

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Гидрогеологии, инженерной и нефтегазовой геологии

Ануарбек Альнур Ануарұлы

Применение ГИС технологий в гидрогеологии

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6В05202 – Гидрогеология и инженерная геология

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Гидрогеологии, инженерной и нефтегазовой геологии



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой Гидрогеологии,
инженерной и нефтегазовой
геологии, к.т.н., ассоц.
профессор

Е.С. Әуелхан
2025 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Применение ГИС технологий в гидрогеологии»

6B05202 – Гидрогеология и инженерная геология

Выполнил

Ануарбек Альнур Ануарұлы

Рецензент
Гидрогеологическая инженерная компания
ТОО «ГЕОТЕХНИКА», МНП
технических наук

Кульдеева Б.Р.
«10» 05 2025



Научный руководитель
Доктор PhD, старший
преподаватель

Э. М. Кульдеева
«10» 05 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

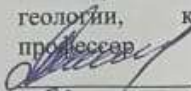
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Гидрогеологии, инженерной и нефтегазовой геологии

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой Гидрогеологии,
инженерной и нефтегазовой
геологии, к.т.н., assoc.
профессор

 Е.С. Оуелхан
«30» 05 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Ануарбек Альнур Ануарұлы

Тема: Применение ГИС технологий в гидрогеологии

Утверждена приказом Члена Правления – проректора по академическим вопросам № 26-П/О от
«29» января 2025г.

Срок сдачи законченной работы «5» июня 2025 г.

Исходные данные к дипломному проекту: были получены из архивно-отчетных данных,
интернет-ресурсов, книжных ресурсов

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

а) Теоретические основы гидрогеологии и геоинформационных систем

б) Применение ГИС в гидрогеологии: анализ исследований

в) Примеры успешных кейсов использования ГИС в гидрогеологии

г) Перспективы развития технологий геоинформационного анализа в гидрогеологии

Перечень графического материала: из 14 рисунков, представлены 12 слайдов презентации
работы

Рекомендуемая основная литература: из 17 наименований

1) Гавич, И. К. Гидрогеодинамика. Москва: Геоиздат., 1970.


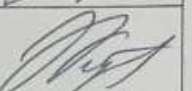
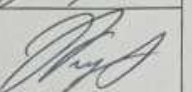
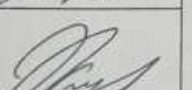
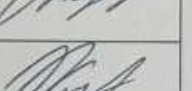
2) Кургузов, А. А. Анализ неопределенности в инженерно-геологических системах.
Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология., 2020.

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Теоретические основы гидрогеологии и геоинформационных систем	25.01 - 26.02	
Применение ГИС в гидрогеологии: анализ исследований	26.02 - 20.03	
Примеры успешных кейсов использования ГИС в гидрогеологии	25.03 - 20.04	
Перспективы развития технологий геоинформационного анализа в гидрогеологии	28.04 - 20.05	

Подписи

консультантов и норм контролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоретические основы гидрогеологии и геоинформационных систем	Доктор Ph.D., старший преподаватель Кульдеева Э.М.	27.02	
Применение ГИС в гидрогеологии: анализ исследований	Доктор Ph.D., старший преподаватель Кульдеева Э.М.	21.03	
Примеры успешных кейсов использования ГИС в гидрогеологии	Доктор Ph.D., старший преподаватель Кульдеева Э.М.	26.04	
Перспективы развития технологий геоинформационного анализа в гидрогеологии	Доктор Ph.D., старший преподаватель Кульдеева Э.М.	27.05	
Норм контролер	Доктор Ph.D., старший преподаватель Кульдеева Э.М.		

Руководитель работы



Э. М. Кульдеева

Задание принял к исполнению студент

А. А. Ануарбек

Дата выдачи задания

«30» 05 2025 г

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста гидрогеологиялық зерттеулер саласында ГИС-ті қолдану қарастырылады. Гидрогеологияның және геоақпараттық технологиялардың теориялық негіздері сипатталады, сонымен қатар Қазақстанды қоса алғанда, әртүрлі аймақтарда ГИС-ті қолдануды көрсететін мысалдарға шолу беріледі. Жинақталған материалдар негізінде геоақпараттық шешімдерді енгізу кезінде мамандар кездестіретін артықшылықтар мен шектеулер талданып, осы технологиялардың әрі қарай даму перспективалары көрсетіледі.

Бұл дипломдық жұмыстың мақсаты - гидрогеологияда геоақпараттық жүйелерді қолдану мүмкіндіктерін зерттеу.

Міндеттер ретінде мыналар қойылды:

- гидрогеологиялық зерттеулердің негізгі ұғымдары мен әдістерін зерттеу;
- жер асты суларын модельдеу үшін ГИС мүмкіндіктерін талдау;
- гидрогеологиялық тәжірибеде ГИС-ті қолдану мысалдарын қарау;
- ГИС-ті қолданумен байланысты шектеулер мен мәселелерді анықтау;
- осы салада ГИС-тің әрі қарай дамуының перспективалық бағыттарын шолу.

Жұмысты орындау барысында ғылыми жарияланымдардың материалдары, гидрогеологиялық зерттеулердің деректері және қолданбалы жобалардың мысалдары пайдаланылды. Жұмыс кіріспе, үш тарау, қорытынды, пайдаланылған әдебиеттер тізімі және қосымшалардан тұрады.

АННОТАЦИЯ

В данной работе рассматривается применение ГИС в области гидрогеологических исследований. Описываются теоретические основы гидрогеологии и геоинформационных технологий, а также приводится обзор примеров, демонстрирующих использование ГИС в различных регионах, включая Казахстан. На основе собранных материалов выполнен анализ преимуществ и ограничений, с которыми сталкиваются специалисты при внедрении геоинформационных решений, а также представлены перспективы дальнейшего развития этих технологий.

Целью данной дипломной работы является исследование возможностей применения геоинформационных систем в гидрогеологии.

В качестве задач были поставлены:

- изучение основных понятий и методов гидрогеологических исследований;
- анализ возможностей ГИС для моделирования подземных вод;
- рассмотрение примеров использования ГИС в гидрогеологической практике;
- выявление ограничений и проблем, сопровождающих применение ГИС;
- обзор перспективных направлений дальнейшего развития ГИС в данной области.

В процессе выполнения работы были использованы материалы научных публикаций, данные гидрогеологических исследований, а также примеры прикладных проектов. Работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованных источников и приложений.

ANNOTATION

This thesis examines the application of GIS in the field of hydrogeological research. It describes the theoretical foundations of hydrogeology and geoinformation technologies, as well as provides an overview of examples demonstrating the use of GIS in various regions, including Kazakhstan. Based on the collected materials, an analysis of the advantages and limitations faced by specialists when implementing geoinformation solutions is carried out, and prospects for further development of these technologies are presented.

The aim of this thesis is to study the possibilities of using geoinformation systems in hydrogeology.

The following tasks were set:

- studying the basic concepts and methods of hydrogeological research;
- analyzing the capabilities of GIS for groundwater modeling;
- examining examples of GIS applications in hydrogeological practice;
- identifying the limitations and problems associated with the use of GIS;
- reviewing promising directions for further development of GIS in this field.

In the course of the work, materials from scientific publications, hydrogeological research data, and examples of applied projects were used. The work consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of references, and appendices.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Теоретические основы гидрогеологии и геоинформационных систем (ГИС)	10
1.1 Гидрогеология: понятие, задачи, методы	10
1.2 Геоинформационные системы	12
1.3 Преимущества использования ГИС в гидрогеологии	15
2 Применение ГИС в гидрогеологии: анализ исследований	16
2.1 Интеграция данных и моделирование	16
2.2 Примеры успешных кейсов использования ГИС в гидрогеологии	19
2.3 Ограничения и проблемы использования ГИС в гидрогеологии	30
3 Перспективы развития технологий геоинформационного анализа в гидрогеологии	32
3.1 Современные тренды: искусственный интеллект, Big Data, облачные ГИС	32
3.2 Новые возможности для гидрогеологических исследований	34
Заключение	37
Список литературы	40
Приложение А	42
Приложение Б	43

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении последних десятилетий геоинформационные технологии всё чаще применяются в различных областях науки и практики, включая сферу природопользования и охраны водных ресурсов. В связи с ростом антропогенной нагрузки на окружающую среду и увеличением потребности в устойчивом управлении водными ресурсами возрастает значимость изучения подземных вод, их динамики, качества и распределения. В данной связи геоинформационные системы (ГИС) рассматриваются как эффективный инструмент для решения прикладных задач в гидрогеологии.

ГИС позволяют объединять пространственные и атрибутивные данные, выполнять визуализацию и моделирование, а также проводить комплексный анализ территории с целью получения достоверной информации о состоянии водоносных горизонтов. Современные программные решения дают возможность анализировать большие объёмы информации, строить прогнозные сценарии и разрабатывать рекомендации для природоохранной и хозяйственной деятельности.

1 Теоретические основы гидрогеологии и геоинформационных систем (ГИС)

1.1 Гидрогеология: понятие, задачи, методы

Гидрогеология как наука, изучающая подземные воды и их взаимодействие с геологической средой, имеет долгую и интересную историю, уходящую корнями в глубокую древность. До 20 века методы изучения водоносных горизонтов и источников основывались в основном на визуальных наблюдениях и эмпирических подходах, которые определяли уровень знаний о подземных водах и способах их использования. (Приложение А. Рисунок 1.1.1)

Ранние методы изучения водоносных горизонтов включали простые визуальные наблюдения за источниками и колодцами. Люди, жившие в древние времена, использовали свои наблюдения для определения местоположения источников воды, что было жизненно важно для их выживания. Уже в Древнем Египте применялись различные методы управления водными ресурсами Нила, включая использование ниломеров для измерения уровня воды в реке, что позволяло орошать сельскохозяйственные угодья и прогнозировать наводнения [1].

Эмпирические подходы, такие как лозоходство, также имеют долгую историю. Лозоходцы использовали специальные стержни или палочки, которые якобы указывали на наличие воды под землей. Хотя для этого метода не было никакой научной основы, для местных жителей было очень важно находить воду в условиях ограниченных знаний о гидрогеологических процессах. Лозоходство и биолокация в геологических исследованиях до сих пор являются темой для обсуждения как в практическом, так и в научном контексте [2]. С развитием картографии в XVIII-XIX веках появились более систематические методы картирования водоносных горизонтов. Ученые начали составлять первые гидрогеологические карты, которые показывали глубину водоносных слоев, их протяженность и связь с поверхностными водными объектами.

В середине XIX века французский инженер Пьер Дарси провел классические эксперименты по фильтрации: он показал, что скорость движения воды в пористой среде пропорциональна градиенту давления и проницаемости среды. Это соотношение является законом Дарси, который до сих пор является основой любых количественных расчетов потока подземных вод [3]. Благодаря этому гидрологи могли не только отмечать на карте «где находится вода», но и оценивать количество воды, зону влияния скважин и прогнозировать поток подземных вод.

Таким образом, ранние методы гидрогеологических исследований, хотя и примитивные по сравнению с современными технологиями, накопили важные знания, которые впоследствии стали основой для более сложных методов исследования. 20-й век был важным периодом в развитии гидрогеологии со значительными достижениями в бурении скважин и анализе грунтовых вод. Эти исследования сыграли ключевую роль в понимании и управлении ресурсами

пресной воды, что является насущной проблемой для многих частей света. Бурение скважин стало основным методом добычи грунтовых вод.

В начале 20-го века технологии бурения претерпели значительные изменения, что позволило повысить производительность и точность. На ранних этапах бурения использовались простые механизмы, которые требовали больших трудозатрат. Но со временем появились более совершенные механизированные системы, которые улучшили процесс. Измерения уровня и расхода воды проводились с помощью простых приборов, таких как уровнемеры и пробоотборные стаканы [4]. Важным достижением стало внедрение новых методов бурения, таких как механизированное бурение, которые увеличили скорость и точность.

Аналоговые приборы стали важной вехой в гидрогеологических исследованиях. Механические устройства, такие как гидроуровни, позволяли измерять уровень грунтовых вод, а механические расходомеры использовались для измерения расхода. Механические расходомеры, работающие по принципу вращающихся лопастей, позволяли изучать скорость потока, что было важно для оценки водоносного горизонта. Эти приборы требовали высококвалифицированных операторов, что способствовало профессионализации гидрологов [5].

Формулы Дарси также стали основой для изучения движения подземных вод. Закон Дарси, сформулированный Анри Дарси в середине 19 века, описывает фильтрацию жидкости через пористые среды и позволяет рассчитать скорость потока. Этот закон стал краеугольным камнем большинства гидрогеологических исследований и обеспечил научную основу для разработки моделей подземных вод.

Применение закона Дарси к подземным водам подробно обсуждается в работах ученых, изучающих его использование в различных гидрогеологических исследованиях [6]. Графики, такие как контурные линии на бумаге, были важным инструментом для визуализации гидрогеологических параметров. Исследователи использовали графики для представления данных об уровнях подземных вод и их изменениях во времени и пространстве. Эти методы помогали выявлять закономерности и делать выводы о состоянии водоносного горизонта [7].

Одним из главных недостатков традиционных методов гидрогеологических исследований была субъективность интерпретации. Исследователи полагались на визуальные наблюдения и личный опыт, что часто приводило к противоречивым результатам. Например, оценка уровня или качества грунтовых вод зависела от навыков конкретного специалиста [8]. Это создавало ситуацию, когда разные исследователи могли приходить к разным выводам из одних и тех же данных, что усложняло процесс принятия решений в управлении водными ресурсами.

Более того, традиционные методы не могли справиться с большими наборами данных, которые становятся все более и более актуальными с ростом требований к управлению водными ресурсами [9]. По мере того, как становилось

все больше информации о подземных водах, возникла необходимость в разработке новых инструментов и технологий для ее анализа. Традиционные подходы не могли справиться с многомерными данными, такими как каротажные диаграммы, химия воды и геофизические исследования.

Отсутствие пространственного анализа также было серьезным ограничением традиционных методов гидрогеологических исследований. Гидрогеология изучает не только качественные характеристики подземных вод, но и их пространственное распределение и динамику во времени. Ранее применяемые методы зачастую игнорировали географическую составляющую, что затрудняло понимание закономерностей движения подземных вод и их взаимодействия с поверхностными водоемами и экосистемами [10].

С развитием компьютерных технологий и геоинформационных систем (ГИС) появилась возможность преодолеть многие ограничения традиционных способов. Внедрение количественных методов и моделирования позволило интегрировать большое количество данных, собранных в разные источники, улучшая качество интерпретации и возможность проводить отчасти пространственный анализ [11]. Именно эти новые методы легли в основу, на которых стоит сегодня гидрогеология, когда точность прогнозов и эффективность управления водными ресурсами значительно возросли.

Так можно сделать вывод, что история гидрогеологических исследований — это эволюция классических подходов, характеризующихся субъективной оценкой, к точному анализу, требующему большого количества данных и наряду современных технологий оттуда. Это позволило гидрогеологии стать наукой и повысило её значимость для устойчивого водопользования.

1.2 Геоинформационные системы

Развитие компьютерных технологий во второй половине XX века оказало значительное влияние на все области естественных и технических наук, включая геологию, гидрогеологию и картографию. До этого времени обработка пространственной информации, составление карт, расчёты водного баланса и моделирование подземных вод осуществлялись преимущественно вручную. Это ограничивало скорость проведения исследований и точность результатов, особенно при необходимости учёта множества факторов и сложной пространственной структуры объектов. Появление цифровых инструментов и геоинформационных систем стало революционным этапом в развитии аналитических подходов к пространственным данным.

Первые серьёзные изменения начались в 1970–1980-х годах, когда в академической и прикладной среде появились специализированные программные продукты, ориентированные на анализ природных ресурсов. Ключевую роль в развитии гидрогеологических моделей сыграла разработка программного комплекса **MODFLOW** Геологической службой США (USGS).

Эта система стала одним из первых эффективных инструментов, позволявших строить **трёхмерные численные модели движения подземных вод**, учитывать структуру геологических слоёв, положение водоносных горизонтов, зоны питания и разгрузки, а также влияние антропогенных факторов [12]. До внедрения подобных программ расчёты производились вручную или с использованием примитивных вычислительных моделей, что занимало значительное время и было подвержено ошибкам.

Параллельно с разработкой специализированных гидрогеологических моделей начался активный процесс **оцифровки бумажных карт**. Ранее географические данные существовали в виде топографических и тематических карт, отчётов и чертежей, требующих длительной расшифровки и ручной интерпретации. Цифровизация этих источников позволила не только ускорить обработку данных, но и **интегрировать их в информационные системы**, где они стали доступными для пространственного анализа, сравнения, наложения и обновления.

На этой базе в 1980–1990-х годах начали активно развиваться **геоинформационные системы (ГИС)** — универсальные программные комплексы для хранения, визуализации и анализа пространственных данных. ГИС позволили объединить разнородные данные (геологические, гидрологические, инженерные, кадастровые и другие) в едином интерфейсе, используя принципы баз данных, топологии и картографической визуализации. Это дало возможность не только наглядно представлять информацию, но и выявлять **взаимосвязи между геофизическими параметрами, режимами подземных вод и антропогенным воздействием** [13].

В ГИС-окружении исследователи получили доступ к инструментам **буферного анализа, пространственной интерполяции, построения изолиний, цифрового моделирования рельефа (ЦМР), анализа направлений потоков и водосборных бассейнов**. Это стало особенно ценным в гидрогеологических задачах, где требуется учитывать сложную пространственную структуру подземных водоносных систем и их изменение во времени.

С начала 2000-х годов наступает следующий этап — **интеграция данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)** в геоинформационные системы. Использование спутниковых снимков стало мощным инструментом в изучении состояния земной поверхности, оценки изменения ландшафтов, выявления зон пополнения и разгрузки подземных вод. Спутники **Landsat, Sentinel, Terra и Aqua** предоставляют изображения в различных спектральных диапазонах, что позволяет анализировать влажность почв, идентифицировать участки с пониженной растительностью, следить за изменениями в орошаемых землях и выявлять признаки подтоплений [14].

Данные дистанционного зондирования активно применяются для оценки воздействия изменения климата, человеческой деятельности и природных катастроф на водный баланс и уровень грунтовых вод. Особенно это актуально для малодоступных и засушливых районов Казахстана, где отсутствует

разветвлённая сеть наблюдений и классические методы мониторинга затруднены.

Одним из современных трендов стало активное внедрение **моделей машинного обучения и численных методов прогнозирования**. В условиях роста объёмов данных, появления IoT-датчиков, спутниковых сервисов и открытых источников, стало возможным обучать алгоритмы, способные предсказывать поведение подземных водных систем. Такие модели учитывают исторические данные, гидрометеорологические показатели, сезонность, данные о землепользовании и другие параметры. Например, нейросетевые алгоритмы успешно используются для прогнозирования уровня воды, идентификации потенциальных зон загрязнения и оптимального размещения новых скважин [15]. Это особенно важно в условиях изменения климата, увеличения водопотребления и повышения нагрузки на природные ресурсы.

Ещё одним значимым направлением является **создание трёхмерных (3D) и четырёхмерных (4D) визуализаций** водоносных горизонтов. Эти технологии позволяют моделировать не только структуру геологических слоёв, но и динамику изменения насыщенности, направлений потока и загрязнения. 3D-визуализации дают наглядное представление о пространственном распределении водных ресурсов, что особенно важно при планировании бурения, оценке запасов, проектировании систем водозабора и разработке защитных мер. Современные программы, такие как **Leapfrog Hydro, RockWorks, GMS**, позволяют строить модели на основе совмещения ГИС-данных, буровых журналов, лабораторных анализов и спутниковых снимков [16].

Эти визуализации используются не только в научных исследованиях, но и в инженерной практике, в том числе при проектировании водозаборов, строительстве водохранилищ, мониторинге опасных зон (например, подтопляемых районов) и управлении ресурсами в условиях антропогенной нагрузки.

В целом, **цифровизация, автоматизация и интеллектуализация анализа пространственных данных** радикально изменили подход к изучению и управлению подземными водами. Если ранее гидрогеологические исследования основывались на локальных наблюдениях и статистических оценках, то сегодня они приобретают комплексный характер, охватывая **пространственные, временные и тематические уровни анализа**.

Таким образом, геоинформационные системы в современной гидрогеологии выступают не только как вспомогательный инструмент визуализации, но и как **полноценная платформа для интеграции данных, моделирования, прогноза и принятия решений**. Их дальнейшее развитие связано с внедрением облачных технологий, искусственного интеллекта и участием в глобальных проектах по управлению водными ресурсами. (Приложение А. Рисунок 1.2.1)

1.3 Преимущества использования ГИС в гидрогеологии

Географические информационные системы (ГИС) играют всё более значимую роль в анализе пространственных данных. Их активно применяют в таких сферах, как экология, землепользование, мониторинг окружающей среды, гидрогеология и градостроительство. Благодаря своим инструментам обработки, визуализации и моделирования, ГИС позволяют комплексно исследовать природные и антропогенные процессы, облегчая принятие решений как на региональном, так и на локальном уровнях.

Одно из ключевых преимуществ ГИС — высокая точность и скорость работы с пространственной информацией. Современные программные платформы способны обрабатывать большие объёмы данных, одновременно интегрируя разнородные источники: от спутниковых снимков и топографических карт до информации, полученной с помощью сенсоров в режиме реального времени. Это позволяет оперативно проводить пространственный анализ и принимать обоснованные решения в различных прикладных областях. Как отмечается в исследовании [17], использование ГИС позволяет не только улучшить точность прогнозирования природных процессов на 20–25%, но и сократить время анализа данных в среднем на 40%.

В условиях растущего объёма данных, поступающих от устройств Интернета вещей (IoT), метеостанций, дронов и других цифровых платформ, ГИС становятся инструментом, который позволяет связать данные между собой и представить их в наглядной форме. Например, в гидрогеологии ГИС используются для построения цифровых моделей рельефа, оценки глубины залегания водоносных горизонтов, анализа зон возможного загрязнения. Их применение позволяет не только фиксировать текущее состояние водных ресурсов, но и строить прогнозы по изменению их объёма и качества [18].

Отдельное внимание стоит уделить возможности ГИС по работе с Big Data. В отчётах международных аналитических агентств подчёркивается, что интеграция ГИС с большими данными позволяет обрабатывать как структурированные, так и неструктурированные массивы — такие как текстовые отчёты, фотофиксации, координатные массивы, показания сенсоров. Современные системы, такие как ArcGIS Online, Google Earth Engine, QGIS и другие, предоставляют встроенные инструменты для анализа больших объёмов информации, в том числе средствами облачной обработки [19].

В отчёте компании Gartner подчёркивается, что внедрение ГИС в управленческие процессы позволяет значительно повысить точность территориального планирования, улучшить эффективность мониторинга природных объектов и ускорить принятие решений при чрезвычайных ситуациях [20]. Например, при мониторинге водных объектов на пригородных территориях такие системы позволяют своевременно определять отклонения уровня или состава воды и оперативно реагировать на изменения.

Большим плюсом геоинформационных систем является возможность создания интерактивных карт, которые позволяют пользователям

самостоятельно задавать параметры отображения: выбирать масштаб, отображаемые слои, временные промежутки. Это делает анализ более доступным, наглядным и вовлекающим. Согласно исследованию ESRI, использование интерактивных карт увеличивает вовлечённость пользователей на 50 процентов, а в сфере управления — ускоряет понимание и принятие решений [21]. Подобные технологии применяются в управлении городской инфраструктурой, при разработке стратегий пространственного развития, в экологическом мониторинге, а также в сфере логистики и маркетинга.

Таким образом, ГИС выступают универсальным инструментом для анализа пространственных данных. Их применение не ограничивается только картографированием — это полноценные аналитические системы, позволяющие решать задачи управления территориями, ресурсов и рисками. Особенно в контексте устойчивого развития и цифровизации, ГИС становятся ключевым элементом в интеграции науки, управления и общественного взаимодействия.

2 Применение ГИС в гидрогеологии: анализ исследований

2.1 Интеграция данных и моделирование

Географические информационные системы (ГИС) на сегодняшний день стали не просто удобным инструментом, а необходимой составляющей в проведении гидрогеологических исследований. Их роль особенно заметна в контексте анализа пространственно-временных данных, моделирования подземных вод и прогнозирования различных сценариев, связанных с качеством и количеством водных ресурсов. Использование ГИС позволяет не только хранить и визуализировать данные, но и объединять информацию из самых разных источников, создавая комплексную картину исследуемой территории.

Особую значимость ГИС приобретают в условиях необходимости интеграции разрозненных гидрогеологических данных. Эти данные поступают как из традиционных источников, таких как буровые журналы и наблюдательные скважины, так и из современных – дистанционное зондирование, спутниковые данные, сенсоры и лабораторные измерения. Все эти данные необходимо сводить воедино, чтобы провести качественный анализ и моделирование. Ниже представлены ключевые направления применения ГИС в области интеграции, пространственного анализа и моделирования подземных вод.

Источники данных и их интеграция

Интеграция различных видов данных является фундаментальной задачей в работе гидрогеолога. Именно здесь ГИС показывают свою максимальную эффективность.

- **Буровые журналы** содержат информацию о последовательности залегания пород, глубинах водоносных горизонтов, их мощности, а также гидравлических свойствах пластов. Использование этих данных в ГИС-платформах позволяет создавать трёхмерные модели подземных водоносных систем, в которых можно точно локализовать слои, отвечающие за водоотдачу и фильтрацию [22].

- **Наблюдательные скважины** представляют собой важный элемент мониторинга. Они дают данные об изменении уровней грунтовых вод, сезонных колебаниях, а также химическом составе. Всё это необходимо для настройки численных моделей и верификации прогнозных расчётов [23].

- **Лабораторные исследования** дополняют картину. Химический анализ проб воды позволяет оценить степень минерализации, содержание загрязняющих веществ и общее состояние водоносного горизонта. Гранулометрический состав пород, получаемый из керна, помогает уточнить коэффициенты фильтрации и скорость движения вод, особенно при моделировании загрязнений.

- Спутниковые данные, полученные с таких платформ, как **Landsat** и **Sentinel**, позволяют оценивать состояние поверхностных вод, влажность почвы, вегетационный индекс, а также выявлять зоны активного пополнения. Особенно

полезны они в труднодоступных или малоизученных районах, где проведение наземных исследований ограничено [24]. (Приложение Б. Рисунок 2.1.1)

ГИС-платформы нового поколения, такие как ArcGIS и QGIS, поддерживают импорт наиболее распространённых форматов: LAS/PLY для геологических данных, GeoTIFF для спутниковых снимков, CSV и SHP для табличных и векторных данных. Это значительно упрощает объединение всей информации в одной базе и последующее её использование в аналитике.

Пространственный анализ в ГИС

После того как данные интегрированы, следующим этапом становится их обработка и анализ. Пространственные инструменты ГИС позволяют проводить широкий спектр операций.

- **Буферизация** позволяет построить зоны вокруг точечных объектов — например, скважин, выбросов или утечек. Это даёт возможность понять, как далеко может распространяться воздействие на подземные воды и какие зоны попадают в потенциальную зону риска [25].

- **Оверлей-анализ** объединяет слои с разной тематикой. Например, наложив геологическую карту и данные о землепользовании, можно выделить зоны, где риск загрязнения максимален из-за сочетания слабозащищённых пород и интенсивной антропогенной нагрузки. Такой подход важен при принятии управленческих решений о зонировании, водозаборе и охране подземных вод. (Приложение Б. Рисунок 2.1.2).

- **Пространственная интерполяция** используется для построения непрерывных поверхностей — например, изолиний уровня подземных вод. В ArcGIS Pro можно применять метод IDW (Inverse Distance Weighted), который рассчитывает значения на основе расстояния до ближайших точек [26]. Для более сложных задач, связанных с учетом пространственной автокорреляции, используется метод Kriging, обеспечивающий более точное распределение при наличии больших расстояний между точками наблюдений [27].

- **Временной анализ**, реализованный в инструментах ArcGIS Insights, помогает выявлять тенденции изменения уровней грунтовых вод во времени. Это особенно важно при долгосрочном мониторинге и при планировании устойчивого водопользования [28]. (Приложение Б. Рисунок 2.1.3)

Численное моделирование и его связь с ГИС

После того как данные интегрированы, следующим этапом становится их обработка и анализ. Пространственные инструменты ГИС позволяют проводить широкий спектр операций.

- **MODFLOW**, разработанный USGS, остаётся наиболее популярной платформой для численного моделирования. При помощи плагина MODFLOW Analyst в ArcGIS можно управлять слоями модели, импортировать гидрогеологические параметры и визуализировать результаты [29]. (Приложение Б. Рисунок 2.1.4)

- **FEFLOW** позволяет моделировать более сложные случаи, включая наличие нескольких фаз (например, вода и нефть), реакционно-транспортные

процессы и температурные эффекты. Он также поддерживает экспорт данных для последующего анализа в ГИС [30].

- Встроенный инструмент **ArcGIS ModelBuilder** помогает автоматизировать рутинные операции: от загрузки буровых журналов до генерации отчётов по моделированию. Это снижает риск ошибок и ускоряет подготовку данных.

- Плагины для **QGIS**, такие как **Midvatten** и **HYDROE**, добавляют функции к бесплатным ГИС-решениям и позволяют управлять данными наблюдений и запускать простые модели потока. (Приложение Б. Рисунок 2.1.5)

3D/4D-визуализация подземных вод

После того как данные интегрированы, следующим этапом становится их обработка и анализ. Пространственные инструменты ГИС позволяют проводить широкий спектр операций.

- **Leapfrog Works (Seequent)** предлагает 3D-модель геологических слоев и подземных вод с анимацией, которая показывает, как все меняется со временем. Это помогает лучше понять сложные расчеты. [31]. (Приложение Б. Рисунок 2.1.6)

- **RockWorks** (от RockWare) даёт возможность создавать объемные модели аквиферов, объединяя геофизические, гидрохимические и стратиграфические данные в одной 3D-среде. [32]. (Приложение Б. Рисунок 2.1.7)

- **GMS (Aquaveo)** — мощный инструмент для 3D-моделирования подземных вод, позволяющий строить модели с использованием данных ГИС и легко визуализировать их. [33].

- **GRASS GIS** вместе с **Paraview** позволяет выполнять 4D-визуализацию, показывая, как скорость и направление потока изменяются с течением времени и в различных сценариях, таких как засухи или наводнения. [34].

2.2 Интеграция данных и Примеры успешных кейсов использования ГИС в гидрогеологии

2.2.1 Оценка потенциала искусственного пополнения подземных вод в Жамбылской области

Цель и задачи исследования:

В условиях нарастающего водного дефицита в южных регионах Казахстана возрастает необходимость в устойчивом управлении подземными водами. Одним из эффективных решений признана технология искусственного пополнения водоносных горизонтов (MAR — Managed Aquifer Recharge), предполагающая намеренное увеличение запасов грунтовых вод за счёт направленного инфильтрационного водопоступления.

В рамках проекта, реализованного в Жамбылской области, основной целью стало выявление территорий, пригодных для внедрения MAR. Особое внимание

уделялось региональным особенностям: полузасушливому климату, неравномерному распределению осадков и высокой зависимости сельского хозяйства от орошаемого земледелия. Перед исследователями стояли следующие задачи:

- определить участки с благоприятными геолого-гидрологическими характеристиками;
- провести пространственную оценку по множеству критериев;
- выработать карту пригодности территорий для MAR.

Это позволило объединить научный подход и прикладные потребности региона, а также заложить основу для внедрения пилотных проектов по управлению водными ресурсами.

Методология:

Для оценки пригодности территорий к MAR использовался метод **многокритериального пространственного анализа** (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA), реализованный на платформе ArcGIS. Этот метод позволяет учитывать одновременно несколько факторов и оценивать их в комплексе, создавая интегральную модель. Исходные пространственные данные были получены из различных источников, включая:

- карты почвенно-географического районирования;
- геологические и гидрогеологические карты;
- результаты мониторинга уровня подземных вод;
- материалы дистанционного зондирования;
- данные по землепользованию и уклонам рельефа.

Каждый из параметров прошёл этап **нормализации** (приведения к единой шкале) и **взвешивания** по степени значимости с использованием метода **анализа иерархий (АИР)**. Это обеспечило объективное распределение приоритетов между факторами, такими как:

- тип почв и их водопроницаемость;
- мощность фильтрующих слоёв;
- глубина залегания водоносного горизонта;
- текущее землепользование;
- уклон поверхности, влияющий на инфильтрацию.

На основе этих данных была сформирована **интегральная карта пригодности**, где каждая территория получила оценку по шкале от «низкой» до «высокой» потенциальной эффективности для реализации MAR.

Результаты:

ГИС-анализ позволил выделить три категории участков:

- **высокая степень пригодности** — долины и равнинные участки с проницаемыми аллювиальными отложениями и малой глубиной до водоносного горизонта;
- **средняя пригодность** — зоны с комбинированными условиями: участками песчаников и суглинков, уклонами до 5%, незначительным развитием эрозии;

– **низкая пригодность** — возвышенности, участки с глинистыми почвами и выраженными уклонами, препятствующими инфильтрации.

Особо перспективными оказались участки, расположенные в поймах рек Талас и Аса, где естественные условия способствуют накоплению влаги. Эти территории были рекомендованы для дальнейших изысканий и возможного внедрения пилотных проектов MAR в целях пополнения запасов грунтовых вод и снижения нагрузки на поверхностные источники. (Приложение Б. Рисунок 2.2.1)

Выводы и значимость:

Проведённое исследование продемонстрировало, как современные геоинформационные технологии могут эффективно применяться для комплексной оценки пригодности территорий к технологическим вмешательствам. Использование MCDA и АНР на платформе ArcGIS позволило учесть множество разнородных параметров и получить наглядный результат в форме картографических материалов.

В условиях **Жамбылской области**, где сочетание полусухого климата, высоких темпов роста населения и сельскохозяйственной специализации создаёт серьёзную нагрузку на водные ресурсы, такие исследования являются крайне актуальными. Внедрение MAR, предварительно обоснованного с использованием ГИС, может стать важным элементом региональной политики в сфере водоснабжения и адаптации к климатическим изменениям.

Кроме того, данный кейс представляет собой пример успешного сочетания академической методологии и практических потребностей — что делает его ценным как с научной, так и с прикладной точки зрения.

2.2.2 Моделирование процессов подтопления в северной части города Алматы [36]

Цель и контекст:

Город Алматы, как крупнейший мегаполис Казахстана, сталкивается с нарастающей проблемой устойчивого водообеспечения и управления подземными водами. Особенно актуальна проблема **повышенного уровня грунтовых вод**, наблюдаемая в северных районах города. Здесь фиксируются случаи хронического **подтопления подвальных помещений, фундаментов зданий, автодорог и инженерных коммуникаций**, что создаёт прямую угрозу не только для объектов городской инфраструктуры, но и для здоровья населения.

Рост плотности застройки, неупорядоченное градостроительное развитие, а также **утрата естественных водопоглощающих участков** (лугов, полей, садов) привели к изменению режима подземного стока. Вдобавок, **искусственные дренажные системы** в значительной части микрорайонов оказались либо недоступными, либо неэффективными. Всё это делает задачу

оценки и прогнозирования подтоплений особенно актуальной в контексте устойчивого развития города.

Целью данного исследования стала **разработка численной модели подземного стока**, интегрированной в геоинформационную среду. Модель должна была выявить зоны риска, определить влияние существующей застройки на подземные воды и дать рекомендации по инженерной защите территорий. В долгосрочной перспективе предполагалось использование результатов в системах **градостроительного планирования** и экологического мониторинга.

Методология:

Исследование опиралось на интеграцию **ГИС-данных с гидродинамическим моделированием**, реализованным в программной среде **Visual MODFLOW**. Это позволило учитывать как пространственные параметры (рельеф, типы почв, расположение объектов), так и гидрогеологические характеристики территории.

Сбор данных включал несколько основных этапов:

- **цифровая модель рельефа (ЦМР)** с разрешением 30 метров — основа для формирования градиентов потока;
- **инженерно-геологические разрезы** и данные буровых скважин — определение стратиграфии и структуры водоносных горизонтов;
- **типизация почв и грунтов**, включая фильтрационные коэффициенты — важно для понимания инфильтрации и проводимости;
- **мониторинг глубины уровня грунтовых вод**, как в природных, так и в урбанизированных условиях;
- **данные о застройке**, включая плотность, этажность, наличие дренажа, типы покрытий.

На основе этих данных в Visual MODFLOW была построена **двумерная сеточная модель**, охватывающая ключевые районы северной части Алматы. Сетка включала ячейки, каждая из которых имела индивидуальные характеристики проницаемости, водоотдачи и гидравлического градиента.

Для повышения точности были смоделированы **три сценария**:

1. Естественные условия без влияния урбанизации (референсный сценарий);
2. Сценарий с учётом существующей плотной застройки;
3. Сценарий с предполагаемыми дренажными мерами, включая прокладку открытых и подземных водоотводов.

Такая сравнительная модель позволила выявить **причинно-следственные связи** между антропогенным воздействием и подъёмом уровня подземных вод.

Результаты:

Результаты моделирования подтвердили, что **наиболее уязвимыми зонами** являются участки с плотной застройкой и отсутствием дренажа. Особенно это касается территорий, расположенных вдоль естественных понижений рельефа и вблизи русел высохших водотоков. В этих районах уровень грунтовых вод поднимается наиболее интенсивно — зачастую менее чем на 1,5–2 метра от дневной поверхности в весенне-летний период.

Установлено, что **ключевым фактором** подтоплений является **нарушение естественного дренажа**, когда поток воды не может уходить вниз из-за наличия асфальтированных покрытий и инженерных конструкций. Дополнительным элементом риска стала **недостаточная плотность дренажных систем**, в том числе отсутствие ливнёвок и линейных коллекторов.

Также обращено внимание на выявленное **влияние сезонности**: в периоды активного снеготаяния уровень грунтовых вод повышается в среднем на 20–25 см по сравнению с летними значениями. Это требует особого подхода к инженерной защите — не только при строительстве новых объектов, но и в эксплуатации существующих зданий, особенно с заглублёнными элементами. (Приложение Б. Рисунок 2.2.2)

Значимость:

Данное исследование доказало высокую эффективность **интеграции ГИС и численного моделирования** для диагностики и управления подземными водами в условиях городской среды. Полученные модели позволяют не только **идентифицировать зоны риска**, но и дают основания для пересмотра градостроительных решений.

В числе практических рекомендаций, основанных на результатах моделирования, предложены следующие меры:

- строительство **открытых и закрытых дренажных каналов** в районах с подтоплением;
- создание **зелёных зон** и инфильтрационных парков, где возможен естественный отвод воды;
- обязательный учёт результатов ГИС-моделирования в проектной документации для **новых микрорайонов**, особенно в северной и северо-восточной частях города.

По итогу кейс по городу Алматы служит примером того, как цифровые инструменты могут использоваться для **реального улучшения городской среды** и адаптации инфраструктуры к гидрогеологическим рискам. Применение подобных подходов целесообразно масштабировать и на другие города Казахстана, особенно те, где наблюдаются аналогичные проблемы из-за климатических и урбанизационных факторов.

2.2.3 ГИС-оценка водообеспечения населения и экономики Казахстана [37]

Цель исследования:

Учитывая усиливающееся давление на водные ресурсы в Казахстане, а также рост численности населения и развитие водоёмких отраслей экономики, встал вопрос о комплексной оценке текущего и будущего состояния подземных вод. В частности, в условиях изменения климата и неравномерного распределения водообеспеченности по регионам страны, стала актуальной

задача пространственного анализа потребностей в воде с опорой на современные технологии.

Целью проведённого исследования стало построение **ГИС-модели водообеспечения населения и экономики Казахстана** на основе пространственного сопоставления ресурсов и потребностей, а также разработка **прогнозных сценариев до 2050 года**. Особое внимание уделялось региональным различиям, потенциальному дефициту ресурсов и возможностям балансировки потребления между секторами — от коммунального до аграрного и промышленного.

Методология:

Методология исследования основывалась на **интеграции различных источников данных** в среде **ArcGIS** и их пространственно-временном анализе. Были собраны и систематизированы сведения о:

- географическом распространении подземных водоносных горизонтов, включая стратиграфию и глубину залегания;
- показателях дебитов эксплуатационных скважин по регионам, с учётом динамики водоотбора за последние 10 лет;
- демографических данных, включая текущую плотность населения и прогнозы роста по областям и крупным агломерациям;
- пространственном распределении сельхозземель, особенно площадей, задействованных в орошении;
- локализации промышленных кластеров, включая ТЭЦ, металлургические и химические предприятия.

С помощью инструмента **overlay analysis** (пространственное наложение) в ArcGIS был проведён **сравнительный анализ между доступностью подземных вод и предполагаемым водопотреблением** в каждом регионе. Использование этого метода позволило идентифицировать территории с критическим, умеренным и стабильным уровнем водообеспеченности.

Помимо этого, было выполнено **сценарное моделирование роста потребления** в зависимости от:

- развития сельского хозяйства и расширения орошаемых площадей;
- индустриализации отдельных регионов (например, проекты в Мангистауской и Туркестанской областях);
- роста численности населения в мегаполисах (Алматы, Астана, Шымкент).

Для каждого сценария были построены прогнозные карты до 2050 года, отражающие степень соответствия между доступными ресурсами и потенциальной нагрузкой.

Результаты:

Результаты пространственного анализа позволили разделить территорию Казахстана на **три условные зоны** по степени водообеспеченности:

1 Регионы дефицита — включают юг и юго-запад страны (Туркестанская, Кызылординская области). Здесь наблюдается сочетание высокой плотности населения, активного аграрного использования земель и

ограниченного доступа к подземным водам. Особенно остро дефицит проявляется в летние месяцы, при пиковых нагрузках на орошение.

2 Регионы умеренного баланса — центральные области (Акмолинская, Карагандинская), где запасы воды относительно стабильны, но возможны локальные дефициты при развитии новых промышленных объектов или увеличении миграционного потока.

3 Регионы избыточного водообеспечения — северо-восток и восток страны (Павлодарская, Восточно-Казахстанская области), где водоносные горизонты обладают значительным потенциалом, и текущая нагрузка не превышает 30–40 процентов от доступных объёмов.

Была разработана **интерактивная карта водообеспеченности**, отражающая различия по районам и визуализирующая наиболее уязвимые территории.

Кроме того, исследование предложило **систему приоритезации водопользования** на случай дефицита:

1. Первоочередное обеспечение населения питьевой водой;
2. Далее — потребности аграрного сектора;
3. В последнюю очередь — техническое и промышленное использование, с учётом возможного перераспределения.

Также было предложено **внедрение водосберегающих технологий**, таких как капельное орошение, повторное использование очищенной воды и автоматизация систем полива, особенно в засушливых районах.

Значимость:

Одним из ключевых достижений данного исследования стало **объединение гидрогеологических и социально-экономических данных** в едином пространственном формате. В отличие от классических статистических подходов, ГИС позволяет не только анализировать ситуацию «на бумаге», но и **моделировать последствия сценарных решений**, в том числе на долгосрочный период.

Полученные результаты могут быть использованы при:

- разработке региональных программ рационального водопользования;
- составлении Национальной водной стратегии Республики Казахстан;
- оценке инвестиционной привлекательности проектов, связанных с водной инфраструктурой.

Таким образом, кейс демонстрирует, как **ГИС может стать связующим звеном между научным анализом и государственным управлением ресурсами**, особенно в контексте устойчивого развития и адаптации к водным рискам. (Приложение Б. Рисунок 2.2.3)

2.2.4 Оценка качества подземных вод в Западном Казахстане с использованием ГИС

Цель исследования:

Западный Казахстан — регион стратегического значения для экономики страны. Здесь сосредоточены крупнейшие месторождения нефти и газа, развитая химическая промышленность и значительное количество объектов инфраструктуры, потенциально влияющих на окружающую среду. Активное техногенное воздействие, наряду с природными особенностями (высокая минерализация, засушливый климат), вызывает обеспокоенность по поводу состояния подземных вод, которые во многих районах региона служат основным источником питьевого и технического водоснабжения.

В условиях отсутствия полноценного централизованного мониторинга и нарастающего антропогенного давления встал вопрос о необходимости проведения **комплексной оценки качества подземных вод**. Целью данного исследования стало выявление зон загрязнения и пространственный анализ распространения химических компонентов в водоносных горизонтах региона. Особое внимание уделялось применению **ГИС-инструментов для визуализации, анализа и интерпретации результатов**, полученных на основе химического анализа проб воды из разных точек наблюдений.

Методология:

Исследование базировалось на анализе данных, собранных по **более чем 80 наблюдательным точкам**, расположенным на территории Атырауской и Мангистауской областей. В качестве исходных данных использовались:

- концентрации основных ионов (нитратов, сульфатов, хлоридов, натрия, кальция, магния);
- показатели **pH**, минерализации, общей и карбонатной жёсткости;
- глубина залегания подземных вод;
- сведения о **геологических условиях** — типы пород, проницаемость, степень защиты горизонтов;
- расположение потенциальных источников загрязнения (нефтяные скважины, отстойники, полигоны, промышленные объекты).

Для обработки информации применялись инструменты **ArcGIS 10.8.2**, что позволило не только отобразить собранные данные на карте, но и провести углублённый **пространственный анализ**. Были использованы следующие подходы:

- **визуализация концентраций** отдельных ионов с помощью символических и хлороплетных карт;
- **интерполяция методом IDW (Inverse Distance Weighted)**, при которой значения загрязнителей рассчитываются на основе взвешенного расстояния до ближайших точек;
- **наложение промышленных объектов, магистральных скважин, санитарных зон и зон охраны водозаборов**;

– пространственный анализ пересечений зон загрязнения с социально значимыми объектами (населённые пункты, источники питьевого водоснабжения).

Результаты:

Применение ГИС-инструментов позволило выявить **конкретные очаги загрязнения**, визуализировать уровни химических показателей и провести сравнительный анализ по административным районам.

– В северной части **Атырауской области** были зафиксированы превышения по **нитратам и хлоридам**, превышающие санитарно-гигиенические нормативы. В отдельных точках концентрации нитратов достигали 65–70 мг/л при предельно допустимой концентрации 45 мг/л, что особенно опасно для населения, использующего воду из неглубоких скважин.

– В **Мангистауской области** наблюдается **засоление подземных вод**, вызванное как естественными факторами (высокая испаряемость, слабая фильтрация), так и **техногенным влиянием** (инфильтрация сточных вод, фильтрация из промышленных резервуаров). Отдельные скважины показали повышенное содержание сульфатов и общего солевого состава, указывающее на постепенное ухудшение качества вод.

– Сравнительный анализ показал, что **наибольший риск загрязнения** сосредоточен вблизи промышленных кластеров, особенно там, где отсутствует надлежащая гидроизоляция, наблюдаются нарушения санитарных норм или не ведётся мониторинг. Глубина водоносных горизонтов в этих зонах невелика, что дополнительно увеличивает уязвимость.

На основе полученных данных были разработаны **карты риска загрязнения**, на которых выделены зоны, требующие повышенного контроля, ограничения водопользования или проведения мероприятий по реабилитации.

(Приложение Б. Рисунок 2.2.4)

Значимость:

Результаты исследования показали, что **применение ГИС в гидрохимическом мониторинге** подземных вод не только улучшает качество пространственного анализа, но и позволяет **оперативно выявлять участки с потенциальными экологическими угрозами**.

Особенно важно то, что классические подходы, основанные только на табличной обработке результатов анализа проб, не позволяют выявить закономерности и пространственные тренды. Только при помощи **инструментов визуализации и интерполяции** удалось:

- выявить очаги превышений ПДК;
- установить связь между зонами загрязнения и индустриальной нагрузкой;
- отобразить взаимное расположение источников загрязнения и санитарных зон водозабора.

Работа продемонстрировала, что **ГИС-анализ может эффективно использоваться как основа для планирования природоохранных**

мероприятий, а также как инструмент для **поддержки решений в области водного и санитарного управления**. Это особенно важно в условиях Западного Казахстана, где сложная экологическая ситуация сочетается с дефицитом качественных водных ресурсов.

Кроме того, предложенный подход может быть масштабирован и адаптирован для других промышленных регионов Казахстана, включая Карагандинскую, Актюбинскую и Жамбылскую области, где также существует риск химического загрязнения подземных горизонтов.

2.2.5 Разработка трансграничной модели подземных вод: Преташкентский водоносный горизонт (Казахстан–Узбекистан) [39]

Цель исследования:

Вода — один из самых чувствительных и конфликтогенных природных ресурсов в Центральной Азии. В условиях дефицита водных ресурсов и растущего спроса на воду в сельском хозяйстве, промышленности и городском хозяйстве, трансграничные подземные воды становятся ключевым элементом региональной безопасности. **Преташкентский водоносный горизонт**, простирающийся вдоль границы Казахстана и Узбекистана, обеспечивает водой значительную часть населения и сельскохозяйственные угодья обеих стран.

До последнего времени управление этим горизонтом велось в рамках национальных границ, без учёта его целостности как гидрогеологической единицы. Целью данного международного проекта, инициированного под эгидой ЮНЕСКО и IGRAC, стало создание **единой ГИС-ориентированной модели** подземных вод, охватывающей территорию двух стран, для оценки ресурсов, моделирования потоков и координации водопользования в условиях изменения климата и роста водопотребления.

Методология:

Проект был реализован в рамках международной инициативы GEF и поддержан национальными агентствами обеих стран. В его основу легла **ГИС-интеграция с модельной средой GMS (Groundwater Modeling System)**. Этот подход позволил объединить пространственные данные с расчётными модулями, формируя согласованную и сопоставимую информационную базу.

Для построения модели были использованы:

- **геологические профили**, стратиграфия, данные буровых работ;
- **уровни подземных вод**, полученные из наблюдательных скважин, расположенных по обе стороны границы;
- **климатические параметры** (среднегодовые осадки, коэффициенты испарения, влажность почвы), необходимые для оценки естественного пополнения горизонта;
- **данные водозабора**, включая распределение по отраслям — сельское хозяйство, промышленность, коммунальные нужды;

– **режимы эксплуатации** водоносного горизонта, зафиксированные за последние 10–15 лет.

Модель включала в себя **трёхмерную гидрогеологическую сетку**, которая охватывала как поверхностные, так и глубинные слои. Важно, что калибровка модели проводилась по обоим направлениям: сверху (через инфильтрацию осадков) и снизу (учёт подпоров и дренажей в нижних горизонтах).

Были смоделированы **три сценария эксплуатации**:

– Базовый (status quo) — текущий уровень водопотребления, без существенных изменений;

– Интенсивный — предполагающее увеличение водозабора в Узбекистане;

– Климатически изменчивый — с уменьшением пополнения горизонта из-за повышения температур и снижения осадков.

Каждый сценарий оценивался с точки зрения изменений в уровне подземных вод, направления потока и возможных перекосов в распределении ресурса. (Приложение Б. Рисунок 2.2.5)

Результаты:

Результаты моделирования подтвердили, что **движение подземных вод в Преташкентском горизонте имеет направленный характер**, с преимущественным поступлением воды с территории Казахстана в сторону Узбекистана. При этом выявлена **высокая чувствительность горизонта к дополнительному водоотбору**, особенно в южных и юго-восточных участках.

В интенсивном сценарии уровень подземных вод в приграничных казахстанских районах снижался на 0,5–1,2 метра за период 10 лет.

Модель показала, что **неравномерный водоотбор** может привести к формированию депрессионных воронок, нарушению баланса между зонами питания и разгрузки, а также ухудшению качества воды в пограничных зонах.

Ключевым итогом проекта стало создание **единой цифровой модели**, доступной для обеих стран через онлайн-платформу. Это стало важным шагом в направлении **институционального диалога и совместного управления трансграничными водными ресурсами**.

Значимость:

Этот проект стал **одним из первых успешных примеров в Центральной Азии**, где ГИС и численное моделирование были использованы для **создания межгосударственной модели подземных вод**. Он продемонстрировал, что современные цифровые инструменты могут не только повысить научную обоснованность управления ресурсами, но и **служить основой для международного сотрудничества**.

Значимость проекта выражается в следующих аспектах:

– интеграция данных двух стран в единую систему — редкий случай на постсоветском пространстве;

– повышение прозрачности и доверия между сторонами в вопросах использования общего ресурса;

– формирование платформы для согласования водопользовательских стратегий, особенно в контексте изменений климата.

Кроме того, данный опыт может быть масштабирован на другие трансграничные аквиферы региона — например, в бассейнах рек Сырдарья и Или, где также существуют потенциальные конфликты из-за неравномерного водообеспечения.

2.3 Ограничения и проблемы использования ГИС в гидрогеологии

Несмотря на существенные достижения в развитии геоинформационных систем и их активное применение в различных сферах природопользования, в том числе в гидрогеологии, на практике наблюдается целый ряд ограничений. Эти трудности снижают потенциал применения ГИС и часто становятся препятствием для реализации крупных аналитических или проектных задач. Проблемы можно условно разделить на пять основных категорий: **дефицит и разрозненность данных, технические сложности, нехватка квалифицированных кадров, организационно-институциональные барьеры и финансово-лицензионные ограничения.**

Ограниченность и разрозненность исходных данных

Одной из самых острых проблем является **недостаток актуальных и полноценных гидрогеологических данных**, особенно в региональном и локальном масштабе. Источники информации часто неполные, устаревшие или хранятся в недоступной форме (архивные бумажные карты, отчёты в сканах без пространственной привязки и т. д.).

В разных регионах Казахстана и Центральной Азии наблюдаются типичные проблемы:

- **неравномерное распределение наблюдательных скважин** — плотность пунктов наблюдений не позволяет проводить детализированную интерполяцию или надёжно калибровать модели;
- **отсутствие систематического мониторинга**, особенно в отдалённых районах, где финансирование водного сектора минимально;
- **отсутствие цифровых геологических карт** с высоким разрешением, что ограничивает возможности пространственного анализа;
- данные часто собраны **в разное время**, с применением разных методик, что делает их трудно сопоставимыми.

Например, в исследовании Абдрахманова [37], посвящённом анализу водообеспеченности регионов Казахстана, отмечается, что **в ряде областей отсутствуют базовые данные о дебитах эксплуатационных скважин**, а сведения по расходам воды доступны только на агрегированном уровне. Это существенно снижает точность прогнозирования водообеспеченности и усложняет корректное моделирование.

Технические сложности интеграции данных

Даже при наличии исходной информации, её интеграция в ГИС-платформу требует значительных технических усилий. Гидрогеологические данные зачастую поступают в различных форматах и требуют предварительной обработки:

- текстовые и табличные отчёты (Excel, CSV);
- геологические карты (в растровом и векторном виде);
- спутниковые снимки и цифровые модели рельефа (GeoTIFF, DEM);
- результаты химических анализов, полученных в лабораториях.

Объединение этих разнородных данных требует:

- **знания специализированных ГИС-программ** (ArcGIS, QGIS, GMS, MODFLOW, Leapfrog);
- **понимания принципов пространственной привязки** и проецирования координат;
- **наличия вычислительных мощностей**, особенно при обработке больших массивов данных или при построении 3D/4D-моделей.

Ошибки на стадии импорта данных, неверная трансформация координат или несогласованные системы проекций могут привести к **серьёзным искажениям в пространственном анализе**.

Так, в исследовании Серикбая [36], посвящённом моделированию процессов подтопления в Алматы, подчеркивается, что **отсутствие актуальной цифровой модели рельефа** стало одним из факторов, снизивших точность сценарных расчётов. Анализ показывал несоответствие между фактическим направлением подземного стока и результатами модели, что напрямую связано с недоработками при обработке пространственных слоёв.

Недостаток квалифицированных кадров

Одним из существенных ограничений широкого внедрения ГИС в гидрогеологию является **дефицит специалистов, способных комплексно работать с такими системами**. Для успешной реализации проектов требуется сочетание знаний в геологии, гидродинамике, математическом моделировании, а также уверенное владение специализированными ГИС-платформами.

На практике же наблюдается:

- **низкий уровень подготовки по ГИС у выпускников геологических и экологических специальностей;**
- **отсутствие междисциплинарных программ** в университетах, сочетающих ГИС с водными науками;
- **нехватка учебных материалов и методических пособий на казахском и русском языках**, адаптированных к реалиям стран Центральной Азии.

По данным отчёта ЮНЕСКО [40], **в большинстве стран региона доля специалистов, уверенно работающих в средах ArcGIS или GMS, составляет менее 10 процентов от общего числа специалистов водного сектора**. Это приводит к тому, что ГИС остаётся в основном инструментом внешних экспертов и консультантов, а не становится частью повседневной практики местных организаций.

Недостаточная координация между ведомствами

Межведомственное взаимодействие также остаётся слабым местом в системе применения ГИС в водной сфере. Данные, необходимые для комплексного анализа, часто **хранятся в разных организациях**, таких как:

- Министерство экологии и природных ресурсов;
- Комитет водных ресурсов;
- Геологическая служба;
- Статистические органы;
- Местные акиматы и ведомства по чрезвычайным ситуациям.

В результате:

- возникают **дублирующие источники информации**, собранные с разной периодичностью;
- данные не унифицированы по форматам и структуре;
- **затруднена верификация информации**, особенно по старым архивным данным;
- **доступ к данным ограничен бюрократическими процедурами**.

Особенно остро эта проблема проявляется при трансграничных исследованиях. В кейсе по **Преташкентскому водоносному горизонту** [41], моделируемому для Казахстана и Узбекистана, отмечалось, что **различие в методиках мониторинга, периодичности и форматах отчётности** стало препятствием для построения единой согласованной модели. Лишь при участии международных структур удалось добиться координации и сопоставимости данных между странами.

Финансовые ограничения и лицензионная политика

Ещё одним важным фактором, ограничивающим использование ГИС в гидрогеологии, являются **финансовые барьеры**. Ключевые профессиональные платформы, такие как:

- **ArcGIS** (Esri),
- **GMS** (Aquaveo),
- **Leapfrog Geo/Works** (Seequent), являются коммерческими и требуют приобретения дорогостоящих лицензий.

Это затрудняет:

- применение инструментов в **муниципальных проектах**;
- использование ГИС **в учебных целях** в университетах и колледжах;
- реализацию **долгосрочных мониторинговых программ** в рамках ограниченного государственного бюджета.

Даже при наличии академических лицензий часто отсутствуют ресурсы для их продления, технической поддержки или обучения персонала.

Конечно, существуют **бесплатные альтернативы**, такие как **QGIS, GRASS GIS, Saga GIS**, которые активно развиваются и имеют мощный инструментарий. Однако:

- они требуют **глубоких технических знаний**;
- **менее интуитивны** по сравнению с коммерческими продуктами;

- часто **нуждаются в ручной настройке** и интеграции дополнительных модулей.

В итоге, организации, не имеющие устойчивого финансирования или доступа к грантовой поддержке, вынуждены ограничиваться простейшими ГИС-функциями или вообще обходиться без них.

3 Перспективы развития технологий геоинформационного анализа в гидрогеологии

3.1 Современные тренды: искусственный интеллект, Big Data, облачные ГИС

Искусственный интеллект (AI) и машинное обучение

Одним из наиболее перспективных направлений в анализе подземных вод является использование **методов искусственного интеллекта и машинного обучения**. Эти технологии позволяют выявлять закономерности, которые сложно или невозможно обнаружить при помощи традиционного картографического и статистического анализа.

Применение AI в ГИС-гидрогеологии даёт возможность:

- распознавать **скрытые пространственно-временные взаимосвязи** между факторами — такими как глубина водоносного горизонта, тип почв, режим осадков и динамика водоотбора;
- **автоматизировать классификацию загрязнений** и построение прогнозов по распространению поллютантов;
- **предсказывать колебания уровня подземных вод** на основе многолетних данных наблюдений;
- выбирать **оптимальные точки бурения**, учитывая физико-географические и техногенные параметры.

Так, в исследовании Heijiang, C. (2022) была использована нейросетевая модель, обученная на данных 15-летнего мониторинга подземных вод в одном из регионов Китая. Эта модель продемонстрировала способность предсказывать снижение уровня воды с точностью свыше 90%, показывая эффективность AI как инструмента прогнозирования [42].

Подобные методы особенно перспективны в условиях **сложных многофакторных систем**, где требуется анализ большого массива данных и постоянное обновление моделей в реальном времени.

Big Data и автоматизация анализа

С развитием сенсорных технологий, дистанционного зондирования и IoT (Интернета вещей), объём данных, поступающих в системы мониторинга подземных вод, **увеличивается экспоненциально**. Эти данные поступают с автоматизированных станций, буровых, спутников, беспилотников, метеопостов и других источников.

Применение концепции Big Data позволяет:

- **объединять и синхронизировать данные из десятков и сотен источников**, включая химический состав воды, уровень осадков, изменение землепользования и т.д.;
- проводить **анализ в режиме реального времени**, оперативно выявляя отклонения и риски;

– создавать **автоматизированные отчёты, карты и прогнозы**, не требующие ручной обработки данных.

Например, в рамках проекта **SAWater-II (2023)** для Жамбылской области реализуется онлайн-платформа, объединяющая более 50 точек мониторинга подземных вод. Пользователь может в реальном времени отслеживать изменение уровня воды, визуализировать зоны дефицита и моделировать сценарии изменения водообеспеченности с помощью ГИС-интерфейса [43].

Облачные технологии и веб-ГИС

Переход к **облачным решениям и веб-ГИС (WebGIS)** стал важнейшим шагом в демократизации доступа к пространственным данным. Облачные ГИС-платформы (ArcGIS Online, Google Earth Engine, GeoNode, MapServer) позволяют отказаться от установки тяжёлых программ и локального хранения данных.

Основные преимущества облачных технологий:

- **доступность с любого устройства** (ПК, планшет, смартфон);
- **коллективная работа и обмен данными** между ведомствами, исследователями, НПО и международными организациями;
- **мгновенное обновление данных и визуализаций**;
- интеграция с **облачным хранилищем** данных (Google Drive, AWS, Azure).

Одним из успешных примеров является система **Water-Watch**, разработанная FAO. Эта веб-платформа позволяет сельскохозяйственным регионам Центральной Азии отслеживать динамику водных ресурсов через браузер — включая данные о подземных водах, осадках и испаряемости. В основу системы положены спутниковые данные GRACE и GPM, что делает её особенно полезной в засушливых и труднодоступных районах.

3.2 Новые возможности для гидрогеологических исследований

3D и 4D моделирование

Современная гидрогеология всё активнее уходит от анализа двумерных карт в сторону **трёхмерных и четырёхмерных моделей**, позволяющих отобразить подземные процессы с учётом временных изменений.

- Преимущества 3D/4D-моделирования:
- **наглядное представление водоносных горизонтов**, геологических слоёв и зон загрязнения;
- возможность отслеживать **вертикальное движение воды** и изменение насыщенности по глубине;
- **сценарное моделирование долгосрочных последствий эксплуатации** подземных вод.

Программные комплексы **Leapfrog Hydro, RockWorks, GMS** позволяют интегрировать геолого-гидрогеологические данные, данные ГИС, буровые журналы, сейсмику и лабораторные параметры в единую объёмную модель.

Так, в международном проекте UNESCO/IGRAC (2022) была создана **трёхмерная модель Преташкентского трансграничного горизонта**, охватывающая территории Казахстана и Узбекистана. Эта модель используется как основа для координации мониторинга и планирования водопользования в приграничных районах [41].

Дистанционное зондирование (ДЗЗ)

Спутниковые данные становятся **важным элементом** в гидрогеологическом анализе, особенно в районах, где отсутствует наземный мониторинг. Использование ДЗЗ позволяет:

- **косвенно оценивать уровень подземных вод** по показателям влажности, растительности, осадков и деформации поверхности;
- **выявлять зоны подтопления, засоления, эрозии и деградации почв**;
- **контролировать динамику водоотбора** на орошаемых землях и в промышленных зонах.

Наиболее часто используются спутники:

- **Sentinel-2 и Landsat-8** — спектральный анализ почв и растительности;
- **GRACE и GRACE-FO** — гравиметрический мониторинг изменения массы подземных вод;
- **GPM и MODIS** — оценки осадков и испарения.

Один из ярких примеров — **кейс из Индии**, где с помощью спутников GRACE была выявлена зона критического падения уровня подземных вод в бассейне реки Ганг. Эти данные легли в основу масштабной правительственной программы по восстановлению и ограничению эксплуатации ресурсов [44].

Интеграция с экономическими и экологическими моделями

Будущее ГИС в гидрогеологии связано не только с техническим развитием, но и с **расширением её применимости на смежные дисциплины**.

Речь идёт о:

- интеграции с **экономическим моделированием** — оценки ущерба, затрат, выгод от проектов;
- **экологическом анализе** — влияние на биоразнообразие, водно-солевой баланс, устойчивость экосистем;
- **социальном контексте** — уязвимость населения, санитарные риски, доступность воды.

ГИС становится платформой для формирования **интегральных карт риска**, которые включают:

- параметры качества воды;
- плотность населения и степень зависимости от подземных источников;
- наличие медицинской и санитарной инфраструктуры;
- использование земель и характер землепользования.

В QGIS и ArcGIS сегодня активно применяются методы **горячих точек (hot-spot analysis)** и «**тепловые карты**» уязвимости, которые позволяют принимать решения с учётом не только природных, но и социально-экономических факторов.

Для Казахстана развитие ГИС-гидрогеологии имеет **стратегическое значение**, особенно в условиях климатических изменений, роста водопотребления и трансграничного характера многих водоносных систем. Среди приоритетных направлений:

- создание **национального онлайн-реестра скважин и подземных вод**, интегрированного с ГИС;
- развитие **открытых платформ для межведомственного обмена данными** (экология, геология, водное хозяйство);
- внедрение **GEOAI (геоаналитика с элементами искусственного интеллекта)** для автоматизации анализа данных;
- **интеграция с климатическими моделями** и разработка сценариев на 2050–2100 гг.;
- подготовка специалистов через **межвузовские программы**, онлайн-курсы и пилотные лаборатории на базе университетов.

Таким образом, современное развитие ГИС-технологий выводит гидрогеологию на новый уровень. Применение искусственного интеллекта, Big Data, 3D-моделей, дистанционного зондирования и облачных решений позволяет не просто анализировать водные ресурсы, но и **эффективно ими управлять в условиях неопределённости и трансформации климата**. Именно эти направления станут определяющими для устойчивого водопользования в ближайшие десятилетия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной дипломной работы проведено исследование применения геоинформационных систем (ГИС) в области гидрогеологии. Рассмотрены основные принципы использования ГИС для анализа, моделирования и управления подземными водами.

Изучены современные тенденции развития ГИС-технологий, включая интеграцию с методами искусственного интеллекта, обработку больших данных и применение облачных решений. Проанализированы возможности 3D и 4D моделирования, а также использование данных дистанционного зондирования для оценки и прогнозирования состояния подземных вод.

Проведен обзор реальных кейсов применения ГИС в гидрогеологических исследованиях, в том числе в Казахстане, Узбекистане и Индии. Рассмотрены примеры успешного внедрения ГИС для мониторинга, оценки качества и управления подземными водами в различных регионах.

Выявлены основные ограничения и проблемы, связанные с применением ГИС в гидрогеологии, такие как недостаток качественных данных, ограниченный доступ к современному программному обеспечению и нехватка квалифицированных специалистов.

На основе проведенного анализа предложены рекомендации по дальнейшему развитию и внедрению ГИС-технологий в гидрогеологические исследования и практику. Подчеркнута необходимость создания единой национальной базы данных по подземным водам, развития образовательных программ по ГИС и укрепления межведомственного сотрудничества.

Таким образом, геоинформационные системы представляют собой эффективный инструмент для решения актуальных задач гидрогеологии, способствуя более точному анализу, прогнозированию и устойчивому управлению водными ресурсами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мегаобучалка. (2020). *Гидрогеология Древнего Египта*. <https://megaobuchalka.ru/13/4013.html>
- 2 Библиотекарь. (2015). *Лозоходство и биолокация в геологических исследованиях*. <https://bibliotekar.ru/2-9-15-lozohodstvo-i-biolokaciya/10.htm>
- 3 Darcy, H. (1856). *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*. Imprimerie Impériale.
- 4 Пальянов, П. Ф., & Штейнберг, А. М. (1964). *Бурение скважин: (Для специальности "Гидрогеология и инж. геология" геол.-развед. и горных ин-тов и фак.)*. Москва: Недра.
- 5 Оноприенко, М. Г. (1978). *Бурение и оборудование гидрогеологических скважин*. Москва: Недра.
- 6 Дарси, А. (1856). *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*. Paris: Bachelier.
- 7 Гавич, И. К. (2006). *Гидрогеодинамика*. Москва: Геоиздат.
- 8 Кургузов, А. А. (2020). Анализ неопределенности в инженерно-геологических системах. *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*, 2, 7–15. <https://sciencejournals.ru/view-article/?a=GeoEko12002007Kurguzov&j=geoekol&n=2&v=0&y=2020>
- 9 Методика гидрогеологических исследований месторождений Торткудук. <https://articlekz.com/article/21983>
- 10 Гидрогеологическая интерпретация геофизических данных. https://studopedia.su/8_19060_gidrogeologicheskaya-interpretatsiya-geofizicheskikh-dannih.html
- 11 Гидрогеология: курс лекций. <https://studfile.net/preview/5623788/>
- 12 U.S. Geological Survey. (2017). Groundwater Modeling Software MODFLOW 6 Now Available. <https://www.usgs.gov/news/technical-announcement/groundwater-modeling-software-modflow-6-now-available>
- 13 Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press.
- 14 Wulder, M. A., et al. (2012). The role of satellite remote sensing in the sustainable management of forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 42(8), 1381–1393.
- 15 Kumar, S., Borah, S., & Choudhury, S. (2020). Machine learning applications in hydrology: A review. *Journal of Hydrology*, 585, 124803.
- 16 Böhlke, J. K., et al. (2006). Three-dimensional visualization of groundwater flow and contaminant transport. *Environmental Science & Technology*, 40(9), 2924–2930.
- 17 ESRI. (2022). *GIS for Natural Resource Management*. Retrieved from <https://www.esri.com/>
- 18 Geospatial World. (2021). *Geospatial Technologies in Resource Management: The Future of GIS*. Geospatial World.
- 19 Miller, H. J., & Goodchild, M. F. (2015). *Data and Big Data: Spatial Data Science and GIS*. *The Geographic Journal*, 181(3), 239-251.

- 20 Gartner. (2022). *Big Data and GIS Integration: Key Insights for Businesses*. <https://www.gartner.com/>
- 21 Fischer, M. M., et al. (2019). "Interactive Cartography in Spatial Analysis." *Geographical Information Science*, 34(1), 78–92.
- 22 Esri. (n.d.). *GIS Solutions for Groundwater*. esri.com
- 23 U.S. Geological Survey. (2025). *MODFLOW and Related Programs*. [USGS](https://www.usgs.gov)
- 24 U.S. Geological Survey. (1994). *Using Remote Sensing and GIS Techniques to Estimate Discharge Components*. <https://pubs.usgs.gov/publication/70018672>
- 25 Esri Community. (2019). *Groundwater Interpolation with Respect to DEM*. Retrieved from <https://community.esri.com/t5/arcmap-questions/groundwater-interpolation-with-respect-to-dem/td-p/248801> *Frontiers*
- 26 Şener, E., Davraz, A., & Özçelik, M. (2005). An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: A case study in Burdur, Turkey. *Hydrogeology Journal*, 13(5–6), 826–834. doi:10.1007/s10040-004-0378-5
- 27 Esri Documentation. (n.d.). *IDW (Spatial Analyst)—ArcGIS Pro*. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/idw.htm> *esri.com*
- 28 Gebbert, S., & Pebesma, E. (2015). 3D-4D visualization of GRASS GIS voxels of groundwater flow with Paraview. *ResearchGate*. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/D-4D-visualization-of-GRASS-GIS-voxels-of-groundwater-flow-with-Paraview-Source-GRASS_fig6_268515148
- 29 ArcGIS Insights Documentation. (n.d.). *Temporal Analysis—ArcGIS Insights*. Retrieved from <https://doc.arcgis.com/en/insights/latest/analyze/temporal-analysis.htm>
- 30 Cascelli, E., Crestaz, E., Foglini, F., Khalid, F., & Power, C. H. (2005). Geographical Information Systems and Groundwater Mathematical Modelling: ArcGIS-FEFLOW Integration Case Study. *Proceedings IAMG 2005*.
- 31 Seequent. *Gain Subsurface Insight with Leapfrog Works*. Retrieved from <https://www.seequent.com/products-solutions/leapfrog-works/> *seequent.com*
- 32 RockWare. *RockWorks Groundwater Modeling Case Studies*. Retrieved from <https://www.rockware.com/support/rockworks-support/rockworks-downloads/rockworks-case-studies/groundwater-modeling-case-studies/> *RockWare*
- 33 Aquaveo. *GMS – Groundwater Modeling System Introduction*. Retrieved from <https://www.aquaveo.com/software/gms-groundwater-modeling-system-introduction>
- 34 Cascelli, “Tight-coupling of groundwater flow and transport modelling engines”, *Acque Sotterranee* (2012).
- 35 Mapping the potential for managed aquifer recharge in Kazakhstan. CAWATERinfo / WaterCA. 2023. <https://water-ca.org/wp-content/uploads/Mapping-the-potential-for-managed-aquifer-recharge-in-Kazakhstan.pdf>
- 36 Serikbay, N. (2023). *Assessment of urbanization-related groundwater flooding process via Visual MODFLOW modeling: A case study for the northern*

37part of Almaty city, Kazakhstan. ResearchGate.
<https://www.researchgate.net/publication/384399446>

38 Abdrakhmanov, M. (2022). *GIS-assessment of groundwater supply to population and branches of economy of Kazakhstan with account to long-term water demand*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/366154033>

39 Omarova, A. (2024). *Geospatial assessment of groundwater quality in Western Kazakhstan using ArcGIS*. Scientific Reports, Springer Nature. <https://www.nature.com/articles/s41598-025-90033-z>

40 UNESCO-IHP, IGRAC (2022). *Developing a transboundary groundwater model in the water-scarce region of Central Asia: A case study of the Pretashkent aquifer*.

<https://un-igrac.org/data/resources/developing-a-transboundary-groundwater-model-in-the-water-scarce-region-of-central-asia>

41 UNESCO-IHP / IGRAC (2022). Capacity gaps in groundwater monitoring in Central Asia.

42 UNESCO-IHP, IGRAC (2022). Developing a transboundary groundwater model for the Pretashkent aquifer.

43 Heijiang, C. (2022). "Toward improved lumped groundwater level predictions at regional scale by integrating physics-based and data-driven models", *Journal of Hydrology*.

44Adenova, D. (2023). "Groundwater Quality and Potential Health Risk in Zhambyl Region, Kazakhstan", *Water*.

45 Janardhanan, S. (2023). "Estimation of groundwater storage loss for the Indian Ganga Basin using remote sensing", *Scientific Reports*.

46 Канафин К.М. (2018) . "Применение дистанционного зондирования для оценки гидрогеологических условий Западного Казахстана"

Приложение А



Рисунок А.1.1.1 – Круговорот воды в природе



Рисунок А. 1.2.1 – Компоненты геоинформационной системы (ГИС)

Приложение Б

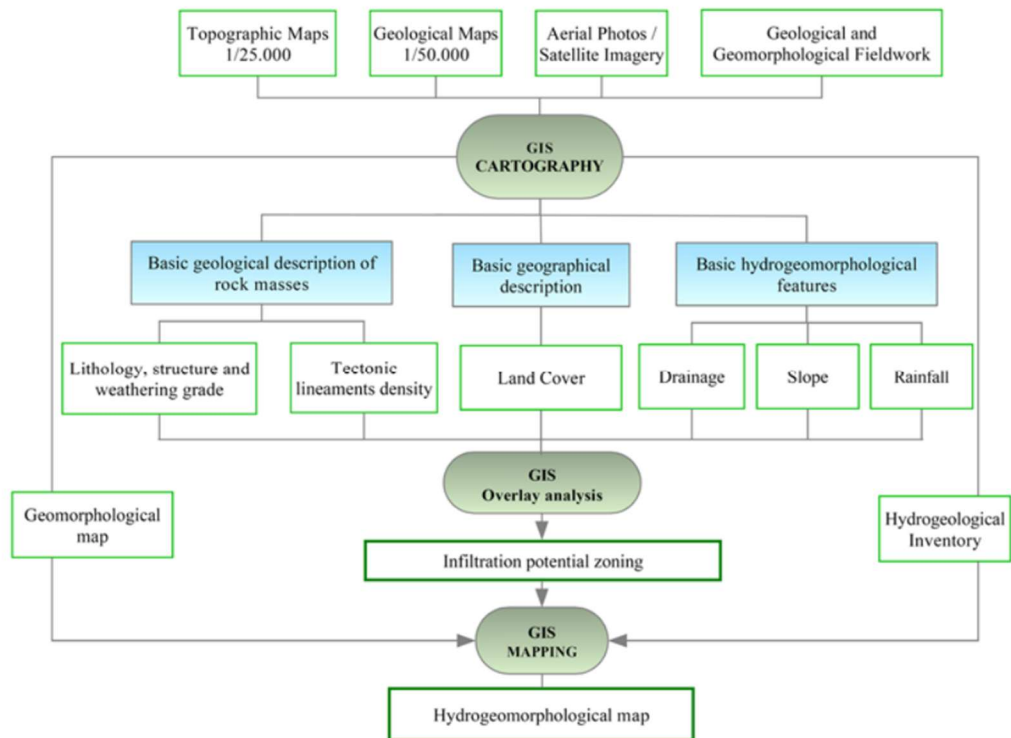


Рисунок Б. 2.1.1 – Источники данных и их интеграция в единую базу

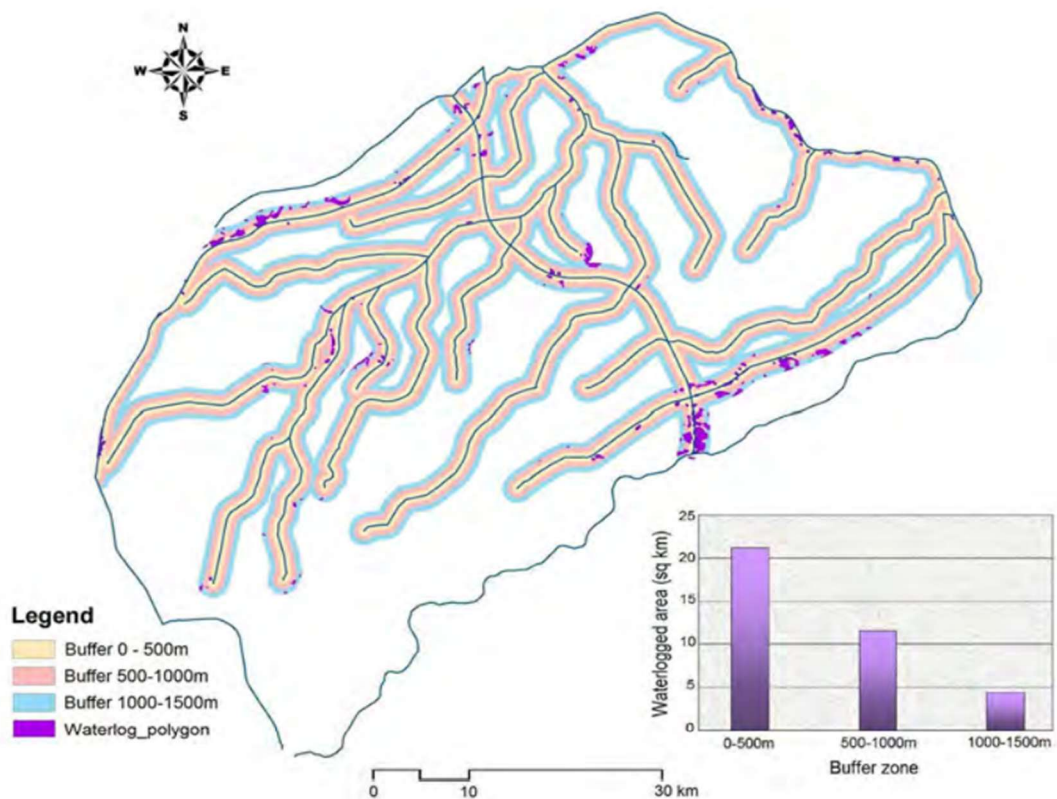


Рисунок Б. 2.1.2 – Пример буферного анализа зон подтопления

Продолжение приложение Б

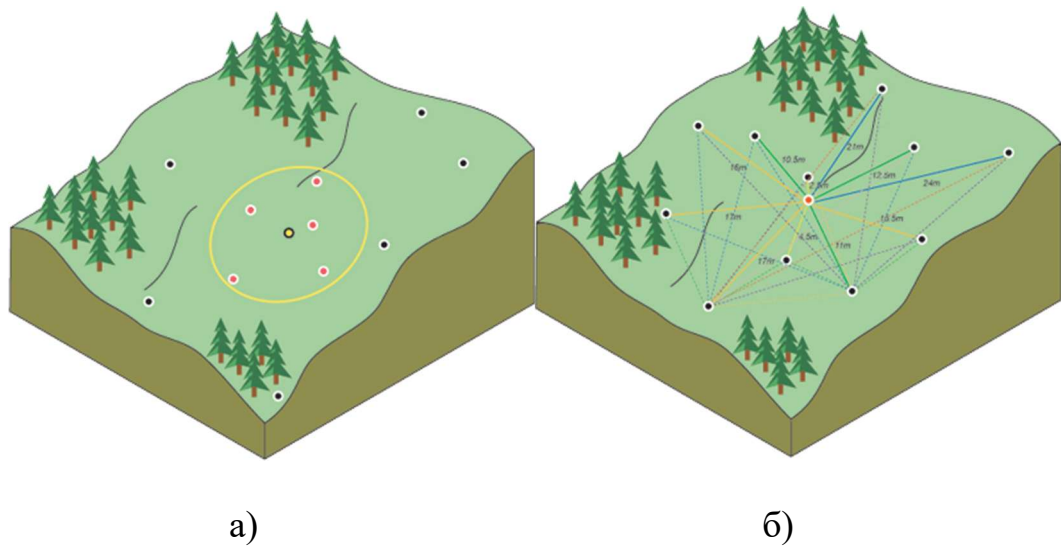


Рисунок Б. 2.1.3 – а) Инструмент IDW б) Инструмент Kriging

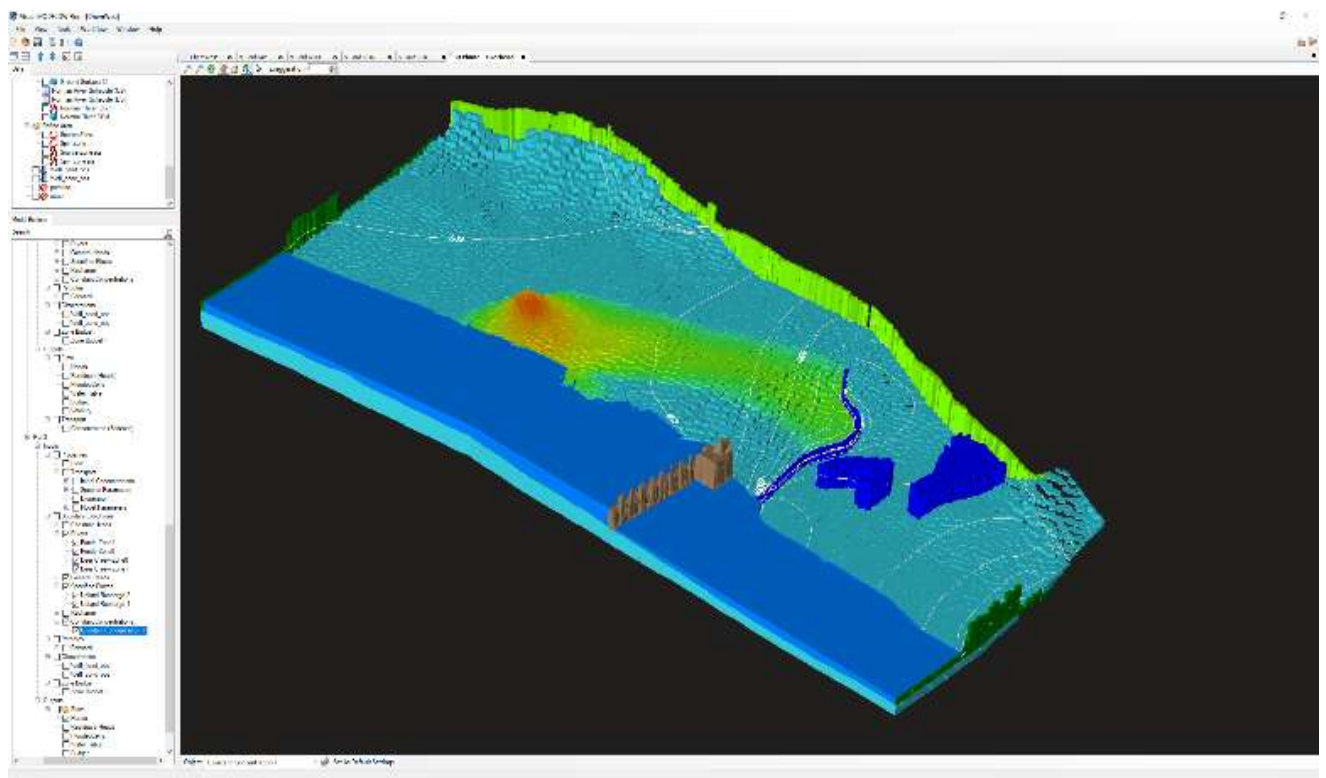


Рисунок Б. 2.1.4 – MODFLOW Analyst

Продолжение приложение Б



Рисунок Б. 2.1.5 – Плагин Midvatten

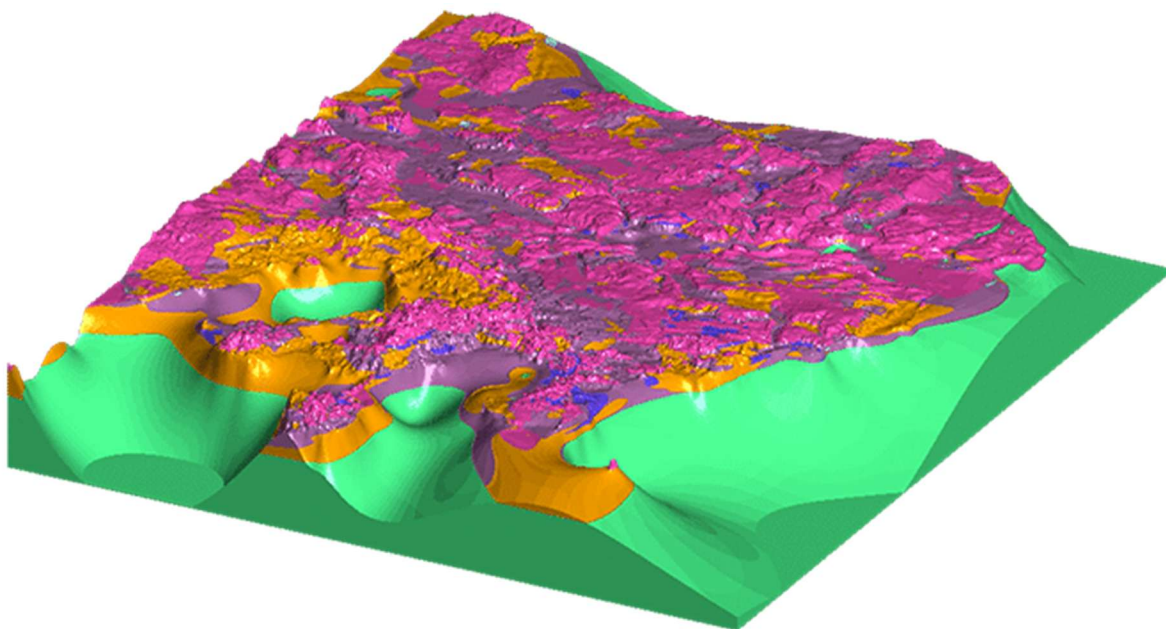


Рисунок Б. 2.1.6 – Пример 3D-модели в Leapfrog Works

Продолжение приложение Б

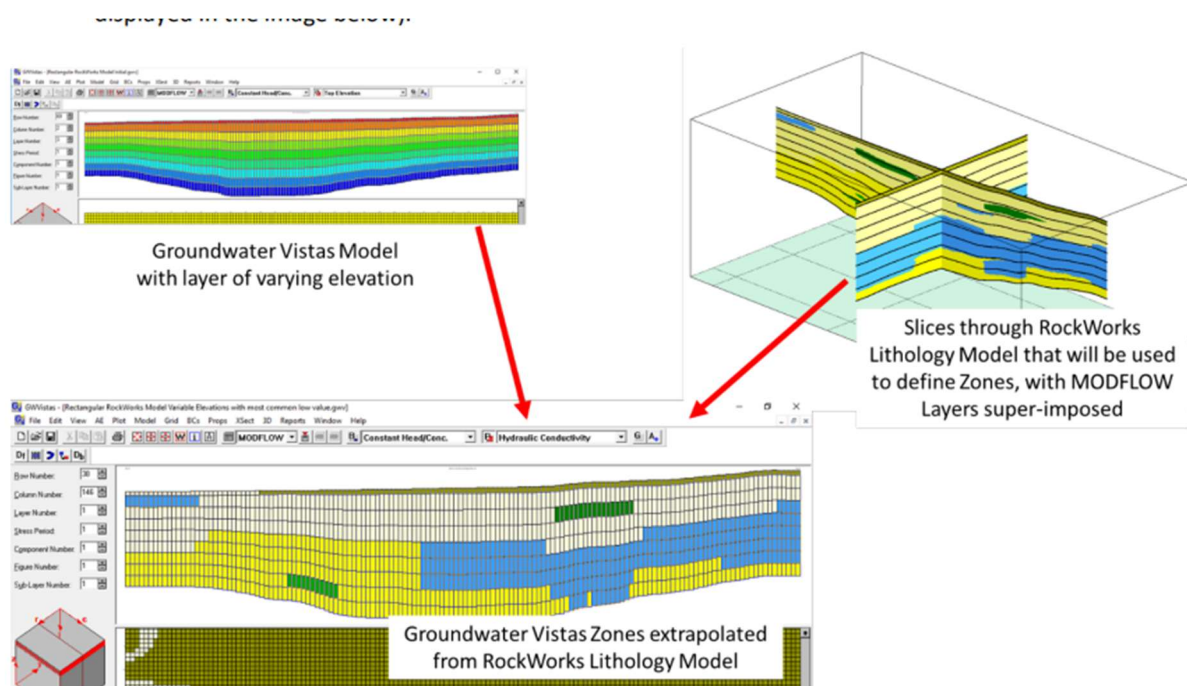


Рисунок Б. 2.1.7 – Объёмные модели в RockWorks

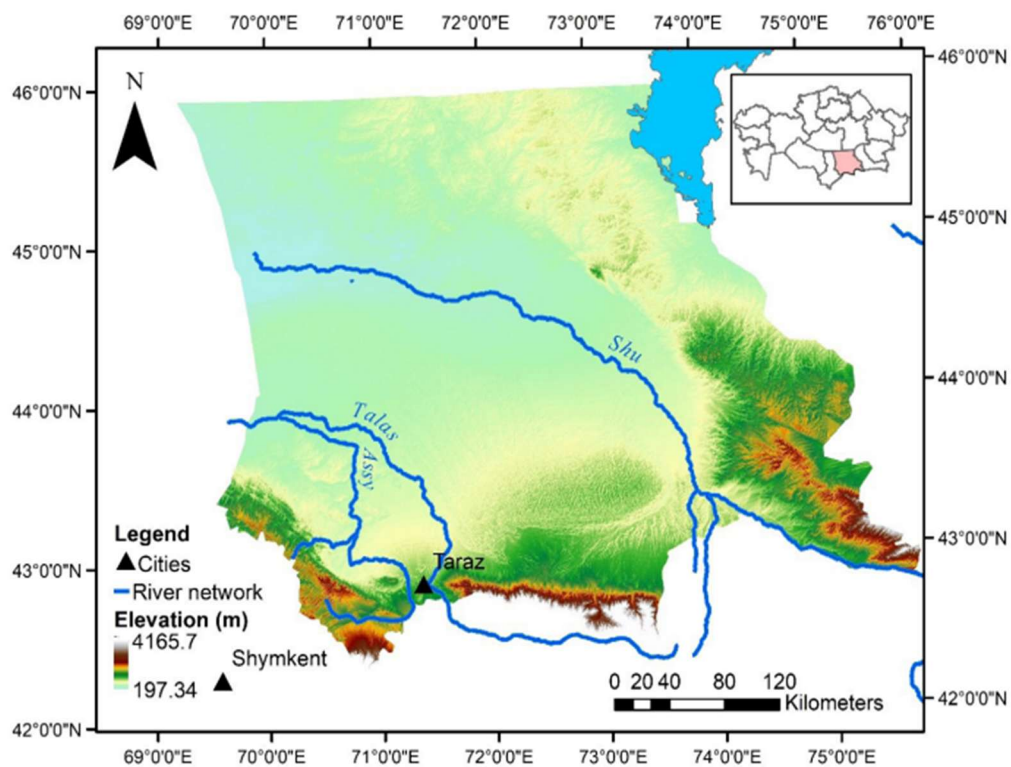


Рисунок Б. 2.2.1 – Жамбылская область с рельефом и речной сет

Продолжение приложение Б

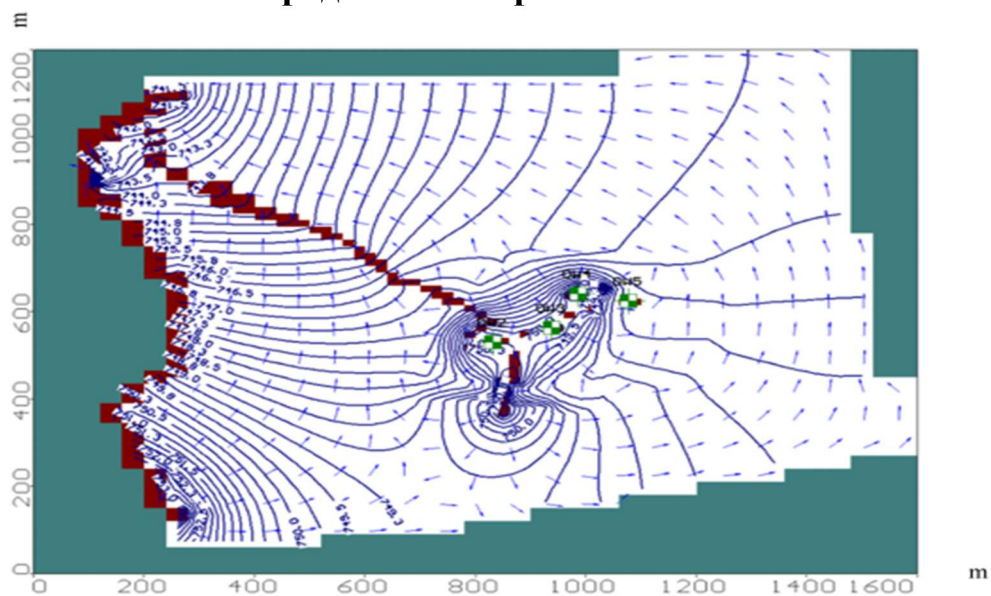


Рисунок Б. 2.2.2 – Контуры напора подземных вод и путь потока в безнапорном водоносном горизонте. 25 мая 2018

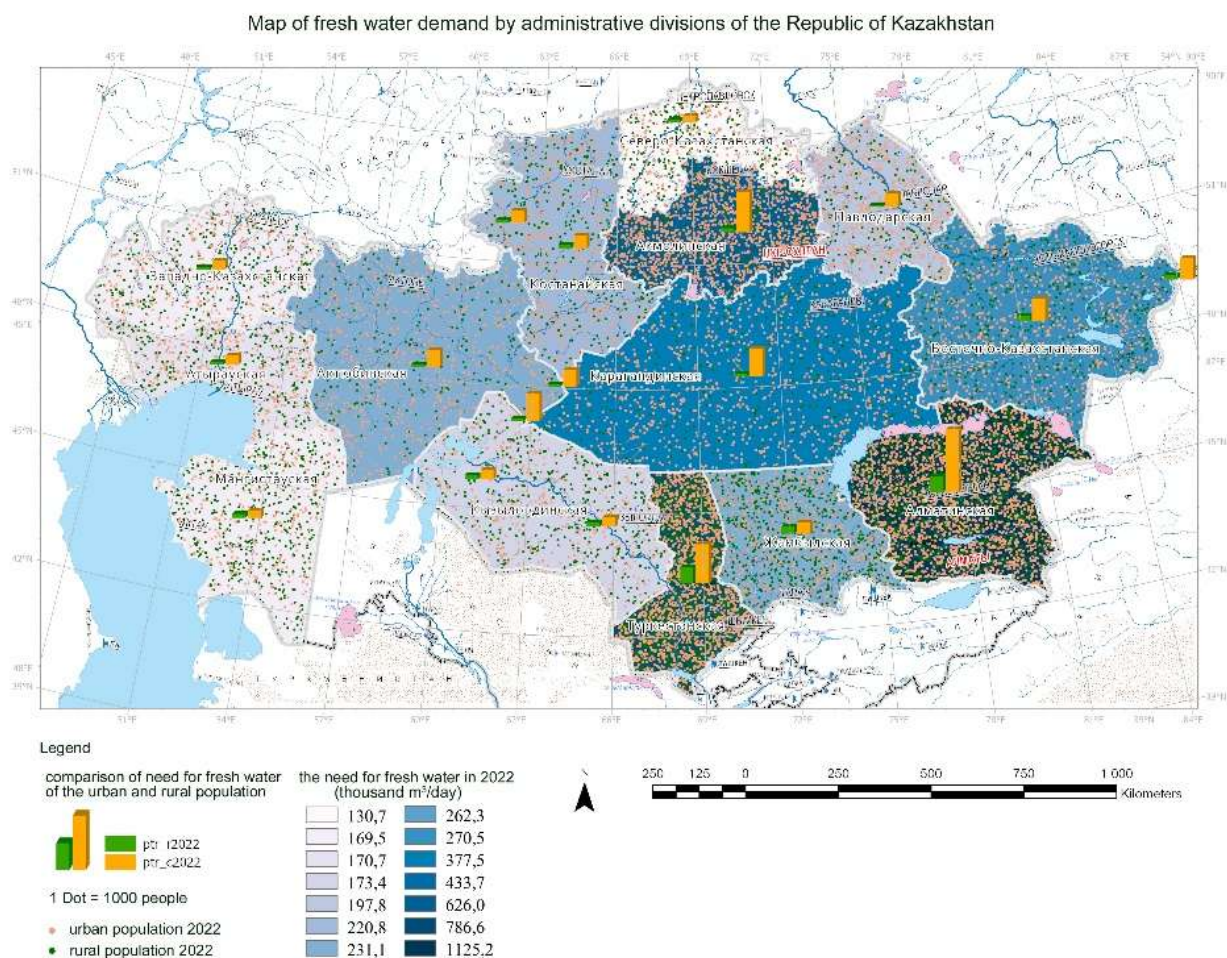


Рисунок Б. 2.2.3 – Карта потребности в пресной воде по административным единицам Республики Казахстан

Продолжение приложение Б

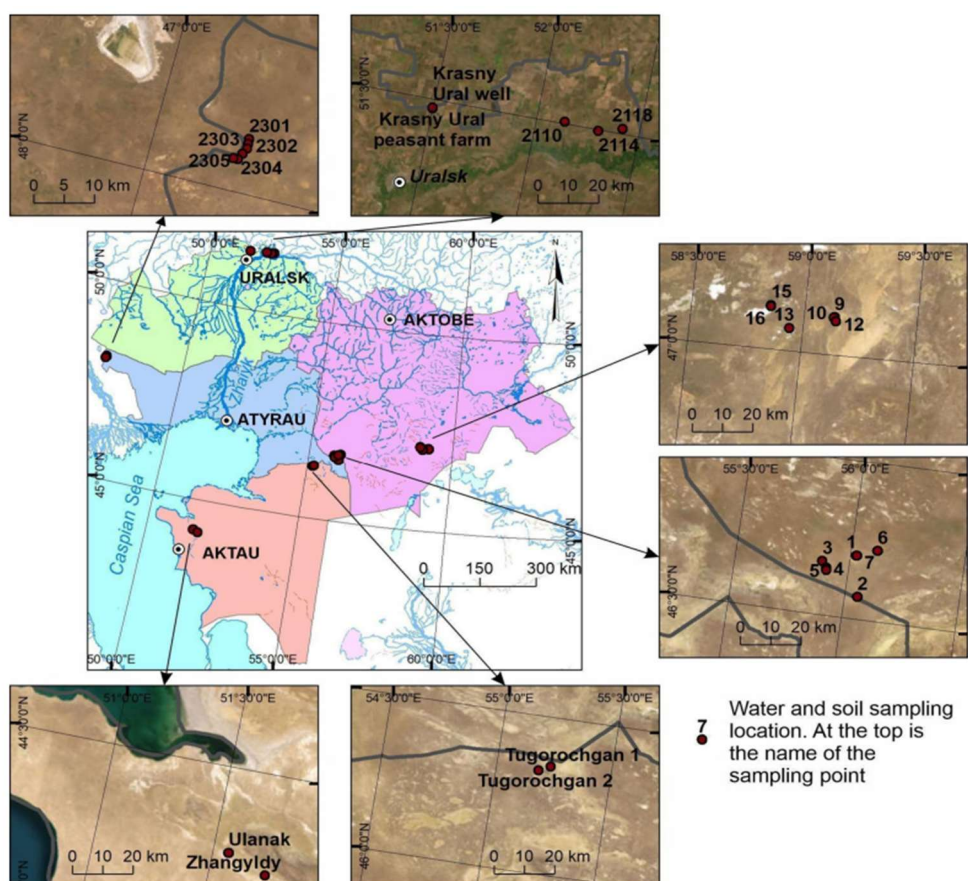


Рисунок Б. 2.2.4 – Место отбора проб воды и почвы в Западном Казахстане, карта выполнена через ArcGIS

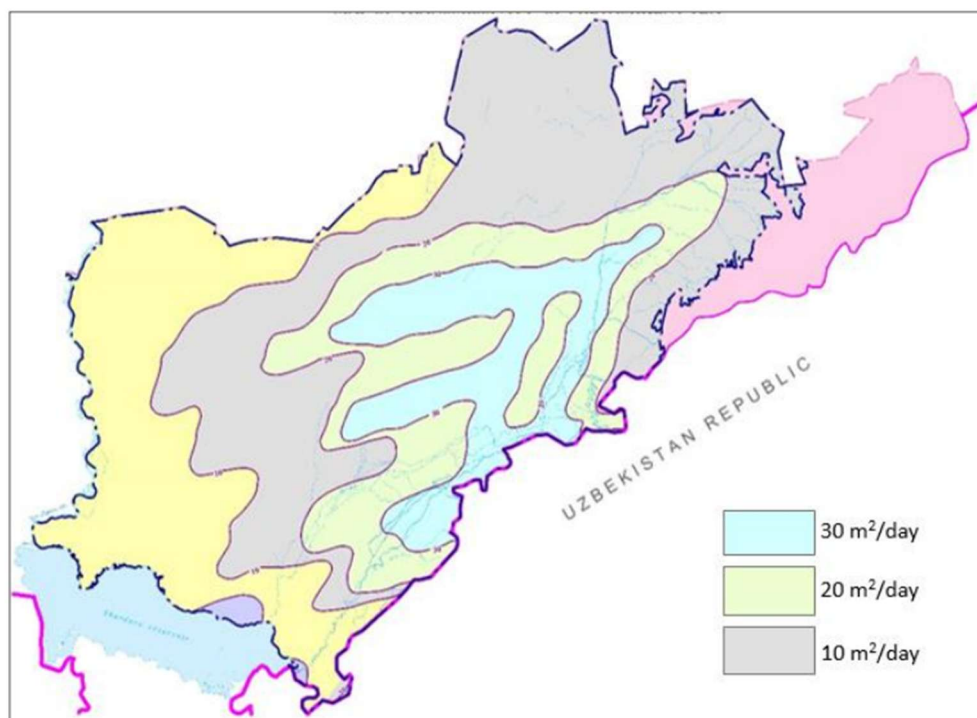


Рисунок Б. 2.2.5 – Карта водопроницаемости Приташкентского трансграничного водоносного горизонта в Казахстане

РЕЦЕНЗИЯ

на Дипломную работу
(наименование вида работы)

Ануарбек Альнур Ануарұлы
(Ф.И.О. обучающегося)

6B05202 – Гидрогеология и инженерная геология

На тему: «Применение ГИС технологий в гидрогеологии»

- а) графическая часть на 6 листах
- б) пояснительная записка на 33 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В работе не всегда соблюдается единый стиль оформления (например, в обозначениях единиц измерения).

Некоторые таблицы и графические материалы могли бы быть дополнены пояснительным текстом для лучшего восприятия информации.

Оценка работы

Автор продемонстрировал уверенное владение современными инструментами геоинформационного анализа, включая применение ГИС-технологий для интеграции пространственных и гидрогеологических данных, построения 3D-моделей водоносных горизонтов, а также выполнения сценарного анализа.

Работа хорошо структурирована, содержит обоснованные выводы и демонстрирует комплексный подход к решению задач, стоящих перед гидрогеологией в условиях дефицита водных ресурсов.

Несмотря на наличие незначительных замечаний, работа отличается высоким уровнем исполнения и демонстрирует готовность автора к профессиональной деятельности по специальности «Гидрогеология и инженерная геология».

ОЦЕНКА ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

Дипломная работа выполнена в соответствии со всеми требованиями и стандартами. Студентом были усмотрены все замечания. Дипломную работу оцениваю на «90».

Рецензент

Гидрогеолог
ООО «Производственная компания
«ГЕОТЕХНИКА»
технических наук

Козырева Б.Р.
«15.06.2025г.»

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на Дипломную работу

Ануарбек Альнур Ануарұлы

6B05202 – Гидрогеология и инженерная геология

На тему: «Применение ГИС технологий в гидрогеологии»

Дипломный проект Ануарбек Альнура Ануарұлы посвящён применению геоинформационных систем (ГИС) в гидрогеологических исследованиях, с акцентом на анализ современных технологий, используемых для оценки состояния и моделирования подземных вод на территории Казахстана.

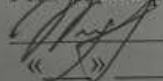
Основной целью дипломной работы стало обоснование эффективности интеграции ГИС в гидрогеологические изыскания, включая обработку и визуализацию пространственных данных, построение трёхмерных моделей водоносных горизонтов и использование инструментов для прогнозирования изменений в условиях увеличения водопотребления и изменения климата.

В дипломной работе использованы данные открытых гидрогеологических источников и нормативных документов Республики Казахстан (включая СП РК, ГОСТ РК и СН РК). Работа также включает примеры из региональных кейсов, в том числе по Жамбылской, Атырауской и Алматинской областям.

Считаю, что Ануарбек А.А. в процессе подготовки диплома овладел современными методами пространственного анализа в гидрогеологии, уверенно использует инструменты ГИС и способен интерпретировать данные на уровне, необходимом для принятия практических решений. По результатам дипломной работы он показал готовность к профессиональной деятельности по образовательной программе 6B05202 «Гидрогеология и инженерная геология».

Научный руководитель

PhD-доктор, старший преподаватель



Кульдеева Э.М

2025 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ануарбек Альнур Ануарұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Применение ГИС технологий в гидрогеологии

Научный руководитель: Эльмира Кульдеева

Коэффициент Подобия 1: 0.2

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 5

Знаки из других алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.


☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-06-12

Дата

Еркежан Мақабіл



проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ануарбек Альнур Ануарұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Применение ГИС технологий в гидрогеологии

Научный руководитель: Эльмира Кульдеева

Коэффициент Подобия 1: 0.2

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 5

Знаки из других алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-06-12

Дата

Заведующий кафедрой



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Ануарбек Альнур Ануарұлы

Тақырыбы: Применение ГИС технологий в гидрогеологии

Жетекшісі: Эльмира Кульдеева

1-ұқсастық коэффициенті (30): 0.2

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 0.1

Әріптерді ауыстыру: 0

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 5

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

2025-06-12

Күні

Кафедра меңгерушісі



Отчет подобия

Метаданные

Название организации

Satbayev University

Название

Применение ГИС технологий в гидрогеологии

Автор

Научный руководитель / Эксперт

Ануарбек Альнур АнуарұлыЭльмира Кульдеева

Подразделение

ИГИНГД

Объем найденных подобиий

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках.. Обратите внимание!Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



КП1

25

Длина фразы для коэффициента подобия 2



КП2

7911

Количество слов



КЦ

65931

Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв	Б	0
Интервалы	A→	0
Микропробелы	·	5
Белые знаки	Б	0
Парафразы (SmartMarks)	a	2

Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	https://sky.pro/wiki/gadgets/istoriya-videokart-ot-pervyh-modelej-do-sovremennyh-reshenij/	9 0.11 %
2	https://sky.pro/wiki/gadgets/istoriya-videokart-ot-pervyh-modelej-do-sovremennyh-reshenij/	7 0.09 %

из базы данных RefBooks (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из домашней базы данных (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из программы обмена базами данных (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из интернета (0.20 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	https://sky.pro/wiki/gadgets/istoriya-videokart-ot-pervyh-modelej-do-sovremennyh-reshenij/	16 (2) 0.20 %

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---