывались на международных и всероссийских конференциях: Международный научный конгресс «ГЕО-Сибирь» (Новосибирск 2005, 2011, 2012), VIII научная конференция по тематической картографии (Иркутск 2006),

International Symposium on Trace Elements in the Food Chain Deficiency or Excess of Trace Elements in the Environment as a Risk of Health (Будапешт, Венгрия 2006, 2009), 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST - 2012) (Томск 2012), Всероссийского совещания по подземным водам востока России (Иркутск 2012), International Multidisciplinary Scientific Geoconference (Албена, Болгария 2014, 2015), Всероссийского совещания по подземным водам востока России (Иркутск 2012), International Multidisciplinary Scientific Geoconference (Албена, Болгария 2014, 2015) и др. По теме диссертации в части проведения эколого-геохимических и геологических исследований с использованием геоинформационных технологий опубликовано более 30 работ в соавторстве, в том числе: 8 статей в журналах из списка ВАК, 4 монографии, 5 статей индексируемых в реферативных базах данных SCOPUS, патент, свидетельство о регистрации программы.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложений. Материалы диссертации изложены на 136 стр., включают 53 рисунка, 12 таблиц. Список литературы содержит 212 наименований.

Благодарности. Автор глубоко признателен научному руководителю д.г.-м.н., профессору Л.П. Рихванову. Автор искренне благодарен генеральному директору АО «Томскгеомониторинг» к.г.-м.н. В.А. Лыготину за возможность использования данных и поддержку, сотрудникам АО «Томскгеомониторинг» Г.А. Жульминой, В.П. Шинкаренко, Н.В. Виниченко, Д.Н. Четвергову за совместную работу и советы. За внимание, советы и объективную критику автор благодарен д.-рам г.-м.н., профессорам В.К. Попову, С.Л. Шварцеву, Е.Г. Языкову, Е.М. Дутовой, О.Г. Савичеву; к.г.-м.н. Н.В. Гусевой, к.х.н. Н.А. Осиповой. Особую признательность и благодарность автор выражает к.г.-м.н. Ю.Г. Копыловой и к.г.-м.н. Ю.В. Макушину, которые определили основную направленность научных исследований и оказывали поддержку на протяжении выполнения диссертационной работы. Автор благодарен коллективам кафедр ГЭГХ, ГРПИ и своей семье.

ГЛАВА 1. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАБОТЫ С ПРОСТРАНСТВЕННО-ОРИЕНТИРОВАННЫМИ ДАННЫМИ

Геоинформационные технологии – это информационные технологии обработки пространственно-координированных данных, то есть данных, имеющих информацию о местоположении. Сущность геоинформационных технологий проявляется в их способности связывать с картографическими объектами некоторую описательную (атрибутивную) информацию, средством реализации геоинформационных технологий являются геоинформационные системы (ГИС) [64; 65; 25; 134 и др.].

Однозначного определения ГИС нет [73; 85; 25 и др.], мы будем понимать под географической информационной системой программно-аппаратный комплекс, способный хранить и использовать (показывать, анализировать, управлять) данные, описывающие объекты в пространстве, и управляемый специальным персоналом [46; 25]. ГИС включает в себя пять ключевых составляющих (рисунок 1) и состоит из нескольких подсистем: сбора и хранения данных, анализа данных, управления данными, вывода данных [46].

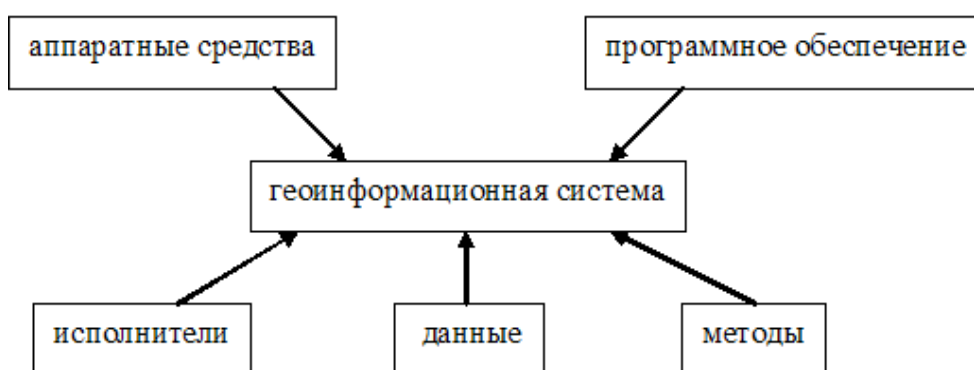


Рисунок 1 – Составляющие геоинформационной системы

Появление первой геоинформационной системы и самого термина связывают с работами Роджера Ф. Томлинсона (Roger F. Tomlinson) с коллегами в 1960 г. [171, 173, 184, 181 и др.].

ГИС работает с пространственными данными, описывающими положение и форму объектов реального мира, а также пространственные связи между ними и атрибутивные характеристики объектов (рисунок 2).

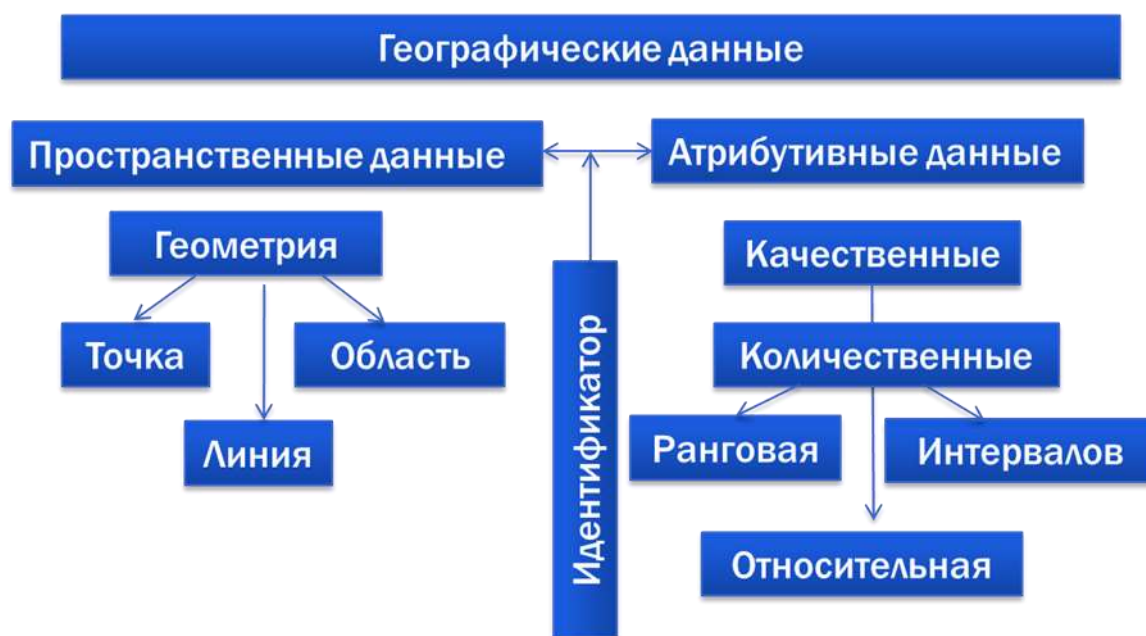


Рисунок 2 – Структура географических данных в ГИС

В ГИС используются два основных способа цифрового описания пространственных объектов: векторный и растровый. В векторной модели для представления объектов реального мира используются три геометрических примитива: точка, линия, полигон для описания дискретных объектов. Координаты определяют геометрию и положение объектов. Растровая модель данных подходит для описания непрерывных обобщённых явлений, представляет данные в виде совокупности ячеек. Непространственная (атрибутивная) информация представляется в виде текстовых или числовых характеристик, заносимых в атрибутивную таблицу к каждому типу геометрии. В зависимости от решаемой задачи пространственные данные в ГИС могут быть организованы либо на послойном подходе, либо на объектно-ориентированном. Также по-разному осуществляется связь между пространственной и атрибутивной компонентой. Выделяют следующие подходы: геореляционный, интегрированный, объектный,

объектно-реляционный. И, наконец, векторные, растровые и атрибутивные данные, представляющие объекты реального мира в памяти компьютера могут храниться в разных форматах [184; 176; 174 и др.]. Общая структура уровней организации данных в геоинформационных системах показана на рисунке 3.

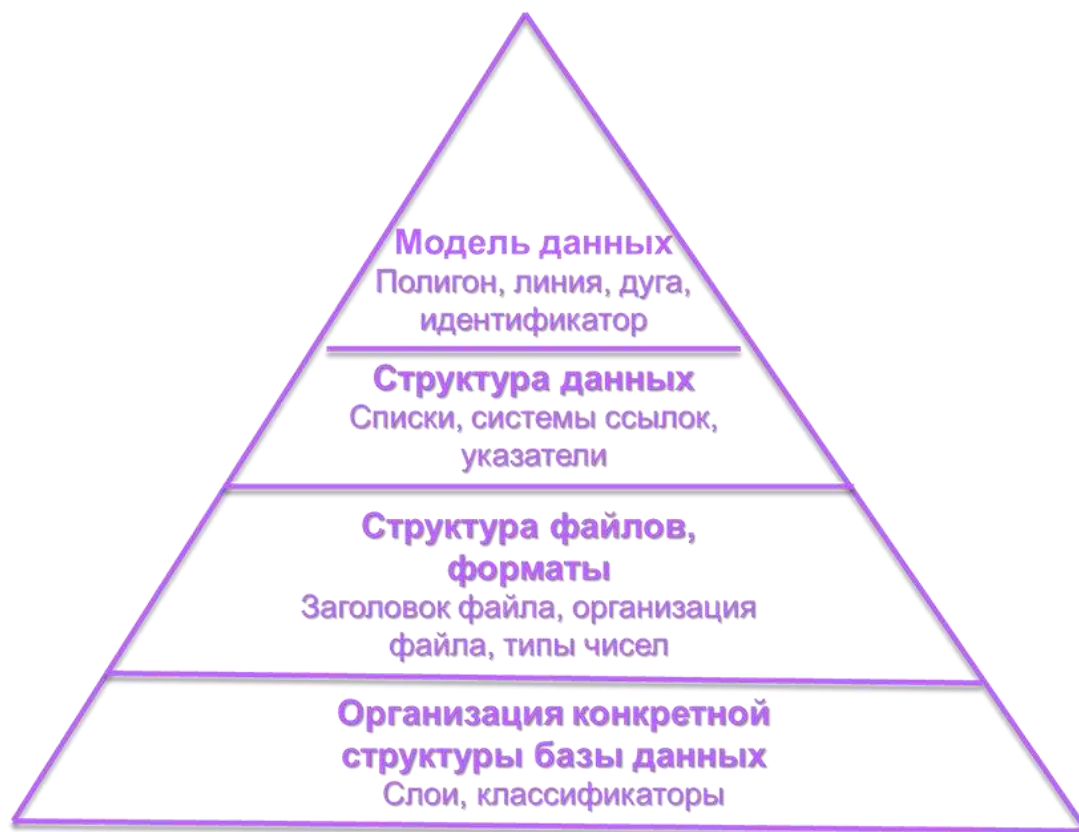


Рисунок 3 – Уровни организации данных по [73]

Преимущество технологий геоинформационных систем перед другими способами работы с данными, имеющими информацию о местоположении, состоит не просто в создании карт, а в возможности проведения полноценного пространственного анализа [174; 134 и др.]. ГИС – анализ является процессом поиска пространственных закономерностей в распределении данных и взаимосвязей между объектами. Обычные этапы анализа: постановка вопроса, понимание данных, выбор метода анализа, обработка данных, оценка результатов (рисунок 4).



Рисунок 4 – Процесс анализа данных в ГИС [167]

Существуют различные подходы к проектированию геоинформационной системы – на основе территориальных признаков, для решения конкретных задач или комбинируют два первых [64; 73; 82 и др.]. Это определяет требования к входным данным, программному обеспечению, выходным материалам, получаемым в результате обработки и др. В первом случае данные собираются под какой-либо территориальный объект, а во втором сбор информации обусловлен формулировкой задачи.

Примером первого подхода может служить система ЭИС REGION ("REGION-VOLGABAS") комплексного анализа пространственно-распределенной информации состояния экосистем всего Волжского бассейна Института экологии Волжского бассейна РАН. [146; 75] (рисунок 5).

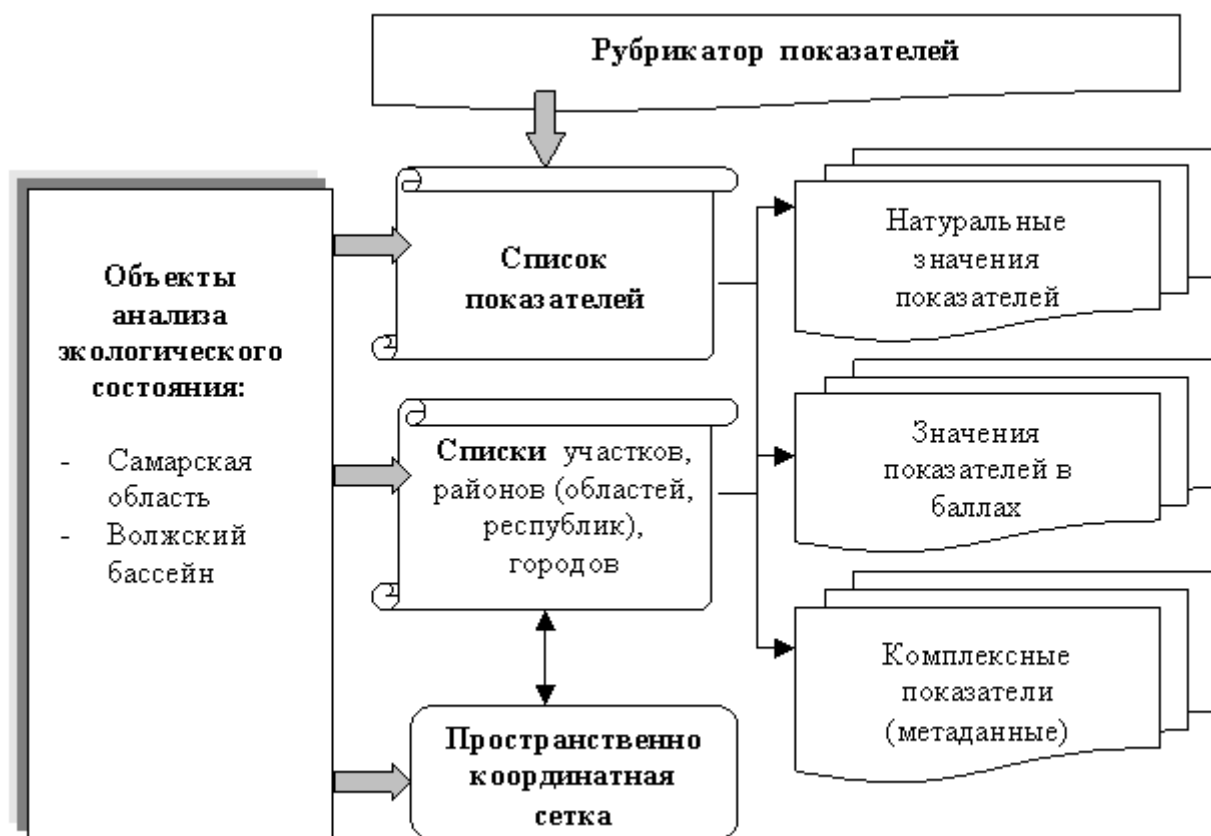


Рисунок 5 – Модель базы данных ЭИС «REGION» [75]

Примером второго подхода – система «Экоскан» (ФГУП ИМГРЭ Л.Н. Гинзбург и др.), позволяющая проводить комплексную эколого-геохимическую оценку техногенного загрязнения окружающей природной среды на основе совместного пространственного анализа и интеграции различных междисциплинарных данных о параметрах окружающей среды (эколого-геохимических, биохимических, медико-биологических и иных данных) [18].

Примером решения крупной региональной задачи с интеграцией множества информационных слоев в совокупности их сложных взаимосвязей является созданная для "Москомприроды", в рамках программы "Наука Москве" экологическая геоинформационная система Московской кольцевой автодороги (МКАД) [96].

На территории России первый опыт создания ГИС появился в тех организациях, которые были связаны с управлением природными ресурсами, а активно применяться начали с 1990-х гг.

Решением различных экологических задач с использованием геоинформационных технологий, в том числе и созданием прикладных ГИС, занимаются в Институте водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул) с 1989 года [21; 145; 105]. Первоначально это были работы по созданию баз экологических данных инвентарного типа и их обработки как информационно-поисковых систем по экологическим исследованиям разнообразной направленности. Сейчас геоинформационные технологии используются для пространственного моделирования, многофакторного анализа и прогнозирования устойчивости территорий к негативному экологическому воздействию [122; 121].

Также к одному из первых опытов использования геоинформационных технологий при эколого-геохимических исследованиях можно отнести работы 1993 г. по оценке экологической ситуации в районе Северного промышленного узла (СПУ) г. Томска [201]. Точки отбора проб имели строгую картографическую привязку к местности. Вся полученная информация была внесена в персональные базы данных, и представляла по существу геоинформационную систему по СПУ. Это позволило оперативно провести статистическую обработку, представить результаты в виде карт, графиков и т.д. Исполнителями работ была создана система «Эколог-СПУ» для объединения разобщенных данных с целью выявления (путем комплексного анализа) различного рода закономерностей, принятия решений по оценке эколого-медицинской ситуации и выработке рекомендаций по предотвращению загрязнений окружающей среды, по проведению медико-профилактических и организационно-управленческих мероприятий [150].

В настоящее время практически все исследования по экологической оценке природной среды и ее составляющих на основе геохимических данных ведутся с использованием геоинформационных технологий. Возможности пространственного анализа позволяют выяснить природное или техногенное происхождение повышенных концентраций тяжелых металлов в компонентах природной среды. Например, при исследовании загрязнения почв в Италии были построены карты распределения тяжелых металлов, которые показали, что

повышенные концентрации Cr, Co и Ni связаны с составом материнских пород и имеют природное происхождение; а повышенные концентрации Cu, Zn и Pb связаны с антропогенной деятельностью. Также результаты исследований, проведенных в Пакистане, Южной Австралии, Китае убедительно продемонстрировали состоятельность использования геоинформационных технологий для оценки, прогнозирования концентраций тяжелых металлов в почве [180; 188; 169 и др.].

На основе ГИС ведется мониторинг загрязнения снегового покрова тяжелыми металлами и радионуклидами в Санкт-Петербурге [178].

Оценка пространственно-временного распределения загрязнения подземных вод, а также понимание факторов, которые объясняют это загрязнение, имеет важное значение в управлении качеством питьевой воды. Для этого результаты анализа воды с помощью технологий геоинформационных систем объединяют с данными по почве, геологии, гидрогеологии, климате и антропогенной нагрузке, что позволяет выяснить источники повышенных концентраций химических элементов [185; 186; 187; 189 и др.].

Интеграция геоинформационных технологий с результатами эколого-геохимических исследований природных сред Томского района Томской области и медико-статистическими данными позволила получить серию карт, отражающих распределение концентраций загрязняющих веществ и состояние здоровья населения на единой топографической основе [159; 151; 190; 192].

Таким образом, внедрение в процесс эколого-геохимических исследований геоинформационных систем позволяет учесть требования, предъявляемые к эколого-геохимической оценке. Интеграционный потенциал географических информационных систем дает возможность реализовать на их основе мощный инструмент для сбора, хранения, систематизации, анализа и представления эколого-геохимической информации. Типичные задачи, решаемые при эколого-геохимических исследованиях на основе геоинформационных систем показаны на рисунке 6.



Рисунок 6 – Использование ГИС-технологий в эколого-геохимических исследованиях

Несмотря на достаточно обширный и многообразный опыт использования ГИС при эколого-геохимических исследованиях, в настоящее время отсутствуют готовые решения по разработке структуры и содержанию баз геоданных, учитывающие специфику конкретной территории.

ГЛАВА 2. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА «ТОМСКИЙ»

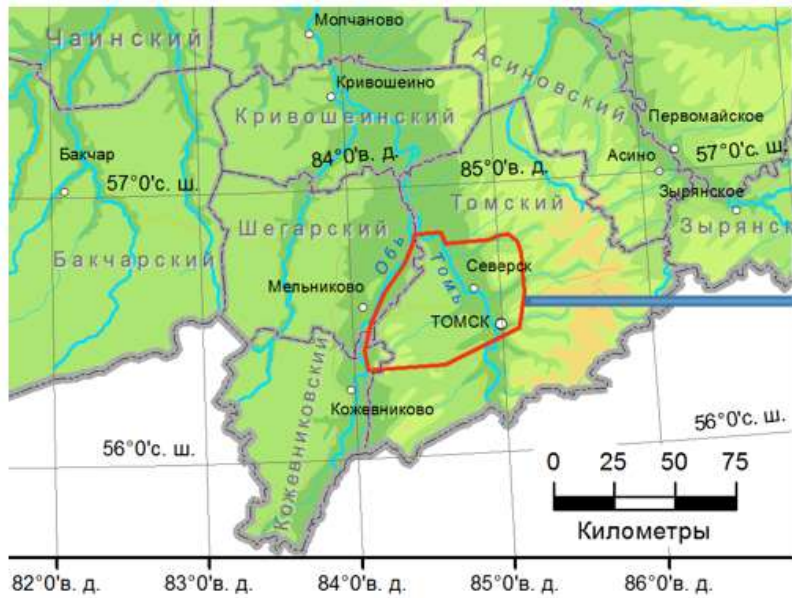
2.1 Природные особенности территории

В районе г. Томска и прилегающей территории сформирована особая природно-техногенная система, характеризующаяся сложным характером воздействия техногенеза [150; 151; 29; 117; 110; 111; 201 и др.].

По инициативе ТЦ «Томскгеомониторинг» (АО «Томскгеомониторинг») для отработки методов и технологий ведения государственного мониторинга состояния недр при разнообразных видах техногенного воздействия на геологическую среду и определения рационального комплекса необходимых показателей, позволяющих решать практические задачи прогноза состояния недр в 2001 г. на этой территории был организован гидрогеоэкологический полигон «Томский» [207; 209].

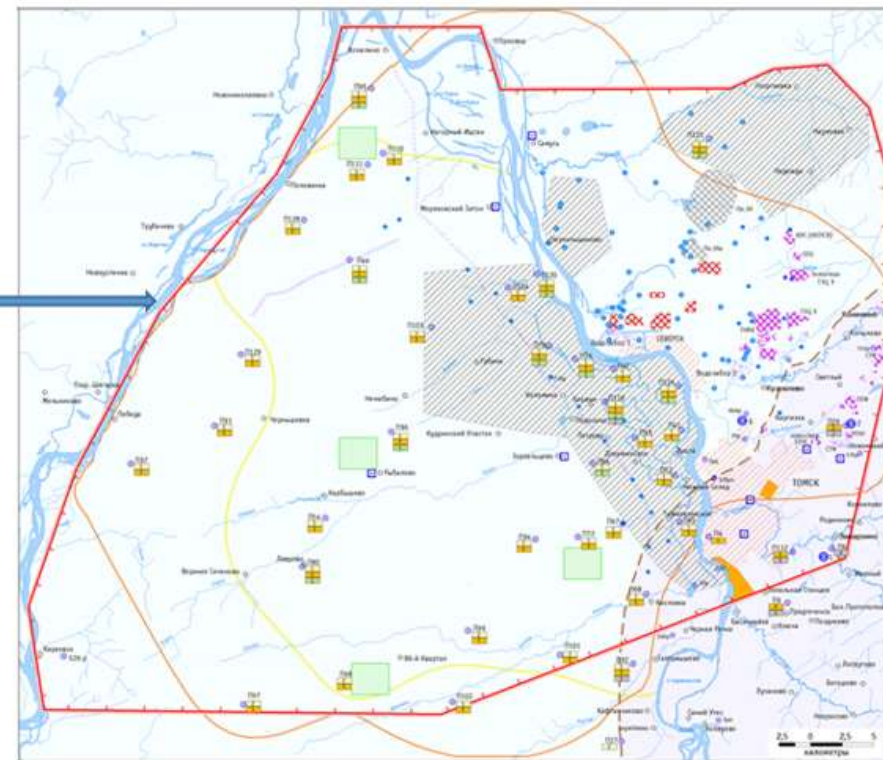
Гидрогеоэкологический полигон «Томский» (полигон «Томский») расположен в юго-юго-восточной части Томской области, на Обь-Томском междуречье и прилегающем правом берегу р. Томи. В административном плане границы полигона включают Томский район, на западе незначительную часть Шегарского и Кожевниковского районов Томской области (рисунок 7) [209; 212; 161]. В границах района исследований расположены два крупных города Томск, Северск и ряд малых населенных пунктов с общим количеством жителей более 700 тыс. человек. В долинах рек Оби и Томи сосредоточено основное количество сельских поселений и рекреационных зон. Плотность населения составляет около 7,2 человек на квадратный километр [166].

В пределах полигона «Томский» расположены предприятия ядерно-топливного цикла, нефтехимические, машиностроительные, электротехнические, приборостроительные, фармацевтические, сельскохозяйственные предприятия; полигоны токсичных промышленных и бытовых отходов таких предприятий как Сибирский химический комбинат (СХК), ООО "Томскнефтехим" (ранее Томский нефтехимический комбинат);



Условные обозначения

- Контур полигона
- Гидрогеологические структуры I порядка
 - Западно-Сибирский артезианский бассейн
 - Саяно-Алтайская гидрогеологическая складчатая область
 - Граница между гидрогеологическими структурами
- Наблюдательная сеть за подземными водами
- Государственная опорная:
 - №7 номера постов скважин
 - пост скважин
 - возраст наблюдаемого горизонта – цвет знака: желтый – неоген-четвертичный, оранжевый – палеогеновый, зеленый – меловой, серый – палеозойский; цифра внутри знака – количество скважин
 - 7р одиночные скважины и их номера
- Ведомственная
 - Объектная
 - Наблюдательная сеть за ЭГП
 - участки активного развития оползней



Водозаборы подземных вод

Эксплуатирующие утвержденные запасы подземных вод

- Томский
- Северский
- 1 – Академический
- 2 – Межениновской ПТФ
- 3 – ГУЗ Том. обл. клинической психиатрической больницы

Эксплуатирующие неутвержденные запасы подземных вод

Депрессионные воронки

- неоген-четвертичного комплекса
- палеогенового комплекса

Прочие обозначения

- Промышленные площадки
 - Сибирского химического комбината
 - Северной промзоны
- Полигоны глубинного захоронения ЖРАО
 -
- Участки
 - проведения эколого-геохимических исследований
 - ландшафтно-экологических исследований

Рисунок 7 – Обзорная схема района исследований

агропромышленные комплексы (ООО «Межениновская птицефабрика», Туганская птицефабрика, АО «Сибирская аграрная группа» и др.) [166; 151 и др.]. Сельскохозяйственные предприятия имеют чаще всего ярко выраженную специализацию: растениеводство или животноводство.

Кроме перечисленных выше техногенных объектов на территории полигона «Томский» располагаются водозаборы подземных вод: Томский водозабор, расположенный на Обь-Томском междуречье, и два площадных водозабора г. Северска на правом берегу р. Томи.

Территориально полигон «Томский» располагается в зоне тайги (подзона мелколиственных лесов), и лишь крайний юг входит в лесостепную зону с гумидным климатом, зоной умеренного увлажнения [49; 63 и др.]. Средняя годовая сумма осадков колеблется в пределах 450-650 мм, что превышает испаряемость на 100-170 мм. Среднегодовая температура воздуха за многолетний период составляет $-0,4^{\circ}\text{C}$ [67; 24 и др.].

Плоский равнинный рельеф с небольшим наклоном с юга на север (минимальные абсолютные отметки составляют 65-75 м, максимальные – 200 м) обуславливает малые уклоны уровней подземных вод и относительно медленный характер их движения [140; 49; 59 и др.].

Гидрографическая сеть представлена реками Обью, Томью, имеющими меридиональное направление, их притоками, а также – озерами, прудами и пойменными болотами. Характер питания рек смешанный. Доли подземного, снегового и дождевого питания примерно равны [123; 124; 24].

На территории полигона «Томский» развиты, в основном, серые лесные почвы, преимущественно суглинисто-глинистого механического состава [47; 48]. Выделяют три типа серых лесных почв: темно-серые, серые и светло-серые [112]. На поймах рек выделяются дерновые, аллювиальные и болотные почвы.

В геологическом плане изучаемая территория расположена на стыке Колывань-Томской складчатой зоны и Западно-Сибирской плиты. В строении района принимают участие породы палеозойского фундамента, перекрытые чехлом рыхлых мезозойско-кайнозойских отложений [22; 39; 40; 196 и др.].

Наиболее поздними породами на изучаемой площади являются верхнепалеозойские отложения, которые представлены осадками девона и карбона, сложенными алевритами зеленовато-серыми, песчаниками серыми с песчано-алевроитовой структурой и сланцевой текстурой, глинистыми сланцами. На палеозойских породах повсеместно залегают остаточные коры выветривания, погребенные под мел-палеогеновыми и четвертичными отложениями (рисунок 8) [22; 39; 40; 196; 205 и др.].

Лагунно-континентальные и континентальные осадки мелового периода представлены темно-серыми и пестроцветными глинами, реже алевролитами и песчаниками, голубовато- и зеленовато-серыми, от тонко- до мелкозернистых каолинизированными песками.

Морские, прибрежно-морские и континентальные палеогеновые отложения повсеместно распространены на изучаемой территории за исключением юго-востока, где они отсутствуют на резко приподнятых породах палеозоя [22; 39; 40; 196; 205 и др.]. Палеогеновые отложения представлены глинами, кварцевыми песками, песчаниками, алевритами, пластами бурого угля, лигнита.

Отложения неогена выделены на ограниченном участке правобережья р. Томи в верховьях р. Таловка. Отложения представлены серыми мелко-среднезернистыми, реже разнозернистыми песками с прослоями зеленовато-серых глин, залегающими на песчано-глинистых отложениях лагернотомской свиты.

Четвертичные отложения покрывают сплошным чехлом весь район и в долинах рек образуют комплекс речных террас. Четвертичные отложения в основном представлены глинами, суглинками, мелко- и тонкозернистыми песками, супесями, глинистыми песками, алевритами. Пойменные фации верхней части разреза гумусированы. Поймы сложены песками с гравием, иловатыми суглинками, илами [22; 39; 40; 196; 205 и др.].



Составил В.Г. Берюков по материалам работ В.Л. Карсона (1975), В.Н. Сильвестрова (1997), Н.Ю. Ахмадзина (2002)

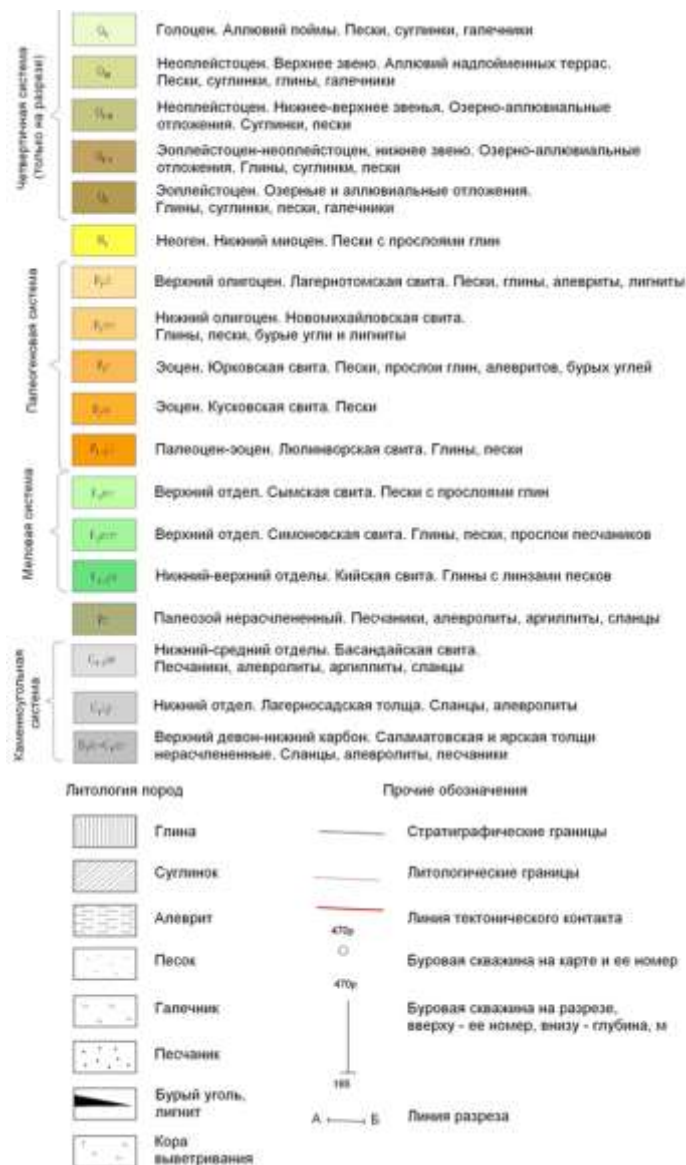
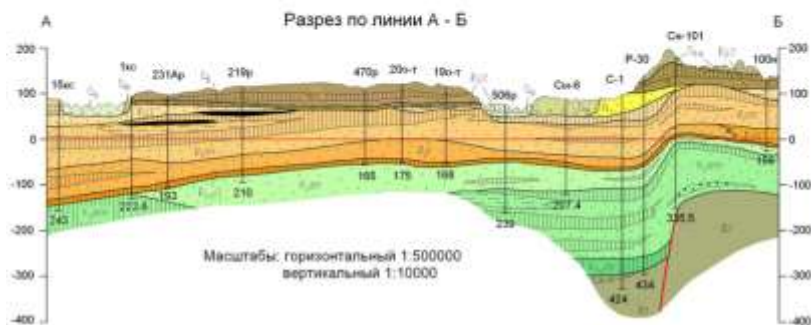


Рисунок 8 – Схематическая карта дочетвертичных образований [205]

Территория полигона «Томский» находится на границе соединения двух крупных гидрогеологических структур: Западно-Сибирского артезианского бассейна (ЗСАБ) и Саяно-Алтайской гидрогеологической складчатой области (САГСО) (рисунок 9). Для каждой из указанных гидрогеологических структур характерны вполне определенные гидрогеологические условия, обусловленные историей геологического развития [198; 211; 206; 110; 197 и др.].

Выделяют два водоносных этажа. Мезозойско-кайнозойский гидрогеологический этаж сложен комплексами рыхлых отложений мезо-кайнозойского осадочного чехла, содержащими пластово-поровые воды. Мощность рассматриваемых отложений изменяется от нуля до первых сотен метров, с юго-востока на северо-запад [205; 206 и др.].

Нижний палеозойский гидрогеологический этаж представлен осадочными, вулканогенными и метаморфическими породами фундамента, обводненными преимущественно в верхней трещиноватой зоне и перекрытыми корой выветривания.

На территории полигона «Томский» выделены следующие водоносные комплексы: неоген-четвертичных отложений; палеогеновых отложений; меловых отложений и водоносные зоны нижне-среднего карбона и верхнего девона [205; 196; 110; 71 др.].

Фильтрационные свойства выделенных водоносных комплексов значительно различаются между собой. Так, если суммарная водопроницаемость палеогенового комплекса находится в пределах $1000-4500 \text{ м}^2/\text{сут}$, то для мелового водоносного комплекса она существенно меньше и составляет $60-80 \text{ м}^2/\text{сут}$. Коэффициенты фильтрации глинистых горизонтов составляют в среднем $1,2 \times 10^{-4} \text{ м}/\text{сут}$ [205; 110 и др.].

За счет инфильтрации атмосферных осадков происходит в основном питание подземных вод, в местах выхода пород на дневную поверхность в восточной и юго-восточной частях района и в меньшей степени по всей площади распространения водоносных комплексов.

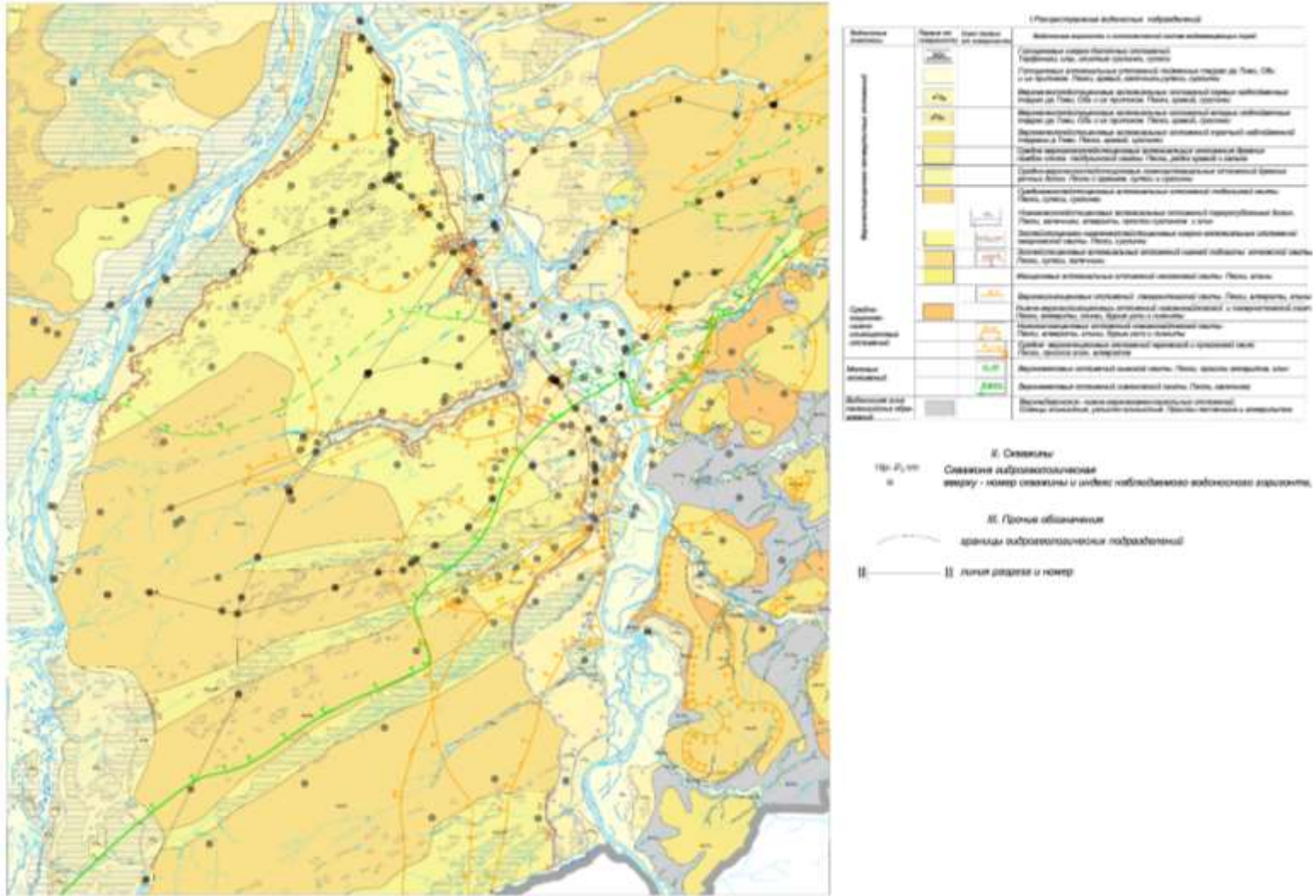


Рисунок 9 – Гидрогеологическая карта-схема (АО «Томскгеомониторинг»)

О преимущественно местном, инфильтрационном, питании свидетельствуют абсолютные отметки пьезометрических уровней, закономерно уменьшающиеся сверху-вниз по разрезу в пределах водоразделов. Напротив, в пониженных участках, приуроченных к долинам рек Оби и Томи, отмечается возрастание абсолютных отметок пьезометрических уровней водоносных горизонтов с глубиной. Это свидетельствует о том, что долины являются местным базисом дренирования подземных вод мезо-кайнозойского чехла и здесь возможны вертикальные перетоки через относительные водоупоры снизу-вверх [205; 110; 199 и др.].

Приуроченность полигона к зоне сочленения Алтае-Саянского горно-складчатого обрамления с Западно-Сибирской плитой определяет своеобразие геолого-тектонического строения и гидрогеологических условий, которые, в свою очередь, представляют геологическую среду в целом и определяют ее устойчивость к техногенным воздействиям.

2.2 Геохимические особенности компонентов природной среды полигона «Томский»

Особая природно-техногенная система гидрогеоэкологического полигона «Томский» характеризуется депрессионным, репрессионным и комплексным характером воздействия техногенеза. Депрессионное воздействие оказывает многолетняя эксплуатация Томского и Северских водозаборов вследствие отбора большого объема воды, репрессионное воздействие вызвано нагнетанием жидких радиоактивных отходов (ЖРО) Сибирского химического комбината (СХК) в подземную гидросферу. Комплексное воздействие оказывают все другие виды хозяйственной деятельности с учетом влияния двух предыдущих факторов [209; 62; 150; 151].

Значительный объем информации, накопленный исследователями и организациями (Л.П. Рихванов, Н.А. Ермашова, С.Л. Шварцев, В.А. Зуев, Е.Г. Язиков, В.К. Попов, А.И. Летувнинкас, АО «Томскгеомониторинг», ТГРЭ,

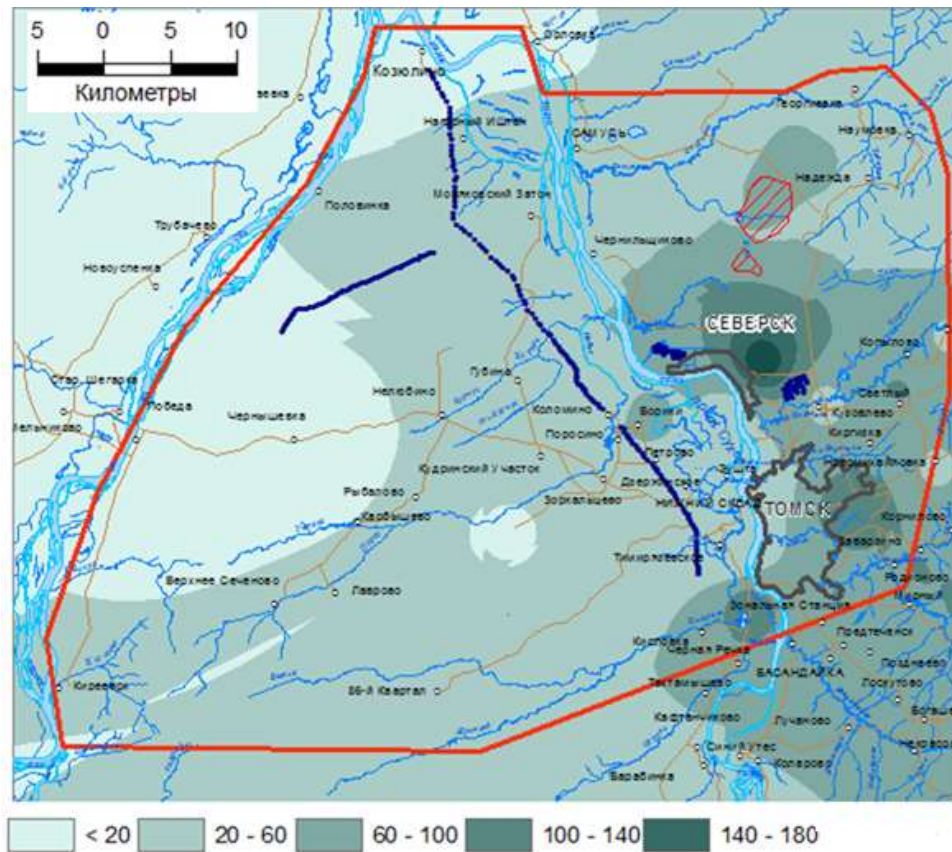
ТПУ, ТГУ и др.) в ходе многолетнего изучения рассматриваемой территории, позволяет охарактеризовать геохимические особенности компонентов природной среды.

Состояние атмосферного воздуха по данным изучения снеговых планшетов

Снеговой покров представляет собой идеальный индикатор состояния атмосферы [5; 6; 19; 28; 97; 141; 150; 155; 201; 60 и др.]. Изучение твердого осадка снега позволяет определить источник загрязнения атмосферы [141; 107].

Воздействие техногенных источников на воздушную среду территории полигона обуславливает ее высокую загазованность, запыленность, зараженность токсикантами и радионуклидами. По величине пылевой нагрузки по данным изучения снеговых планшетов [212; 204; 208; 141 и др.], характеризующей суммарный привнос твердого вещества через атмосферу, территория полигона «Томский» относится к территориям с низкой степенью загрязнения (менее $250 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$) (рисунок 10). Площади пылевых загрязнений имеют линейную форму и вытянуты вдоль автомобильных дорог, промышленных и сельскохозяйственных объектов полигона «Томский».

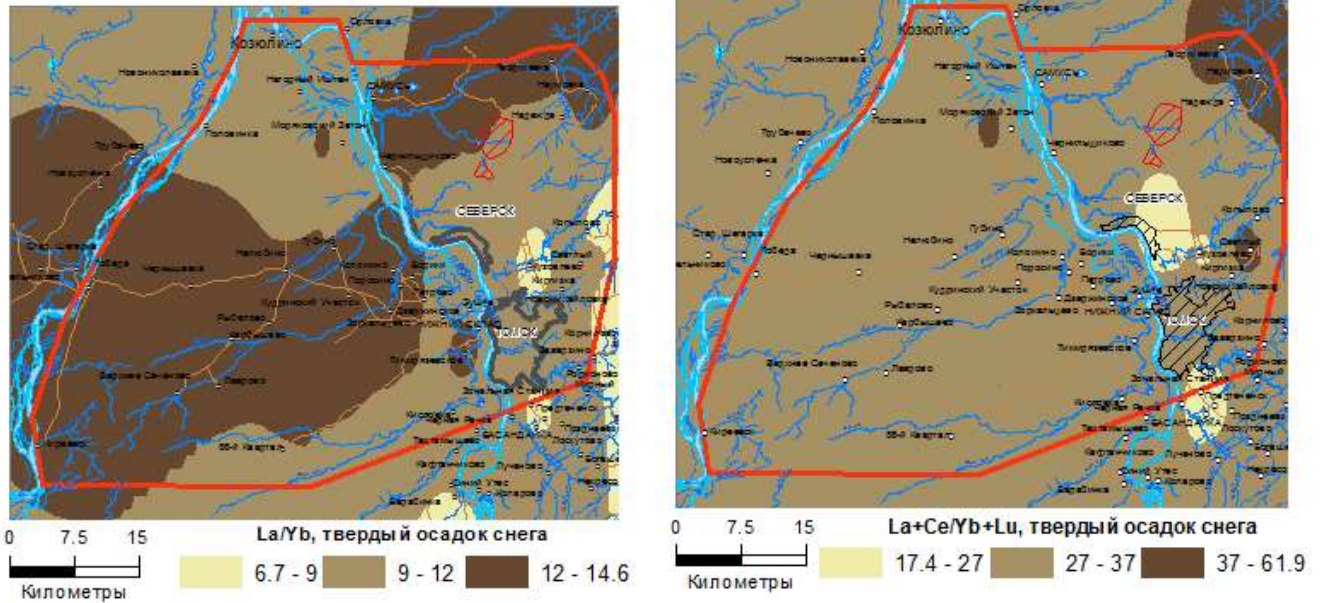
Отмечается неоднородность в уровнях накопления пылеаэрозолей в снеговом покрове, максимальная запыленность приурочена к наиболее густонаселенной части полигона «Томский» (район городов Томска, Северска, поселков Светлый, Конино, Воронино) [141; 151; 152].



(Построена автором по данным каф. ГЭГХ)

Рисунок 10 – Схематическая карта распределения количества твердых выпадений в сутки на площадь полигона «Томский», $\text{мг}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ ($P_{\text{нф}} = 20 \text{ мг}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$)

Проведенные исследования, выполненные в разные годы Л.П. Рихвановым [204; 208; 201], Е.Г. Язиковым [155; 212], А.Ю. Шатиловым [141] и другими, позволили выделить ассоциации микроэлементов, которые характеризуют основные производства на территории полигона «Томский»: Br, Sb – деятельность ООО «Томскнефтехим»; Hf, Sc, Sm, Ba, Co – выбросы промышленных предприятий г.Томска; U, Yb, Lu, La – выбросы СХК. Воздействие выбросов основных производств СХК также характеризуют величины отношений La/Yb и $(\text{La}+\text{Ce})/(\text{Yb}+\text{Lu})$, Th/U [155; 151] (рисунок 11, 12).

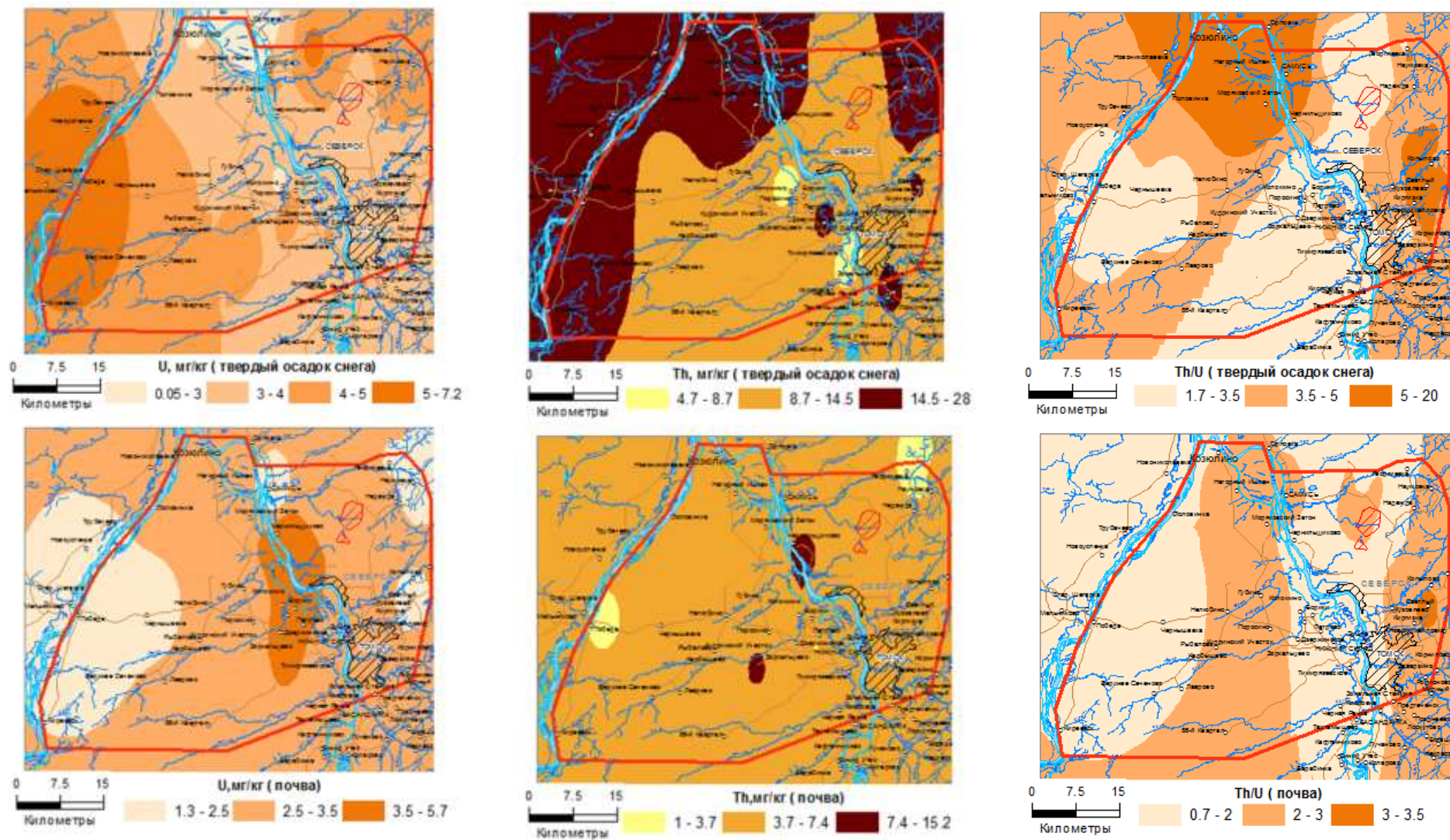


(Построены автором по данным каф. ГЭГХ)

Рисунок 11 – Схемы пространственного распределения отношений La/Yb и $(La + Ce)/(Yb + Lu)$ в пылеаэрозольных выпадениях по данным изучения снеговых планшетов на территории полигона «Томский»

По мере удаления от СХК уровень накопления большинства микроэлементов и радиоактивных элементов в пылеаэрозольных выпадениях снижается, но отчетливо прослеживается направленность к накоплению урана в северо-восточном направлении, что обусловлено высокой летучестью гексафторидов урана [117, 118] (рисунок 12). В северо-западном направлении происходит рост концентрации тория в твердом осадке снега (рисунок 12). Причиной тому может быть наследованность геохимических особенностей почвенного покрова или аэродинамические закономерности распределения потоков воздуха по долинам рек [117, 119, 150, 151].

Состав снеговых вод в пределах полигона «Томский» также показывает высокий уровень загрязненности атмосферы [53, 150, 143, 201 и др.]. Снеготалые воды пригородной зоны содержат тяжелых металлов в 5-428 раз больше, нежели в удаленной [143].



(Схемы построены автором по данным каф. ГЭГХ)

Рисунок 12 – Схематические карты распределения содержания урана, тория, отношения Th/U в почвах и твёрдом осадке снега полигона «Томский»

Геохимические особенности почвенного покрова

Изучение почв Томской области с экогеохимических позиций проводится на протяжении более чем сорока лет [84, 148, 4, 29, 30, 47, 54, 119, 148, 150, 151, 154, 196, 201, 204, 208, 212 и др.].

В целом геохимический фон области характеризуется накоплением в почве выше кларковых значений Ag, Mo, La, Sn, Pb, P, Co, Mo, Sn, P и обедненностью Mg, Na, K, Ca, Cr, Be, Al, Sr. По сравнению с Западно-Сибирским региональным фоном почвы Томской области обеднены Co, Ni, Sc, Zr и содержат повышенное количество As, Cu, Sr [148; 155].

На территории полигона «Томский» концентрации Cu, Cr, Li, Ni, Mo, V, Zn, Sn, Pb, Sr в почвах превышают фоновые значения для почв Томской области в два и более раза [151; 196; 155 и др.]. Высокое содержание хрома, молибдена, марганца и стронция в пахотных почвах полигона «Томский» связывается с техногенным воздействием. В отдельных случаях наблюдаются повышенные содержания ртути в почвах, что может быть обусловлено применением ядохимикатов, использованием шлаков и угольной пыли в хозяйственных целях, выбросами котельных, автотранспортом и др.

Ореолы повышенных концентраций тяжелых, редких, редкоземельных, радиоактивных элементов большей частью преобладают в почвах на левобережье р. Томи в ее пойменной части. Это объясняется тем, что почвы на пойме преимущественно аллювиально-луговые, с высокой степенью ожелезнения, что способствует удерживанию в гумусовом горизонте основной части химических элементов. Несмотря на значительное содержание гумуса в этих почвах, пойменная часть территории относится к категории с чрезвычайно слабым защитным потенциалом из-за небольших глубин залегания подземных вод. На правобережье светло-серые почвы представлены опесчаненными легкими суглинками и подвержены более интенсивному промывному режиму [209; 47].

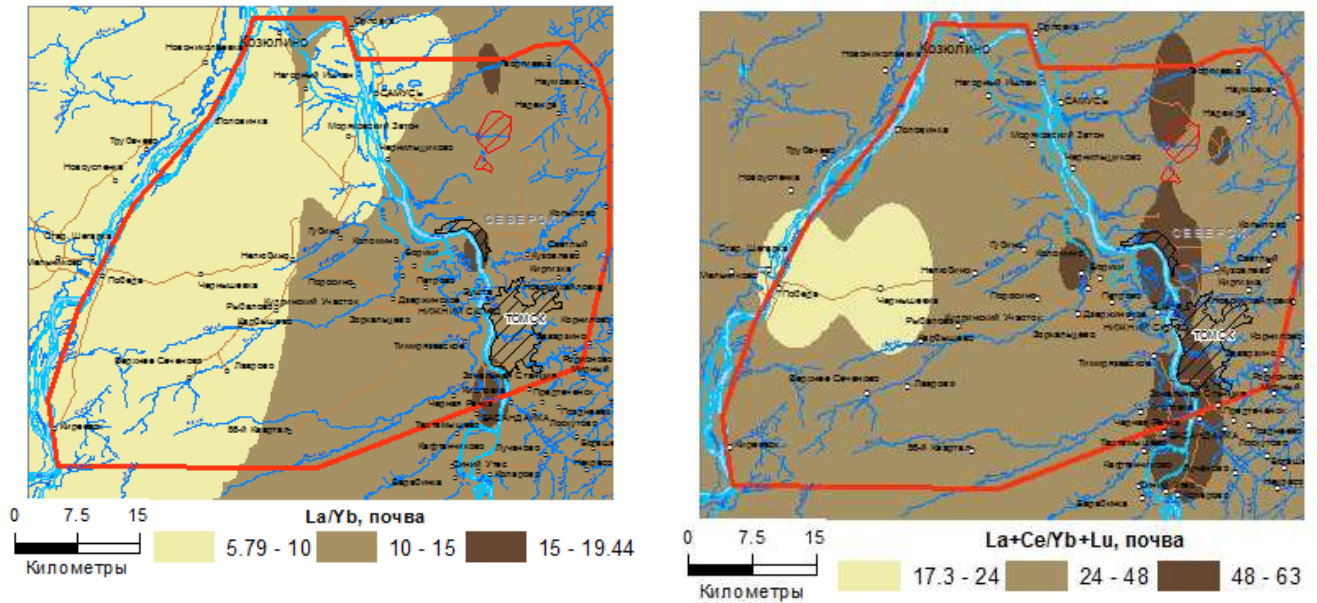
В почвах полигона «Томский» отмечается содержание выше фоновых редких металлов Rb, Cs, Hf на левом берегу р. Томи и на правобережье в районе г. Северска – Sr, Zr [4; 212; 150].

Отмечается хорошо выраженная тенденция увеличения радиоактивных элементов к основной зоне влияния СХК. Максимальные значения урана и тория в почвах фиксируются преимущественно на территориях сельскохозяйственного назначения (рисунок 12). Средняя концентрация урана в почвах полигона «Томский» составляет 2,7 мг/кг, что несколько превышает ноосферный кларк (1,9 мг/кг) [32]. Среднее содержание тория менее 7 мг/кг [151; 117].

В геохимических исследованиях природных образований важную индикаторную роль играет отношение тория и урана (Th/U). Это связано с различными миграционными свойствами этих химических элементов в природных средах. Величина торий-уранового отношения в почвах различных регионов находится на уровне 3-5 [117]. На территории полигона «Томский» выделяются зоны с пониженным торий-урановым отношением (<3); отметим, что снижение Th/U от нормальных значений к пониженным происходит в зоне постоянного воздействия СХК (рисунок 12).

Почвы характеризуются повышенными концентрациями по лантану, церию, тербию и лютецию. По величинам отношений лантаноидов легких к тяжелым $(La+Ce)/(Yb+Lu)$ и (La/Yb) выделяются аномалии в непосредственной близости от территории СХК и г. Томска; по данным В.В. Архангельского и др. величины отношений $(La+Ce)/(Yb+Lu) < 22$ считаются аномальными [151; 4; 117] (рисунок 13).

В верхнем почвенном слое обнаружены высокие содержания техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . Максимальные содержания ^{137}Cs приходятся на почвенный горизонт вблизи площадок СХК, что подтверждается результатами аэрограмма-спектрометрических исследований [117, 151] и достигают 164-221 Бк/л при средней величине для Томской области 20,1 Бк/л. Максимальные значения ^{90}Sr достигают 19,5 и 23,3 Бк/л [117].



(Схемы построены автором по данным каф. ГЭГХ)

Рисунок 13 – Схемы пространственного распределения отношений La/Yb и $(La + Ce)/(Yb + Lu)$ в почвах полигона «Томский»

Геохимические особенности подземных вод

Геохимические особенности подземных вод гидрогеоэкологического полигона «Томский» охарактеризованы с привлечением опубликованных и фондовых материалов АО «Томскгеомониторинг» [211, 210, 206, 205, 203, 202, 197, 196, 199, 144, 130, 62], В.К. Попова и др. [110, 111 и др.], Н.А. Ермашовой [51; 52; 199], С.Л. Шварцева, В.А. Зуева и НОЦ «Вода» ТПУ [200; 143; 58] и др.

На территории полигона «Томский» преобладают подземные воды инфильтрационного типа, слабощелочные, гидрокарбонатные кальциевые, в основном пресные (минерализация до 1000 мг/л).

Геохимическая обстановка подземных вод полигона «Томский» может быть в целом оценена как восстановительная (значения Eh находятся в пределах от -110 до 85 mV), это определяет накопление в них элементов с переменной валентностью (железо, марганец и др.) и органических соединений в концентрациях, превышающих ПДК для питьевых вод. По мнению различных авторов, накоплению железа и марганца в подземных водах, способствуют как процессы физико-химического взаимодействия воды с горными породами,

содержащими железистые минералы (роговая обманка, магнетит и др.), так и геохимическая деятельность болот.

Кислотно-щелочные условия изучаемой территории характеризуются изменением значения рН от слабокислого до щелочного. Наиболее распространены слабощелочные воды, а увеличение щелочности вод наблюдается в водах зоны трещиноватости палеозойских образований. Вблизи контакта палеозойских структур САГСО и юго-восточной части краевых структур ЗСАБ и на северо-восточной части правобережья р. Томь прослеживается область около нейтральных значений рН. Наиболее четко эта область проявляется в водах неоген-четвертичного и палеогенового горизонтов (рисунок 14а).

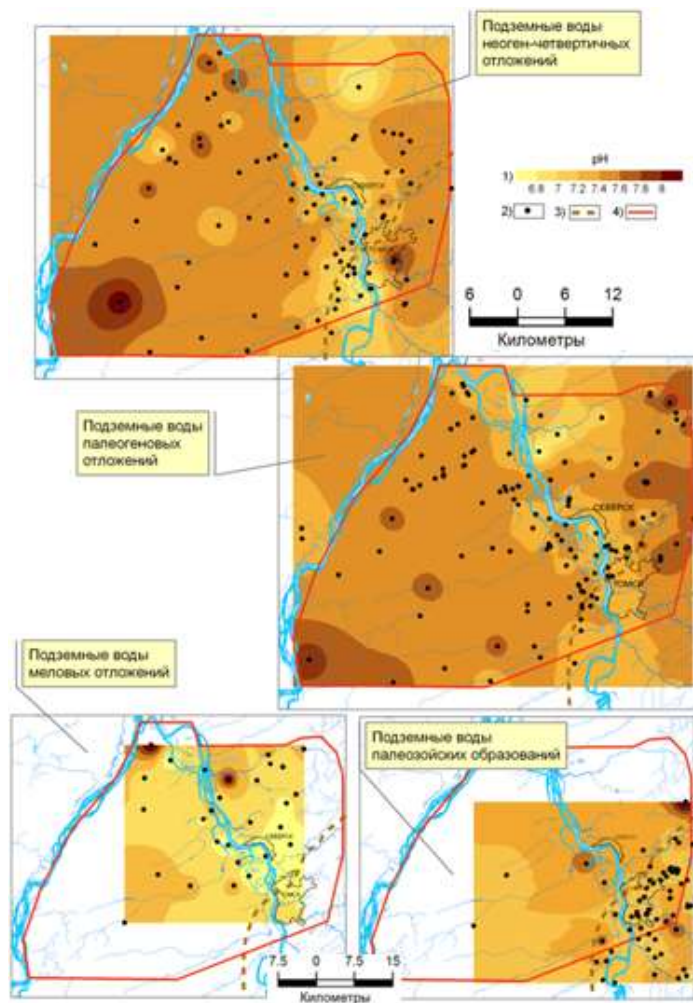
Изменение минерализации вод характеризуется закономерным увеличением в северо-западном направлении в водах палеогенового и, особенно мелового водоносного комплексов (рисунок 14б). Вместе с тем, в водах зоны региональной трещиноватости палеозойских образований в этом направлении наблюдается уменьшение минерализации вод от 600 мг/л в структурах САГСО до 450 мг/л на ЗСАБ. На контакте структур отмечается снижение минерализации вод до 300-350 мг/л, в долине р. Томи отмечается участок с повышенными значениями минерализации до 750 мг/л и более во всех водоносных комплексах.

Средний ионно-солевой состав вод водовмещающих отложений рассматриваемого района представлен в таблице 1 (по формуле Курлова).

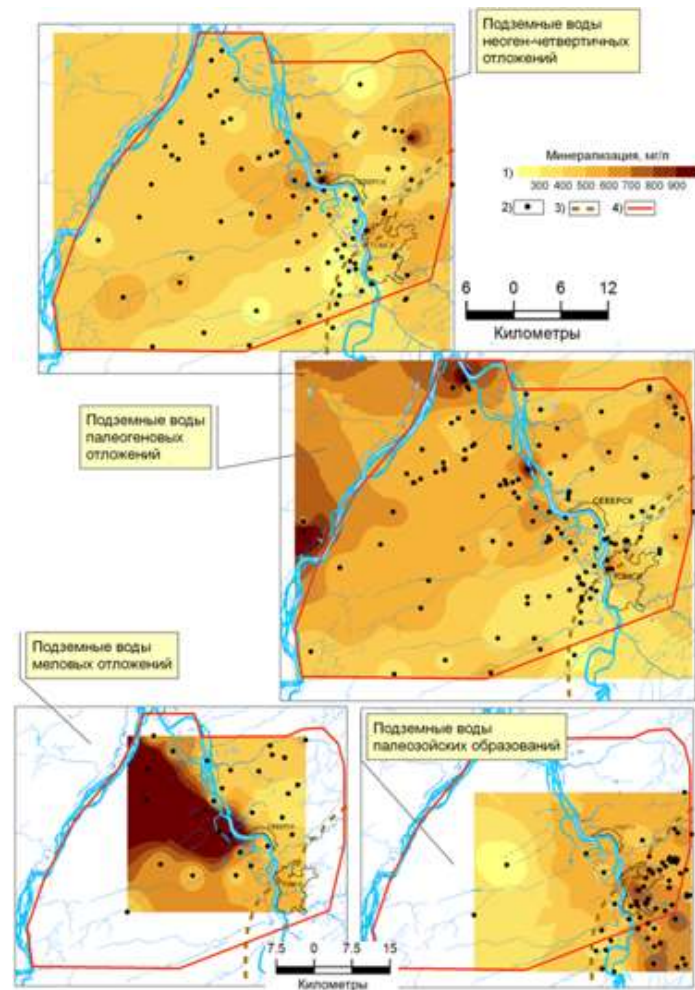
Таблица 1.

Средний ионно-солевой состав подземных вод гидрогеоэкологического полигона «Томский»

Подземные воды	Формула ионно-солевого состава
неоген-четвертичных отложений	$M0,41 \frac{HCO_3 94,6 Cl 2,9 SO_4 2,5}{Ca 54,7 Mg 18,3 Na 5,6 K 0,5} pH 7,4$
палеогеновых отложений	$M0,49 \frac{HCO_3 96,5 Cl 2,0 SO_4 1,6}{Ca 53,8 Mg 19,3 Na 6,1 K 0,5} pH 7,4$
меловых отложений	$M0,47 \frac{HCO_3 87,5 Cl 10,0 SO_4 1,9}{Ca 23,5 Na 18,9 Mg 14,8 K 1,1} pH 7,3$
палеозойских образований	$M0,59 \frac{HCO_3 94,5 SO_4 2,9 Cl 2,6}{Ca 55,7 Mg 21,0 Na 7,2 K 0,4} pH 7,6$



а



б

(Схемы построены автором по данным АО «Томскгеомониторинг»)

Рисунок 14 – Изменение величин рН и минерализации в подземных водах полигона «Томский»
 Условные обозначения: 1 – величина а) рН, б) минерализации ; 2) граница между гидрогеологическими структурами: ЗСАБ и САГСО;
 3) контуры полигона «Томский»

Состав подземных вод полигона «Томский» по содержанию химических элементов сходен по составу с водами зон выщелачивания провинции умеренно влажного климата [142] (таблица 2 [161, 162]). Однако, концентрации кальция, меди, кремния, ртути, никеля, молибдена, кобальта и, особенно железа и марганца являются более высокими.

Таблица 2.

Средний химический состав подземных вод гидрогеоэкологического полигона «Томский» *, (мг/л)

Компоненты	Среднее содержание в подземных водах					ПДК*** [130]
	Водоносные комплексы отложений и образований				зоны выщелачивания провинции умеренно влажного климата [147]	
	Неоген- четвертичных	Палеогеновых	Меловых	Палеозойских		
pH	7,4	7,4	7,3	7,6	6,82	6-9
HCO ₃ ⁻	268,1	313,9	247,5	381,6	222	
SO ₄ ²⁻	5,67	5,0	4,2	9,3	18,2	500,0
Cl ⁻	4,8	3,0	17,5	6,1	15,9	350,0
NO ₂ ⁻	0,06	0,046	0,043	0,049	0,10	3,0
NO ₃ ⁻	0,79	0,7	0,4	0,7	2,13	45,0
NH ₄ ⁺	0,82	0,8	0,8	0,6	0,52	–
Ca ²⁺	61,7	72,3	42,7	90,1	38,3	–
Mg ²⁺	12,5	15,7	16,3	20,5	16,5	–
Na ⁺	7,3	9,5	39,5	13,4	23,8	200,0
K ⁺	1,2	1,4	3,9	1,3	2,74	–
Si	7,7	9,2	10,8	9,7	6,2	10
Σ солей	414,4	485,1	469,1	593,8	354	1000
ОП**, мгО ₂ /л	2,7	2,4	1,9	1,9	–	5,0
F ⁻	0,22	0,20	0,22	0,21	0,26	1,5
Al	0,2	0,1	0,1	0,1	0,16	0,5
Fe _{общ}	6,5	4,0	4,8	2,3	0,69	0,3
Mn	0,34	0,2	0,1	0,2	0,06	0,1
Co	0,0019	0,0010	0,0005	0,0019	0,00034	0,1
Ni	0,011	0,0083	0,0116	0,0072	0,0034	0,1
Sr	0,34	0,4	0,5	0,5	0,185	7,0
Mo	0,0115	0,0044	0,0191	0,0020	0,00089	0,25
Zn	0,042	0,0192	0,0115	0,0111	0,0428	5,0
Cu	0,027	0,0117	0,0046	0,0055	0,00485	1,0
Hg	0,0004	0,0002	0,0005	0,0002	0,000044	0,0005
Кол-во анализов	3450	3707	508	738		

* – Вычислено автором по данным АО «Томскгеомониторинг»;

** – Окисляемость перманганатная;

*** – СанПиН 2.1.4.1074-01 "Питьевая вода и водоснабжение населенных мест".

Воды неоген-четвертичного водоносного комплекса, в первую очередь, подвергаются загрязнению с поверхности на участках, освоенных в хозяйственном отношении. При этом возрастает минерализация, а основными загрязняющими веществами обычно являются хлориды (40-50 мг/л, до 197 мг/л), сульфаты (10-33 мг/л), аммоний (4,3-21 мг/л), нитраты (9-33 мг/л), органические вещества (по величине перманганатной окисляемости появляются участки с концентрациями, превышающими ПДК до 1,1-5 раз). Их концентрации фиксируются выше фоновых значений, иногда превышают ПДК. Концентрации марганца и железа в водах комплекса варьируют в широких пределах от 0,02 до 13 мг/л и от 0,8 до 29 мг/л, соответственно.

В пределах городских и прилегающих к ним территорий (гг. Томска и Северска) воды неоген-четвертичного комплекса часто имеют измененный химический состав, это очень жесткие воды, хлоридно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые, слабо щелочные и щелочные, с величиной минерализации от 0,3 до 1,0 г/л, иногда более.

Кроме макрокомпонентов и органических веществ, в водах неоген-четвертичных отложений в пределах, освоенных в хозяйственном отношении площадей, наблюдается увеличение концентраций тяжелых металлов, редких и редкоземельных элементов.

Наибольший перечень элементов в повышенных концентрациях и их количество проявляется в пробах воды, отобранных в долине р. Томи. Здесь содержания таких элементов как медь, свинец (до 1,4 ПДК), цинк и никель (до 3,8 ПДК) выше средних значений.

Периодически в водах неоген-четвертичного комплекса фиксируются ртуть и бериллий. Ртуть обнаруживается в 60 % отбираемых проб воды в концентрациях, не превышающих ПДК (до 0,5 ПДК). Источник ртути в подземных водах пока является не выясненным, ее появление может быть связано с поверхностным загрязнением, либо за счет разгрузки глубинных вод по существующим на данной территории тектоническим разломам [110, 62, 205].

Максимальные концентрации редких, редкоземельных и радиоактивных элементов тяготеют к долине р. Томи, многие из них превышают геохимические кларки речной воды. Соотношения содержаний этих элементов в неоген-четвертичных водах относительно кларка речной воды составляют: до 10 (Co, Ni, Zn, Ga, As, Br, Rb, Y, Ag, Cd, I, Mo, Cs, Ba, Hg, W, Pb, U, Th); от 10-100 (Ti, Cr, Mn, Sr, Sn, La, Ce, Pr, Nd); более 100 (Sc, Nb).

Загрязнение может поступать как с поверхности за счет выбросов от производственных объектов гг. Томска и Северска, СХК, автотранспорта, так и за счет возможного привноса загрязняющих веществ с речными водами, особенно в паводковый период.

Подземные воды палеогенового водоносного комплекса используются для водоснабжения гг. Томска и Северска, а также множества мелких населенных пунктов. Воды данного комплекса отличаются высоким содержанием железа (5-20 ПДК), реже марганца (2-5 ПДК), кремния (1-3 ПДК). На правобережье р. Томи насыщенность вод палеогеновых отложений марганцем, как и железом, выше. Его концентрации здесь составляют 0,25-0,55 мг/л.

Повсеместно в водах палеогеновых отложений присутствуют ионы аммония, обязанные своим происхождением органическому веществу, обильно присутствующему в водовмещающей толще. Их концентрации составляют 0,2–2,2 мг/л, максимальные значения чаще фиксируются в северной и северо-западной части полигона «Томский».

Воды палеогеновых отложений содержат широкий спектр микроэлементов (медь, цинк, свинец, никель, кадмий, молибден, ртуть, бериллий и др.) в незначительных концентрациях, обычно не превышающих ПДК. Периодическое обнаружение ртути в подземных водах палеогеновых отложений, особенно вблизи долины р. Томи, наиболее вероятно связано с ее поступлением с глубины по имеющимся на данной территории тектоническим разломам [205].

В пределах изучаемой территории на фоне преобладающего состава вод палеогеновых отложений выделяют две локальные хлоридно-натриевые аномалии: на севере в районе д. Козюлино, на востоке в районе д. Тигильдеево с

величиной минерализации до 1,2 г/л, с содержанием хлоридов до 438 мг/л, натрия до 160 мг/л [110, 196 и др.].

Факторами, способствовавшими проникновению солоноватых вод, вероятно, является ускорившийся водообмен вследствие эксплуатации Томского водозабора, происходящие изменения направления гидродинамического потока, что и приводит к подтягиванию контура солоноватых вод в плане и в разрезе. Подтверждением этому является изменение содержания хлоридов и натрия в палеогеновых водах в районе д. Козюлино в зависимости от режима эксплуатации скважин Томского водозабора.

Прямое техногенное воздействие на подземные воды данного комплекса на полигоне «Томском» проявляется в районе д. Попадейкино, где источником загрязнения является рядом находящаяся скважина, изливающая солоноватые воды меловых отложений, на правом берегу – в пределах водозабора №1 г. Северска, где сказалось влияние солевого бассейна ТЭЦ.

Результаты анализов редких, редкоземельных и радиоактивных элементов в водах методом ИСП-МС показали, что содержания их превышают геохимические кларки речной воды: до 10 раз (Ti, Ni, Co, Zn, Br, Rb, Y, Mo, Ag, Cd, I, La, Ce, Pr, Nd, W, Pb, U); от 10-100 раз (Cr, Mn, Sr, Sn, Ba, Hg).

Подземные воды мелового комплекса рассматриваемой территории отличаются разнообразием химического состава. Различия состава вод меловых отложений определяется сложностью геологических условий осадконакопления на стыке с Колывань-Томской складчатой зоной (выклинивание осадочных отложений, осложненных тектоническими нарушениями, близость областей питания подземных вод и др.) и характером водообмена. Величина минерализации меловых отложений находится в пределах от 160 до 810 мг/л, на отдельных участках минерализация достигает 1450-4087 мг/л.

Содержание хлоридов и натрия растет в водах меловых отложений по мере увеличения минерализации, концентрации которых на участках распространения солоноватых вод достигают 320-2491 и 203-1187 мг/л соответственно.

В водах меловых отложений отмечается малое количество нитратов (1-2 мг/л) и сульфатов (0-14,6 мг/л). Содержание аммония изменяются от 0,1 до 2,1 мг/л, на участках распространения солоноватых вод их концентрация достигают иногда 2,5-3 мг/л. В водах меловых отложений наблюдаются повышенные концентрации железа (3-20 ПДК), марганца (2-17 ПДК), кремния (до 2 ПДК) и брома (3-10 ПДК). По величине перманганатной окисляемости воды характеризуются средней насыщенностью органическими веществами - 3 мг/л. В 60 % отобранных проб вод меловых отложений отмечается превышение ПДК по содержанию бромидов и кремния в 1,5-20 и 1,1-1,3 раза соответственно. В отдельных пробах воды отмечаются повышенные концентрации алюминия до 0,96 мг/л, бария до 0,65 мг/л. Обнаружение ртути в повышенных значениях также тяготеет к юго-восточной части изучаемой территории.

Воды зоны трещиноватости палеозойских образований распространены на всей изучаемой территории и имеют гидрогеохимическую зональность. По химическому составу они относятся к гидрокарбонатному типу с очень разнообразным сочетанием катионного состава – чаще трехкомпонентные (магниево-натриево-кальциевые, натриево-магниево-кальциевые, кальциево-магниево-натриевые, кальциево-натриево-магниево), реже двухкомпонентные – магниево- либо натриево-кальциевые. Содержание хлоридов составляет 1,5-15 мг/л, на правом берегу р. Томи – до 25-40 мг/л. На участках с повышенной минерализацией хлориды занимают большую часть анионного состава, их концентрации здесь достигают 163-356 мг/л, а состав вод характеризуется как гидрокарбонатно-хлоридный и хлоридный натриевый. На центральной водораздельной части в районе д. Рыбалово (скв. 189 р) на глубине 440-447 м обнаружены ультрапресные (минерализация 119-130 мг/л) воды палеозойских образований. Они очень мягкие (1,5 мг-экв/л) слабощелочные гидрокарбонатного, преимущественно, натриевого состава.

Воды палеозойских образований насыщены железом общим, что характерно для вод изучаемой гидрогеологической провинции, концентрации которого практически во всех пробах превышают ПДК в 1,5-10, иногда 20-30 раз. В

большинстве проб воды наблюдается высокое содержание кремния (1-1,5 ПДК), реже отмечаются превышения ПДК по марганцу до 1,1-3 раз. По различным источникам в пробах воды, отобранных в эксплуатационных скважинах на территории города, минерализация может достигать 860 мг/л, содержание хлоридов – 177 мг/л, количество азотсодержащих веществ и органики возрастает по отношению к фону (по перманганатной окисляемости до 8 мгО₂/л). В некоторых случаях фиксируется рост сульфатов, что может быть связано как с конкретными техногенными источниками (выбросы котельных, ТЭЦ и т.д.), так и с окислением в результате возникающей аэрации, имеющейся пиритовой минерализации водовмещающих пород.

Изменение природного качества вод связано с их эксплуатацией, особенно на территориях со значительной техногенной нагрузкой. Наиболее отчетливо это проявляется в границах городской застройки. В большей степени загрязнению подвержен первый от поверхности неоген-четвертичный водоносный горизонт. В подземных водах палеогеновых, меловых отложений и трещиноватых палеозойских образований изменения химического состава отмечается намного реже. Трансформация химического состава проявляется в увеличении концентраций хлоридов, аммония, нитратов, величин минерализации, перманганатной окисляемости, жесткости вод, появлении в водах таких вредных веществ как литий, бром, мышьяк, ртуть, никель, бериллий, нередко превышающих нормы ПДК, установленные действующими СанПиН и ГН. Пространственная неоднородность фильтрационных свойств водовмещающих пород приводит к формированию глубоких, ограниченных по площади депрессионных воронок. Снижение напоров способствует формированию нисходящих фильтрационных потоков, несущих загрязнения с поверхности.

Таким образом, природная среда полигона «Томский» несет на себе четкие признаки техногенной нагрузки, обусловленной концентрацией на ограниченной площади различных производств, населенных пунктов [150, 151 и др.]. Наиболее потенциально опасным источником воздействия на все компоненты природной среды (атмосфера, биосфера, почвы, природные воды) является деятельность

предприятия ядерного топливного цикла с полигонами подземного захоронения и прудами-накопителями жидких радиоактивных отходов.

Загрязнение территории полигона «Томский» имеет многофакторный характер и зависит от специфики влияния техногенных объектов на природную среду исследуемой территории [151, 208, 155 и др.]: загрязняющие вещества от предприятий переносятся в окружающую среду в основном аэрозольным путем; основным источником азотно-органического и микробиологического загрязнения левобережья являются сельскохозяйственные предприятия; загрязнение компонентов окружающей среды техногенными радионуклидами вследствие эксплуатации предприятия ядерного топливного цикла (СХК) с полигонами подземного захоронения и прудами-накопителями ЖРО; воздействие нефтехимического комплекса контролируется наличием в природной среде специфических органических соединений (бензол, метанол, гептан и др.), а также Sb и Br; предприятия топливно-энергетического комплекса (Томская ГРЭС-2 и около 90 котельных) являются наиболее крупным источником загрязнения природной среды гидрогеоэкологического полигона «Томский». При сжигании углей элементы-примеси (Pb, As, Cd, Hg, Se, Be, Co, Cr, Mn, Ni, Sb, а также редкие и редкоземельные элементы) могут вызывать опасные экологические изменения природной среды [154].

Напряженная экологическая обстановка, сложившаяся на территории полигона «Томский», требует проведение дальнейшего комплексного эколого-геохимического мониторинга природной среды с учетом результатов предшествующих работ. Более эффективное и рациональное использование значительного объема разнородных данных о состоянии природной среды полигона «Томский» возможно при объединении их в единой системе, на основе технологий геоинформационных систем.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКИ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Эколого-геохимические исследования загрязнения природной среды в России получили широкое развитие в 70-х годах двадцатого века (А.А. Беус, М.А. Глазовская, Ю.Е. Саег, В.А. Алексеенко, В.В. Ковальский, А.И. Перельман, Н.С. Касимов, В.В. Иванов и др.). Эти изыскания в основном использовали достижения поисковой геохимии (А.П. Соловов, А.И. Перельман, Е.А. Сергеев, М.А. Глазовская, Н.Ф. Глазовский, В.В. Поликарпочкин, Л.Н. Овчинников, Л.В. Таусон, Н.И. Сафронов, А.А. Сауков, И.И. Гинзбург, В.И. Красников, С.В. Григорян, В.А. Алексеенко, Э.К. Буренков, Н.С. Касимов и др.).

Методические подходы к эколого-геохимическому анализу и принципы экологического картографирования изложены в трудах Э.К. Буренкова, Е.П. Янина, А.А. Головина, Л.Н. Гинзбурга, Н.К. Грибановой [69; 35; 36], В.Т. Трофимова, Д.Г. Зилинг [137; 138], Ю.Е. Саета и др. [28], Н.С. Касимова [70], Л.П. Рихванова [117; 118], Е.Г. Язикова [155], В.Л. Бочаров [15; 16], В.А. Алексеенко [2], В.А. Королева [72], С.Р. Крайнов [81], О.Н. Грязнова [41; 42; 43], Б.И. Кучурова [78; 79; 80], В.Н. Островского [104 и др.], В.И. Стурмана [133] и др.

Комплексная эколого-геохимическая оценка территорий с многофакторным характером техногенного воздействия базируется на исследовании аккумулярующих сред, прежде всего почвенного и снегового покровов, и создании эколого-геохимических схем (таблица 3) [151]. Информационной базой для создания эколого-геохимических схем служат результаты анализов проб компонентов природной среды. Места отбора проб должны иметь четкую координатную привязку и максимально близко расположены в пространстве, отбор необходимо проводить в один временной период. При проведении анализа в пробах надо определять максимальный набор химических элементов [155; 151].

Компоненты природной среды и оцениваемые индикаторы при эколого-геохимических исследованиях территорий [151]

	Цель изучения	Оцениваемые показатели	Представляемый материал
Снег	Оценка уровня загрязнения атмосферы	Общая запыленность, содержание не менее 19 элементов по ГОСТу ¹ , содержание U, Th, TR ² , техногенных радионуклидов и других вредных веществ	Схемы общей запыленности; распределения ТМ ³ ; СПЗ ⁴ в снеговом покрове
Почва	Оценка уровня загрязнения почв	Определение МЭД ⁵ , содержание не менее 19 элементов по ГОСТу, содержание U, Th, TR, техногенных радионуклидов и других вредных веществ	Схемы распределения ТМ, радиоактивности; СПЗ в почвах
Вода	Оценка уровня загрязнения воды	Содержание не менее 19 элементов по ГОСТу, содержание U, Th, TR, техногенных радионуклидов и других вредных веществ	Схемы распределения ТМ; СПЗ воды

Примечание: 1 – ГОСТ 17.4.1.02-83; 2 – редкие земли (TR); 3 – тяжёлые металлы (ТМ); 4 – суммарный показатель загрязнения (СПЗ); 5 – мощность экспозиционной дозы (МЭД).

3.1 Методы химико-аналитических исследований

При изучении качественного состояния почв, снегового покрова и подземных вод комплекс определяемых показателей их состояния был примерно одинаковым для того, чтобы было возможно проследить распределение и перемещение веществ в изучаемых средах.

В состав изучаемых показателей входили: органолептические свойства, жесткость, сухой остаток, рН, УЭП, содержания макро- и микрокомпонентов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Si, Fe, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F, Pb, Cd, Cu, Al, Zn, Br, Ba и др.), биогенных компонентов (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ,) и органических соединений

(нефтепродукты, фенолы, ХПК, перманганатная окисляемость, БПК₅), редких и редкоземельных элементов, показателей общей альфа- и бета-радиоактивности, природных изотопов ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁸U и продуктов их распада, техногенных радионуклидов ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, радиометрические, гамма-спектрометрические и радиографические исследования твердого осадка снега и почв [155; 154; 151; 212; 209].

Сопоставление результатов химико-аналитических исследований по природным средам проводилось в основном с нормами для вод хозяйственно-питьевого назначения (СанПиН 2.1.4.1074-01, ГН 2.1.5.1315-03, ГН 2.1.5.2280-07, СанПиН 2.5.1.2523-09, НРБ-99/2009) и кларковыми значениями для редких, редкоземельных, радиоактивных элементов. Для почво-грунтов и твердого осадка снега – с ПДК для почв, ОДК и фоновыми показателями.

Аналитические исследования проводились в лабораториях, имеющих аккредитацию и работающих по аттестованным методикам [212; 155]:

1. Полуколичественный эмиссионно-спектральный анализ твердого осадка снега, почв и сухого остатка поверхностных и подземных вод (ЭСПА);
2. Количественное определение химических элементов в компонентах природной среды: атмосферные осадки (снеготалая вода), снеговые осадки (твердый осадок снега), почва, подземная вода проводилось с использованием современных методов анализа:
 - Hg - атомно-абсорбционным методом «холодного пара» (АА),
 - Pb, Cd, As, Co, Se и Te - атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией (ЭТААС),
 - F-потенциометрическим (П),
 - *Li, Be, B, Na, Al, Si, P, K, Sc, Se, Ti, V, Cr, Mn, Co, Cu, Ni, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Br, Sr, Y, Zr, Mo, Nb, Ru, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Cs, Ba, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U* (64 металла) - атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой (АЭС ИСП),

- определение подвижных форм элементов *Co, Cu, Ni, Cr* и *Zn* проводилось в буферных растворах.
 - редкие, редкоземельные и радиоактивные элементы в твердом осадке снега и почвах определялись методом многоэлементного нейтронно-активационного анализа (ИНАА), являющимся наиболее высокочувствительным методом аналитики для этих сред.
3. Калий, радий, торий и других радионуклиды определяли на одноплатном гамма – спектрометре SBS-40 с детектором GEM 25185.

3.2 Методики оценки экологического состояния снегового и почвенного покровов

Эколого-геохимические методы позволяют определять уровень загрязнения природной среды по содержанию вредных веществ в депонирующих средах. Наиболее часто в качестве таковых используются почвы и снег. Почвы отражают в большей степени постоянное многолетнее загрязнение, а состав снеговой пыли - сезонное, современное [28].

Снеговой покров являет собой одну из самых идеальных сред для изучения загрязнений, поступающих на территорию через атмосферу [86; 150; 151 и др.]. На состав снега влияют как пылевые загрязнения от автомобильных дорог, выбросы аэрозольные от дымовых труб и вентиляционных систем различной степени регламентируемости, так и испарения от различного рода объектов (отстойников, свалок, накопителей, хранилищ и др.) Компонентный анализ твердой фракции снега отражает преимущественно характер местных загрязнений. Техногенные пыли – это один из главных агентов загрязнения окружающей среды [141;155].

Отбор снеговых проб проводят в конце снегостава, на всю высоту снегового покрова, кроме пятисантиметрового слоя, находящегося в соприкосновении с почвой, из небольших шурфов [19; 97; 87; 116]. При отборе пробы фиксируется

время в сутках от начала снегостава до проботбора, а также измеряются стороны и глубина шурфа.

Пробоподготовка заключается в таянии снега, фильтрации, высушивании, просеивании, взвешивании и истирании. Изучению подвергается как твердая составляющая снегового покрова, так и жидкая фаза. Перечень показателей определяется согласно руководству по контролю загрязнения атмосферы [116], а также особенностям территории.

Почва несет в себе долговременную информацию о техногенном воздействии [2; 1;148; 3 и др.]. Максимальное накопление загрязняющих веществ техногенного происхождения происходит в поверхностном слое почвы [3; 28 и др.]. О значимости получения достоверной информации об уровнях накопления элементов в почвах свидетельствуют установленные связи между концентрациями загрязняющих веществ в почве и показателя здоровья населения [3; 28].

Литогеохимическое опробование почв и почвообразующих пород в каждой точке наблюдения производится, как правило, по трем генетическим горизонтам, включающим горизонт А, представленный растительно-дерновым слоем, горизонт В, являющийся собственно почвенным слоем и горизонт С, образующий подпочвенный слой до глубины примерно 1,5 м. Определяется максимально возможный спектр веществ в почве с использованием современных методов исследования вещества в различных аккредитованных лабораториях [5; 31]. На территориях, подверженных сильному влиянию техногенеза, пробы почв могут отбираться до глубины 10 см [154].

Геохимической мерой качества природной среды является содержание химических элементов в единице объема природного тела. Показателями абсолютной распространенности химического элемента являются кларк (К), фон (C_{ϕ}) [89]. Индикаторами уровня аномальности содержания элементов являются либо коэффициент концентрации K_C (отношение содержания элемента к его фоновому содержанию C_{ϕ} , $K_C = C / C_{\phi}$), либо кларк концентрации K_K (отношение содержания элемента к кларку литосферы, ноосферы) [89], они

показывают интенсивность геохимической антропогенной аномалии – степень накопления элемента-загрязнителя в изучаемом объекте относительно природного фона.

Чаще всего техногенные аномалии имеют полиэлементный состав. Характеристика эффекта воздействия группы элементов определяется суммарным показателем загрязнения ($Z_{\text{СПЗ}}$) [89; 28]:

$$Z_{\text{СПЗ}} = \sum K_c - (n - 1), \quad (1)$$

где n – число учитываемых аномальных элементов, K_c – коэффициент концентрации.

По величине ($Z_{\text{СПЗ}}$) снегового покрова и почв, на основании многочисленных проведенных эколого-геохимических исследований, согласно [28], принята ориентировочная шкала оценки степени загрязнения территории (таблица 4).

Таблица 4

Шкала оценки степени загрязнения территории

Степень загрязнения	Величина $Z_{\text{СПЗ}}$ почвы	Величина $Z_{\text{СПЗ}}$ снег
Низкая	менее 16	менее 64
Средняя	16-32	64-128
Высокая	32-128	128-256
Очень высокая	более 128	более 256

Одно из преимуществ снегового опробования заключается в том, что его результаты позволяют проводить надежную количественную оценку аэрозольных загрязнений, выпадающих на единицу площади в единицу времени, т.е. среднесуточную пылевую нагрузку, и оценивать степень загрязнения атмосферы по ее величине [28].

Среднесуточная пылевая нагрузка (P_n – мг/(м²хсут) (кг/(км²хсут))), определяется по формуле 2 [28; 87]:

$$P_n = \frac{P}{S \cdot t}, \quad (2)$$

где P_n – масса пыли в пробе (кг; мг); S – площадь шурфа (км²; м²); t – количество суток от начала снегостава.

Принята следующая градация степени загрязнения атмосферы по величине среднесуточной пылевой нагрузки [28]:

Степень загрязнения	Величина P_n
низкая	0–250
средняя	250–450
высокая	450–850
очень высокая	более 850

Фоновые значения для снегового покрова были взяты из работ А.Ю. Шатилова [141] и Е.Г. Язикова [155]. Фоновыми содержаниями элементов для почв явились их концентрации в почвенном покрове территорий заказника «Томский» и ключевого участка (с. Ипатово) [154].

3.3 Методика оценки экологического состояния подземных вод

В процессе мониторинга подземных вод существенную роль играют исследования, позволяющие количественно оценить степень трансформации химического состава вод под воздействием техногенеза [81]. Своевременный, оперативный и качественный контроль за химическим составом воды, используемой для хозяйственно-питьевых целей, является одним из условий улучшения состояния окружающей среды. Подземные воды, особенно первые от поверхности водоносные горизонты, во многом обуславливают экологическое состояние ландшафтов. Состав и порядок гидрогеохимических наблюдений, требования к качеству питьевых вод и методам их анализа определяется рядом нормативных документов (ГОСТ 27065-86, ГОСТ 2761-84, СанПиН 2.1.4.1074-01, ГН 2.1.5.1315-03 и др.) [37; 38; 34; 125 и др.]

В процессе мониторинга наблюдаются две составляющие изменения качества подземных вод: уровенный режим и содержание химических компонентов вод. При оценке экологической ситуации подземных вод, особенно в

пределах водоносных горизонтов, служащих источниками водоснабжения, необходимо учитывать изменения как геохимического качества, так и гидродинамического. [86; 90; 8; 83; 17 и др.].

Гидрогеохимический фактор (ГХФ). Оценка загрязнения подземных вод основывается на показателях качества подземных вод, которые превышают ПДК. Началом влияния техногенного фактора, согласно [86], следует считать величину, равную фоновому значению показателя качества воды, величина равная 1 ПДК служит границей области загрязнения. Фоновое значение показателей качества воды определяется, согласно [86], по скважинам опорной наблюдательной сети.

Влияние гидрогеохимического фактора на качество подземных вод предлагается оценивать по шкале, показанной в таблице 5.

Таблица 5.

Градации изменения качества подземных вод по гидрогеохимическому фактору *

Концентрация химических веществ	Степень загрязнения подземных вод	
не превышает фоновых значений	отсутствует	1 балл
от фоновых значений до 1 ПДК	слабовыраженное	2 балла
больше 1 ПДК	интенсивное	4 балла

* составлена по работе Е.В. Леонтьевой [83]

Таким образом, для выделения участков с различной степенью загрязнения подземных вод на исследуемой территории необходимо рассчитать коэффициенты концентрации показателей относительно фоновых значений и относительно ПДК в каждой точке опробования.

Гидродинамический фактор (ГДФ). Данный фактор, позволяет оценить степень понижения уровня подземных вод в процессе работы водозабора. При интенсивном отборе подземных вод развивается депрессионная воронка. Границы развития депрессионной воронки позволяют разделить рассматриваемую площадь на участки с разным уровнем понижения подземных вод относительно статического уровня.

Таблица 6.

Градация изменения качества подземных вод по гидродинамическому фактору *

Уровень понижения вод	Степень снижения уровня подземных вод	
0 (до границы депрессионной воронки)	Отсутствует	1 балл
$0 - 0,75 \times \text{м.в.г.}^{**}$ (от границы депрессионной воронки до границы, соответствующей 0,75 мощности водоносного горизонта.)	слабовыраженное	2 балла
$> 0,75 \times \text{м.в.г.}$ (свыше 0,75 мощности водоносного горизонта)	Интенсивное	4 балла

* составлена по работе Е.В. Леонтьевой [83]

** мощность водоносного горизонта

Оценка суммарной степени воздействия техногенных факторов (гидрогеохимического и гидродинамического) возможна с использованием бальной системы, предложенной Е.В. Леонтьевой (таблица 7).

Таблица 7.

Суммарная оценка степени влияния техногенных факторов [по 83]

Суммарная оценка степени влияния техногенных факторов			Гидрогеохимический фактор (ГХФ). Степень загрязнения подземных вод		
			отсутствует до фоновых значений (1 балл)	слабовыраженное от фоновых значений до ПДК (2 балла)	интенсивное свыше ПДК (4 балла)
Гидродинамический фактор (ГДФ) Степень снижения уровня подземных вод	отсутствует	до воронки депрессии (1 балл)	2	3	5
	слабовыраженное	от воронки до 0,75m (2 балла)	3	4	6
	интенсивное	свыше 0,75m (4 балла)	5	6	8

Принята следующая классификация ситуации по степени влияния техногенных факторов на источник водоснабжения на основе суммарной бальной оценки (таблица 8 по [83]):

Классификация экологической ситуации по состоянию подземных вод

Экологическая ситуация	Величина влияния техногенных факторов
благоприятная	2
удовлетворительная	3
неблагоприятная	4
напряженная	5-6
сложная	8

3.4 Картографирование эколого-геохимической оценки природной среды

Интеграция эколого-геохимических исследований природной среды конкретной территории основана на картографировании. Картографирование является едва ли не единственным способом, позволяющим объединить разнородную экологическую информацию, принадлежащую определенной территории, фиксировать на карте природные и техногенные закономерности, получать выводы и оценки, характеризующие изучаемую территорию [55; 133; 139 и др.].

На эколого-геохимических картах обычно отображается либо распределение химических элементов и соединений в различных средах, либо оценка эколого-геохимической ситуации по разным критериям. Существует два способа отображения распределения элемента – в абсолютных величинах и в относительных показателях. Карты, отображающие распределение элемента в абсолютных единицах, имеют инвентаризационный характер, в относительных – оценочный. Таким образом, в качестве классификационного признака можно рассматривать компонент природной среды, в котором изучается распределение элемента. Исходя из содержания карт, целесообразно их разделить на три группы:

моноэлементные, полиэлементные, карты оценки эколого-геохимической ситуации [137; 28; 55; 70 и др.].

Для отображения распределения элементов в относительных показателях, как правило, используются геохимические индексы, выражающие отношение концентрации элемента в данной точке опробования к его кларку (кларк концентрации, K_k); местному геохимическому фону (коэффициент концентрации, K_c); ПДК (ОДК) или другому нормативу (коэффициент опасности, K_o или $K_{пдк}$) [89].

Полиэлементные карты показывают распределение группы (ассоциации) элементов. Наиболее распространенный способ картографического отображения ассоциации в почвах селитебных территорий и снеговом покрове – карты суммарного показателя загрязнения (СПЗ) [28].

Карты СПЗ в почвах селитебных территорий являются одновременно оценочными, поскольку существует тесная связь между его величиной и состоянием здоровья населения, которая отражена во многих нормативно-методических документах [87; 80; 28 и др.].

Наконец, еще одной разновидностью полиэлементных карт можно считать карты, на которых отображено расположение зон, повышенных относительно фона (ПДК) концентраций комплекса элементов.

Карты оценки эколого-геохимической ситуации представлены, прежде всего, картами районирования территории по уровню загрязнения одной или нескольких природных сред. Оценка уровня загрязнения почв вне селитебных зон, а также донных отложений, поверхностных вод и атмосферных выпадений проводится на основе двух показателей: величины $Z_{спз}$ и степени превышения гигиенического норматива содержания отдельного химического элемента — ПДК, ОДК, временной допустимой концентрации (ВДК), ориентировочного безопасного уровня воздействия (ОБУВ). Учитывается также класс опасности элемента [35; 36 и др.].

Карты уровней загрязнения строятся на основе значений СПЗ, пылевой нагрузке. При картографировании загрязнения нескольких компонентов

природной среды экологическая обстановка определяется по наиболее негативной оценке загрязнения. Минимальный уровень загрязнения всех природных сред отвечает удовлетворительной экологической обстановке; слабый уровень хотя бы по одному компоненту природной среды – напряженной обстановке; средний – критической; сильный – кризисной; максимальный – катастрофической экологической обстановке [35; 36 и др.].

При проведении нескольких циклов эколого-геохимического картографирования определенной территории можно выявить динамику загрязнения компонентов природной среды и на ее основе дать прогноз развития экологической ситуации [55; 102; 139; 137 и др.].

Таким образом, современная нормативная база оценки экологического состояния почвенного и снегового покровов основывается на геохимических коэффициентах и показателях, применяемых при изучении ландшафтов и поисках полезных ископаемых (А.И. Перельман, В.А. Алексеенко, Н.С. Касимов, М.А. Глазовская, А.П. Соловов, Н.И. Сафронов и др.). Уровень загрязнения устанавливается на основании результатов геохимического опробования компонентов природной среды и последующего расчета различных коэффициентов и показателей. Основной геохимической мерой качества окружающей среды является содержание химических элементов, либо их массовая доля, либо объемная масса в единице объема природного тела. Показателями абсолютной распространенности химического элемента являются кларк (К), местный кларк (C_{cp}) и фон ($C_{ф}$) [89]. В качестве фоновых принимаются уровни накопления элементов на территориях, удаленных от урбанизированных зон.

При экологической оценке состояния подземных вод необходимо учитывать два типа техногенного воздействия: гидрохимическое и гидродинамическое, особенно в районах действия водозаборов подземных вод.

Оценить характер и интенсивность техногенного загрязнения исследуемых депонирующих сред, локализовать зоны риска можно лишь на основе эколого-геохимического картирования территорий. Интеграция труднопоставимых

данных, отражающих состояние компонентов природной среды и детекция временной и пространственной их изменчивости требуют перехода на качественно новую ступень обработки и хранения информации, что, прежде всего, связано с использованием технологий геоинформационных систем.

ГЛАВА 4. ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН «ТОМСКИЙ»

Эколого-геохимическая оценка основывается на анализе геохимических показателей компонентов природной среды [2; 3; 7; 28 и др.], а ключевым элементом исследования становится использование современных способов обработки и отображение изменяющихся в пространстве характеристик в виде карт, схем для получения наглядного представления о состоянии природной среды и принятия адекватных решений на их основе [12; 55; 65; 70; 74; 76; 78; 102; 121; 133; 138; 139; 147; 151 и др.].

Комплексную эколого-геохимическую оценку природной среды территории с использованием геоинформационных технологий обеспечивает реализация взаимозависимых этапов, для каждого из которых имеются определенные методические подходы и принципы.

4.1 Алгоритм эколого-геохимической оценки природной среды на основе геоинформационных технологий

Алгоритм процесса эколого-геохимической оценки составлен на основе анализа и изучения многочисленных публикаций [12; 55; 65; 70; 74; 76; 78; 102; 121; 133; 138; 139; 147; 151; 156; 157; 158; 180; 183; 185; 187; 13; 26; 46; 57; 64; 69; 73 и др.] и включает несколько этапов.

Подготовительный этап состоит из выбора моделей графического представления данных, определения территории исследования; масштаба представления данных, выбора оценочных показателей, что определяется решаемой задачей.

Этап сбора данных предполагает выбор методов сбора данных; их сбор и первичную обработку. Первичная обработка данных позволяет проследить зависимость между характеристиками состояния природной среды.

Этап обработки и анализа данных включает составление базы геоданных, преобразование и анализ полученных результатов.

Следующий этап – пространственный анализ и отображение – состоит из интерпретации данных; выбора методики их геоинформационной обработки; разработки визуального способа представления атрибутивных данных; создания карты на основе послойного деления данных; создания геоинформационного проекта, состоящего из послойно представленных данных. Осуществляется выбор методик и интерпретации результатов обработки данных (либо количественная оценка – сравнение с определенной нормой, либо качественная оценка).

Методы геоинформационной обработки исходных данных занимают ключевое место при проведении эколого-геохимической оценки природной среды. Процесс геообработки данных в общем случае включает в себя все манипуляции с векторными, растровыми и описательными данными. Основными целями геообработки являются управление географическими данными и их пространственный анализ [46; 168; 170 и др.]. Геообработка включает в себя множество инструментов и базируется на общей среде преобразования данных. Стандартные инструменты геообработки осуществляют операции с наборами данных и в результате также создают набор данных. Поэтому важно правильно структурировать исходные данные, формализовать, выбрать тип представления – пространственный или непространственный. Пространственное представление данных – способ цифрового описания пространственных данных – использует две модели растровую или векторную. Вектор представляет объекты как точки, линии или полигоны, а растр представляет данные в виде матрицы равновеликих ячеек.

Основной вопрос, который необходимо решить – это способ визуального представления атрибутивных данных, средствами геоинформационных технологий. Изучаемые явления, характеристики повсеместны (непрерывны) в пространстве, поэтому растровая модель наиболее предпочтительный способ представления пространственно-распределенной информации при эколого-геохимической оценке природной среды. Растровая модель получается путем построения поверхностей на основе точечных данных с использованием того или иного метода интерполяции (выбор метода зависит от количества и качества

входных данных, решаемой задачи). Существуют две основные модели представления поверхностей: Tin и Grid [46; 94].

Всю многообразную информацию об изучаемом объекте (какой-либо территории, явлении) представляют в виде тематических слоев, объединенных на основе их местоположения и создают различные карты.

На основе картографического представления разрабатываются оценочные карты экологического состояния, схемы районирования, являющиеся важной частью любого эколого-геохимического исследования. Оценочные карты, схемы районирования являются информационной основой для выработки управленческих решений, поскольку влияние хозяйственной деятельности на компоненты природной среды имеет пространственную локализацию [11; 133].

И заключительный этап – это создание геоинформационной системы – объединение в единой информационной среде подсистем хранения, обработки и представления данных для решения конкретной задачи на основе специализированного программного обеспечения (рисунок 15). Информационная среда – это вся совокупность условий для технологического трансформирования и действенного применения знаний как информационного ресурса [93; 92; 158].



Рисунок 15 – Структура геоинформационной системы

4.2 Характеристика геоинформационной системы «Гидрогеоэкологический полигон Томский»

Функциональное назначение геоинформационной системы «Гидрогеоэкологический полигон Томский» (ГИС «ГГЭП Томский») заключается в систематизации данных из различных источников, в получении моделей пространственной локализации химических элементов на ее основе и в представлении результатов эколого-геохимической оценки в наглядном виде.

ГИС «ГГЭП Томский» была создана в специализированной программе ArcGIS, предназначенной для создания, управления, интеграции и анализа географических данных. Программное обеспечение ArcGIS состоит из трех приложений ArcMap (создание, редактирование и визуализация данных), ArcCatalog (управление пространственными данными) и ArcToolbox (инструментами геообработки данных), а также дополнительных модулей, расширяющих функционал программы.

Все данные, представляющие собой обобщенную геоинформационную модель гидрогеоэкологического полигона «Томский», организованы и систематизированы в единой базе геоданных.

База геоданных – это формат хранения географических данных, в котором собрана коллекция наборов географических данных различного типа, используемая в ArcGIS и организованная либо как папка с файлами, либо как реляционная база данных. Наборы данных – это классы пространственных объектов, хранящие дискретные объекты в виде точек, линий, полигонов или аннотаций; хранящиеся в таблицах описательные атрибуты; наборы растровых данных и каталоги растров с изображениями.

Класс пространственных объектов – набор географических объектов с одинаковой геометрией (точки, линии или полигоны), одинаковым набором атрибутов и единым пространственным экстендом.

Геоинформационная система состоит из отдельных подсистем, взаимосвязанных между собой.

Подсистема ввода и хранения информации, представлена базой геоданных **GGEPTomsky.gdb** (рисунок 16).

Имя	Тип
GEOL	Набор классов файловой базы ...
Hydrogeology	Набор классов файловой базы ...
Snow	Набор классов файловой базы ...
Soil	Набор классов файловой базы ...
TOPO	Набор классов файловой базы ...
GGEPTomsky	Набор инструментов
Snow_chim	Таблица файловой базы геодан...
Soil_chim	Таблица файловой базы геодан...
Water_chim	Таблица файловой базы геодан...

Рисунок 16 – Вид базы геоданных ГИС ГГЭП «Томский»

Так как источники данных хранились в разных форматах, пространственные данные находились в разных системах координат, была разработана технология их систематизации и конвертации в базу геоданных.

Базовые пространственные данные составлены на основе результатов работ по созданию Государственных геологических карт масштаба 1:200000 (Листы О-45-XXXI, О-45-XXXII, О-45-XXV, О-45-XXVI) и включают наборы классов объектов топографической, геологической и гидрогеологической основ. Состав классов пространственных объектов, структура атрибутивных таблиц соответствуют требованиям, предъявляемым к представлению в НРС ГБЦГИ цифровых моделей листов Государственной геологической карты Российской Федерации [50; 91].

Данные по почвам (120 точек опробования) и твердому осадку снега (90 точек опробования), которые хранились в таблицах разного вида, в том числе и бумажном (рисунок 17), переведены в базу геоданных геоинформационной системы «ГГЭП Томский». На основе информации о местоположении точек опробования созданы классы пространственных объектов; в атрибутивной таблице каждого класса пространственных объектов содержится поле с уникальным номером точки опробования и поле с информацией о среде опробования (почва, снег), что позволяет связывать результаты химических анализов с пространственным положением и проводить пространственный анализ

эколого-геохимических данных. Таблицы с результатами химических анализов конвертированы в автономные таблицы базы геоданных, обязательными полями которых являются номер точки опробования и среда опробования.

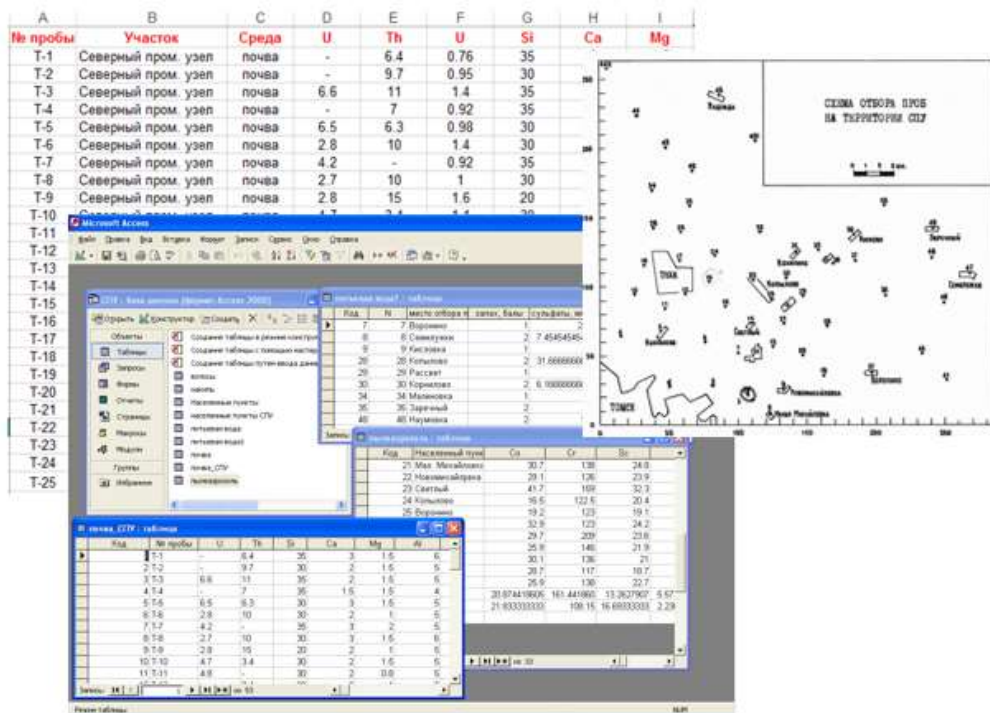


Рисунок 17 – Вид исходных данных

Формирование атрибутивной базы данных с характеристиками подземных вод гидрогеоэкологического полигона «Томский» происходило на основе информационной аналитической системы (ИАС) (АО «Томскгеомониторинг»). ИАС – это система для ведения мониторинга подземных вод [92; 93] предназначена для хранения и обработки информации, получаемой в процессе наблюдений за состоянием подземных вод Томской области. Путем запроса было выбрано 1100 скважин, расположенных в пределах полигона «Томский» и сформированы таблицы включающие характеристики химического состава вод, координаты скважин, глубины, даты бурения, даты ввода в эксплуатацию, вскрытый водоносный горизонт и др. Таблица с результатами химического анализа содержала более 15000 записей (период наблюдения 1962 - 2010 гг.).

Данные результатов химического анализа подземных вод были подвергнуты арифметической, логической и визуальной проверкам на предмет выявления противоречий, принципиальных и механических ошибок (рисунок). Верификация

исходных данных проводилась в программе Statistica. Ниже приведены характерные ошибки, которые встречаются в исходном массиве данных (рисунок 18).

3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Название_ПН	Глубина	Отметка_устья	Гор_уз	Горизонт	Day	month	God	Дата_опробования	Дата_анализа	H4SiO4	Si	SiO2	сухой_остаток
4478	211р	73.6	74.54	2	P3nm	21	9	1983	21.09.1983	01.11.1983			392
4714	211р	73.6	74.54	2	P3nm	26	6	1984	26.06.1984	03.07.1984		8.00	52
4960	211р	73.6	74.54	2	P3nm	11	7	1985	11.07.1985	17.10.1985	20.00		48
5396	211р	73.6	74.54	2	P3nm	27	11	1986	27.11.1986	29.12.1986	40.00		180
5597	211р	73.6	74.54	2	P3nm	11	6	1987	11.06.1987	04.08.1987	36.00		374
5637	211р	73.6	74.54	2	P3nm	28	7	1987	28.07.1987	09.11.1987	48.00		414
5722	211р	73.6	74.54	2	P3nm	29	12	1987	29.12.1987	08.01.1988	24.00		376
5860	211р	73.6	74.54	2	P3nm	10	6	1988	10.06.1988	29.07.1988	40.00		398
5925	211р	73.6	74.54	2	P3nm	22	8	1988	22.08.1988	22.08.1988		44.00	400
6156	211р	73.6	74.54	2	P3nm	23	3	1989	23.03.1989	24.05.1989	36.00		414
6374	211р	73.6	74.54	2	P3nm	5	6	1990	05.06.1990	06.07.1990	18.60		416
6434	211р	73.6	74.54	2	P3nm	17	9	1990	17.09.1990	23.10.1990	35.00		432
6603	211р	73.6	74.54	2	P3nm	5	4	1991	05.04.1991	24.05.1991	26.20		464
6704	211р	73.6	74.54	2	P3nm	16	9	1991	16.09.1991	09.12.1991	23.70		460
6821	211р	73.6	74.54	2	P3nm	10	2	1992	10.02.1992	23.03.1992		59.10	396
6949	211р	73.6	74.54	2	P3nm	26	7	1992	26.07.1992	21.09.1992			220
7008	211р	73.6	74.54	2	P3nm	15	10	1992	15.10.1992	02.11.1992			316
7222	211р	73.6	74.54	2	P3nm	9	4	1993	09.04.1993	05.05.1993			184
7272	211р	73.6	74.54	2	P3nm	21	5	1993	21.05.1993	04.06.1993			390
7434	211р	73.6	74.54	2	P3nm	26	9	1993	26.09.1993	15.10.1993	34.40		360
7866	211р	73.6	74.54	2	P3nm	24	5	1995	24.05.1995	07.06.1995			396
8205	211р	73.6	74.54	2	P3nm	8	7	1996	08.07.1996	26.07.1996	42.70		382

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
PN_Number	Название_ПН	Глубина	Отметка_устья	Горизонт	Day	month	God	Дата_опробования	сухой_остаток	Mr	pH	Жо	Ca	Mg	Na	K	НСО3	Cl	
690005924	TM-51/87	0	0	2	P3	4	6	###	04.06.1996			7.0	6.4						28.12
690005924	TM-51/87	0	0	2	P3	21	1	###	21.01.1997	539.2		7.3	6.7						59.00
690005924	TM-51/87	0	0	2	P3	11	7	###	11.07.2002		746.0	7.1	9.5	148.3	25.50			494.1	82.40
690005924	TM-51/87	0	0	2	P3	14	8	###	14.08.2008	500.5		6.2	6.3	92.2	20.67			5.4	53.00
690005924	TM-51/87	0	0	2	P3	23	12	###	23.12.2008			6.5	5.8					4.9	



Рисунок 18 – Определение механических ошибок

Требует дополнительного объяснения изменения содержаний ряда показателей, в качестве примера приведены данные по скважинам 500р, 501р, 502р, 503р, 504р, 505р (рисунок 19). Так, например, начиная с 1997 г. концентрация хлора в скважине 502р уменьшилась практически в 3 раза, а в скважине 503р концентрация увеличилась в три раза, также в 1997 г. резко изменилось и содержание натрия в этих скважинах.

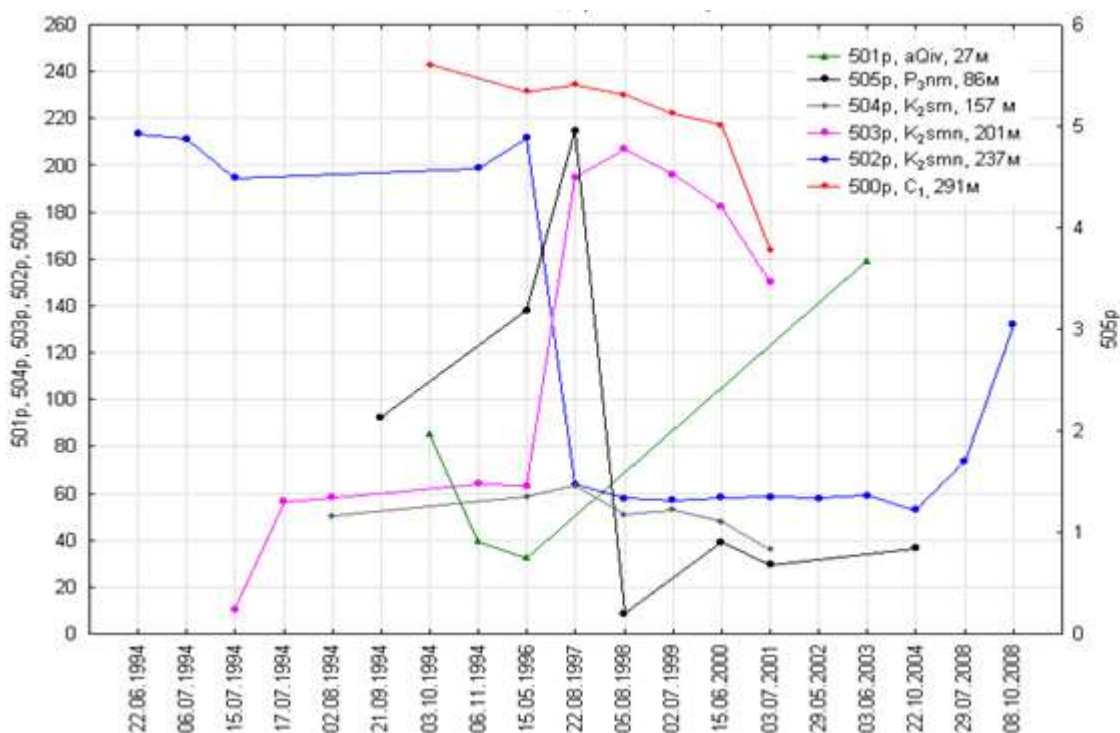


Рисунок 19 – Изменение концентрации хлор-иона в скважинах

Анализы, в которых были выявлены либо ошибки, либо пропуски в определении основных компонент воды отбраковывались. Для оставшихся анализов проведен контроль точности результатов. Контроль точности анализа проводился путем проверки взаимного согласования определенных содержаний анионов и катионов, вычисления погрешности анализа и сравнения вычисленной погрешности с допустимой (принцип электронейтральности состава вод) [106].

В результате сформирована описательная база, включающая данные по 341 скважине, в том числе 93 скважины (3450 проб), вскрывающие воды неоген-четвертичных отложений; 139 (3707 проб) скважин, вскрывающих воды палеогеновых отложений; 42 (508 проб) скважины вскрывающие воды меловых

отложений и 67 (738 проб) скважин, вскрывающих воды палеозойских образований) (рисунок 20).

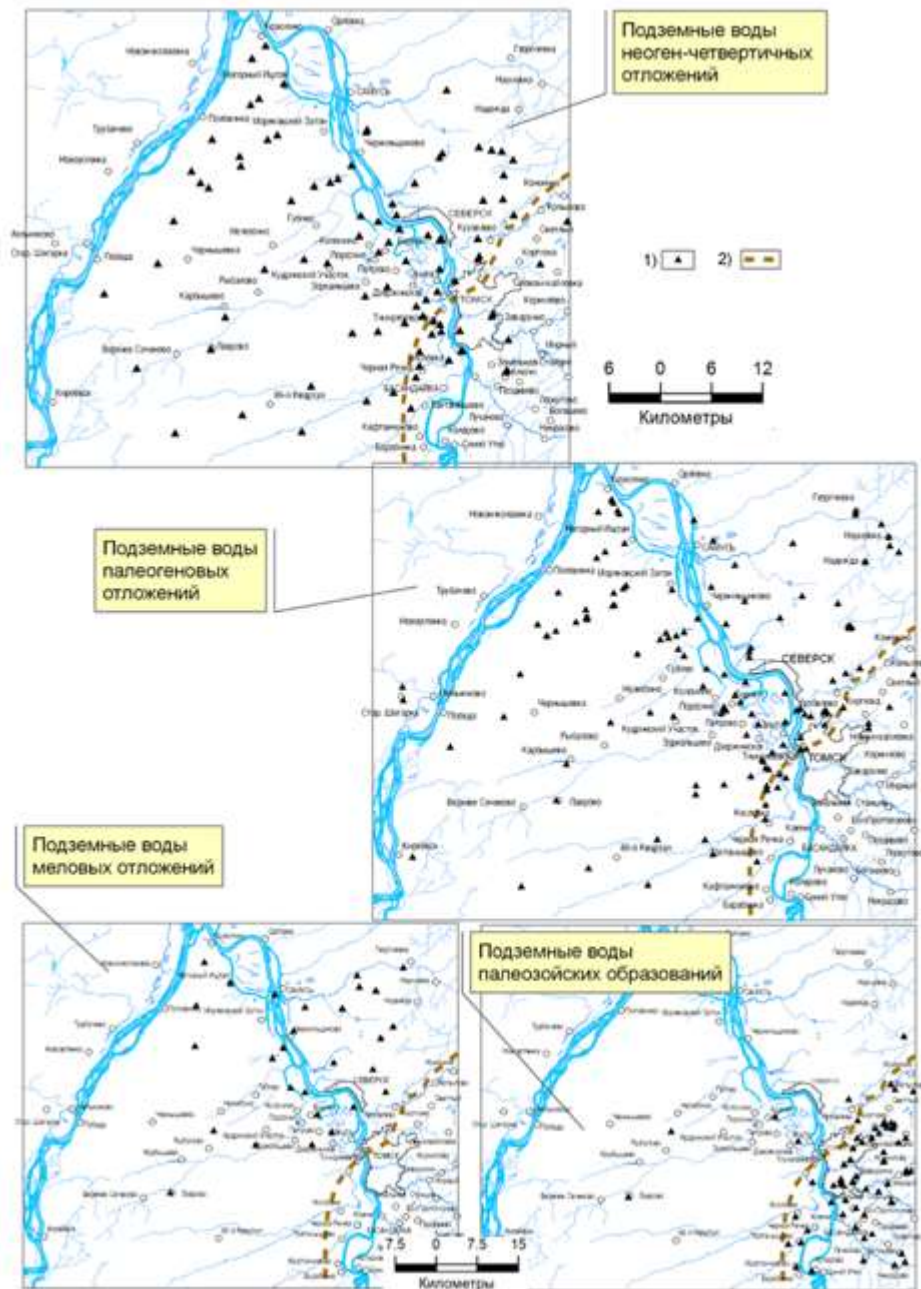


Рисунок 20 – Схемы расположения наблюдательных скважин полигона «Томский»

Условные обозначения: 1) наблюдательные скважины; 2) граница между ЗСАБ и САГСО

В каждой скважине на основе результатов химических анализов вод за весь период наблюдения были определены усредненные характеристики компонентов подземной воды. Параметры распределения химических элементов получены с учетом закона их распределения. По каждой из выборок были определены

средние арифметические и средние геометрические, медиана, максимальное и минимальное значения, стандартное отклонение и коэффициент вариации.

В базу геоданных ГИС «ГГЭП Томский» также включены справочные таблицы содержащие информацию о методах химического анализа, величин ПДК компонентов вод хозяйственно-питьевого назначения, фоновые концентрации химических элементов для почв и снега.

Подсистема визуализации и редактирования представляет собой гис-проекты, созданные в ArcMap на основе сформированной базы геоданных в ArcMap (рисунок 21).

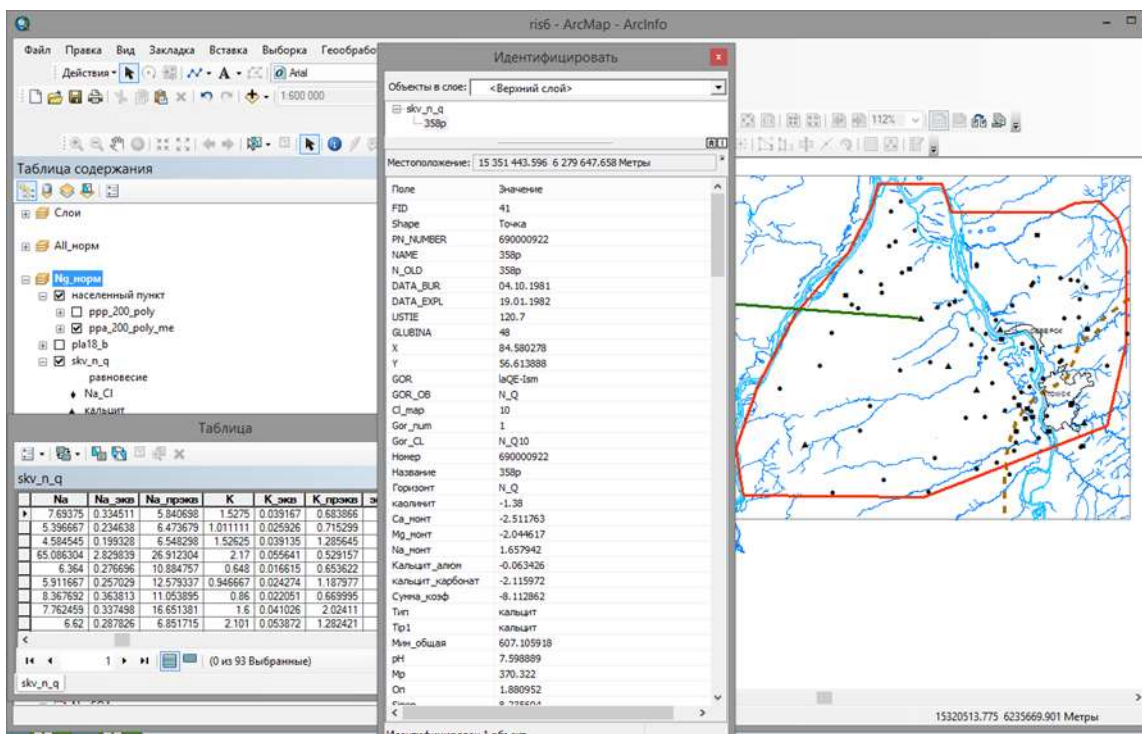


Рисунок 21 – Подсистема визуализации данных

Для понимания большого объема информации в ArcMap и для выполнения определенных задач создано множество различных типов карт:

- Базовые карты, которые объединяют ключевые данные для создания основы других карт (топографическая, геологическая и гидрогеологическая).
- Тематические карты, для отображения пространственной информации о расположении и распространении изучаемого объекта или явления (рисунок 22, 23).

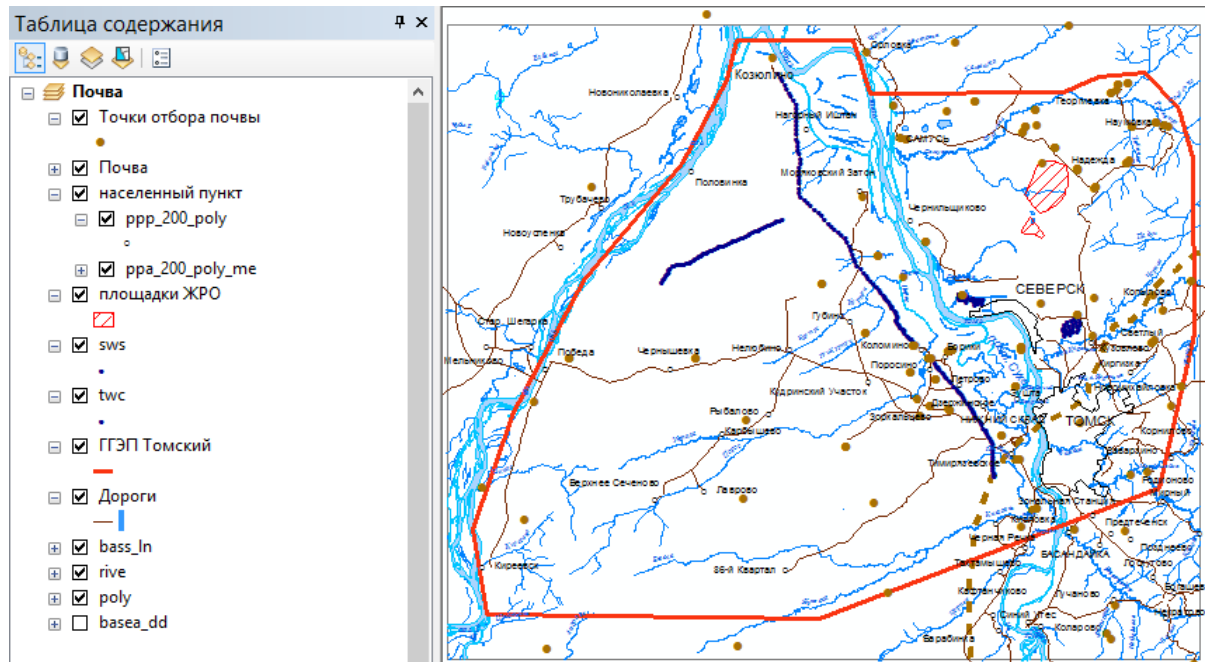


Рисунок 22 – Точки отбора проб почвы

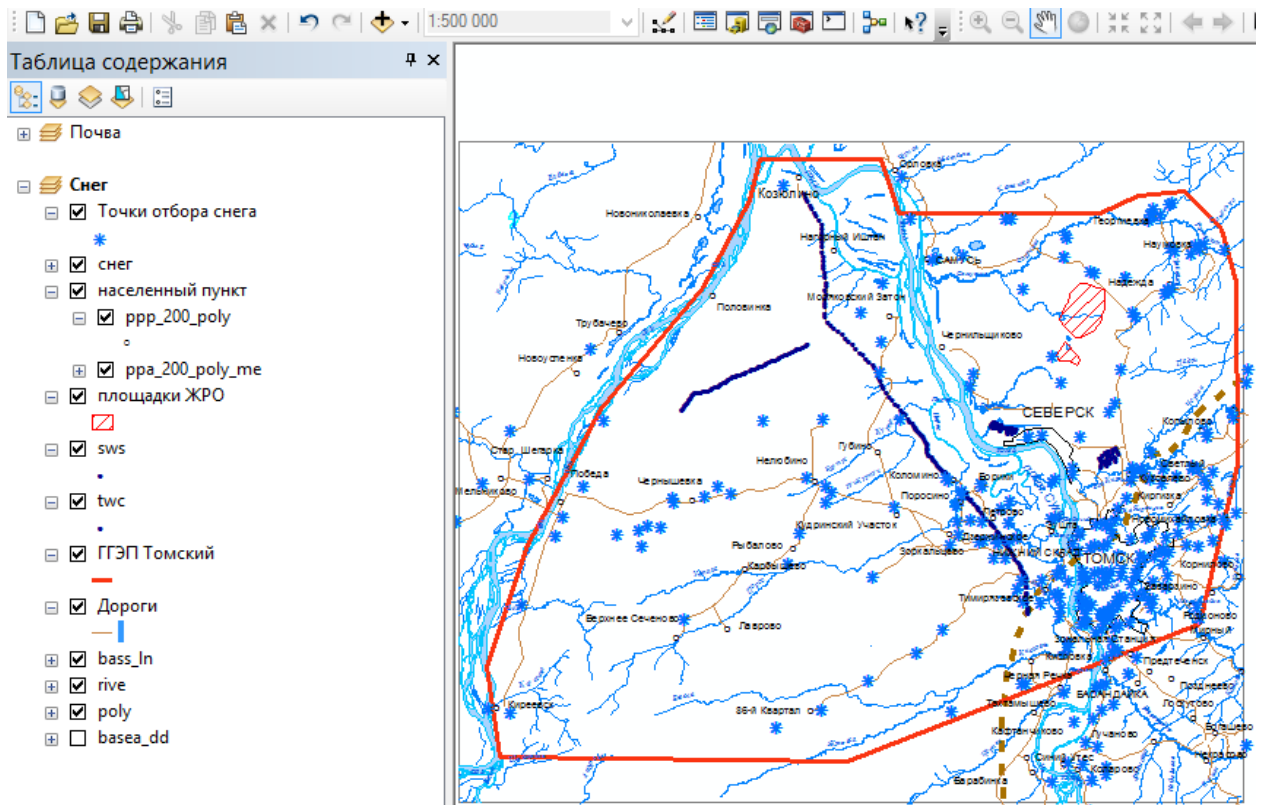


Рисунок 23 – Точки отбора проб снега

- Аналитические карты решения поставленных задач и использованием соответствующих данных и инструментов.
- Временные карты, на которых отображается процесс изменения явления во времени.

Подсистема анализа включает системные и авторские инструменты (рисунок 24).

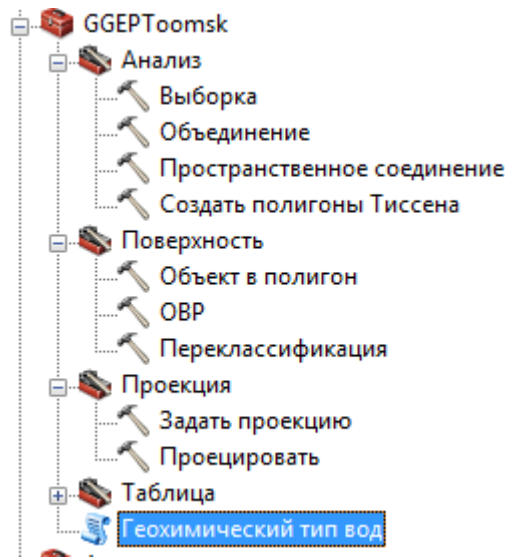


Рисунок 24 – Пользовательский набор инструментов

Авторский инструмент выполняет следующие действия: обращение к базе данных результатов химических анализов подземных вод; оценка равновесия подземных вод с породообразующими минералами; определение геохимического типа вод; группировка точек опробования по геохимическим типам вод по состоянию равновесия вод с породообразующими минералами (создание однородных гидрогеохимических совокупностей) и отображение результатов вычислений на карте согласно легендам. При запуске инструмента открывается диалоговое окно и пользователю необходимо просто заполнить параметры для получения результирующей карты (рисунок 25).

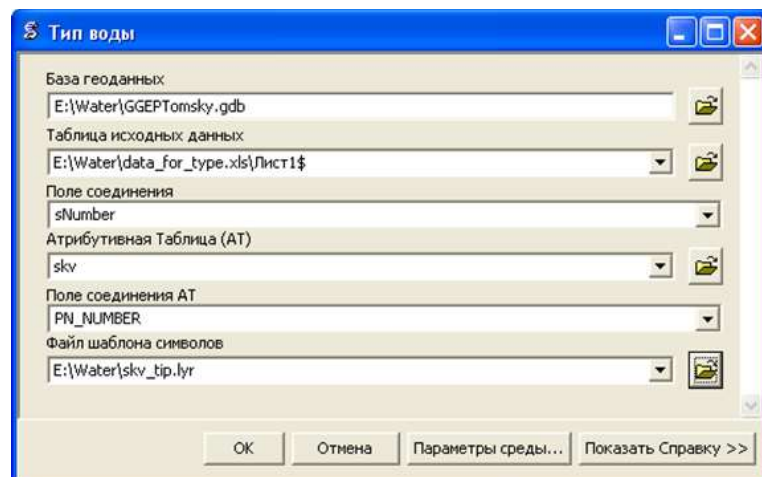


Рисунок 25 – Диалоговое окно инструмента

Таким образом, геоинформационная система «ГГЭП Томский» представляет собой обобщенную геоинформационную модель полигона «Томский», базирующуюся на единой базе данных, в которой систематизированы и структурированы все данные об объектах, топографической основе и единых методах обработки и представления данных.

4.3 Анализ геохимической трансформации почвенного и снегового покровов с использованием созданной ГИС «ГГЭП Томский»

Систематизация геохимических показателей качества почвенного покрова, пылеаэрозольных выпадений по данным изучения снеговых планшетов в единой базе данных, на единой топографической основе позволяет проводить пространственный анализ данных, дает возможность оценить степень геохимической трансформации компонентов природной среды и представить результаты в наглядной форме. Общая схема систематизации и анализа данных, характеризующих почвенный покров и твердый осадок снега гидрогеоэкологического полигона «Томский» представлена на схеме (рисунок 26).

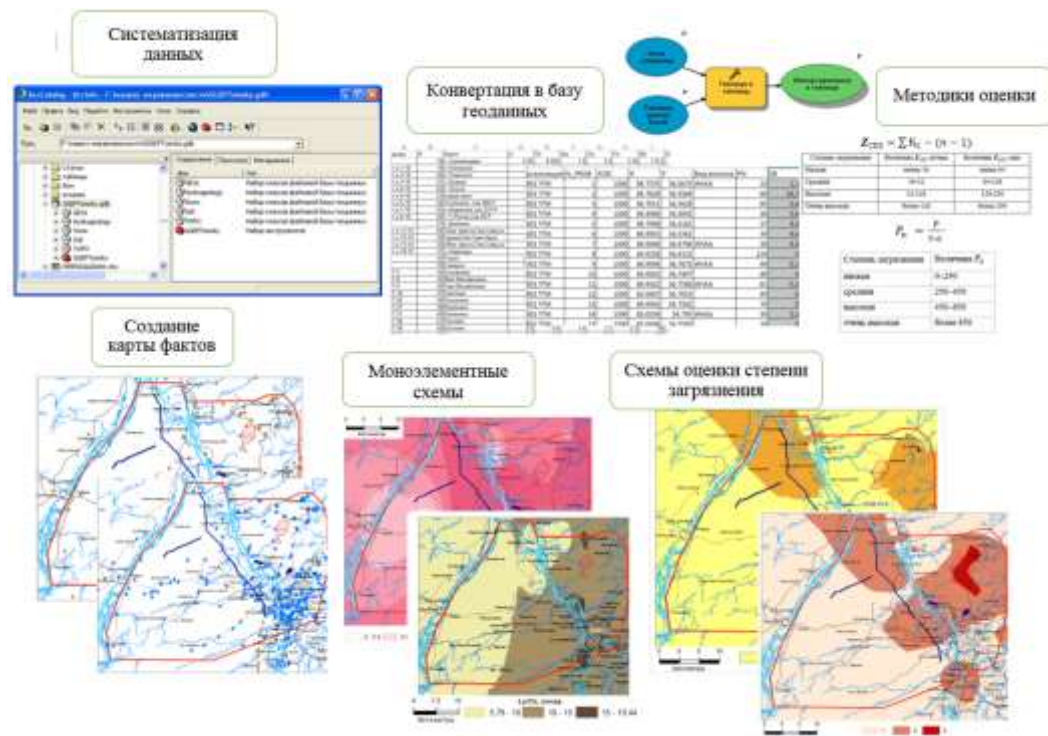
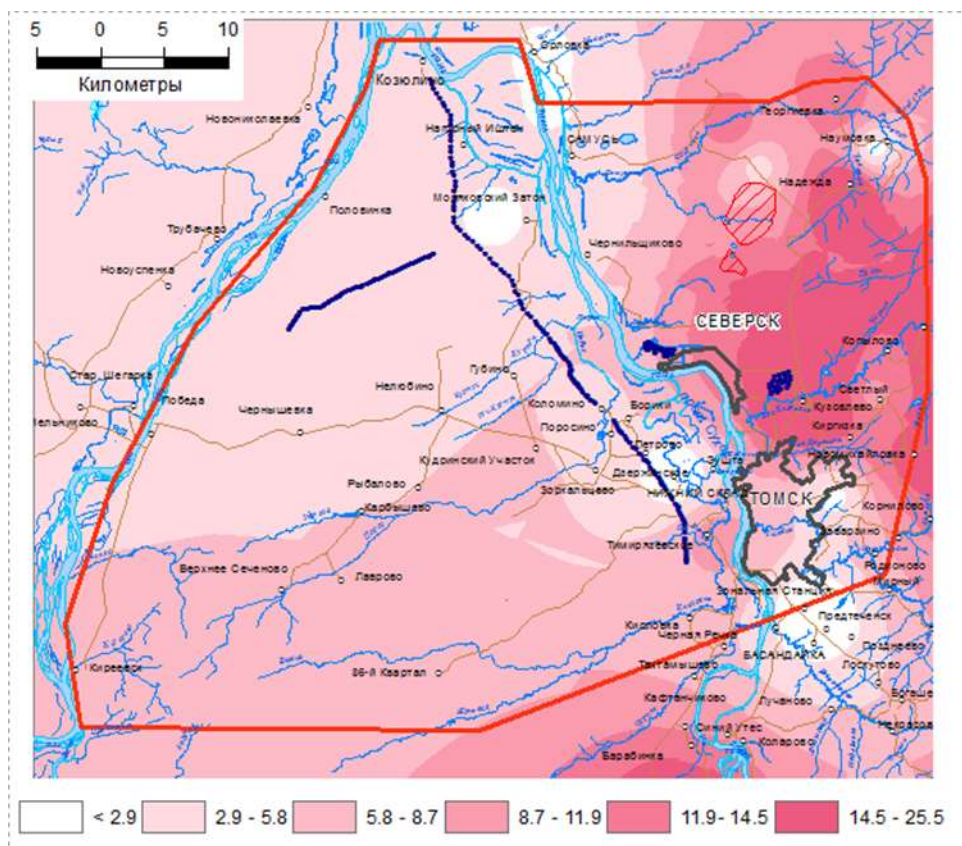


Рисунок 26 – Систематизация и анализ данных по почвам и твердому осадку снега полигона «Томский»

Анализ поведения геохимических элементов в снеговом покрове, уровня накопления твердого вещества в нем позволяет оценивать состояние окружающей среды [28; 69; 141; 150].

Вещественный состав пылеаэрозольных выпадений по данным изучения снеговых планшетов [141; 154; 155 и др.] отображает геохимическую особенность промышленных производств территории. Ввиду того, что наиболее опасный техногенный объект на рассматриваемой территории СХК [151; 201; 204; 208], в диссертации приведены моноэлементные схемы пространственного распределения элементов, характеризующих воздействие выбросов основных производств данного предприятия – U, Th, а также схемы величин отношений: Th/U , La/Yb и $(La + Ce/Yb + Lu)$ (рисунок 11, 12, 13 в Гл.2).

Повышенные содержания, брома обнаруживаемые в пылеаэрозольных выпадениях по данным изучения снеговых планшетов, обусловлены деятельностью ООО «Томскнефтехим» (рисунок 27).



(Схема построена автором по данным каф. ГЭГХ)

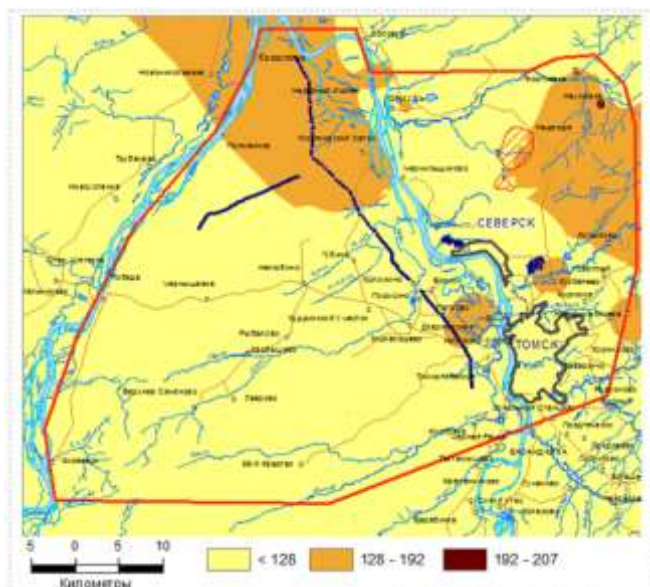
Рисунок 27 – Схема распределения брома в пылеаэрозольных выпадениях по данным изучения снеговых планшетов полигона «Томский», (мг/кг; фон 2,9 мг/кг)

Техногенная нагрузка на территорию полигона «Томский» связана с многопрофильной хозяйственной деятельностью, что приводит к образованию полиэлементных геохимических аномалий [150; 151; 155]. Интенсивность таких аномалий характеризуется показателем суммарного загрязнения [28].

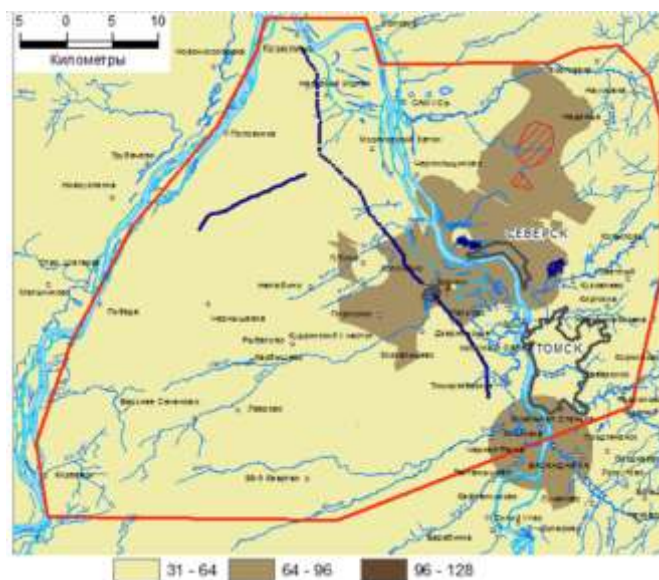
Суммарный показатель загрязнения ($Z_{СПЗ}$) для твердого осадка снега и почв, в нашем случае, рассчитывался как отношение содержаний тяжелых металлов, редких, редкоземельных элементов к их фону.

По величине суммарного показателя загрязнения пылеаэрозольных выпадений по данным изучения снеговых планшетов территория полигона «Томский» относится к территории со средней и высокой степенью загрязнения (рисунок 28а). Максимальное загрязнение отмечается северо-восточнее СХК и северо-западнее его на левом берегу р. Томи.

По значениям суммарного показателя почв территория полигона «Томский» характеризуется высокой степенью загрязнения ($32 < СПЗ < 128$) и соответствует опасному уровню заболеваемости населения [28]. На фоне общего высокого загрязнения выделяются два участка – один северо-восточного простирания, находящийся в непосредственной близости от СХК и второй на юго-востоке, пригород г.Томска (рисунок 28б).



а) степень загрязнения по СПЗ твердого осадка снега: < 128 – средняя;
 $128-207$ – высокая



б) степень загрязнения по СПЗ почв:
 $32-128$ – высокая

Рисунок 28 – Схемы оценки степени аэрогенного загрязнения полигона «Томский»

а) по СПЗ твердого осадка снега; б) по СПЗ почв

территории полигона «Томский» использованы: границы распространения депрессинной воронки (по данным АО «Томскгеомониторинг», рисунок 30); мощность водоносного комплекса (рисунок 31); содержание никеля в наблюдательных скважинах. Выбор данного элемента обоснован тем, что в наблюдаемых скважинах периодически встречаются концентрации никеля в пределах и выше ПДК. Никель принадлежит к числу канцерогенных элементов, повышенное содержание никеля оказывает специфическое действие на сердечно-сосудистую систему. Также он способен вызывать респираторные заболевания. За фоновое содержание никеля принято 0,01 мг/л (определено по скважинам наблюдательной сети за режимом вод неоген-четвертичных отложений полигона «Томский»); ПДК никеля для подземных вод равно 0,1 мг/л [113].

Оценка качества состояния подземных вод по гидрогеохимическому фактору. По известным содержаниям никеля в скважинах наблюдательной сети методом ОВР (обратно взвешенных расстояний) построена поверхность, т.е. получена информация о содержании никеля в каждой точке рассматриваемой территории. Для удобства работы от растровой модели представления данных мы перешли к векторной, используя функционал ArcGIS. Согласно методике, нас интересуют участки с дофоновыми содержаниями, выше фона, но ниже ПДК и выше ПДК, то все значения были разбиты на три интервала: от 0 до 0,01 – 1 балл; от 0,01 до 0,1 – 2 балла; выше 0,1 – 4 балла.

В итоге был получен полигональный класс пространственных объектов, содержащий информацию об оценке состояния качества подземных вод по гидрогеохимическому фактору (рисунок 32).

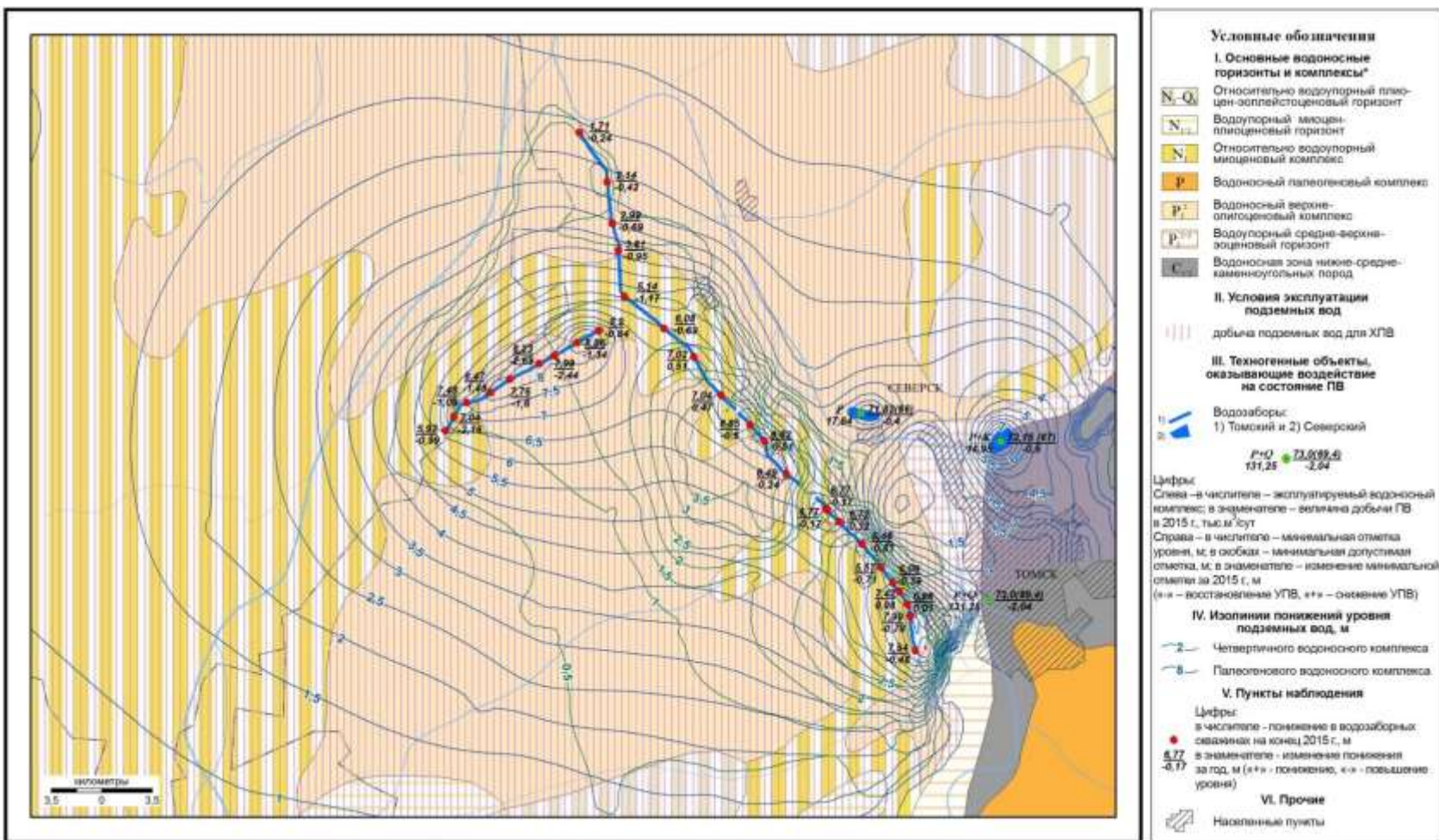


Рисунок 30 – Схематическая карта условий эксплуатации подземных вод в пределах Томской депрессионной воронки в 2015 г. (АО «Томскгеомониторинг», 2016)

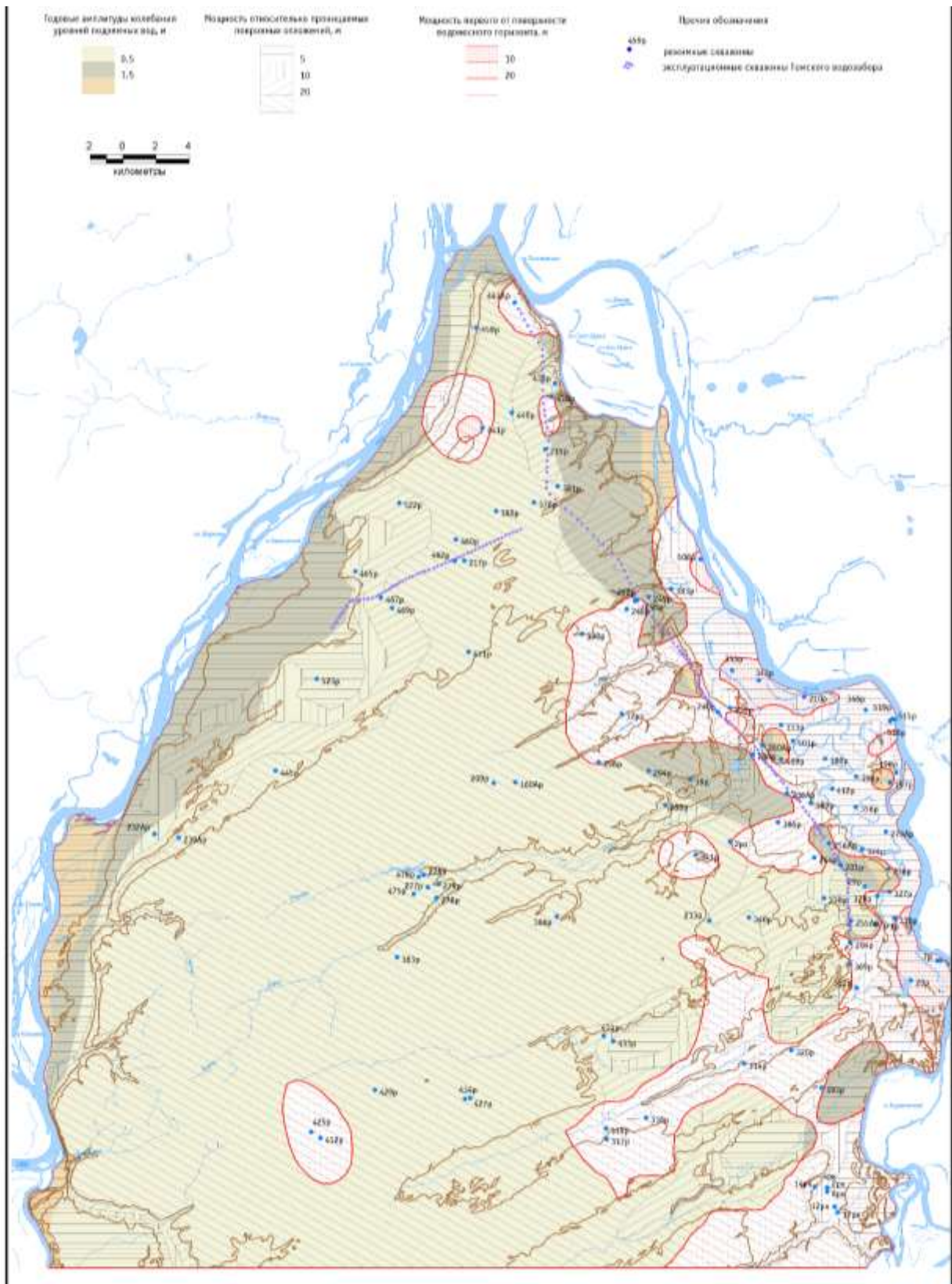


Рисунок 31 – Схема однородных гидродинамических условий неоген-четвертичного водоносного комплекса полигона «Томский» (Схема построена автором по данным АО «Томскгеомониторинг»)

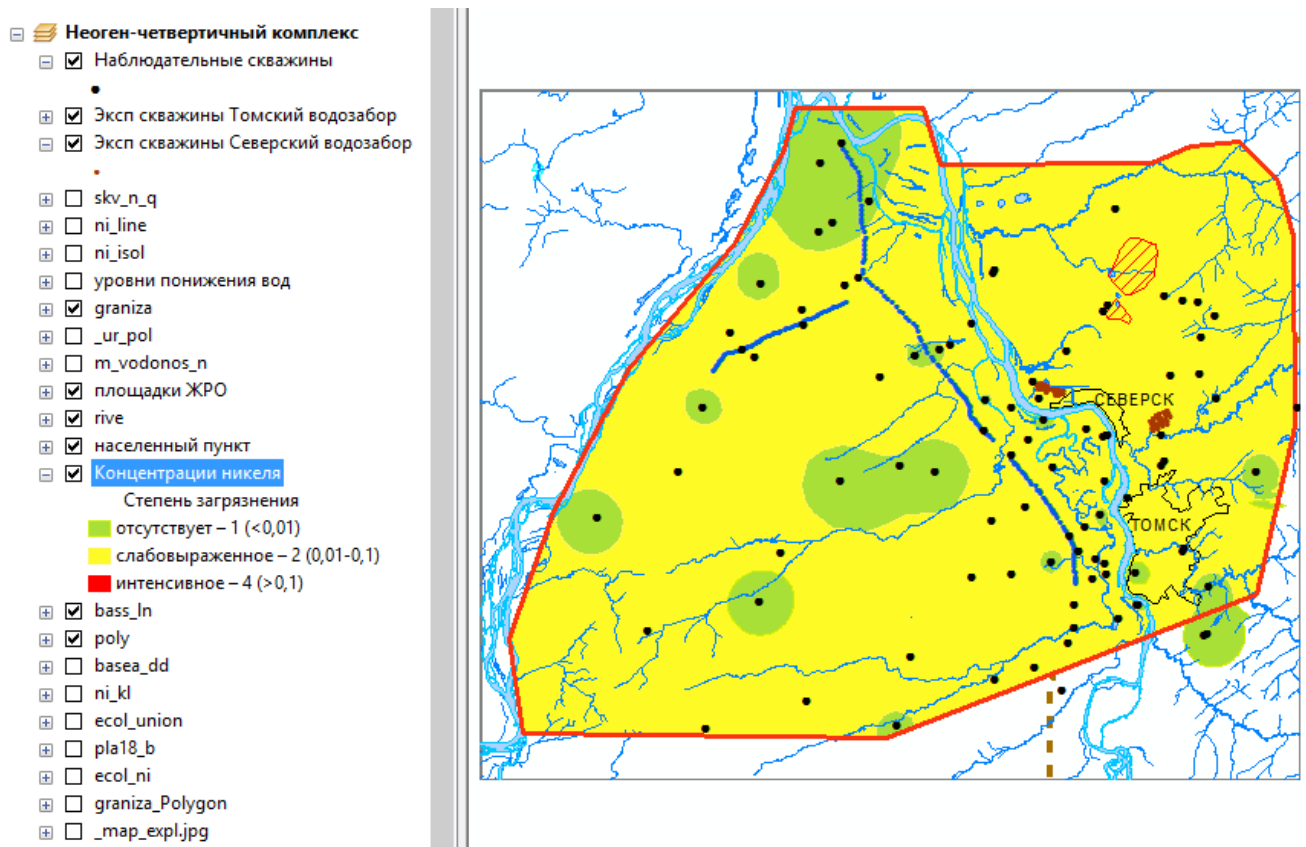


Рисунок 32 – Оценка состояния качества подземных вод по гидрогеохимическому фактору

Оценка качества состояния подземных вод по гидродинамическому фактору. По данным АО «Томскгеомониторинг» (рисунок 30) на схему вынесена граница депрессионной воронки, которая соответствует изолинии с нулевым понижением уровня вод неоген-четвертичных отложений от статического уровня. Построена изолиния, соответствующая понижению уровня подземных вод до 0,75 мощности водоносного горизонта, на исследуемой территории минимальная мощность неоген-четвертичного водоносного комплекса равна 5 м (рисунок 31), соответственно 0,75 мощности водоносного комплекса соответствует понижению в 3,7 м. (рисунок 33).

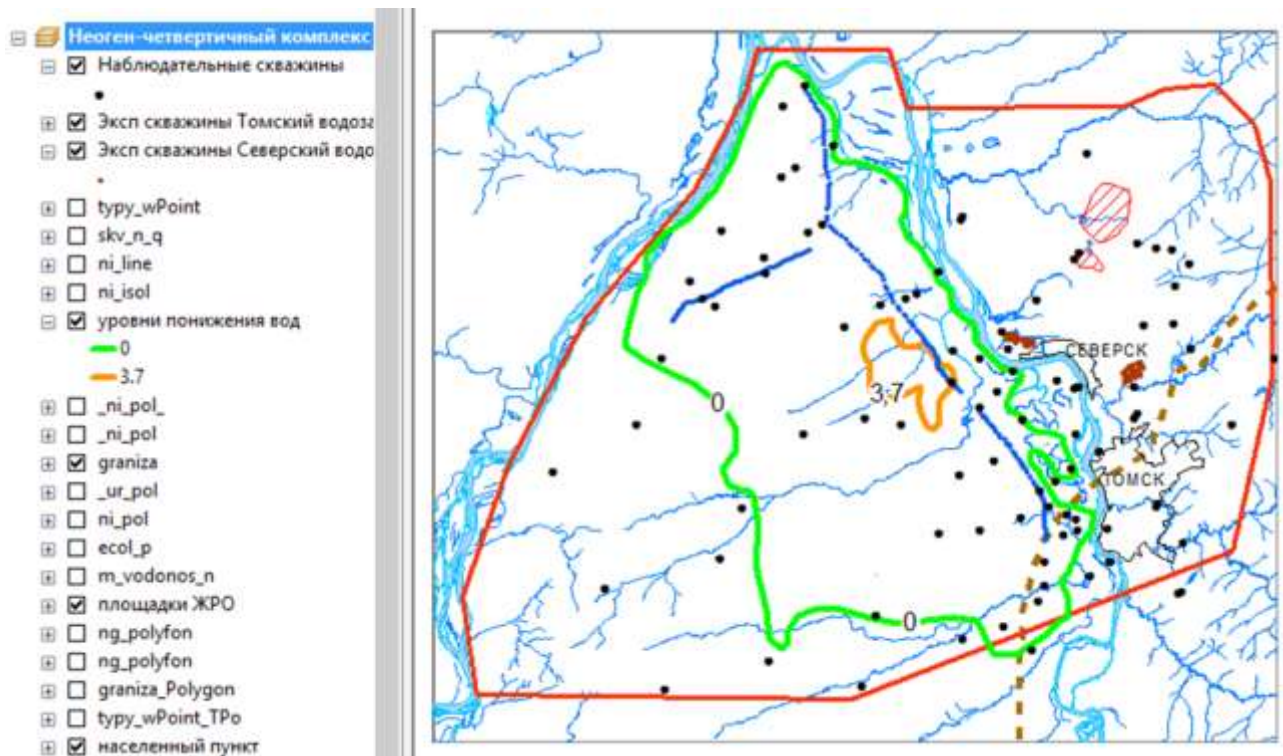


Рисунок 33 – Изолинии понижения уровня подземных вод территории полигона «Томский»

Для выделения участков с различной степенью понижения уровней подземных вод создан полигональный класс пространственных объектов, каждому объекту присвоены соответствующие баллы: до границы начала депрессионной воронки – 1; от линии начала депрессионной воронки до линии соответствующей понижению 0,75 мощности водоносного комплекса, в нашем случае это 3,7 м – 2; и ниже 3,7 м – 4. Таким образом, получена оценка качества подземных вод полигона «Томский» по гидродинамическому фактору (рисунок 34).

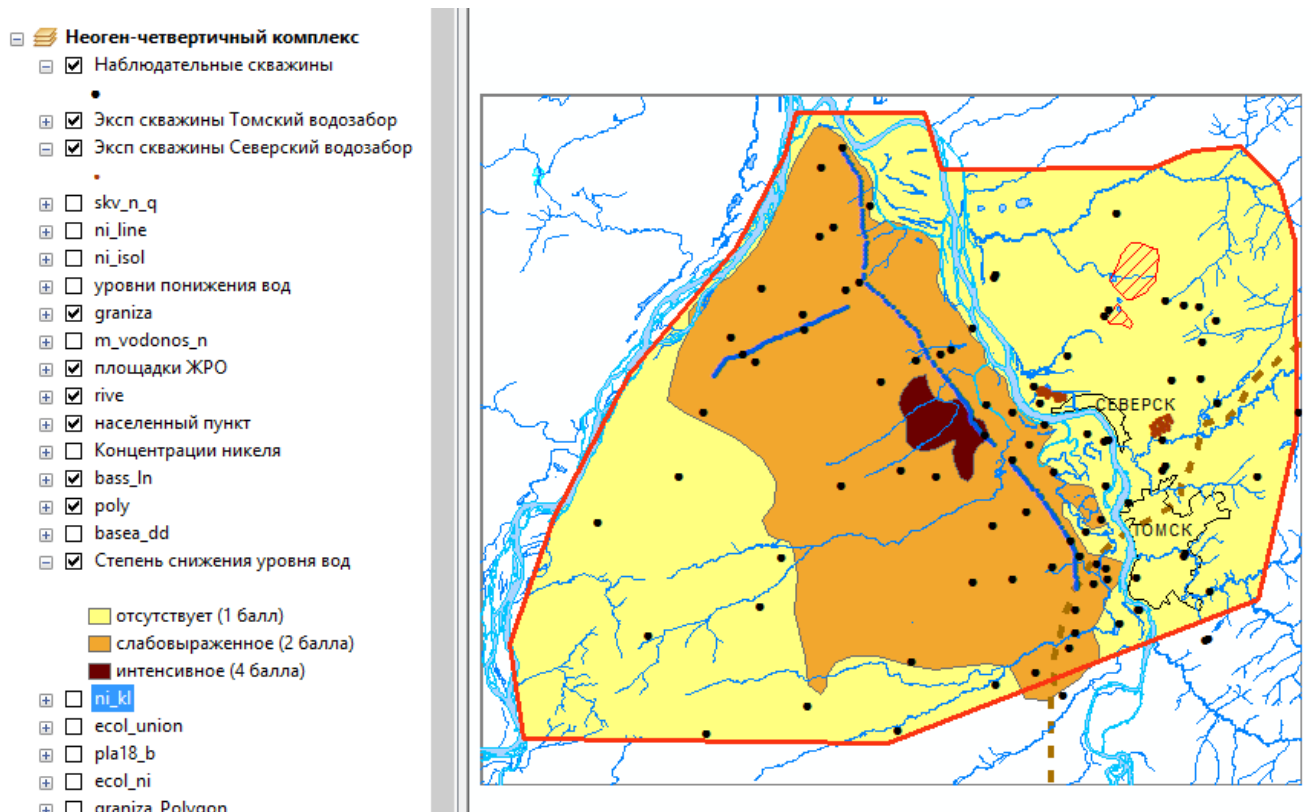


Рисунок 34 – Оценка состояния качества подземных вод по гидродинамическому фактору

Суммарная оценка степени воздействия техногенных факторов (гидрогеохимического и гидродинамического) на состояние качества подземных вод полигона «Томский». Чтобы выделить участки на изучаемой территории, подверженные различной техногенной нагрузке с учетом влияния гидрогеохимического и гидродинамического факторов, т.е. получить суммарную оценку состояния подземных вод, необходимо сложить оценки, полученные по каждому фактору отдельно.

Используя функционал ArcGIS, объединяем полигональные классы пространственных объектов в один, с сохранением атрибутивной информации входных классов (инструмент «Объединение»). Получаем новый полигональный класс пространственных объектов, с атрибутами входных объектов. Складываем оценки и получаем суммарную оценку состояния подземных вод (рисунок 35).

суммарная оценка состояния				
FID	Shape *	ГХФ	ГДФ	ГХФ+ГДФ
0	Полигон	1	1	2
1	Полигон	1	1	2
2	Полигон	1	1	2
3	Полигон	1	1	2
4	Полигон	4	1	5
8	Полигон	1	1	2
9	Полигон	1	1	2
11	Полигон	1	1	2
16	Полигон	1	1	2
20	Полигон	2	1	3
21	Полигон	1	1	2
22	Полигон	1	1	2
23	Полигон	1	1	2
25	Полигон	1	1	2
5	Полигон	1	2	3
6	Полигон	1	2	3
7	Полигон	1	2	3
10	Полигон	1	2	3
12	Полигон	1	2	3
14	Полигон	1	2	3
15	Полигон	1	2	3
17	Полигон	1	2	3
18	Полигон	2	2	4
24	Полигон	1	2	3
13	Полигон	1	4	5
19	Полигон	2	4	6

Рисунок 35 – Результат объединения

Согласно принятой классификации экологической ситуации по состоянию подземных вод (таблица 8): участкам с количеством баллов, равным 3 балла присвоен статус удовлетворительной экологической ситуации, 4 балла – неблагоприятной экологической ситуации, 5-6 баллов – напряженной экологической ситуации (рисунок 36).

По комплексному воздействию техногенных факторов на подземные воды неоген-четвертичных отложений в долине р. Томи, д. Губино выделен участок с напряженной обстановкой. На Обь-Томском междуречье выделена обширная полоса северо-западного направления, включающая все линии Томского водозабора подземных вод, на которой складывается неблагоприятная обстановка. На остальной части территории полигона «Томский», согласно полученным результатам, складывается удовлетворительная экологическая ситуация по состоянию подземных вод.

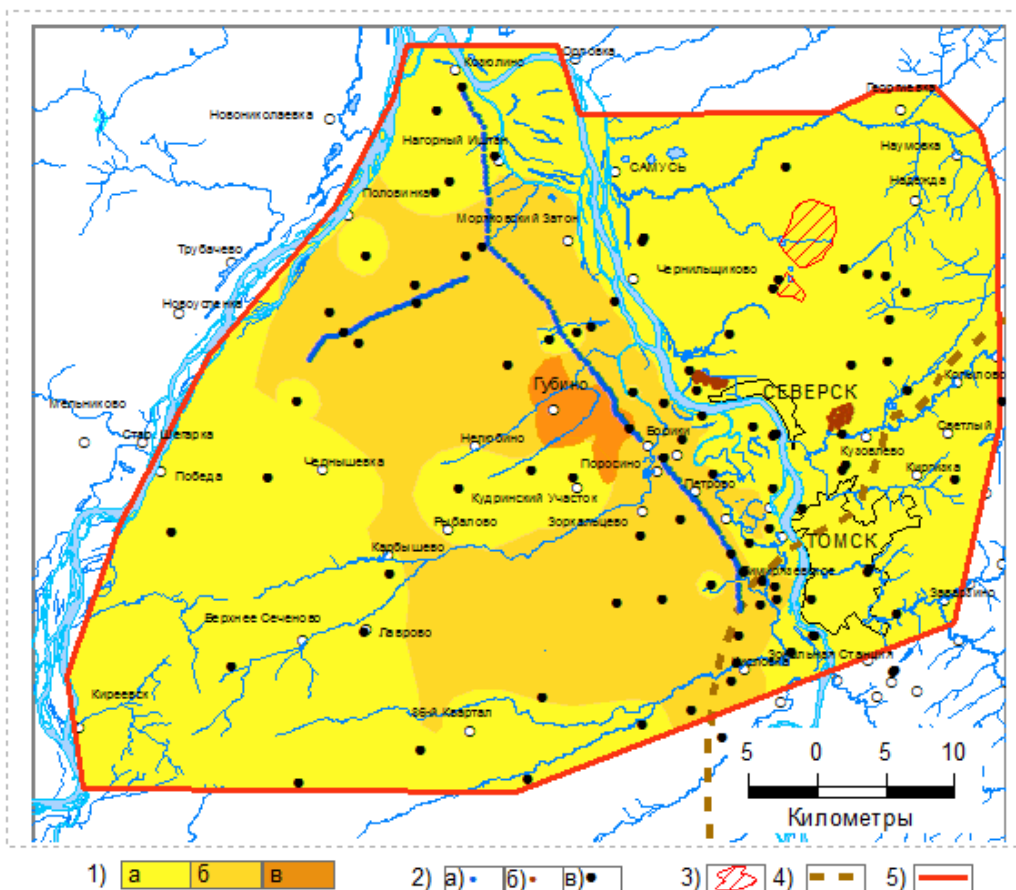


Рисунок 36 – Схема экологической ситуации по состоянию вод неоген-четвертичных отложений полигона «Томский»

Условные обозначения: 1) экологическая ситуация: а – удовлетворительная, б – неблагоприятная, в – напряженная; 2) скважины: а) Томского водозабора, б) Северского водозабора, в) наблюдательной сети; 3) площадки ЖРО; 4) граница между ЗСАБ и САГСО; 5) - контуры полигона «Томский»

Таким образом, геоинформационная система «Гидрогеоэкологический полигон Томский», реализованная в среде ArcGIS, повышает эффективность комплексной эколого-геохимической оценки природной среды; позволяет получать модели пространственной локализации химических элементов в компонентах природной среды (почва, снеговой покров, подземные воды) и картографировать эколого-геохимическую обстановку.

ГЛАВА 5. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ ВОДА-ПОРОДА И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

При ведении мониторинга подземных вод систематизацию вод обычно проводят по геолого-структурной приуроченности, что не позволяет выявлять истинных фоновых содержаний элементов. В тоже время эта задача может быть успешно решена путем выделения в качестве однородных гидрогеохимических совокупностей геохимических типов вод. В основу выделения геохимических типов вод положена зависимость между составом воды и составом продуктов выветривания, обуславливаемая фундаментальными законами термодинамики [27; 142 и др.]. При таком подходе учитываются генетические особенности формирования качества водных ресурсов [44; 45; 77 и др.]. Это особенно важно в связи с тем, что при оценке эколого-геохимического состояния вод должно быть четкое представление об источниках поступления химических элементов в подземные воды, механизмах их перераспределения и взаимодействия с техногенными факторами, трансформирующими природные воды [81; 44; 45; 68; 98 ; 161 и др.].

Предлагаемая методика эколого-геохимической оценки состояния подземных вод, основанная на теории взаимодействия системы вода-порода и возможностях геоинформационных технологий, состоит в следующем:

- систематизация подземных вод – выделение однородных гидрогеохимических совокупностей в пунктах наблюдений (исследование состояния равновесия вод с породообразующими минералами, расчет индекса неравновесности, обоснование геохимических типов вод по составу последовательно образующихся вторичных минералов);
- изучение пространственного распространения геохимических типов вод;
- определение базовых параметров (фоновых концентраций) химических элементов в генетически однородных гидрогеохимических совокупностях вод (геохимических типах вод) с учетом закона распределения;

- дифференциация территории по уровню фоновых концентраций элементов в подземных водах (построение карт фоновых значений);
- определение коэффициента контрастности для компонентов подземных вод относительно базовых параметров в пунктах наблюдения (создание массива нормированных данных – пространство признаков одного масштаба);
- выявление очагов загрязнения подземных вод (создание выборок различной степени аномальности и построение унифицированных схем по уровням контрастности химических элементов).

5.1 Определение базовых параметров распределения элементов в однородных гидрогеохимических совокупностях

5.1.1. Методика исследования состояния равновесия вод с породообразующими минералами

Выявление образующихся геохимических аномалий основано на базовых параметрах состояния природной среды. Существенную часть этой информации представляют характеристики геохимического фона природной среды (среднее значение и стандартное отклонение), которые должны быть положены в основу ее эколого-геохимической оценки [128; 129]. Геохимический фон природной среды необходимо рассчитывать для внутренне однородных по условиям формирования природных объектов. Под однородной совокупностью нами понимается такая совокупность, элементы которой формируются под воздействием общих основных причин и условий [120].

Обширный комплекс сведений, получаемых при гидрогеохимических исследованиях, необходимо систематизировать с целью выявления участков с аномальными содержаниями элементов. От правильности установления фоновых и аномальных содержаний элементов – индикаторов – зависит надежность дальнейшей интерпретации гидрогеохимических данных. На фоновые значения элементов влияет много факторов: химический состав воды, литолого-геохимические особенности водовмещающих пород, геохимический ландшафт и

др. [110; 106; и др.], в связи с этим необходимо производить определение фона отдельно для различных типов вод, обладающих едиными условиями формирования.

Огромное разнообразие природных вод выдвигает задачу их гидрогеохимической классификации. Для подземных вод характерна непрерывность в пространстве, между объектами исследований существуют постепенные плавные переходы. При классификации таких систем с непрерывным распределением признаков возникает затруднение – невозможность отнесения изучаемых объектов к определенному виду, типу и т.д., и приходится выделять промежуточные единицы классификации, вводить условные границы (не вытекающие из природы явления) [31].

Выделяют общие классификации и частные классификации подземных вод. В первом случае, подземные воды классифицируются по их положению в системе вода – порода, характеру взаимодействия с геологической средой. Во втором – классифицируются непосредственно сами подземные воды по различным признакам (химическим, физическим и др.). Также могут быть специальные классификации подземных вод, определяющие их практическое назначение и использование. Несмотря на обилие классификаций, единой классификации, отражающей все стороны жизни подземных вод, не разработано [66].

Систематизировать гидрогеохимические данные по условиям формирования вод можно, используя стадийность развития системы вода-порода [142; 44; 27; 77] и выделяя однородные гидрогеохимические совокупности – геохимические типы вод [44; 77; 163].

В основу выделения геохимических типов вод положена зависимость между составом воды и составом продуктов выветривания, определяемая термодинамическими законами [23; 56 и др.]. Благодаря этому между составом раствора и составом минеральных новообразований существует строгая парагенетическая связь и выявлена определенная стадийность вторичного минералообразования: гиббсит, каолинит, монтмориллонит (Ca-, Mg- K-Na), карбонаты (кальцит, доломит, магнезит, сидерит и др.), сульфаты, фториды и т.д.

[142; 56; 77 и др.]. При этом каждая последующая стадия включает предыдущие в процессе эволюционного развития системы и отличается значениями основных параметров состава вод (рН, минерализация, кремний, органика) и концентрациями контролирующих реакцию элементов.

Таким образом, параметры распределений химических элементов, определенные в однородных гидрогеохимических совокупностях (геохимических типах воды) являются характеристиками геохимического фона – базовыми параметрами для эколого-геохимической оценки подземных вод

5.1.2 Технология выделения однородных гидрогеохимических совокупностей на базе ГИС «ГГЭП Томский»

В основу методики выделения однородных гидрогеохимических совокупностей, реализованной средствами геоинформационных технологий, положены реакции взаимодействия воды с минералами [56], результаты химического анализа подземных вод и обоснование геохимических типов вод по С.Л. Шварцеву [27; 142].

Общая технология систематизации и анализа гидрогеохимических данных в геоинформационной системе «Гидрогеоэкологический полигон Томский» показана на рисунке 37. Характеристика используемых данных представлена в главе 4.

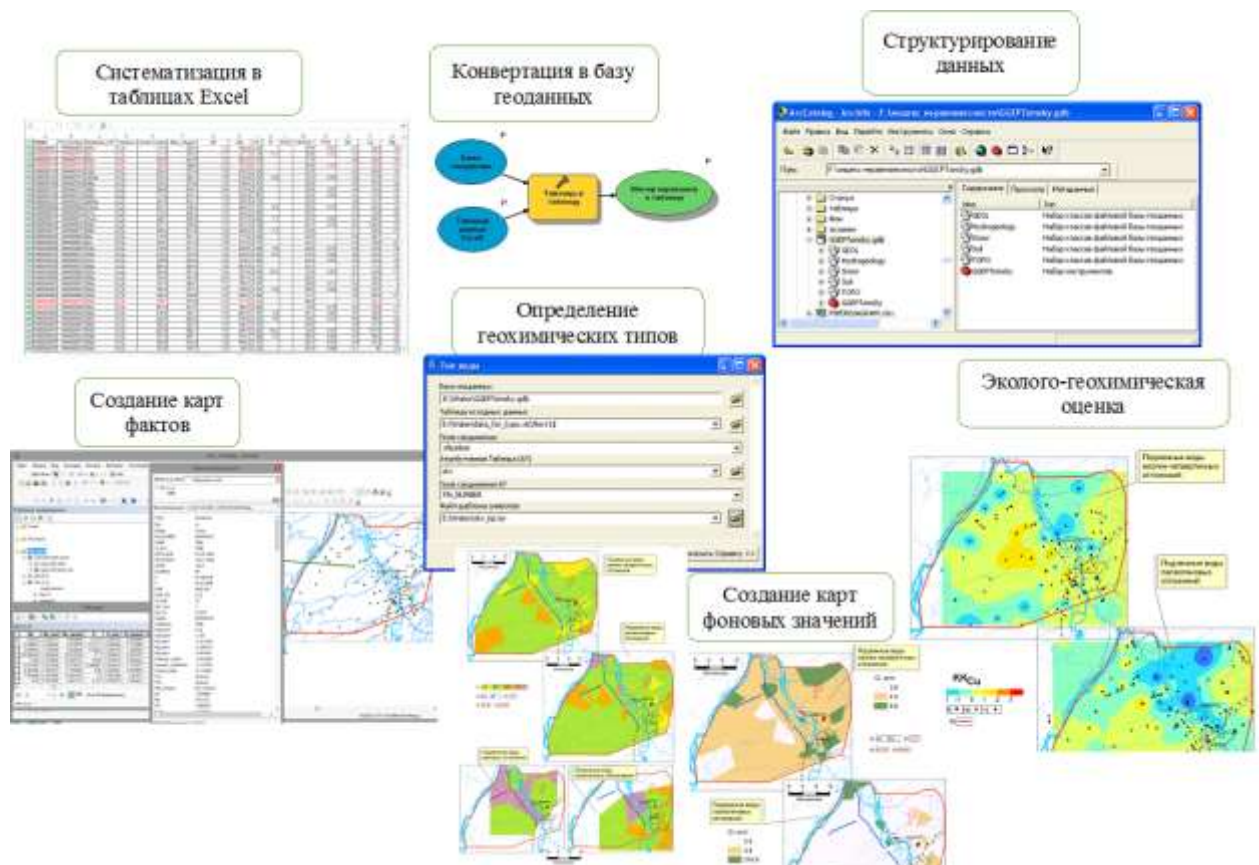


Рисунок 37 – Технология систематизации и анализа гидрогеохимических данных в геоинформационной системе «Гидрогеоэкологический полигон Томский»

Количественный метод оценки степени равновесности-неравновесности вод относительно того или иного минерала основывается на вычислении индекса неравновесности или показателя агрессивности A по В.П. Звереву [56] (в данной работе будем использовать термин индекс неравновесности). Индекс неравновесности – это отношение теоретического произведения активностей компонентов реакции (K^0 – константа реакции), описывающей определенную стадию взаимодействия системы вода-порода, к фактическому, наблюдаемому в водах, произведению активностей этих компонентов (Q – квотант реакции) и определяется по формуле (3) [56; 77]:

$$A = \lg \frac{K^0_{\text{реак}}}{Q}, \quad (3)$$

при $A < 0$ – воды, ненасыщенные минералами; $A = 0$ – воды, находятся в состоянии равновесия; $A > 0$ – наблюдается пересыщенность вод минералами [56; 77].

Таким образом, для вычисления индекса неравновесности необходимо определить: константы равновесия реакций взаимодействия воды и минералов, коэффициенты активности ионов и нейтральных молекул в водном природном растворе. Активности соответствующих ионов и молекул, определяются по формуле $a_{\text{ион}} = [\text{ион}] = \gamma_{\text{и}} C_{\text{и}}$, где $\gamma_{\text{и}}$ – коэффициент активности (рассчитывается по уравнению Дебая–Хюккеля для низкоминерализованных растворов [23]); $C_{\text{и}}$ – аналитически определенные концентрации, моль/л, при 25°C и 10⁵Па, т.е. в стандартных условиях. Описание методики расчета приведено в работе Ю.Г. Копылова и др. [77].

Для автоматизации расчет индекса неравновесности, последующего анализа его значений и определения геохимических типов вод автором создана программа на языке программирования Python в среде ArcGIS [127]. Алгоритм программы представлен на рисунке 38.

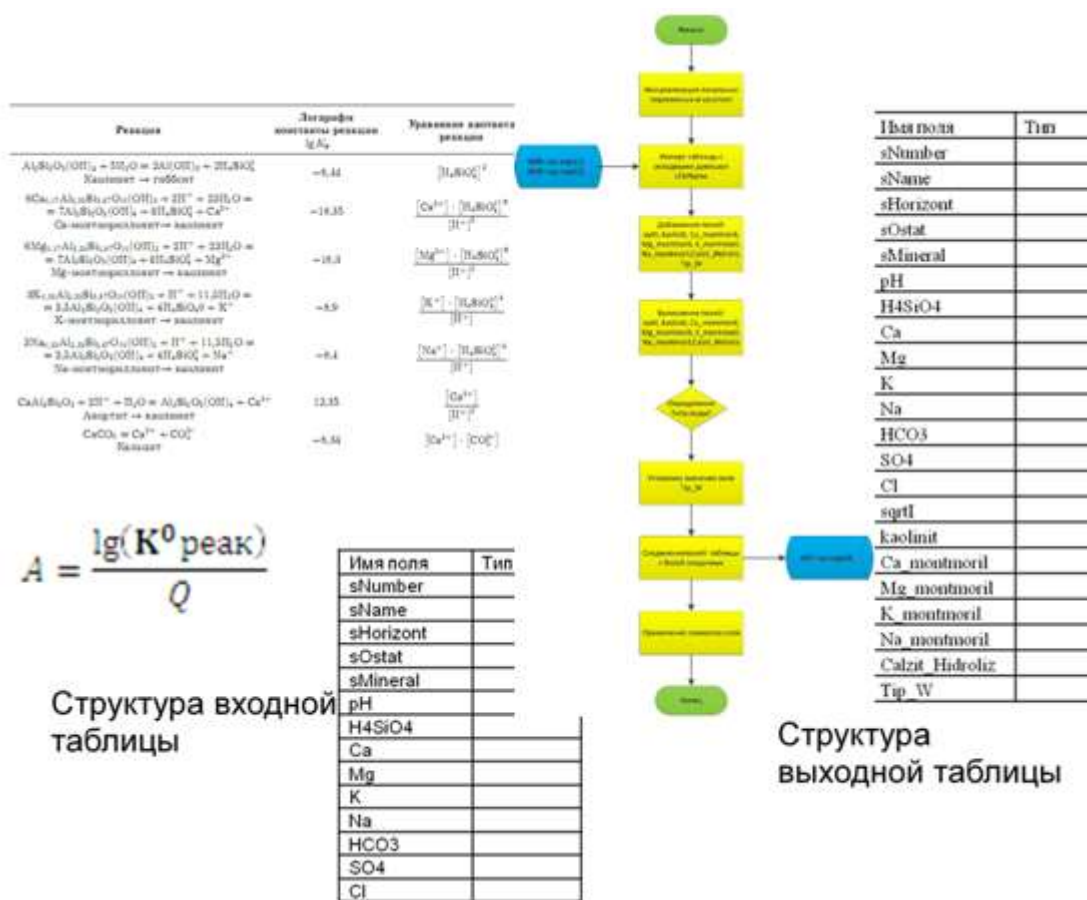


Рисунок 38 – Принцип работы программы

Оценка равновесности природных вод полигона «Томский» по отношению к отдельным минералам выполнены на основании анализов образования гиббсита, каолинита, монтмориллонитов, карбонатов. По данным химического анализа подземных вод рассчитаны квотанты каждой реакции, проведено их сравнение с константами равновесия соответствующих реакций, что позволило количественно оценить степень неравновесности воды относительно вторичных минералов в каждой скважине.

Величина индекса неравновесности служит количественной мерой степени насыщенности вод относительно вторичных минералов. Оценка насыщенности вод в отдельных скважинах позволяет перейти к оценке насыщенности вод в целом для водоносного комплекса. Определены индексы неравновесности вод в целом для водоносного комплекса, их сравнение показало, что наблюдается повышение насыщенности вод относительно вторичных минералов с переходом вод неоген-четвертичных отложений к водам палеозойских образований, т.е. с увеличением глубины их проникновения и, соответственно, времени взаимодействия системы вода-порода (рисунок 39).

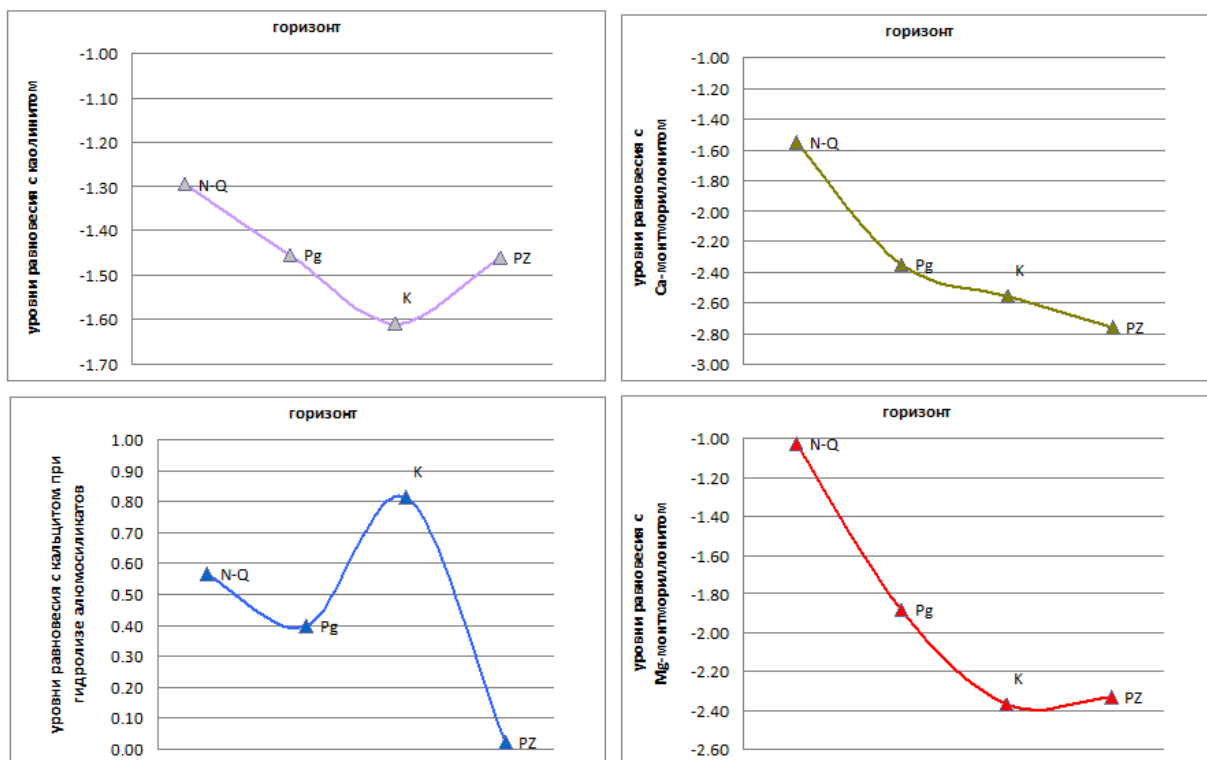
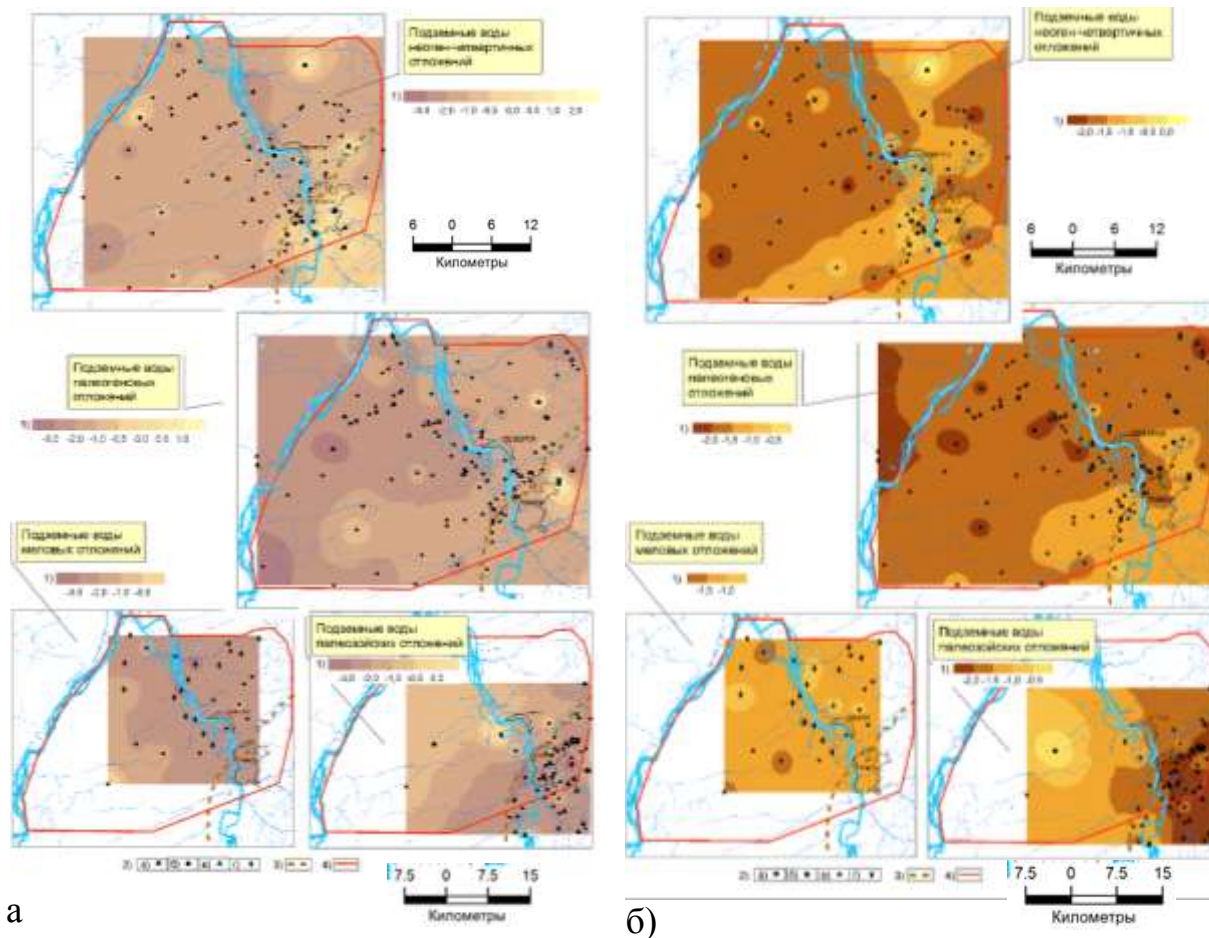


Рисунок 39 – Изменение величины индекса неравновесности в водоносных комплексах полигона «Томский»

Пространственное представление величин индекса неравновесности позволяет проследить закономерности изменения степени насыщения вод минералами на территории полигона «Томский» и, соответственно, интенсивности геохимических процессов (рисунок 40) [163].

Количественная оценка индекса неравновесности и картирование степени насыщенности вод позволяют сделать следующий вывод: подземные воды всех без исключения водоносных комплексов равновесны с монтмориллонитами. Несмотря на это, наблюдается некоторая пространственная неоднородность в насыщенности вод относительно данного минерала. Вблизи контакта краевых структур ЗСАБ и САГСО выделяется зона меньшей насыщенности вод относительно монтмориллонита, характеризующаяся относительно большими значениями индекса неравновесности. Вероятнее всего, её наличие определяется увеличением интенсивности водообмена в зоне сочленения этих структур. Выявленная область наиболее ярко проявляется в водах палеогеновых отложений (рисунок 40а).

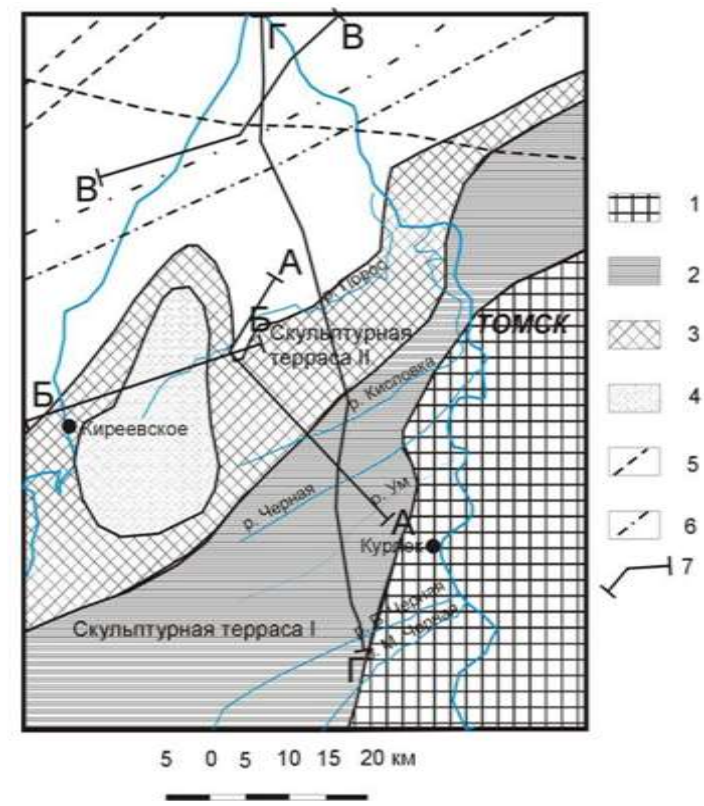
Подземные воды полигона «Томский» находятся в насыщенном состоянии и относительно кальцита, образующегося за счет растворения карбонатов (рисунок 40б). Однако вблизи зоны сочленения ЗСАБ и САГСО также прослеживается область околоравновесных значений северо-восточной направленности, обусловленная изменением интенсивности водообмена. Привлеченный анализ геологической информации позволяет сделать вывод, что область меньшей насыщенности вод относительно минералов совпадает с простираем скульптурных террас, которые формируются в процессе новейшей тектонической деятельности (рисунок 41) [110].



а) Mg-монтмориллонитом; б) кальцитом

Условные обозначения: 1) значения индекса неравновесности; 2) скважины
3) граница между ЗСАБ и САГСО; 4) контуры полигона «Томский»

Рисунок 40 – Схема изменения степени насыщенности вод
а) Mg-монтмориллонитом; б) кальцитом



1-Томский выступ
2-Скульптурная терраса I (Жуковская)
3-Скульптурная терраса II
4-Выступ палеозойского фундамента
5-Тектонические нарушения
6-Краевой шов Западно-Сибирской плиты и
Колывань-Томской складчатой области
7-Линии геологических разрезов,
на основе которых построена схема

Рисунок 41 – Схема структурно-
тектонического строения Обь-Томского
междуречья [110]

На основании анализа значений индекса неравновесности в каждой изучаемой скважине определен геохимический тип вод (в соответствии с классификацией С.Л. Шварцева [27]), что позволило сформировать однородные гидрогеохимические совокупности: алюминиево-кремнистых вод (воды, равновесные с каолинитом); кремнистых кальциево-магниевых вод (воды, равновесные с Са-Mg-монтмориллонитами); кремнистых карбонатно-кальциевых вод (воды, равновесные с кальцитом); кремнисто-натриевых вод (воды, равновесные с Na-монтмориллонитами) (рисунок 42, таблица 9).

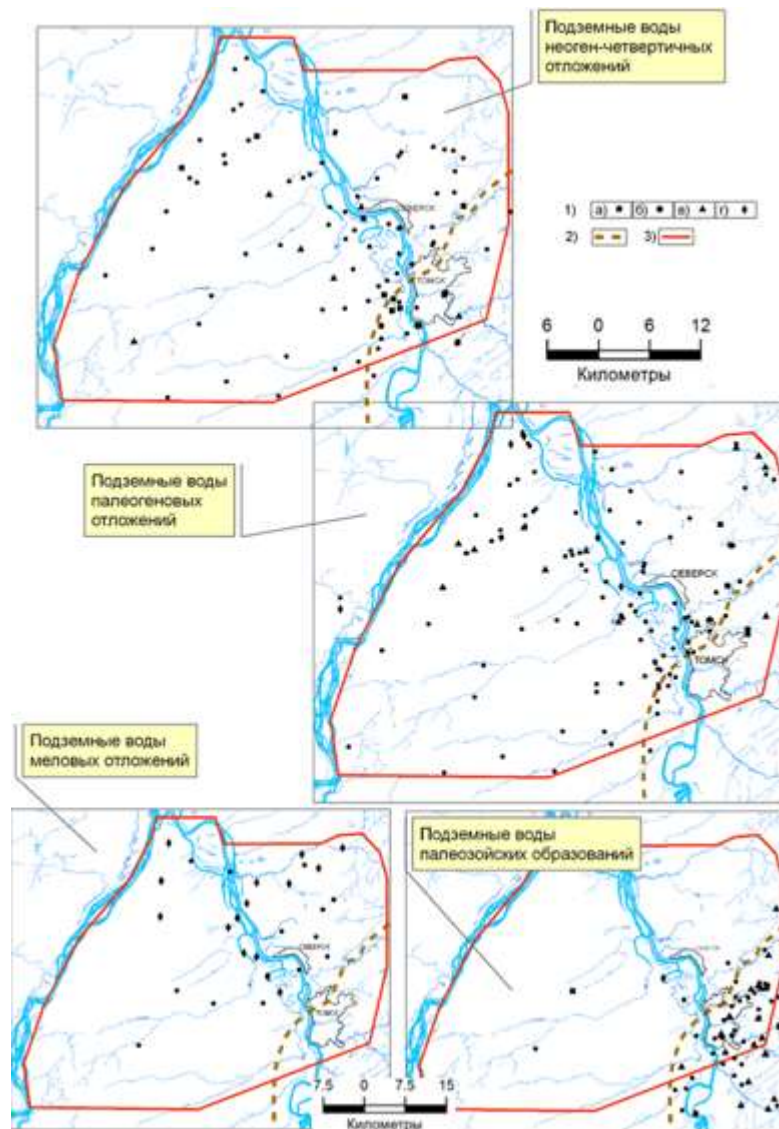


Рисунок 42 – Распространенность геохимических типов вод в водоносных комплексах

Условные обозначения: 1 – геохимические типы вод: а) алюминиево-кремнистые, б) кремнистые кальциево-магниевые, в) кремнистые карбонатно-кальциевые, г) кремнисто-натриевые; 3) граница между гидрогеологическими структурами; 4) контуры полигона «Томский»

Геохимические типы вод

Водовмещающие отложения (кол-во скважин)	геохимический тип воды	Необходимое химическое условие равновесие с	Кол-во скважин	
			шт	%
Неоген-четвертичные 93	алюминиево-кремнистый	каолинитом	15	16
	кремнистый кальциево-магниевый	Ca-Mg-монтмориллонитами	72	78
	кремнистый карбонатно-кальциевый	кальцитом	6	7
Палеогеновые 139	алюминиево-кремнистый	каолинитом	4	3
	кремнистый кальциево-магниевый	Ca-Mg-монтмориллонитами	115	83
	кремнистый карбонатно-кальциевый	кальцитом	13	9
	кремнисто-натриевый	Na-монтмориллонитами	7	5
Меловые 42	кремнистый кальциево-магниевый	Ca-Mg-монтмориллонитами	23	55
	кремнисто-натриевый	Na-монтмориллонитами	19	45
Палеозойские 67	алюминиево-кремнистый	каолинитом	2	3
	кремнистый кальциево-магниевый	Ca-Mg-монтмориллонитами	42	63
	кремнистый карбонатно-кальциевый	кальцитом	22	33
	кремнисто-натриевый	Na-монтмориллонитами	1	1

На основании точечных данных (геохимический тип вод был определен в каждой наблюдательной скважине), с помощью инструмента ArcGIS «Полигоны Тиссена» [46] построены схемы пространственного распространения геохимических типов вод в водоносных комплексах гидрогеоэкологического полигона «Томский».

На схемах распространения геохимических типов по стратиграфическим подразделениям (рисунок 43) видно, что алюминиево-кремнистые воды отмечаются на правобережье р. Томи и в структурах Колывань-Томской складчатой зоны. Кремнистые кальциево-магниевые воды занимают большую площадь территории полигона «Томский», это тенденция прослеживается во всех водоносных комплексах. Кремнисто-натриевые воды характерны для вод меловых отложений, а также встречаются на севере полигона «Томский» и в долине р. Томь в палеогеновых отложениях.

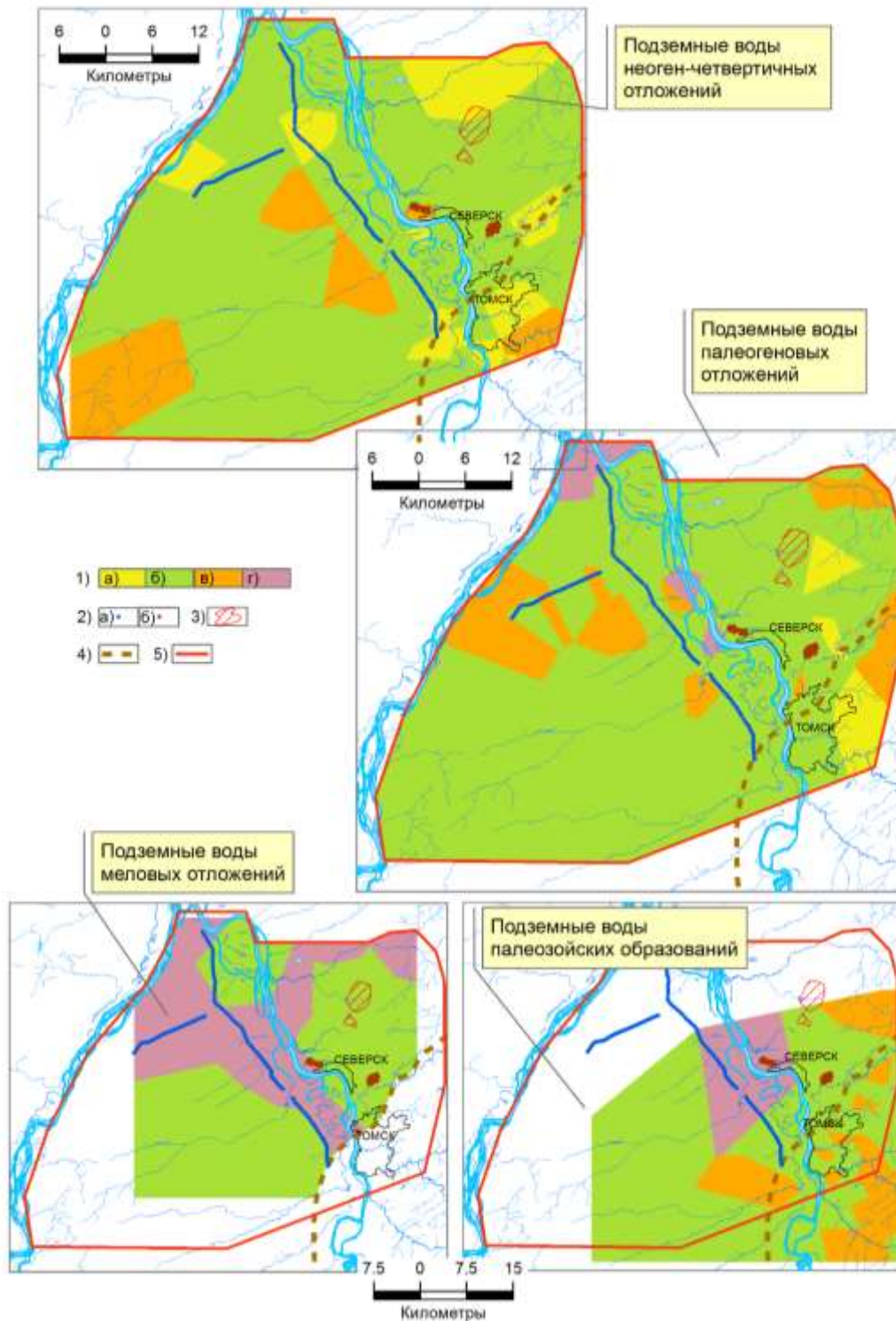


Рисунок 43 – Схематическая карта распространения геохимических типов вод в водоносных комплексах гидрогеоэкологического полигона «Томский»

Условные обозначения: 1 – геохимические типы вод: а) алюминиево-кремнистые, б) кремнистые кальциево-магниевые, в) кремнистые карбонатно-кальциевые; г) кремнисто-натриевые; 2 – эксплуатационные скважины водозаборов: а) Томского, б) Северского 3 – площадки ЖРО; 4 – граница между ЗСАБ и САГСО; 5 – контуры полигона «Томский»

Анализ полученных результатов (таблица 9, рисунок 42, 43) позволяют сделать вывод о том, что на территории гидрогеологического полигона «Томский» происходит формирование подземных вод различных геохимических типов, в том числе и принадлежащих одним и тем же водоносным комплексам. Причиной тому может быть время взаимодействия в системе вода-порода и интенсивность водообмена.

Доминирующим типом во всех водоносных комплексах изучаемой территории является формирование кремнистых кальциево-магниевых вод, их доля от общего числа скважин изменяется от 55% в водах меловых отложений до 83% в водах палеогеновых отложений. Кремнисто-натриевые воды характерны для меловых отложений, их доля составляет 45% от общего числа скважин этого комплекса. Доля алюминиево-кремнистых вод невелика, составляет 16% в водах неоген-четвертичных отложениях.

Обработка данных в однородных гидрогеохимических совокупностях проводилась традиционными для геохимии статистическими методами [9; 10; 132 и др.]. Параметры распределения химических элементов в подземных водах определялись с учетом закона распределения. При нормальном законе распределения оценивалось среднее арифметическое содержание химических элементов, оно бралось за фоновое содержание, и стандартное отклонение – допустимое колебание в пределах фоновой области. При соответствии логнормальному закону распределения оценивалось среднее геометрическое содержание химических элементов и стандартный множитель. Все операции по статистической обработке данных проводились в программе Statistica.

В каждой однородной выборке определены базовые параметры химических элементов – геохимической фон – для дальнейшей эколого-геохимической оценке, как в целом для территории полигона «Томский», так и для каждого водоносного комплекса отдельно (таблица 10, 11).

Анализ поведения химических компонентов в водах однородных гидрогеохимических совокупностях выявил определенные закономерности в их распределении (таблица 10). Отмечается увеличение значений общей минерализации, рН, кремния, натрия, кальция с последовательным переходом от алюминиево-кремнистых вод к кремнистым кальциево-магниевым водам, т.е. с увеличением времени взаимодействия системы вода-порода. Для железа общего и перманганатной окисляемости замечена обратная закономерность: более высокие концентрации их формируются на более ранней стадии формирования состава вод. Так, среднее содержание железа в алюминиево-кремнистых вод составляет 4,96 мг/л, а в кремнистых карбонатно-кальциевых вод – 2,5 мг/л.

Таблица 10.

Распространенность химических элементов в геохимических типах вод гидрогеоэкологического полигона «Томский», мг/л

Компоненты	алюминиево-кремнистый		кремнистый кальциево-магниевый		кремнистый карбонатно-кальциевый		кремнисто-натриевый	
	х	σ	х	σ	х	σ	х	σ
рН, ед. рН	7,0	0,3	7,4	0,2	7,8	0,2	7,4	0,3
Σ солей	260,0	72,0	454,3	1,3	628,6	92,2	631,0	1,4
ОП, мгО ₂ /л	2,48	1,45	2,32	1,55	2,18	1,72	2,00	0,65
NH ₄ ⁺	0,64	0,21	0,80	0,32	0,88	0,50	1,14	0,55
NO ₃ ⁻	0,58	2,82	0,60	2,40	0,59	2,65	0,84	3,12
NO ₂ ⁻	0,08	4,59	0,05	3,58	0,04	4,68	0,05	3,71
HCO ₃ ⁻	142,9	1,5	294,8	1,4	423,6	1,2	234,7	1,5
Cl ⁻	6,04	1,80	3,67	1,71	5,33	3,58	119,29	3,55
SO ₄ ²⁻	8,17	3,52	4,87	1,87	8,29	2,02	4,37	2,17
F ⁻	0,26	3,88	0,24	1,47	0,23	1,69	0,22	1,60
Ca ²⁺	41,9	16,4	65,3	1,4	102,0	1,2	48,5	2,1
Mg ²⁺	7,5	1,8	15,7	1,5	21,3	5,9	20,4	2,2
Na ⁺	6,9	1,5	9,6	1,6	12,7	1,8	102,4	2,0
K ⁺	1,3	2,1	1,3	1,5	1,4	1,3	5,0	1,6
Si	5,8	2,1	8,9	1,2	9,8	2,2	10,6	2,6
Fe _{общ}	5,10	2,35	4,35	2,03	2,51	2,09	4,39	1,88
Mn	0,23	3,33	0,24	1,89	0,28	2,23	0,15	1,95
Zn	0,03	3,71	0,02	3,45	0,01	3,51	0,01	3,16
Cu	0,02	4,17	0,02	2,90	0,01	6,11	0,01	5,50

х – среднее содержание; σ – стандартное отклонение

ОП – перманганатная окисляемость

Выявленная закономерность хорошо прослеживается также при анализе поведения элементов в геохимических разновидностях одного водоносного комплекса (таблица 11).

Таблица 11.
Распространенность химических элементов в геохимических типах вод неоген-четвертичных отложений полигона «Томский», мг/л

компоненты	геохимический тип								
	алюминиево-кремнистый (15)*			кремнистый кальциево-магниевый (72)			кремнистый карбонатно-кальциевый (6)		
	среднее	миним	максим	среднее	миним	максим	среднее	миним	максим
Σ солей	260,3	136,0	527,6	414,4	225,9	1049,0	575,0	511,0	1191,5
pH, ед. pH	7,07	6,52	8,08	7,40	6,60	7,78	7,7	7,5	8,1
ОП, мгО ₂ /л	2,74	1,64	5,76	2,70	1,16	24,34	2,7	1,8	6,0
NH ₄ ⁺	0,66	0,29	3,02	0,835	0,224	3,742	1,10	0,49	1,77
NO ₃ ⁻	1,70	0,22	6,20	0,695	0,02	10,607	0,60	0,43	0,76
NO ₂ ⁻	0,087	0,010	1,888	0,055	0,01	4,03	0,09	0,02	0,41
HCO ₃ ⁻	153,0	62,3	276,6	278,8	132,0	750,0	397,9	360,0	672,2
Cl ⁻	6,80	1,89	92,78	4,51	0,73	155,40	3,8	2,1	134,5
SO ₄ ²⁻	7,40	0,41	158,45	5,48	0,41	61,14	7,5	0,5	16,8
F ⁻	0,1770	0,04	7,97	0,2323	0,04	1,455	0,2457	0,142	0,655
Ca ²⁺	41,27	12,50	79,00	64,54	29,84	146,3	99,8	76,0	190,1
Mg ²⁺	6,94	2,43	21,07	14,1	3,65	51,1	18,1	8,5	29,7
Na ⁺	6,72	3,75	62,18	7,4	3,5	65,1	9,2	7,5	69,4
K ⁺	1,14	0,42	9,78	1,1	0,5	5,9	1,53	1,04	2,74
Si	6,00	2,84	8,72	7,8711	5,8333	11,521	7,9	5,8	10,6
Fe _{общ}	6,26	1,44	19,69	6,8	2,0	29,1	4,45	0,80	29,19
Mn	0,293	0,02	1,53	0,339	0,09	13,32	0,58	0,27	0,94
Al	0,354	0,008	0,658	0,198	0,014	1,87	0,72	0,03	1,42
Sr	0,321	0,0940	0,6300	0,334	0,106	0,732	0,43	0,43	0,43
Hg	0,0002	0,0001	0,0004	0,0049	0,0001	0,08	н.д.	н.д.	н.д.
Ni	0,0114	0,001	0,021	0,0123	0,001	0,116	0,006	0,004	0,025
Zn	0,044	0,0100	0,2630	0,0411	0,001	0,39	0,060	0,003	0,225
Cu	0,033	0,0030	0,1630	0,0255	0,001	0,273	0,049	0,002	0,073
Co	0,0023	0,0005	0,0072	0,0018	0,0004	0,035	0,0062	0,0062	0,006
Mo	0,0024	0,001	0,049	0,0131	0,001	0,380	0,0090	0,0070	0,011

(15)* в скобках указано количество скважин

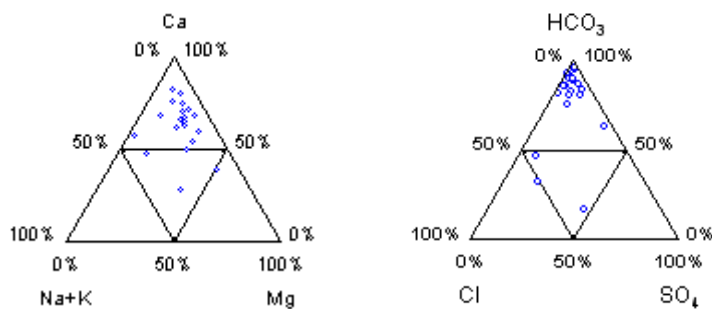


Рисунок 44а – Химический состав алюминиево-кремнистых вод

Алюминиево-кремнистые воды (воды равновесные с каолинитом) представлены 21 точкой опробования. По геологической стратификации данная совокупность в

основном представлена скважинами, вскрывающими воды неоген-четвертичного

комплекса. Воды пресные с минерализацией 260 мг/л, от 136 мг/л (скв.509р) до 527 мг/л (скв.4гр), в основном слабокислые и нейтральные с повышенным содержанием железа. По химическому составу воды гидрокарбонатно-кальциевые, доля гидрокарбонат-иона составляет в среднем более 80%-экв, кальция более 60%-экв (рисунок 44а). Для отдельных точек опробования характерны высокие содержания ряда компонент и показателей, что объясняется техногенным загрязнением верхнего водоносного комплекса.

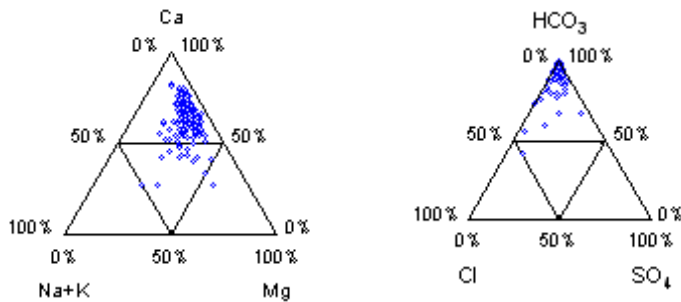


Рисунок 44б – Химический состав кремнистых кальциево-магниевых вод

рассматриваемые воды нейтральные и слабощелочные, по химическому составу в основном гидрокарбонатные кальциевые и гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, доля кальция составляет в среднем 65%-экв, магния 26%-экв, на долю гидрокарбонат-иона приходится более 93%-экв (рисунок 44б).

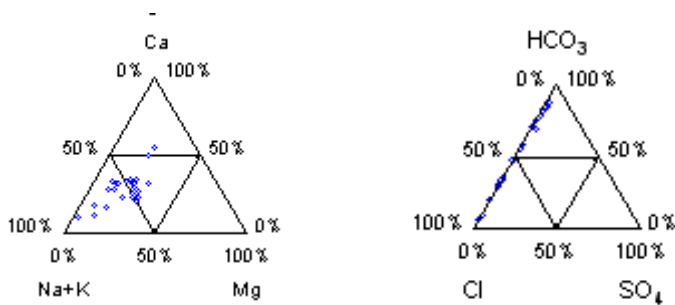


Рисунок 44в – Химический состав кремнисто-натриевых вод

Кремнистые кальциево-магниевые воды (равновесные с Са-Mg-монтмориллонитами) отличаются от алюминиово-кремнистых более высокой минерализацией, которая в среднем составляет 450 мг/л. По кислотнo-щелoчному балансу рассматриваемые воды нейтральные и слабощелочные, по химическому составу в основном гидрокарбонатные кальциевые и гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, доля кальция составляет в среднем 65%-экв, магния 26%-экв, на долю гидрокарбонат-иона приходится более 93%-экв (рисунок 44б).

Кремнисто-натриевые воды, (равновесные с Na-монтмориллонитами) выделенные в отдельную совокупность, отличаются от рассмотренных выше кремнистых кальциево-магниевых вод высокими

концентрациями натрия и хлора. По химическому составу это преимущественно хлоридные натриевые воды, нейтральные или слабощелочные, с повышенной минерализацией относительно других типов вод рассматриваемой территории

(рисунок 44в). Из 27 скважин, входящих в данную совокупность 8 имеют минерализацию более 1 г/л.

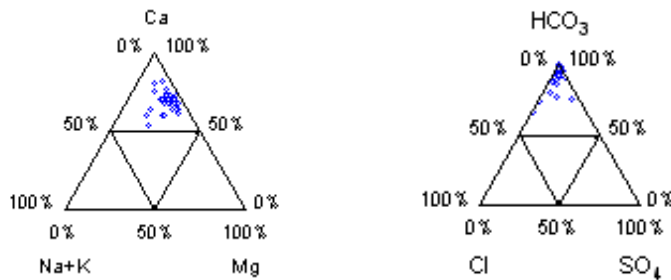


Рисунок 44г – Химический состав кремнистых карбонатно-кальциевых вод

Кремнистый карбонатно-кальциевый геохимический тип воды включает в себя 41 скважину. Это воды равновесные с кальцитом, со средней минерализацией более 600 мг/л, слабощелочные (рН изменяется от 7,5 до 8,5). В

катионном составе преобладает кальций, его доля в среднем составляет около 70%-экв, в анионном составе – гидрокарбонат-ион более 90%-экв (рисунок 44г).

Для дифференциации территории по уровням фоновых концентраций элементов в подземных водах подготовлен комплект схематических карт. Технология построения схематических карт фоновых концентраций состоит в следующем: необходимо объединить автономную таблицу, содержащую данные о фоновых концентрациях с полигональным классом геохимических типов вод и на основе этого создать тематические карты распространения фоновых значений химических элементов.

Так как, для изучаемой территории наиболее характерными во всех водоносных отложениях являются кремнистые кальциево-магниевые воды, то и фоновые значения компонент на большей площади соответствуют кремнистым кальциево-магниевым водам. В качестве приведена схематическая карта фоновых содержаний хлор-иона (рисунке 45).

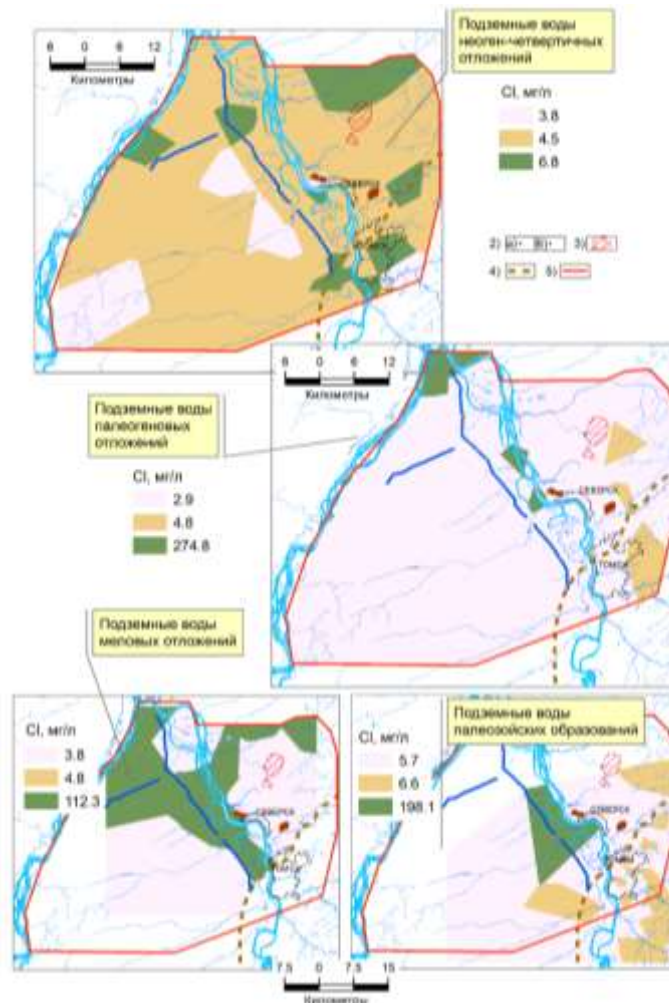


Рисунок 45 – Схематическая карта фоновых содержаний хлор-иона
 Условные обозначения: 2 – эксплуатационные скважины водозаборов: а) Томского, б) Северского 3) площадки ЖРО; 4) граница между ЗСАБ и САГСО; 5) - контуры полигона «Томский»

Таким образом, разработанная геоинформационная технология выделения однородных гидрогеохимических совокупностей в водоносных комплексах, с учетом взаимодействия системы вода – порода, позволила получить базовые параметры распределения химических элементов в подземных водах для дальнейшей эколого-геохимической оценки качества вод.

5.2 Коэффициент контрастности как мера аномальности

Технология эколого-геохимической оценки состояния среды предполагает сравнение имеющихся данных с какой-либо принятой нормой: кларки концентраций, ПДК, фоновые концентрации (А.И. Перельман, В.А. Алексеенко,

Н.С. Касимов, М.А. Глазовская, Ю.Е. Сает, и др.) [108;2; 32; 28 и др.]. Нами для эколого-геохимической оценки подземной воды, по аналогии с показателем контрастности (Н.И. Сафронов, А.П. Соловов др.) [126; 132 и др.], используемом при геохимических поисках для выявления слабых аномалий, применен коэффициент контрастности. Особенность коэффициента контрастности состоит в том, что при вычислении значений в точках, кроме сравнения с нормой (геохимическим фоном), учитываются и природные колебания, свойственные природным объектам, что позволяет сивелировать влияние естественных факторов на значение (формула 4).

$$KK = (C_i - C_\phi) / \sigma, \quad (4)$$

где КК – коэффициент контрастности; C_i – содержание элемента в точке опробования; C_ϕ – фоновое значение, вычисленное как среднее значение для каждой однородной гидрогеохимической совокупности; σ – стандартное отклонение.

В рассматриваемом случае коэффициент контрастности служит мерой слабой аномальности концентрации элемента относительно фона с учетом амплитуд свойственных ему природных колебаний.

В результате преобразований создается массив нормированных данных (коэффициентов контрастности), что позволяет систематизировать данные на выборки разной степени аномальности:

Значения	Коэффициент контрастности	Пределы концентраций химических элементов
Фоновые	от -1 до 1	$C_i \leq C_\phi \pm \sigma$
Минимально-аномальные	от 1 до 2 (-2 до -1)	$C_\phi + \sigma \leq C_i \leq C_\phi + 2\sigma$ $C_\phi - 2\sigma \leq C_i \leq C_\phi - \sigma$
Умеренно-аномальные	от 2 до 3 (-3 до -2)	$C_\phi + 2\sigma \leq C_i \leq C_\phi + 3\sigma$ $C_\phi - 3\sigma \leq C_i \leq C_\phi - 2\sigma$
Резко-аномальные	более 3 (менее -3)	$C_i > C_\phi + 3\sigma$ $C_i < C_\phi - 3\sigma$

Для каждого показателя качества воды в отобранных для исследования скважинах был определен коэффициент контрастности относительно базовых параметров и создан массив нормированных данных (рисунок 46).

Скважина	Горизонт	КК_ОП	КК_Сl	КК_SO ₄	КК_NH ₄	КК_NO ₃	КК_NO ₂	КК_Fe	КК_Mn	КК_Zn	КК_Cu	КК_F	КК_Мин	КК_рН
5ру	N-Q	5.35	7.09	2.07	4.83	2.33	2.31	2.22	6.23	0.84	2.36	0.86	2.06	-1.35
3ру	Pg	7.04	5.80	-0.52	6.27	1.99	1.00	1.73	4.92	0.99	1.83	0.66	2.26	-0.94
2Нпс	N-Q	0.11	4.66	3.64	9.16	-0.34	0.09	2.13	2.87	-0.95	-0.76	-0.88	1.87	0.45
ТМ-284/2	PZ	1.03	8.34	4.58	2.29	0.26	1.59	0.84	1.08	-1.40	-0.59	-2.24	3.51	0.19
5гр	N-Q	2.32	2.97	-0.39	11.35		-0.42	1.08	0.68	-0.79	-0.40	0.92	2.65	2.37
343р	N-Q	0.71	4.52	0.51	3.18	0.36	2.38	2.16	2.18	1.48	1.32	-0.13	1.25	-0.46
6ппо	N-Q	-0.46	-0.30	0.55	6.16			2.66	3.55	1.31	-1.10	1.18	3.01	-0.45
69р	N-Q	1.08	4.18	2.25	1.89	1.51	1.16	0.58	0.45	1.43	1.14	0.76	0.59	-1.08
ТМ-268	PZ	-1.26	6.72	4.40	1.44	1.55	0.88	0.25	0.54	-0.11	-0.59	-2.24	2.70	-0.33
66Ар	N-Q	-0.32	4.55	3.99	0.53	0.02	0.68	1.53	2.13	0.84	1.13	-0.91	0.88	-0.78
4гр	N-Q	0.05	4.75	2.35	1.24	0.95	0.07	1.17	1.05	-0.50	0.02	2.51	3.72	3.26
59/60	Pg		3.38	1.23	4.20	2.89	0.32	-0.42					1.17	-0.45
348р	K	0.27	1.48	1.29	1.58	-0.18	1.27	0.91	1.41	1.91	0.59	2.63	2.37	-1.19
260Ар	N-Q	1.59	1.58	0.85	1.50	-0.84	-0.73	1.42	1.11	1.22	2.30	-0.52	-0.38	-0.40
Е-189	N-Q	0.97	1.49	4.06	-1.54	-1.38	0.00	0.04	-0.73	-1.63	-2.93	4.61	-0.79	-0.45
Т-4	N-Q	1.83	2.54	0.36	1.32	0.16	0.63	3.33	1.07	-1.19	-0.57	-0.95	6.12	-1.25
353р	N-Q	0.09	3.32	1.59	2.67	0.38		1.09	-0.28	1.33	-2.28	0.07	1.46	0.25
9гр	Pg	-1.54	4.64	1.22	2.43	0.90	-0.32	0.68	0.20	-0.29	-0.89	1.62	1.36	1.97
344р	Pg	1.20	-1.07	0.70	0.42	2.10	1.17	1.44	1.01	1.74	1.22	-0.47	0.31	-0.05
47нто	N-Q	0.69	2.17	-1.39	3.12	-3.89	-0.55	0.37	1.17	0.81	1.10	2.12	-0.71	0.91
10ноп	Pg	0.85	0.28	-0.31	8.43		1.24	0.37	-0.47	0.62	0.60	-0.71	1.95	1.33
Е-180	N-Q	2.01	2.57	-1.69	2.06	-0.54	-0.18	1.72	1.26	-2.52	-2.93	-0.24	0.48	-0.40
346р	N-Q	0.68	0.56	0.66	-0.47	1.74	1.41	1.34	1.79	1.93	1.34	-0.48	-1.27	-0.74
449	PZ	-1.59	3.55	3.97	-1.67	2.02	-0.52	-1.46	0.49	-0.03	-1.63		1.63	-1.08
535р	Pg	-0.15	-0.15	0.67	4.90	0.70		1.50	1.62	-0.95	-2.28	1.43	0.90	0.45
357р	PZ	0.97	4.21	-0.98	3.59	1.37	-0.18	-0.53	-0.63	0.16	0.59	-0.34	-0.21	1.89

Рисунок 46 – Массив нормированных данных

Для большего числа элементов, обогащение вод которыми определяется природными условиями формирования (HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Si, Fe_{общ}, Mn, pH, и др.), значения КК обычно изменяются от -2 до 2. Более существенный разброс значений КК обнаружен у потенциальных элементов-загрязнителей подземных вод: перманганатной окисляемости, соединений азота, а также сульфатов, хлоридов и натрия.

Анализ полученных данных позволил выявить тенденцию увеличения числа встречаемости аномальных концентраций элементов в верхних горизонтах вод (таблица 12).

**Встречаемость аномальных значений содержаний химических элементов в
водоносных комплексах**

Компоненты	Количество аномальных точек							
	N-Q		Pg		K		PZ	
	Кол-во скв		Кол-во скв		Кол-во скв		Кол-во скв	
	шт	%	шт	%	шт	%	шт	%
Σ солей	11	12%	21	15%	5	12%	26	39%
pH	13	14%	17	12%	3	7%	15	22%
ОП	16	17%	20	14%	5	12%	4	6%
Si	8	9%	16	12%	7	17%	25	37%
Ca ²⁺	11	12%	19	14%	4	10%	23	34%
Mg ²⁺	5	5%	11	8%	7	17%	14	21%
Na ⁺	9	10%	21	15%	19	45%	20	30%
K ⁺	11	12%	20	14%	25	60%	8	12%
HCO ₃ ⁻	7	8%	22	16%	2	5%	28	42%
Cl ⁻	24	26%	18	13%	12	29%	23	34%
SO ₄ ²⁻	20	22%	10	7%	2	5%	25	37%
NH ₄ ⁺	31	33%	29	21%	3	7%	12	18%
NO ₃ ⁻	16	17%	25	18%	3	7%	13	19%
NO ₂ ⁻	20	22%	22	16%	4	10%	11	16%
Fe _{общ}	29	31%	26	19%	8	19%	5	7%
Mn	26	28%	12	9%	2	5%	10	15%
Zn	23	25%	13	9%	2	5%	3	4%
Cu	23	25%	21	15%	3	7%	4	6%
F	10	11%	18	13%	6	14%	10	15%
Общее кол-во точек	93	100	139	100	42	100	67	100

5.3 Выявление формирующихся очагов загрязнения

Проследить пространственные особенности обогащения вод, выделить участки разной контрастности по содержанию показателей в подземных водах позволяют унифицированные схемы, построенные по уровням коэффициента контрастности. Поскольку технология определения базовых параметров и коэффициентов контрастности учитывала повышенные природные фоновые содержания показателей, то на таких схемах явно обнаруживаются

формирующееся очаги загрязнения преимущественно техногенного происхождения.

Очаги преимущественно антропогенного загрязнения по значениям КК в подземных водах выделяются по уровням концентрации хлор-иона, нитрат-иона, ионов аммония, которые наиболее проявляются в пределах неоген-четвертичного водоносного комплекса (рисунок 47, 48, 49).

Общий фон повышенных, превышающих ПДК для питьевых вод, концентраций железа, марганца нивелируется при нормировании данных и поэтому на схемах более контрастно проявляются очаги, вероятнее всего, техногенного происхождения, особенно в водах неоген-четвертичных отложений (рисунок 50). В этих водах выделяются очаги техногенного происхождения для меди, цинка и других элементов (рисунок 51, 52).

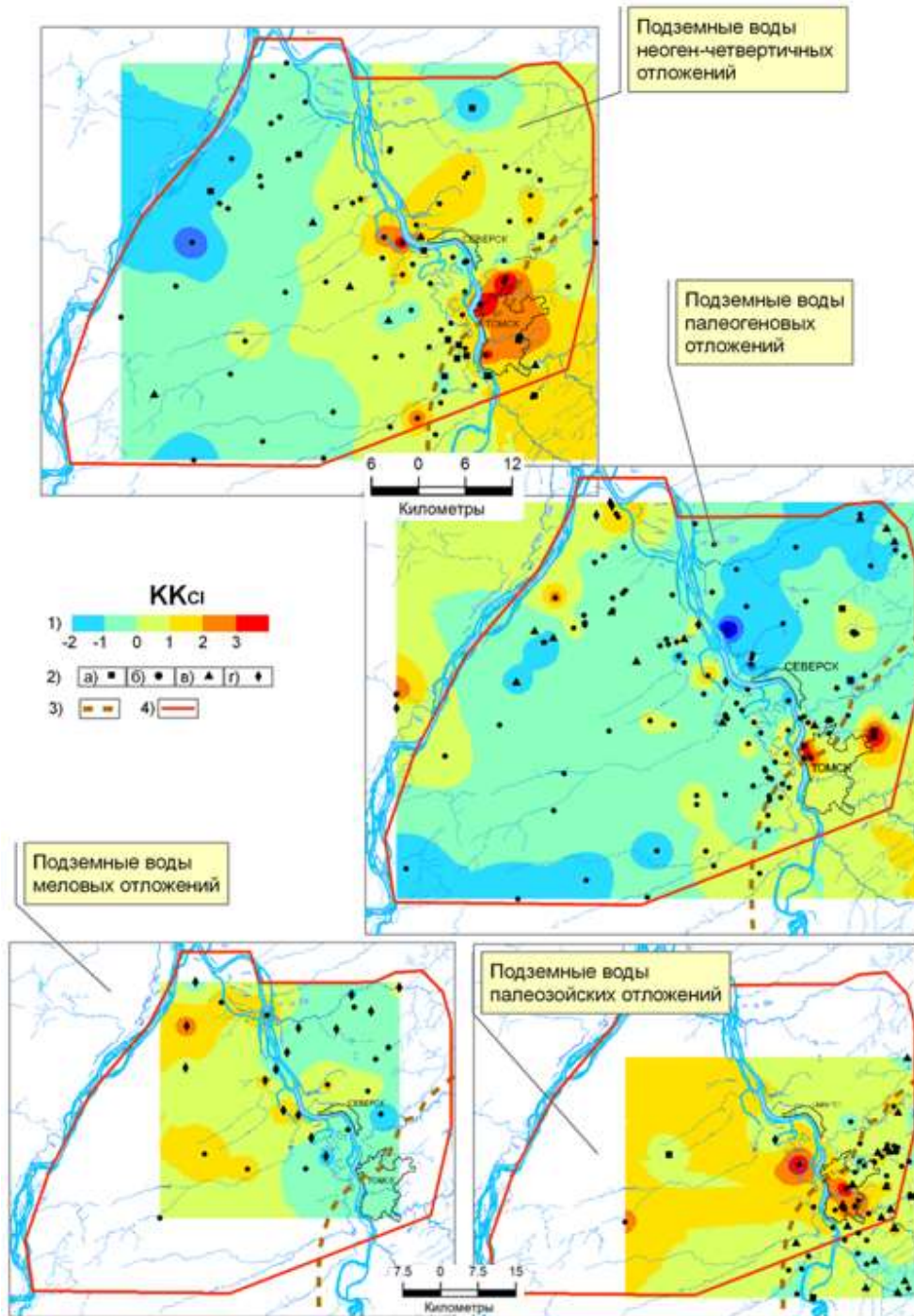


Рисунок 47 – Районирование территории по уровням концентрации хлор-иона в подземных водах полигона «Томский»

Условные обозначения: 1) величина коэффициента контрастности; 2) геохимический тип воды: а) алюминиево-кремнистых, б) кремнистый кальциево-магниевый, в) кремнистый карбонатно-кальциевый, г) кремнисто-натриевый 3) граница между гидрогеологическими структурами; 4) контуры полигона «Томский»

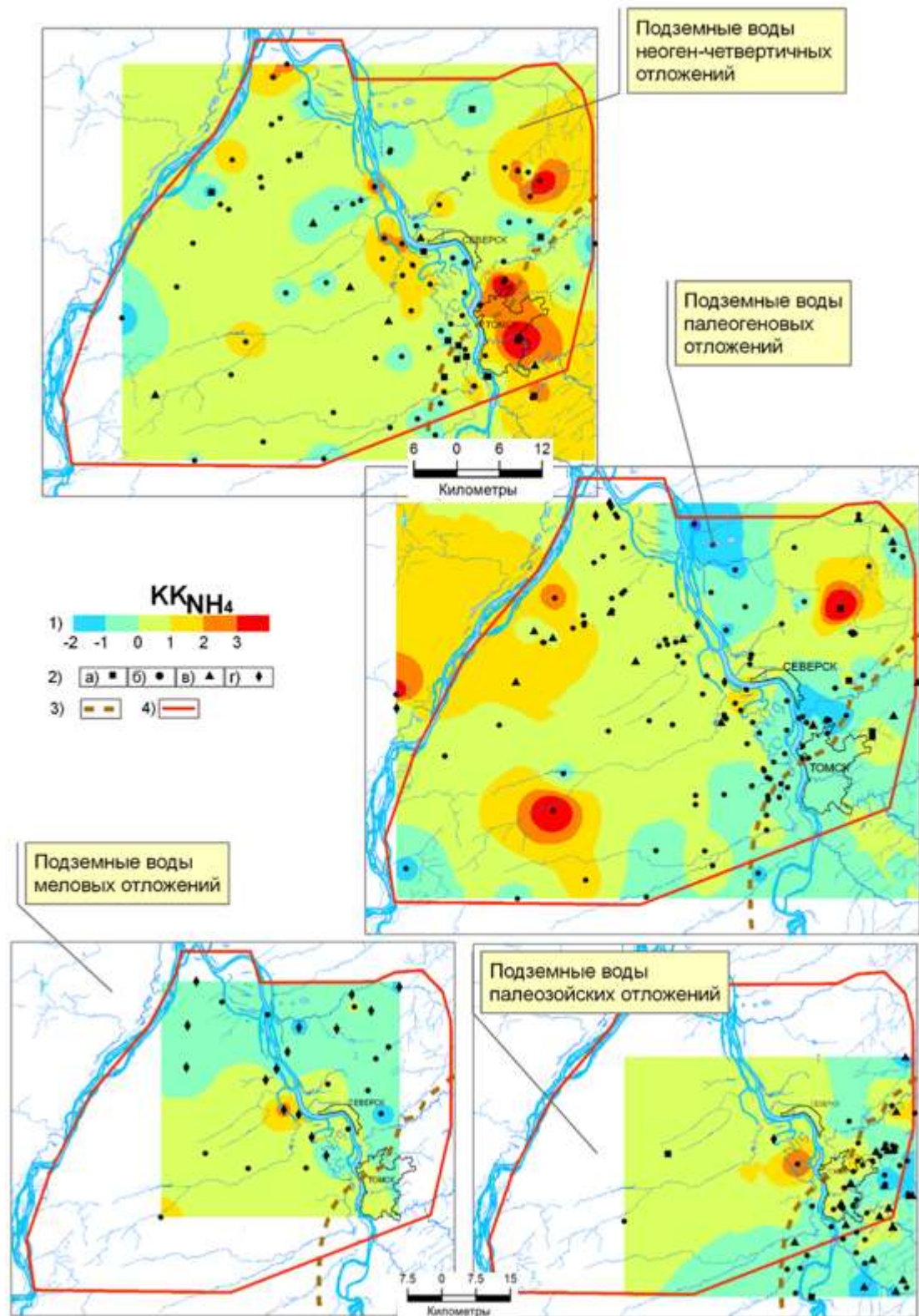


Рисунок 49 – Районирование территории по уровням концентрации ионов аммония в подземных водах полигона «Томский»

Условные обозначения: 1) величина коэффициента контрастности; 2) геохимический тип воды: а) алюминиево-кремнистых, б) кремнистый кальциево-магниевый, в) кремнистый карбонатно-кальциевый, г) кремнисто-натриевый 3) граница между гидрогеологическими структурами; 4) контуры полигона «Томский»

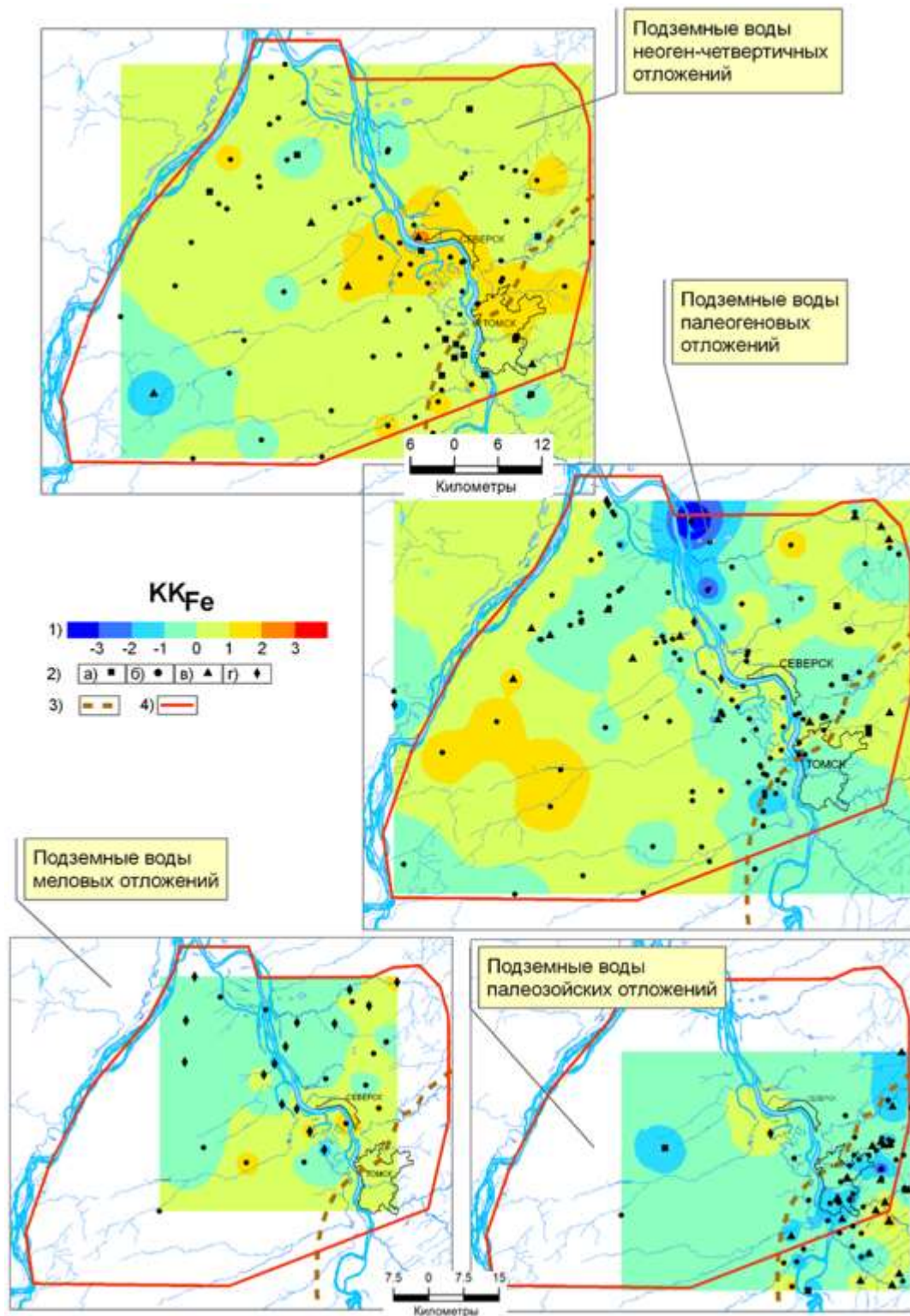


Рисунок 50 – Районирование территории по уровням контрастности железа
общего в подземных водах полигона «Томский»

Условные обозначения: 1) величина коэффициента контрастности; 2) геохимический тип воды: а) алюминиево-кремнистых, б) кремнистый кальциево-магниевоый, в) кремнистый карбонатно-кальциевый, г) кремнисто-натриевый 3) граница между гидрогеологическими структурами; 4) контуры полигона «Томский»

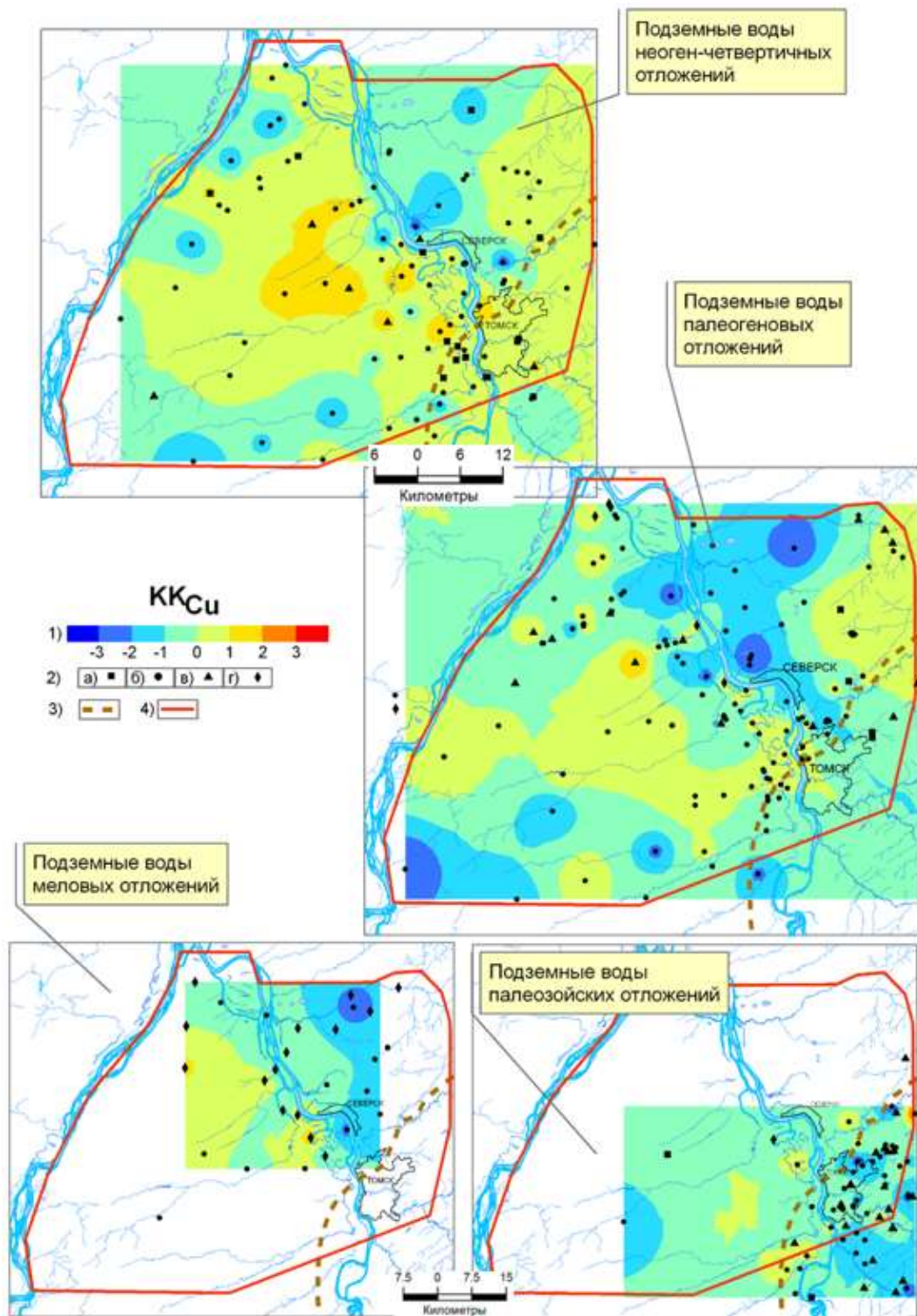


Рисунок 51 – Районирование территории по уровням контрастности меди в подземных водах полигона «Томский»

Условные обозначения: 1) величина коэффициента контрастности; 2) геохимический тип воды: а) алюминиево-кремнистых, б) кремнистый кальциево-магниевый, в) кремнистый карбонатно-кальциевый, г) кремнисто-натриевый 3) граница между гидрогеологическими структурами; 4) контуры полигона «Томский»

На основании проведенного анализа на территории полигона «Томский» были определены скважины, рекомендуемые для наблюдения в процессе мониторинга (рисунок 53).

Номер скважины	Глубина	Горизонт	Геохимический тип	SKK
5ру	17.1	aQIV	кремнистый кальцево-магниевый	36.5
3ру	46.5	P3nm	кремнистый кальцево-магниевый	32.2
2Нпс	24	2aQIII	кремнистый кальцево-магниевый	22.7
TM-284/2	80	C1	кремнистый кальцево-магниевый	20.0
5гр		1aQIII	алюминиево-кремнистый	19.3
343р	18.2	aQIV	кремнистый кальцево-магниевый	18.8
69р	23.9	2aQIII	кремнистый кальцево-магниевый	16.4
TM-268	80	C1-2bs	кремнистый кальцево-магниевый	15.8
66Ар	23	2aQIII	кремнистый кальцево-магниевый	15.4
6пшо	28.56	Q	кремнистый кальцево-магниевый	15.4
4гр		1aQIII	алюминиево-кремнистый	14.2
348р	250	K2smn	кремнисто-натриевый	13.3
10ноп	150	P2jr	алюминиево-кремнистый	12.4
20р	13.9	aQIV	кремнистый кальцево-магниевый	12.2
59/60	30	P3lt	кремнистый кальцево-магниевый	12.0
9гр		P3nm	алюминиево-кремнистый	11.7
260Ар		1aQIII	кремнистый кальцево-магниевый	11.6
47нто	42	alQEkс	кремнистый кальцево-магниевый	11.6
346р		aQIV	кремнистый кальцево-магниевый	11.4
Т-4	29.3	aQIV+faQ(II-III)+N	кремнистый карбонатно-кальцевый	11.3
Е-189		aQIV+faQ(II-III)+N	кремнистый кальцево-магниевый	11.2
344р	87	P3nm	кремнисто-натриевый	11.0
357р		C1	кремнистый кальцево-магниевый	10.9
535р	178.3	P2jr	кремнистый кальцево-магниевый	10.8
449р	9.6	aQIV	кремнистый карбонатно-кальцевый	10.8
450р	123	C1-2bs	кремнистый кальцево-магниевый	10.7
277р		alQEkс	кремнистый кальцево-магниевый	10.6
353р	21	aQIV	кремнистый кальцево-магниевый	10.5
333р		aQIV	кремнистый кальцево-магниевый	10.2
449	160	C1	кремнистый кальцево-магниевый	10.0
514	135	C1	кремнистый карбонатно-кальцевый	9.9
385рз	240	K2smn	кремнисто-натриевый	9.9
128рз		P2jr	кремнистый кальцево-магниевый	9.8
Е-180		aQIV+faQ(II-III)+N	кремнистый кальцево-магниевый	9.6
458р	200	P2jr	кремнисто-натриевый	9.4
Т-01715	47	C1	кремнистый кальцево-магниевый	9.3
300р		K2smn	кремнистый кальцево-магниевый	9.3
27ноп	24	alQEkс	кремнистый кальцево-магниевый	9.0
521р	195.4	P2jr	кремнистый кальцево-магниевый	9.0
19р		P3nm	кремнистый кальцево-магниевый	9.0

Рисунок 53 – Перечень скважин рекомендуемых для наблюдения

Таким образом, использование коэффициента контрастности как меры слабой аномальности содержаний элементов относительно их фона с учетом амплитуд собственных им природных колебаний, позволяют проследить пространственные особенности обогащения подземных вод. Поскольку КК – величина безразмерная, имеется возможность идентифицировать очаги потенциального загрязнения подземных вод по отдельным элементам и давать суммарную оценку потенциального загрязнения вод по аддитивным ореолам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной диссертационной работе решаются задачи применения геоинформационных технологий для обработки и интерпретации результатов эколого-геохимического мониторинга компонентов природной среды гидрогеоэкологического полигона «Томский». В результате проведенного исследования:

1. Создана геоинформационная система «ГГЭП Томский». Основу введенной первичной информации в базу данных составляют результаты эколого-геохимических исследований, проведенных на территории полигона «Томский». Все данные систематизированы и хранятся в структурированной взаимосвязанной форме от точки наблюдения до различных видов анализа по отдельным компонентам природной среды, что позволяет, используя технологию геоинформационных систем, комплексно оценивать и прогнозировать изменения природной среды под воздействием природных и антропогенных факторов.
2. Разработана технология оценки эколого-геохимического состояния подземных вод на основе выделения и анализа их геохимических типов.
3. Выделены разные геохимические типы подземных вод: алюминиево-кремнистые (воды, равновесные с каолинитом); кремнистые кальциево-магниевые (воды, равновесные с Са-Mg-монтмориллонитами); кремнистые карбонатно-кальциевые (воды, равновесные с кальцитом); кремнисто-натриевые (воды, равновесные с Na-монтмориллонитами), в том числе и среди вод одного стратиграфического подразделения, которые рассматриваются как однородные геохимические совокупности при определении базовых параметров состава вод. Преобладающим является кремнистый кальциево-магниевый геохимический тип.
4. Определены базовые параметры геохимического фона элементов. Дальнейшие исследования эколого-геохимического состояния природных вод гидрогеоэкологического полигона «Томский» необходимо строить на системном анализе распределения значений показателей.
5. Выделены зоны различной интенсивности трансформации почв и снегового покрова с помощью геоинформационных технологий.

6. Применение методов нормирования позволило сивелировать проявление избыточных природных концентраций элементов, и обосновать выделение очагов антропогенного загрязнения вод элементами. Скважины с выявленным потенциальным загрязнением рекомендованы для наблюдения в процессе мониторинга подземных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликованная

1. Алексеев, Ю.В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. – Ленинград: ВО «Агропромиздат». Ленинград. отд-ние, 1987. – 142 с.
2. Алексеенко, В.А. Экологическая геохимия: учебник / В.А. Алексеенко – М.: Лотос, 2000. – 627 с.
3. Алексеенко, В.А. Металлы в окружающей среде. Почвы геохимических ландшафтов Ростовской области: учебное пособие / В.А. Алексеенко, В.В. Суворинов, В.Ап. Алексеенко, А.Б. Бованова. – М: Логос, 2002. – 312 с.
4. Архангельский, В.В. Уран, торий и редкоземельные элементы как индикаторы антропогенного воздействия на почвы юга Томской области / В.В. Архангельский, Л.П. Рихванов // Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства. Гидрогеология и инженерная геология. Геоэкология и мониторинг геологической среды: Мат. Межд. науч.-техн. конф. / Томский политех. Ун-т. – Томск, 2001. – С. 124-127.
5. Атмосферные загрязнения Томска и их влияние на здоровье населения / А.И. Воробьева, М.А. Медведев [и др.]. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1992. – 192 с.
6. Аэрозоли в природных планшетах Сибири / А.П. Бояркина, В.В. Байковский, Н.В. Васильев [и др.]. – Томск: Изд-во ТГУ, 1993. – 157 с.
7. Барабошкина, Т.А. Методические подходы к вопросу оценки экологического геохимического состояния литосферы / Т.А. Барабошкина, Д.Г. Зилинг // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. – 2000. – №3. – С. 78.
8. Белоусова, А. П. Экологическая гидрогеология: учебник для вузов / А.П. Белоусова, И.К. Гавич, А.Б. Лисенков [и др.]. – Москва: ИКЦ Академкнига, 2006. – 397 с.

9. Беус, А.А. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых / А.А. Беус, С.В. Григорян. – М.: Недра, 1975. – 280 с.
10. Беус, А.А. Геохимия окружающей среды / А.А. Беус, Л.И. Грабовская, Н.В. Тихонова. – М.: Недра, 1976. – 168 с.
11. Бланула, В.И. Интегральное экологическое районирование: концепция и методы / В.И. Бланула. – Новосибирск: Наука, 1993. – 158 с.
12. Богатырев, И. Интегрированная система сбора и хранения эколого-геохимических данных для задач государственного мониторинга геологической среды Мурманской области. ГИС для устойчивого развития территорий / И. Богатырев, Н. Глазнева, Е. Семенов // Материалы Международной конференции. – Апатиты, Россия, 22-24 августа 2000 г. – Апатиты: Издательство Кольского научного центра РАН, 2000. – Т. 2. – С. 52-59.
13. Богданов, Н.А. Экологическое зонирование: научно-методические приемы (Астраханская область): монография / Н.А. Богданов. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – 176 с.
14. Большаков, В.А. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами / В.А. Большаков. – М.: ВНИИ информационных и технико-экономических исследований по сельскому хозяйству, 1985. – 39 с.
15. Бочаров, В.Л. Экологическая геохимия и микробиология зон искусственного литогенеза / В.Л. Бочаров, А.Т. Епринцев, А.Я. Смирнова, В.В. Чурикова, М.Н. Бугреева. – Воронеж: Изд-во Воронеж ун-та, 1999. – 154 с.
16. Бочаров, В.Л. Эколого-математические исследования техногенно-природных геосистем / В.Л. Бочаров, В.И. Кашникова, Л.Н. Строгонова. – Воронеж: ИПЦ Воронеж ун-та, 2007. – 115 с.
17. Бочевер, Ф. М. Защита подземных вод от загрязнения / Ф. М. Бочевер, Н. Н. Лапшин, А. Е. Орадовская. – Москва: Недра, 1979. – 254 с.
18. Буренков, Э.К. Принципы работы системы «Экоскан». В кн. Комплексная эколого-геохимическая оценка техногенного загрязнения

окружающей природной среды / Э. К. Буренков, Л. Н. Гинзбург. М., 1997. – С. 9-12.

19. Василенко, В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 185 с.

20. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.

21. Винокуров, Ю.И. Разработка геоинформационных систем для решения региональных проблем природопользования [Электронный ресурс] / Ю.И. Винокуров, С.Л. Широкова, К.В. Воробьев, С.Г. Яковченко, Н.М. Ковалевская, О.В. Ловцкая, И.С. Постнова // Институт водных и экологических проблем СО РАН. – 1998. – Режим доступа: http://www-sbras.nsc.ru/win/gis_new/lib/reports/98/b98.html (дата обращения: 14.06.2016).

22. Врублевский, В.А. Геологическое строение области сопряжения Кузнецкого Алатау и Колывань-Томской складчатой зоны / В.А. Врублевский, М.П. Нагорский, А.Ф. Рубцов, Ю.Ю. Эрвье [и др.] – Томск: Изд-во ТГУ, 1987. – 96 с.

23. Гаррелс, Р.М. Растворы, минералы, равновесия / Р.М. Гаррелс, Ч.Л. Крайст. – М.: Мир, 1968. – 368 с.

24. География Томской области / под ред. А.А. Земцова. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1991. – 138 с.

25. Геоинформатика: в двух книгах: учебник / под ред. В.С. Тикунова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Академия, 2008.

26. Геоинформационные технологии и математические модели для мониторинга и управления экологическими и социально-экономическими системами: коллективная монография / кол. авторов: Ю.И. Шокин, Н.В. Барановский, Е.П. Янкович [и др.]; под ред. И.Н. Ротановой. – Барнаул: Пять плюс, 2011. – 250 с.

27. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода: в 5 томах. Т. 2: Система вода-порода в условиях зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев [и др.]; отв. ред. тома Б.Н. Рыженко – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 389 с.
28. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин [и др.]. – М: Недра, 1990. – 336 с.
29. Геохимия почв и здоровье детей Томска / Л.П. Рихванов, С.Г. Нарзулаев, Е.Г. Языков [и др.]. – Томск. Изд-во ТГУ, 1993. – 141 с.
30. Герасько, Л.И. Почвы Томского Приобья / Л.И. Герасько, Г.Е. Пашнева // Генезис и свойства почв Томского Приобья. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1980. – С. 32-83.
31. Гидрогеохимические методы поисков рудных месторождений: сборник / под общ. ред. В.В. Поликарпочкина, П.А. Удодова. – Новосибирск: Изд-во Наука, 1982. – 199 с.
32. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР: учебное пособие / М.А. Глазовская. – М.: Высш. шк., 1988. – 328 с.
33. Глазовский, Н.Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере / Н.Ф. Глазовский // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. – М.: Наука, 1982. – С. 86-95.
34. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования – М.: Минздрав России, 2003.
35. Головин, А.А. Выявление и оценка загрязнения окружающей среды токсичными химическими элементами на основе многоцелевого геохимического картирования / А.А. Головин, Н.Г. Гуляева, О.П. Кальева, Б.А. Колотов // Разведка и охрана недр. – 2012. – № 7. – С. 57-61.
36. Головин, А.А. Современные подходы к эколого-геохимической оценке урбанизированных территорий / А.А. Головин, С. Б. Самаев, Л.С. Соколов // Прикладная геохимия, вып. 6, М.: ИМГРЭ, 2004. – С. 51-62.
37. ГОСТ 27065-86 Качество воды. Термины и определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 8 с.

38. ГОСТ 2761-84 Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора. – М.: Стандартиформ, 2006. – 11 с.

39. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Западно-Сибирская. Подсерия Обская. Лист О-45-XXVI (Итатка). Объяснительная записка: Составители: Черникова Т.И., Рубцов А.Ф., Дубинская О.А., Скогорева А.С., Добрачева Ю.А., Капишникова О.П., Домаренко В.А., Янкович Е.П. – Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2008. – 154 с.

40. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Кузбасская. Лист О-45-XXXII (Тайга). Объяснительная записка: Составители: Ахмадшин Н.Ю., Дубинская О.А., Капишникова О.П., Скогорева А.С., Рубцов А.Ф., Уткин Ю.В., Черникова Т.И., Черняева Е.И., Черняев Е.В., Шамахов А.Ф., Домаренко В.А., Янкович Е.П. – Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2008. – 207 с.

41. Грязнов, О.Н. Методические основы геоэкологического районирования урбанизированных территорий (на примере Воронцовского рудного поля, Сев. Урал) / О.Н. Грязнов, В.Д. Брусницын, В.Г. Бордокова // Известия Уральского государственной горно-геологической академии. Сер. Геология и геофизика. – 2002. – Вып. 15. – С. 243-252.

42. Грязнов, О.Н. Природные источники загрязнения природной и окружающей среды / О.Н. Грязнов // Екатеринбург, Изв. Урал. гос. горн. ун-та. – 2014. – Вып. 2 (34). – С. 11-18.

43. Грязнов, О.Н. Эколого-геохимическая оценка природных компонентов окружающей среды Среднего Урала / О.Н. Грязнов, А.И. Семячкова // Геология и разведка (Известия вузов). – 2003. – № 2. – С. 89-91.

44. Гусева, Н.В. Геохимические типы природных вод междуречья Ензорьяхи и Юньяхи (восточный склон Полярного Урала) / Н.В. Гусева, Ю.Г. Копылова, А.А. Хвощевская // Водные ресурсы. – 2013. – Т. 40. – № 4. – С. 386-395.

45. Гусева, Н.В. Подвижность химических элементов в системе водоненные отложения / Н.В. Гусева, Ю.Г. Копылова, Е.А. Солдатова // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 45-50.
46. ДеМерс, М.Н. Географические информационные системы / М.Н. ДеМерс. – М.: Изд-во Дата+, 1999. – 490 с.
47. Дюкарев, А.Г. Земельный фонд, его качественный состав и использование / А.Г. Дюкарев // Природные ресурсы Томской области. – Новосибирск: Наука, Сиб.отд-ние, 1991. – С. 7-25.
48. Дюкарев, А.Г. Природно-ресурсное районирование Томской области / А.Г. Дюкарев, Н.Н. Пологова, Е.Д. Лапшина [и др.]. – Томск: Изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 1997. – 40 с.
49. Евсеева, Н.С. География Томской области. (Природные условия и ресурсы) / Н.С. Евсеева. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2001. – 223 с.
50. Единые требования к составу, структуре и форматам представления в НРС Роснедра комплектов цифровых материалов листов Государственных геологических карт масштабов 1:1000000 и 1:200000. Версия 1.4. / ред. А.Ф. Морозов, О. В. Петров. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 245 с.
51. Ермашова, Н.А. Геохимия подземных вод зоны активного водообмена Томской области в связи с решением вопросов водоснабжения и охраны: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук в форме доклада: 04.00.06 / Ермашова Надежда Александровна. – Томск, 1998. – 44 с.
52. Ермашова, Н.А. Природный гидрогеохимический фон верхней гидродинамической зоны Среднего Приобья как основа оценки ее экологического состояния / Н.А. Ермашова // Обской вестник. – 1999. – № 3-4. – С.106-112.
53. Ермашова, Н.А. Состав атмосферных осадков Обь-Томского междуречья / Н.А. Ермашова // Материалы Толстихинских чтений. – СПб., 1998. – С. 87-90.

54. Жорняк, Л.В. Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв: автореф. дис. ...кан. геол-мин наук: 25.00.36 / Жорняк Лина Владимировна. – Томск, 2009. – 22 с.
55. Жуков, Е.И. Компьютерное геоэкологическое картографирование / Е.И. Жуков, Б.А. Новаковский, А.Н. Чумаченко – М.: Научный мир, 1999. – 128 с.
56. Зверев, В.П. Роль подземных вод в миграции химических элементов / В.П. Зверев. – М.: Недра, 1982. – 182 с.
57. Зейлер, М. Моделирование нашего мира. Руководство ESRI по проектированию базы геоданных / М. Зейлер – ESRI, 1999. – 254 с.
58. Зуев, В.А. Химический состав подземных вод Томского водозабора / В.А. Зуев [и др.] // Обской вестник, 1999, № 3-4. – С. 69-77.
59. Зятькова, Л.К. Структурная геоморфология Западной Сибири / Л.К. Зятькова – Новосибирск: Наука, 1979. – 200 с.
60. Иванов, А.О. Состояние приземного слоя атмосферного воздуха Обь-Томского междуречья по итогам снеговых съёмок 2001-2005 гг. / А.О. Иванов // Шестое Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: матер. совещ. – Томск, 14-16 сентября 2005 г. / Ин-т мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. – Томск, 2005. – С. 133-135.
61. Иванов, В.В. Экологическая геохимия элементов. Справочник в 6-и томах / В.В. Иванов. – М.: «Экология», 1994-1997.
62. Информационные бюллетени о состоянии геологической среды на территории Томской области за 1995–2003 гг. Выпуски 1–9. Ответственный исполнитель Макушин Ю.В. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 1996–2004.
63. Кадастр возможностей / под ред. Б.В. Лукутина. – Томск: изд-во НТЛ. 2002. – 280 с.
64. Карпик, А.П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: монография / А.П. Карпик. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 260 с.

65. Картография. Вып. 4. Геоинформационные системы: Сб. переводных статей / Сост., ред. и предисл. А.М. Берлянт, В.С. Тикунов. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 1994. – 350 с.
66. Кирюхин, В.А. Общая гидрогеология: учебник для вузов/ В.А. Кирюхин, А.И. Коротков, А.Н. Павлов – Л.: Недра, 1988. – 359 с.
67. Климат Томска / под ред. С.Д. Кошинского, Л.И. Трифионовой, Ц.А. Швер. –Л.: Гидрометеоздат, 1982. – 171 с.
68. Колоколова, О.В. Геохимия подземных вод района Томского водозабора: автореф. дис. ...канд. г.-м. наук: 25.00.07 / Колоколова Ольга Васильевна. – Томск: ТФ ИГНГ СО РАН, 2003. – 21 с.
69. Комплексная эколого-геохимическая оценка техногенного загрязнения окружающей природной среды / Э.К. Буренков, Л.Н. Гинзбург, Н.К. Грибанова [и др.]. – М.: Изд-во «ПРИМА-ПРЕСС», 1997. – 72 с.
70. Комплексное экологическое картографирование / Под ред. Н.С. Касимова. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1997. – 147 с.
71. Коробкин, В.А. Режим, формирование и использование подземных вод Обь-Томского междуречья: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / Коробкин Виталий Акимович. – Томск, 1986. – 23 с.
72. Королев, В.А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем: учебное пособие / В.А. Королев, под ред. В.Т. Трофимова. – М.: КДУ, 2007. – 416 с.
73. Королев, Ю.К. Общая геоинформатика. Часть 1. Теоретическая геоинформатика / Ю.К. Королев. – М.: СП ООО «Дата+», 1998.
74. Косинова, И.И. Эколого-геохимическая оценка урбанизированных территорий на примере г. Петрозаводска / И.И. Косинова, Н.В. Крутских, Н.Б. Лаврова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2011. – № 2. – С. 204-211.
75. Костина, Н.В. Информационная система region: 25 лет развития и практического применения / Н.В. Костина // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015. – №4-1 С.15-24.

76. Копылов, И.С. Геоэкологическая оценка состояния природной среды Коми-Пермяцкого округа [Электронный ресурс] / И.С. Копылов, Л.И. Даль // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2. – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22561> (дата обращения: 22.06.2016).

77. Копылова, Ю.Г. Гидрогеохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: учебное пособие / Ю.Г. Копылова, Н.В. Гусева – Томск: Изд-во ТПУ, 2013 – 179 с.

78. Кочуров, Б.И. Геоэкологическое картографирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б.И. Кочуров, Д.Ю. Шишкина, А.В. Антипова, С.К. Костовска; под ред. Б.И. Кочурова. – М.: Изд. центр Академия, 2009. – 192 с.

79. Кочуров, Б.И. Геоэкологическое картографирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б.И. Кочуров, Д.Ю. Шишкина, А.В. Антипова, С.К. Костовска; под ред. Б.И. Кочурова. – 2е издание. – М.: Издательский центр "Академия", 2012. – 224 с.

80. Кочуров, Б.И. Картографирование экологических ситуаций (состояние, методология и перспективы) / Б.И. Кочуров, Н.А. Жеребцова // География и природные ресурсы. – 1995. – № 3. – С. 18-27.

81. Крайнов, С.Р. Актуальные проблемы геохимико-экологического изучения качества подземных вод хозяйственно-питьевого назначения / С.Р. Крайнов // Отечественная геология. – 1993. – № 7. – С. 102-111.

82. Левин, А. Структурирование геоданных при построении геоинформационных систем [Электронный ресурс] / А. Левин. – Режим доступа: <http://www.geofaq.ru/art/master/gis2db.htm> (дата обращения: 22.06.2015)

83. Леонтьева Е.В. Геоэкологическая модель оперативного регулирования качества добываемой подземной воды: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Леонтьева Елена Васильевна. – Белгород, 2014. – 169 с.

84. Летувнинкас, А.И. Антропогенные геохимические аномалии и природная среда: учебное пособие / А.И. Летувнинкас. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 290 с.

85. Лурье, И.К. Основы геоинформатики и создание ГИС. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Часть 1 / И.К. Лурье, под ред. А.М. Берлянта. – М.: Издательство ООО "ИНЭКС-92", 2002. – 140 с.
86. Методические рекомендации по выявлению и оценке загрязнения подземных вод / В.М. Гольдберг, С.Г. Мелькановицкая, В.М. Лукьянчиков [и др.] – М.: ВСЕГИНГЕО, 1988. – 76 с.
87. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 111 с.
88. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 66 с.
89. Методические рекомендации. Учет и оценка природных ресурсов и экологического состояния территорий различного функционального использования / А.А. Головин, И.А. Морозова, Н.Я. Трефилова, Н.Г. Гуляева. – М.: ИМГРЭ, 1996. – 88 с.
90. Методические рекомендации по гидрогеологическим исследованиям и прогнозам для контроля за охраной подземных вод. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1980.
91. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200000 (второго издания). Версия 1.2. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 163 с.
92. Митракова, О.В. Информационно-аналитическая система мониторинга подземных вод / О.В. Митракова, Д.Б. Аракчеев, С.Л. Пугач, Г.В. Устинова // Разведка и охрана недр. – 2007. – №7. – С.14-20.
93. Митракова, О.В. Методика и технология создания информационно-аналитических систем мониторинга недропользования: автореф. дис. ... док. технич. наук: 25.00.35 / Митракова Ольга Владимировна. – М., 2011. – 50 с.
94. Митчелл, Э. Руководство по ГИС анализу. Часть 1: Пространственные модели и взаимосвязи / Э. Митчелл; пер. с англ. – Киев, ЗАО ЕСОММ Со; Стилос, 2000. – 198 с.

95. Многоцелевое геохимическое картирование – основа оценки загрязнения окружающей среды и экологического мониторинга / Э.К. Буренков, Л.Н. Гинзбург, А.А. Головин и др. // Разведка и охрана недр. – 1998. – № 6. – С. 17-21.
96. Московская кольцевая автодорога (МКАД) [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.ngic.ru/ngic_pr_2.html (дата обращения: 22.10.2016).
97. Назаров, И.М. Использование сетевых снегосъемок для изучения загрязнения снежного покрова / И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман, О.С. Ренне // Метеорология и гидрология. – 1978. – № 7. – С. 74-78.
98. Наймушина, О.С. Геохимическая эволюция природных вод нижней части бассейна реки Томи: автореф. дис. ...канд. г.-м. наук: 25.00.07 / Наймушина Ольга Сергеевна. – Томск: ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН, 2014. – 22 с.
99. Невидимова, О.Г. Использование ГИС-технологий в региональном анализе природно-климатических опасностей (на примере Томской области) / О.Г. Невидимова, Е.П. Янкович // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2009. – т. 17 – № 12 – С. 305-309.
100. Невидимова, О.Г. Оценка рисков водопользования на территории Томской области / О.Г. Невидимова, Е.П. Янкович // Известия Томского политехнического университета. – 2011 – Т. 318 – №. 1 – С. 154-158.
101. Непряхин, Е.М. Почвы Томской области / Е.М. Непряхин. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1977. – 437 с.
102. Новаковский, Б.А. Геоинформационные технологии для создания и использования интегральных карт оценки состояния компонентов природной среды [Электронный ресурс] / Б.А. Новаковский, А.И. Прасолова, С.В. Прасолов // Материалы международной конференции «Интеркарто-6». – Апатиты, 22–24 авг. 2000 г. – Апатиты, 2000. – Режим доступа: <http://www.gisa.ru/981.html> (дата обращения: 21.07.2016).
103. Обобщённые перечни предельно допустимых концентраций вредных веществ в почве. Приложения 1, 2 к письму ЦСИ Госкомприроды РСФСР от 18.12.90 № ЦС-299/15-73. – М.: ЦСИ Госкомприрода, 1990. – 6 с.

104. Островский, В.Н. Концептуальные вопросы геоэкологии / В.Н. Островский, Л.А. Островский // Отечественная геология. – 1993. – № 7. – С. 97-102.

105. Отчет по направлению "ГИС–технологии" в 1998 г. [Электронный ресурс]. – ИВЭП СО РАН, 1998. – Режим доступа: http://www-sbras.nsc.ru/win/gis_new/lib/reports/98/b98_sort.html (дата обращения: 12.06.2016).

106. Оценка качества природных вод различного назначения: мед. указания к выполнению лабораторных работ / Р.Ф. Зарубина, Ю.Г. Копылова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 115 с.

107. Патент № 2298212 Российская Федерация, МПК G 01 V9/00. Способ определения участков загрязнения ураном окружающей среды / Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Барановская Н.В, Янкович Е.П.; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. – № 01200504848; Заявлено 04.07.2005; Опубликовано 27.04.07. – 6 с.

108. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта / А.И Перельман. – М.: Высшая школа, 1975. – 342 с.

109. Погорелов, А.В. Геоинформационное обеспечение геоэкологического мониторинга на шельфе Азовского моря [Электронный ресурс] / А.В. Погорелов, Е.Г. Ловцов, Е.Н. Киселев, Е.В. Куркина, Б.Д. Елецкий // ArcReview. – 2008. – № 4 (47). – Режим доступа: https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=1179&SECTION_ID=34 (дата обращения: 14.07.2016).

110. Попов, В.К. Формирование и эксплуатация подземных вод Обь-Томского междуречья / В.К. Попов, В.А. Коробкин, Г.М. Рогов [и др.] – Томск: Изд-во ТГАСУ «Печатная мануфактура», 2002. – 143 с.

111. Попов, В.К. Эколого-экономические аспекты эксплуатации подземных вод Обь-Томского междуречья / В.К. Попов, В.А. Коробкин, О.Д. Лукашевич [и др.]. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2003. – 173 с.

112. Почвенная карта Томской области. Масштаб 1:1000000. – Новосибирск, 1989.

113. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [Электронный ресурс]: гигиен. нормативы ГН 2.1.5.1315-03 // Справочная правовая система «Консультант плюс». База данных «Законодательство». Информ. банк «Версия проф» (дата обращения: 11.07.2016).

114. Принципы и методика геохимических исследований при прогнозировании и поисках рудных месторождений: методические указания / ред. А.А. Смыслов. – Л.: Недра, 1979. – 248 с.

115. Природные ресурсы Томской области / Дюкарев А.Г., Львов Ю.А., Хмелев В.А. и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 176 с.

116. РД 52.04.1.86. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – М., 1991. – 693 с.

117. Рихванов, Л.П. Общие и региональные проблемы радиозэкологии / Л.П. Рихванов. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 384 с.

118. Рихванов, Л.П. Особенности геохимического поля в районе расположения предприятий ядерно-топливного цикла / Л.П. Рихванов // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: матер. Межд. научно-практ. конф. / Семипалатинский гос. ун-т. – Семипалатинск, 2000. – С. 226-228.

119. Рихванов, Л.П. Тяжелые металлы в почвах: учебное пособие / Л.П. Рихванов, Е.Г. Языков, С.И. Сарнаев. – Томск: Изд-во ТПУ, 1993. – 83 с.

120. Родионов, Д.А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков / Д.А. Родионов; под редакцией чл.-корр. АН СССР Ю.В. Прохорова. – М. Недра, 1968. – 158 с.

121. Ротанова, И.Н. Ландшафтно-картографический анализ экологических проблем и ситуаций: на примере Алтайского края: дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.01 / Ротанова Ирина Николаевна. – Барнаул, 1996. – 148 с.

122. Ротанова, И.Н. Разработка геоинформационных и веб-ресурсов в природоохранных целях на примере ГИС- и веб-атласа ООПТ Алтае-Саянского экорегиона / И.Н. Ротанова, Н.В. Репин, Л.Е. Попова // Современные технологии в деятельности ООПТ: Материалы международной научно-практической

конференции (избранное). – Курортный поселок Нарочь, Беларусь, 12-16 мая 2014 г. – ООО "Аль Пак", 2014. – С. 76-85.

123. Савичев, О.Г. Водные ресурсы Томской области / О.Г. Савичев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 248 с.

124. Савичев, О.Г. Реки Томской области: состояние, охрана и использование / О.Г. Савичев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 201 с.

125. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества – М.: Минздрав России, 2002 – 62 с.

126. Сафронов, Н.И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений / Н.И. Сафронов. – Л.: Недра, 1971.

127. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015662947 РФ. Систематизация подземных вод по геохимическим типам на основе исследования состояния равновесия вод с алюмосиликатными минералами / Янкович Е.П. (РФ), заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет; заявка № 2015619861 от 19.10.2015 г.; – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 07.12.2015 г., опубл. 20.01.2016, Бюлл. №1.

128. Сорокина, Е.П. Анализ регионального геохимического фона как основа эколого-геохимического картирования равнинных территорий: на примере северной части Западно-Сибирского региона / Е.П. Сорокина, Н.К. Дмитриева, Л.К. Карпов // Прикладная геохимия. Экологическая геохимия. – 2001. – № 2. – С. 316-338.

129. Сорокина, Е.П. Дифференциация геохимического фона природной среды на основе ландшафтно-геохимического районирования территории / Е.П. Сорокина, Н.К. Дмитриева, Л.К. Карпов, Н.Ю. Трихалина // География и природные ресурсы. – 2007. – № 2. – С. 143-151.

130. Состояние геологической среды (недр) на территории Томской области в 2003 г.: информационный бюллетень / под ред. В.А. Льготина. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2004. – вып. 6. – 180 с.

131. Состояние недр на территории Томской области за 2015 г.: информационный бюллетень АО «Томскгеомониторинг». – Вып. 21. – Томск: ОАО «СтандАрт», 2016. – 136 с.

132. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П. Соловов, А.Я. Архипов, В.А. Бугров и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

133. Стурман, В.И. Экологическое картографирование: учебное пособие / В.И. Стурман. – М.: Аспект Пресс, 2003. – 251 с.

134. Томлинсон, Р. Думая о ГИС. Планирование географических информационных систем: руководство для менеджеров: пер. с англ. / Р. Томлинсон; пер., ред. Т. Кублицкая; науч. ред. В. Гохман. – М.: ДАТА+, 2004. – 325 с.

135. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования / А.А. Головин, А.И. Ачкасов, К.Л. Волочкович [и др.]; под ред. Э.В. Буренкова. – М., ИМГРЭ, 1999.

136. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования / А.А. Головин, А.И. Ачкасов, К.Л. Волочкович [и др.]; под ред. Э.В. Буренкова. – М., ИМГРЭ, 2002.

137. Трофимов, В.Т. Экологическая геология: монография / В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг. – М.: Геоинформмарк, 2002. – 415 с.

138. Трофимов, В.Т. Геологическое пространство как экологический ресурс и его трансформация под влиянием техногенеза: монография / В.Т. Трофимов, Н.Д. Хачинская, Л.А. Цуканова [и др.]; под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Издательство «Академическая наука» – Геомаркетинг, 2014. – 566 с.

139. Хайбрахманов, Т.С. Картографическая база данных для обеспечения эколого-геохимических исследования городских территорий: дис. ... канд геогр. наук: 25.00.33 / Хайбрахманов Тимур Салаватович. – М., 2014. – 163 с.

140. Хромых, В.В. Природное районирование / В.В. Хромых // География Томской области. – Томск, 1988. – С.137-170.

141. Шатилов, А.Ю. Вещественный состав и геохимическая характеристика атмосферных выпадений на территории Обского бассейна:

автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.36 / Шатилов Алексей Юрьевич. – Томск, 2001. – 24 с.

142. Шварцев, С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Недра, 1998. – 366 с.

143. Шварцев, С.Л. Изменение химического состава природных вод в зоне техногенеза юго-восточной части Западной Сибири / С.Л. Шварцев [и др.] // Геохимия техногенных процессов. – М.: Наука, 1990. – С. 21-29.

144. Шинкаренко, В.П. Изучение состава водорастворенных газов в подземных водах водозабора на юге Томской области / В.П. Шинкаренко, Ю.В. Макушин, Е.П. Янкович, Н.Г. Наливайко, А.И. Кармалов // Труды Томских ученых по системам водоснабжения отв. ред. В.И. Черкашин. – Томск Издательский дом «Цхай и к"», 2005. – С. 207-213.

145. Широкова, С.Л. Геоинформационные системы в управлении природопользованием / С.Л. Широкова // Сибирский экологический журнал. – 2003. – № 2. – С. 209-220.

146. Шитиков, В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

147. Чупина, Д.А. Оценка факторов экологической опасности в озерной системе Большое Яровое на основе ГИС-технологий / Д.А. Чупина, В.Д. Страховенко // Приоритетные направления развития науки и технологий: докл. X Всероссийской научно-технической конф., Инновационные технологии. – Тула, 2011. – С. 68-72.

148. Экогеохимия Западной Сибири / М.А. Росляков, В.П. Ковалев, Ф.В. Сухоруков [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1996, 248 с.

149. Экоинформатика. Теория. Практика. Методы и системы. / Под ред. академика РАН В.Е. Соколова. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 520 с.

150. Экология Северного промышленного узла г. Томска. Проблемы и решения / под ред. А.М. Адама. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1994. – 260 с.

151. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, Н.В. Барановская, ... , Е.П. Янкович [и др.] – Томск: 2006. – 216 с.

152. Язиков, Е.Г. Геохимические особенности природных сред специализированных полигонов Томского района / Е.Г. Язиков, Л.П. Рихванов, В.А. Льготин [и др.] // Докл. II Межд. науч.-практ. конф. «Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде» Т.2. – Семипалатинск: Семипал. ГУ, 2002. – С. 448-454.

153. Язиков, Е.Г. Особенности элементного состава солевых образований питьевых вод юга Томской области / Е.Г. Язиков, Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, Е.П. Янкович // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2009. – № 4. – С. 375-381.

154. Язиков, Е.Г. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв / Е.Г. Язиков, А.В. Таловкая, Л.В. Жорняк. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 264 с.

155. Язиков, Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: дис. ... докт. геол.-мин. наук: 25.00.36. / Язиков Егор Григорьевич. – Томск, 2006. – 423 с.

156. Янкович, Е. П. Геоинформационные технологии для оценки эколого-геохимического состояния территории Томского района / Е.П. Янкович, Л.П. Рихванов // Геоинформационное картографирование для сбалансированного территориального развития. – Иркутск, 2006. – С. 216-218.

157. Янкович, Е.П. Интегральная оценка рисков водопользования средствами ARCGIS [Электронный ресурс] / Е.П. Янкович, О.Г. Невидимова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/pdf/2014/6/945.pdf> (дата обращения: 18.10.2016).

158. Янкович, Е.П. Информационная среда для эколого-геохимической оценки состояния подземной гидросферы / Е.П. Янкович, А.С. Янкович // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2012. – Т. 2. – № 3. – С. 183-186.

159. Янкович, Е.П. Использование геоинформационных технологий для обработки эколого-геохимических данных / Е.П. Янкович, Л.П. Рихванов // Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании. – Павлодар, 2006. – С. 347-352.

160. Янкович, Е.П. К методике расчета содержания элементов в депонирующих средах / Е.П. Янкович // Вычислительные технологии Т.13, часть III. – 2008. – С. 393-397.

161. Янкович, Е.П. К оценке эколого-геохимического состояния подземных вод (на примере полигона «Томский») / Е.П. Янкович, Г.А. Жульмина, В.А. Льготин, Ю.В. Макушин // Подземная гидросфера: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. – Иркутск: Изд-во «Географ». – 2012. – С. 280-284.

162. Янкович, Е.П. Оценка индивидуального канцерогенного риска для здоровья населения г. Томска по данным геохимического состава пылеаэрозольных выпадений / Е.П. Янкович, Н.А. Осипова, Е.Г. Язиков, А.В. Таловская // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2011. – №. 5 – С. 67-74.

163. Янкович, Е.П. Распространенность геохимических типов подземных вод Обь-Томского междуречья [Электронный ресурс] / Е.П. Янкович, Ю.Г. Копылова, Н.В. Гусева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 107(03). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/03/pdf/96.pdf> (дата обращения: 18.10.2016).

164. Янкович, Е.П. Распространенность химических элементов в геохимических типах вод Обь-Томского междуречья [Электронный ресурс] / Е.П. Янкович, Ю.Г. Копылова, К.С. Янкович // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/122-21236> (дата обращения: 19.10.2016).

165. Янкович, Е.П. Химический состав подземных вод как фактор риска для здоровья населения (на примере Томского района Томской области)

[Электронный ресурс] / Е.П. Янкович, Н.А. Осипова, В.А. Льготин [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/pdf/2014/3/524.pdf> (дата обращения: 19.06.2016).

166. <http://tmsk.gks.ru> (дата обращения: 22.05.2016).

167. ArcGIS Desktop II: Инструменты и функциональность: Лекции и упражнения. ESRI. Перевод Data+. – ООО DATA+, Москва, 2009. – 518 с.

168. ArcGIS 9. Geoprocessing Commands Quick Reference Guide. / ESRI (Ed.). – ESRI Press, Redlands, 2009. – 175 p.

169. Acosta, J.A. Multivariate statistical and GIS-based approach to evaluate heavy metals behavior in mine sites for future reclamation / J.A. Acosta, A. Faz, S. Martínez-Martínez, R. Zornoza, D.M. Carmona, S. Kabas // Journal of Geochemical Exploration. – No 109. – 2011. – Pp. 8-17.

170. Arctur, D. Designing Geodatabase Case Studies in GIS Data Modeling / D. Arctur, M. Zeiler // ESRI Press. – 2004.

171. Baumann, J. Roger Tomlinson on GIS history and future/ J. Baumann // GEOconnexion International. – 2009. – Pp.46-48.

172. Cidu, R. Impact of past mining activity on the quality of groundwater in SW Sardinia (Italy) / R. Cidu, R. Biddau, L. Fanfani // Journal of Geochemical Exploration. – Vol. 100 (2/3). – 2009. – Pp.125-132.

173. Coppock, J.T. The history of GIS / J.T. Coppock, D.W. Rhind // Geographic Information Systems, First Edition. Vol. 1. – 1991. – Pp. 21-43.

174. Gold, Ch.M. What is GIS and what is not? / Ch.M. Gold // Transactions in GIS. No 10(4). – 2006. – Pp.505-519.

175. Fischer M., Getis A. (Eds.) Handbook of Applied Spatial Analysis: Software Tools, Methods and Applications: монография / M.Fischer, A. Getis (Eds.). – Springer-Verlag, Berlin, 2010. – 828 p.

176. Heywood, I. An Introduction to Geographical Information Systems Pearson Education Limited / I. Heywood, S. Cornelius, S. Carver. – 2011. – 480 pp.

177. Kennedy, M.D., Goodchild M.F., Dangermond J. *Introducing Geographic Information Systems with ArcGIS: A Workbook Approach to Learning GIS.* / M.D. Kennedy, M.F. Goodchild, J. Dangermond. – John Wiley & Sons, Inc., 2013. – 672 p
178. Lebedev, S.V. *Ecological assessment of the Saint-Petersburg environment according to monitoring data of content of long-lived radionuclide (³H, ¹⁴C) and heavy metals in the snow cover* / S.V. Lebedev, M.A. Kul'kova, E.M. Nesterov, L.M. Zarina // *Water and Ecology.* – Vol. 1. – 2015. Pp. 63-80.
179. Maguire, D.J. *GIS, Spatial Analysis, and Modeling* / D.J. Maguire, M. Batty, M.F. Goodchild (Eds.) // ESRI Press. – Redlands, California, 2005. – 480 pp.
180. Ogunkunle, C.O. *Contamination and spatial distribution of heavy metals in topsoil surrounding a mega cement factory* / C.O. Ogunkunle, P.O. Fatoba // *Atmospheric Pollution Research.* – Vol. 5. – Issue 2. – 2014. – Pp. 270-282.
181. Shekar, S. *Encyclopedia of GIS* / S. Shekar, H. Xiong (eds.). – Springer, 2008, – 1391 pp.
182. Steiniger, S. *Hay Free and open source geographic information tools for landscape ecology* / S. Steiniger, Geoffrey J. // *Ecological Informatics.* – No 4. – 2009. Pp. 183-195.
183. Tomlin, C. D. *Geographic information systems and cartographic modeling* / C.D. Tomlin. – New Jersey: Prentice-Hall, – 1990. – 249 pp.
184. Tomlinson, R.F. *Geographic Information Systems: The New Frontier* / R.F. Tomlinson. – 1984.
185. Velasco, V. *GIS-based hydrogeochemical analysis tools (QUIMET)* / V. Velasco, I. Tubau, E. Vázquez-Suñè, R. Gogu, D. Gaitanaru // *Computers and Geosciences.* – Vol. 70. – 2014. – Pp. 164-180.
186. Velasco, V. *GIS-based hydrogeological database and analysis tools* / V. Velasco, R. Criollo, E. Vázquez-Suñè, M. Alcaraz, A. Serrano, A. Garcia-Gil, R. Gogu // *Environmental Modelling & Software.* – 2013.
187. Velasco, V. *GIS-Based Software Platform for Managing Hydrogeochemical Data* / V. Velasco, E. Vázquez-Suñé, M. Alcaraz, A. Serrano-Juan,

I. Tubau, X. Sánchez-Vila, D. Fernández-García, T. Garrido, J. Fraile // Handbook of Environmental Chemistry. – Vol. 43. – 2016. – Pp. 91-115.

188. Wang, D. Distribution of anthropogenic cadmium and arsenic in arable land soils of Hainan, China / D. Wang, Z. Dang, H. Feng, R. Wang // Toxicological and Environmental Chemistry. – Vol. 97. – Issue 3-4. – 2015. – Pp. 402-408.

189. Wojda, P. An object-oriented hydrogeological data model for groundwater projects / P. Wojda, S. Brouyère // Environmental Modelling & Software. – Vol. 43. – 2013. – Pp. 109-123.

190. Yankovich E. Analysis of spatial distribution of trace elements in soils of Tomsk region using GIS technology / E. Yankovich, J. Makuchin, V. Lgotin, V. Shinkarenko // Proceedings of the International symposium on Trace elements in the food chain // Working Committee on Trace Elements of the Complex Committee, SZTE AOK Nyomda. – Hungary, Budapest, 25–27 May 2006. – Budapest, 2006. – Pp. 176-180.

191. Yankovich, E.P. Ecogeochemical characteristics of underground water of Ob-Tom Interfluve (Russia) / E.P. Yankovich, K.S. Yankovich, V.A. Lgotin, G.A. Gulmina // International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2015): Hydrogeology, Engineering Geology and Geotechnics: Conference Proceedings, Albena, June 18-24, 2015. – Sofia: STEF92 Technology Ltd, 2015 – Vol. 1-2 – Pp. 269-276.

192. Yankovich E. Estimation of Environmental Health Risk of the Tomsk Population from Chemical Exposure / E. Yankovich, N. Osipova, E. Yazikov, A. Talovskaya // 3rd International Symposium on Trace Elements in the Food Chain Deficiency or Excess of Trace Elements in the Environment as a Risk of Health (TEFC2009) – Budapest, Hungarian Academy of Sciences (HAS), 21-23 may 2009. – Budapest: 2009. – Pp. 56-60.

193. Yankovich, E. P. Heavy metals in the air and their adverse effects on human being health / E.P. Yankovich, N.A. Osipova, E.G. Yazikov, A.V. Talovskaya // 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST – 2012): Proceedings: in 2

vol., Tomsk, September 18-21, 2012. – Tomsk: TPU Press, 2012 – Vol. 1 – Pp. 153-156.

194. Yankovich, E.P. Methods of Statistical Control for Groundwater Quality Indicators / E.P. Yankovich, O.G. Nevidimova, K.S. Yankovich // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Vol. 132. – 2016. – Pp. 1-5.

195. Yankovich, E.P. Public Health Risk Conditioned by Chemical Composition of Ground Water / E.P. Yankovich, N.A. Osipova, K.S. Yankovich, I.A. Matveenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Vol. 33. – 2016. – Pp. 1-6.

Фондовая

196. Альшанский, А.М. ГЭИК с гидрогеологическим и инженерно-геологическим доизучением листа О-45-XXXI масштаба 1:200000. Отчет Южного отряда за 1993-99 гг. / А.М. Альшанский, Н.Г. Альшанская. – Томск, Фонды ГУПР ТО – 2001, 2 кн., 1п. (граф. прил.)

197. Варюгина, А.Г. Переоценка эксплуатационных запасов подземных вод Северо-восточного месторождения (для водоснабжения Психиатрической больницы и п. Сосновый Бор) / А.Г. Варюгина, Ю.В. Макушин и [др.]. – Томск, ТГФ, 2004.

198. Герасимов, В.Я. Томское месторождение подземных вод. (Окончательный отчет Обь-Томской и Таганской партий за 1968-1974г.г.) / В.Я.Герасимов, В.Д. Мокренко, Муратов М.И. [и др]. – Томск: Томская КГРЭ – 1974. – 408 с.

199. Ермашова, Н.А. Обобщение материалов по химическому составу питьевых подземных вод в связи с повышенным содержанием в них железа, марганца и других специфических для региона компонентов в пределах юго-восточной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / Н.А. Ермашова, Б.Е. Никонов // Отчет гидрогеохимической партии по работам 1976-82гг. // Фонды ГУПР ТО; Инв. №2622. – Томск, 1983.

200. Зуев, В.А. Эколого-геохимическая оценка состояния и качества подземных вод Томского водозабора. Отчет о НИР / В.А. Зуев, В.Я. Бычков; под ред. С.Л. Шварцева. – Томск: Томский политехнический университет, 1994.

201. Накопление вредных веществ в природных образованиях Северного промышленного узла г. Томска: отчет о НИР / рук. Л.П. Рихванов – Томск: ТПУ, 1993. – 428 с.

202. Организация гидрогеологических исследований и режимных наблюдений на профиле Томский водозабор полигон жидких радиоактивных отходов (РАО) СХК. Отчет по работам в рамках договора с Комитетом по экологии и природных ресурсов от 14.01.94 г. / отв. исполнитель А.М. Альшанский. – Томск, ТГРЭ, 1995.

203. Организация гидрогеологических исследований и режимных наблюдений на профиле Томский водозабор полигон жидких радиоактивных отходов СХК (3 этап). Отчет по договору с Государственным комитетом экологии и природных ресурсов Томской области от 05.09.95 г. / отв. исполнитель Ю.В. Макушин. – Томск: ТГРЭ, ОГУП ТЦ Томскгеомониторинг, 1998.

204. Оценка качества среды обитания человека на юге Томской области с целью возможного выделения радиационного фактора заболеваемости: отчет о НИР (заключит.) / рук. Л.П. Рихванов; исполн.: Язиков Е.Г., Ершов В.В. – Томск: ТПУ 1996. – 159 с.

205. Переоценка эксплуатационных запасов подземных вод Томского месторождения. Отчет по договору № 35-нт / отв. исполнитель Ю.В. Макушин – Томск, 2005.

206. Прогнозная оценка ресурсов подземных вод и перспектив расширения и организации хозяйственно-питьевого водоснабжения Томского района в пределах Томь-Колыванской складчатой зоны»: отчет / Г.Л. Плевако, Ю.В. Макушин [и др.]. – Томск: Филиал ОАО «Томскнефтегазгеология» Томская геологоразведочная экспедиция, ОГУП ТЦ Томскгеомониторинг, 2002. – 215 с.

207. Программа ведения государственного мониторинга состояния недр на территории Томской области» в рамках контрактов № 1-К/2001 от 20.03.2001г. с КНР по Томской области и № 19/2001м от 14.05.2001г. с ФГУП «Гидроспецгеология».

208. Радиогеохимические исследования на территории полигона «Томский» отчет о НИР / Томский политехн. ун-т (ТПУ); рук. Язиков Е.Г. исп: Л.П. Рихванов, А.В. Таловская, Л.В. Жорняк, Е.П. Янкович, А.А. Глушко, Г.Е. Язиков, Е.А. Филимоненко. – Томск: ТПУ, 2007. – 65 с

209. Сводный отчет по объекту «Ведение государственного мониторинга состояния недр территории Сибирского федерального округа в 2008-2010 гг. / ответ исп. Плевако Г.А. Гос.рег.№035-08-2 – Томск: ОАО «Томскгеомониторинг», 2011 г.

210. Шинкаренко, В.П. Выявление и оценка очагов загрязнения подземных вод на территории Томской области (Отчет по работам 1988-93 гг.) / В.П. Шинкаренко, Н.В. Винниченко [и др.]. – Томск: ТГФ, 1994.

211. Филиппова Т.Н. Гидрогеологические условия Обь-Томского междуречья и прогноз их изменения под влиянием хозяйственной деятельности человека за 1982-86 гг. // Отчет, Фонды ГУПР ТО; Инв. №3200, – Томск, 1987.

212. Язиков, Е.Г. Эколого - геохимическая оценка природных сред на специализированных полигонах: Обь-Томское междуречье и Северо-восточнее СХК: Отчет о НИР / Е.Г. Язиков, Л.П. Рихванов [и др.] – Томск: ТПУ, МГП «Экогеос», 2001.