

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

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

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

УДК 528.06

На правах рукописи

Жетпісбаева Әмина Саятқызы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

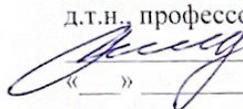
Название диссертации

Применение ГИС в геологии

Направление подготовки

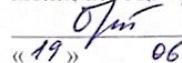
7M07306 - Геопространственная цифровая
инженерия

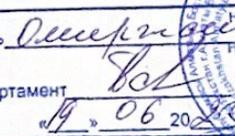
Научный руководитель
д.т.н., профессор

 Касымканова Х.М.
« » 2023 г.

Рецензент

к.т.н., ассоц. профессор

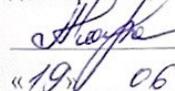
 Омиржанова Ж.Т.
«19» 06 2023 г.

Подпись 
заверяю
HR департамент
«19» 06 2023 г.



Нормоконтролер

доктор PhD, ассоц. профессор

 Айтказинова Ш.К.
«19» 06 2023 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой "МДиГ"
доктор PhD, ассоц. профессор
Орынбасарова Э.О.
«19» 06 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

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

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

Кафедра маркшейдерского дела и геодезии

7M07306 - Геопространственная цифровая инженерия

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой "МДиГ"

доктор PhD, ассоц.профессор

 Орынбасарова Э.О.

«19» 06 2023 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистрант Жетпісбаева Әмина Саятқызы

Тема: «Применение ГИС в геологии»

Утверждена приказом «02» ноябрь 2021 год №1779-М.

Срок сдачи законченной диссертации «20» июнь 2023 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: тектонические разломы, эпицентры землетрясений, технические отчеты инженерно-геодезических и геологических изысканий

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) Зонировать территорию города в зависимости от сейсмической опасности на основании отдаленности от тектонических разломов и эпицентров ранее произошедших землетрясений;

б) Используя геологические разрезы построить литологическую модель земного массива в пределах охвата скважин;

в) Визуализировать интегрированные результаты.

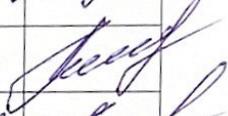
Рекомендуемая основная литература: Ананьев А.С. Гис в геологии. – М.: Изд-во компании: Gemcom Software International Inc., 2012

ГРАФИК
Подготовки магистерской диссертации

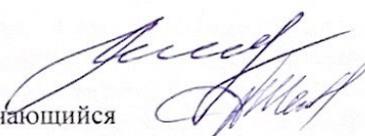
Наименование разделов, перечень Разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю	Примечание
Процесс установления степени сейсмической опасности на основании близости к тектоническим разломам	20.10.2022	—
Процесс установления степени сейсмической опасности на основании близости к эпицентрам землетрясений	20.01.2023	—
Интеграция полученных результатов анализа	20.04.2023	—
Литологическая модель экспериментального участка	19.06.2023	—

Подписи

Консультантов и нормоконтролера на законченную диссертационную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделам работы (проекта)

Наименование разделов	Консультанты, Ф.И.О. (уч.степень, знание)	Дата подписания	Подпись
Процесс установления степени сейсмической опасности на основании близости к тектоническим разломам, эпицентрам землетрясений	д.т.н., профессор Касымканова Х.М.	20.10.2022	
Интеграция полученных результатов анализа	д.т.н., профессор Касымканова Х.М.	20.01.2023	
Литологическая модель экспериментального участка	д.т.н., профессор Касымканова Х.М.	20.04.2023	
Нормоконтролер	доктор PhD, асоц. профессор Айтказинова Ш.К.	19.06.2023	

Научный руководитель



Касымканова Х.М.

Задание принял к исполнению обучающийся



Жетписбаева Э.С.

Дата

«10» 11 2021 г.

АННОТАЦИЯ

В диссертационной работе освещена одна из наиболее актуальных проблем больших динамично развивающихся городов в сейсмически опасных регионах, показана важность открытого доступа к геологической информации необходимой при строительстве. В рамках работы произведен анализ местности на предмет выявления зон с наибольшей и наименьшей сейсмической опасностью. Разработана литологическая модель экспериментального участка по фактическим данным, собраны и интегрированы разнородные данные. Выявлен недостаток предоставления геологических разрезов в классическом виде путем их построения в пространстве ArcScene. Предложено создание открытого портала для пользователей сети интернет, а также систематическое размещение в нем архивных данных геологических изысканий для мониторинга, отбора безопасных участков для строительства, жилой площади и т.п. Таким образом в рамках диссертационной работы реализованы поставленные задачи и достигнута цель. Практическая значимость работы: избежание строительства жилых зданий в потенциально опасных районах, предупреждение об опасности уже существующих зданий и строений.

АНДАТПА

Диссертациялық жұмыста сейсмикалық қауіпті аймақтардағы қарқынды дамып келе жатқан ірі қалалардың өзекті мәселелерінің бірі қамтылған, құрылыс кезінде қажетті геологиялық ақпаратқа ашық қол жеткізудің маңыздылығы көрсетілген. Жұмыс шеңберінде ең үлкен және ең аз сейсмикалық қауіптілігі бар аймақтарды анықтау тұрғысынан жергілікті жерге талдау жүргізілді. Эксперименттік учаскенің литологиялық моделі нақты мәліметтер бойынша жасалды, гетерогенді деректер жиналды және біріктірілді. ArcScene кеңістігінде оларды салу арқылы геологиялық кесінділерді классикалық түрде ұсынудың кемшілігі анықталды. Интернет желісін пайдаланушылар үшін ашық портал құру, сондай-ақ оған мониторинг жүргізу, құрылыс үшін қауіпсіз учаскелерді, тұрғын алаңды және т. б. іріктеу үшін геологиялық ізденістердің мұрағаттық деректерін жүйелі орналастыру ұсынылды. Осылайша, диссертация аясында барлық міндеттер іске асырылып, түпкі мақсатқа қол жеткізілді. Жұмыстың практикалық маңыздылығы: ықтимал қауіпті аудандарда тұрғын үй құрылысын болдырмау, бұрыннан бар ғимараттар мен құрылыстардың қауіптілігі туралы ескерту.

ANNOTATION

The dissertation highlights one of the most pressing problems of large dynamically developing cities in seismically dangerous regions, shows the importance of open access to geological information necessary during construction. As part of the work, an analysis of the terrain was carried out to identify areas with the greatest and least seismic danger. A lithological model of the experimental site has been developed based on actual data, heterogeneous data have been collected and integrated. The lack of providing geological sections in the classical form by constructing them in the ArcScene space is revealed. It is proposed to create an open portal for Internet users, as well as the systematic placement of archival geological survey data in it for monitoring, selection of safe sites for construction, living space, etc. Thus, within the framework of the dissertation work, all the tasks were implemented and the final goal was achieved. Practical significance of the work: avoiding the construction of residential buildings in potentially dangerous areas, warning about the danger of existing buildings and structures.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Применение ГИС в геологии	8
1.1 Применение ГИС в различных аспектах геологии	8
1.2 Анализ ГИС применяемых при обработке геологических данных	9
1.3 Общие принципы создания цифровой базы данных исходной геолого-геофизической информации	14
2 Анализ методов создания литологической модели	21
2.1 Литологическая модель по методу Дженифер Карел	21
2.2 Построение литологической модели посредством инструментов набора Пространственного анализа	22
2.3 Построение литологической модели посредством вокселей	23
2.4 Метод геостатистической интерполяции	25
3 Физико-географические и техногенные условия исследуемого участка	26
3.1 Климат	26
3.2 Геологическое строение	27
3.3 Физико-механические свойства грунтов	28
3.4 Агрессивно коррозионные свойства грунтов	31
3.5 Выводы согласного технического отчета по инженерно-геологическим изысканиям	31
4 Исходные данные	35
5 Анализ данных для установления районов по степени опасности	44
5.1 Процесс установления степени сейсмической опасности на основании близости к тектоническим разломам	44
5.2 Процесс установления степени сейсмической опасности на основании близости к эпицентрам землетрясений	45
5.3 Интеграция полученных результатов анализа	46
6 Литологическая модель экспериментального участка	53
Заключение	62
Список использованной литературы	63

ВВЕДЕНИЕ

Диссертационная работа посвящена одной из актуальнейших проблем крупных городов и мегаполисов, связанный с высоким уровнем урбанизации и строительства в сейсмически опасных регионах.

Последние трагические события, произошедшие в начале февраля 2023 года в Турции, вызвали широкий общественный резонанс, затронувший Казахстан, а именно г. Алматы, в большей степени из-за 2 факторов: избыточное количество строящихся объектов гражданского строительства, зачастую недопустимой этажности для данного региона; высокая сейсмическая опасность, обусловленная проходящими близ города тектоническими разломами. Согласно официально заявленным данным в СМИ наиболее опасными районами города являются горные районы, однако необходимо ввести уточнение в каких районах существует действительно высокая опасность разрушения и какие новостройки, и более старые дома входят в зону опасности.

На основании вышеуказанного одной из задач исследования диссертационного проекта была выбрана идентификация потенциально опасных строений и районов города на основании критериев, подробно описанных ниже, а также поиск безопасных участков для гражданского строительства. Исходя из последнего, следует понимать, что безопасное строительство предполагает приемлемое инженерно-геологическое заключение, которое в свою очередь основано на геологических изысканиях, т.е. бурении скважин, экспертизе. К сожалению, существует тенденция пренебрегать инженерно-геологическим заключением, как правило частными лицами, что ведет к необратимым и порой трагическим последствиям. Во избежание последнего в рамках диссертационного проекта предлагается решение в виде создания единой пополняемой базы, состоящей из литологических моделей, построенных по фактически произведенным и зарегистрированным инженерно-геологическим данным.

Резюмируя вышеизложенное, следует выделить **основные задачи**:

- Зонировать территорию города в зависимости от сейсмической опасности на основании отдаленности от тектонических разломов и эпицентров ранее произошедших землетрясений;
- Используя геологические разрезы построить литологическую модель земного массива в пределах охвата скважин;
- Визуализировать интегрированные результаты.

Таким образом, ввиду выполнения поставленных задач реализуется **цель настоящей работы**, заключаемая в предоставлении первичной ознакомительной геологической информации о литологии и сейсмической опасности потенциально приемлемого участка для гражданского строительства. Личный вклад диссертанта. Сбор данных, непосредственное

участие при бурении скважин, составление технического отчета, обработка и визуализация данных.

Практическая значимость работы: избежание строительства жилых зданий в потенциально опасных районах, предупреждение об опасности уже существующих зданий и строений.

Публикации: по диссертации опубликованы 2 статьи.

1 Применение ГИС в геологии

1.1 Применение ГИС в различных аспектах геологии

Практически со дня основания ГИС сопутствовали геологии на различных стадиях исследований, оценки, эксплуатации различных полезных ископаемых ввиду своей функциональности. Геоинформационные системы применяются при производстве геологоразведочных работ для топографической привязки, в качестве среды для создания карт, визуализации геохимических и геофизических исследований, среды для моделирования ископаемых руд и подсчета объемов и прогнозирования. Исходя из широкого спектра вышеизложенных функциональных возможностей ГИС в геологии подразделяются на несколько видов: векторные, растровые, системы для моделирования, сервисные программы. Самые часто используемые продукты среди векторных: ArcGIS, Mapinfo, ПАРК и др; среди растровых: Erdas Imagine, ENVI, ER Mapper и др.; распространенные системы моделирования в странах СНГ: Erdas Imagine, ENVI, ER Mapper и др.; сервисные программы служат для предподготовки исходных данных перечисленных ПО, играют посредническую роль.

Несмотря на столь широкий масштаб применения геоинформационных систем в геологии остаются актуальными в ряде проблем: малое количество квалифицированных специалистов в обеих областях, отсутствие алгоритма обработки данных, бесчисленное множество форматов и разнородность данных, что свойственно в том числе инженерно-геологической промышленности в нашей стране. Проблему разнородности данных следует рассматривать через призму производственных сложностей на примере поскольку это является чуть ли не основной проблемой в геологии, что было рассмотрено более детально в ранее опубликованной статье, содержащейся в подразделе 1.3.

1.2 Анализ ГИС применяемых при обработке геологических данных

Геоинформационные системы (ГИС) на данное время являются незаменимым инструментом для анализа и интерпретации пространственной и непространственной информации для различных аспектов деятельности и науки. В том числе, следует отметить роль ГИС в такой области как геологические исследования, где данные системы нашли применение практически на всех этапах изучения, оценки, эксплуатации различного рода полезных ископаемых, оценки запасов и составления отчетности, а также в вопросах охраны природы и при оценке воздействия на окружающую среду, при реагировании на нештатные ситуации и др. Ключевыми преимуществами при решении задач посредством ГИС являются экономия материальных

ресурсов, времени в поисках новых месторождений и мониторинг за уже разрабатываемыми.

На данный момент программные обеспечения, используемые для целей геологии и геологоразведки имеют 4 основных направления, среди которых: векторные ГИС, растровые ГИС, горно-геологические системы для моделирования месторождений полезных ископаемых, сервисные программы. Прежде чем приступить к знакомству с ПО, необходимо выделить ряд проблем, возникающих при создании и использовании алгоритмов анализа геологических данных. В первую очередь это связано с нехваткой специалистов со знанием одновременно ГИС и геологии, а также существенное значение имеет проблема в виде неоднородности данных, различности их форматов.

Решением целого ряда проблем, возникающих при интерпретации, интеграции данных, включая вышеизложенные является одно из множества ПО- ГИС INTEGRО ГЕОФИЗИКА- геоинформационная система интегрированной интерпретации геофизических данных для изучения глубинного строения земной коры созданная ВНИИгеосистем. При помощи ГИС INTEGRО ГЕОФИЗИКА, осуществимы такие задачи как:

- построение слоисто-блоковых моделей земной коры с выделением реперных физико-геологических границ осадочного чехла, кристаллического фундамента, Конрада, Мохоровичича;

- выделение и прослеживание зон нарушения сплошности среды, зон повышенной трещиноватости и расслоенности с возможным флюидонасыщением;

- прогноз вещественного состава горных пород земной коры;

- типизация моделей земной коры по физико-геологическим признакам и их сопоставление с особенностями строения известных месторождений полезных ископаемых;

- определение глубинных критериев минерагенического прогноза минерального и углеводородного сырья.

Вышеизложенные задачи в ГИС INTEGRО ГЕОФИЗИКА решаются посредством анализа данных изучения сейсмических волн, магнитных полей, электромагнитных параметров земной поверхности. В построении технологии анализа разработчики данного ПО придерживались нескольких принципов:

- общие принципы системного анализа;

- принципы интегрированного анализа геоинформации;

- принципы, определяющие комплексную обработку геофизических данных.

В качестве исходных данных в ПО могут быть представлены как геологические карты, разрезы, результаты наблюдений в скважинах, геофизические данные разных методов. Данная система оснащена множеством составляющих для обработки определенного рода данных. Как например для анализа и обработки 2-х и 3-х мерных массивов используется

ГИС INTEGRО, структура которого размещена в виде рисунка 1.1, а для обработки данных сейсморазведки применяется программно-методический комплекс «ИНТЕГРАН».

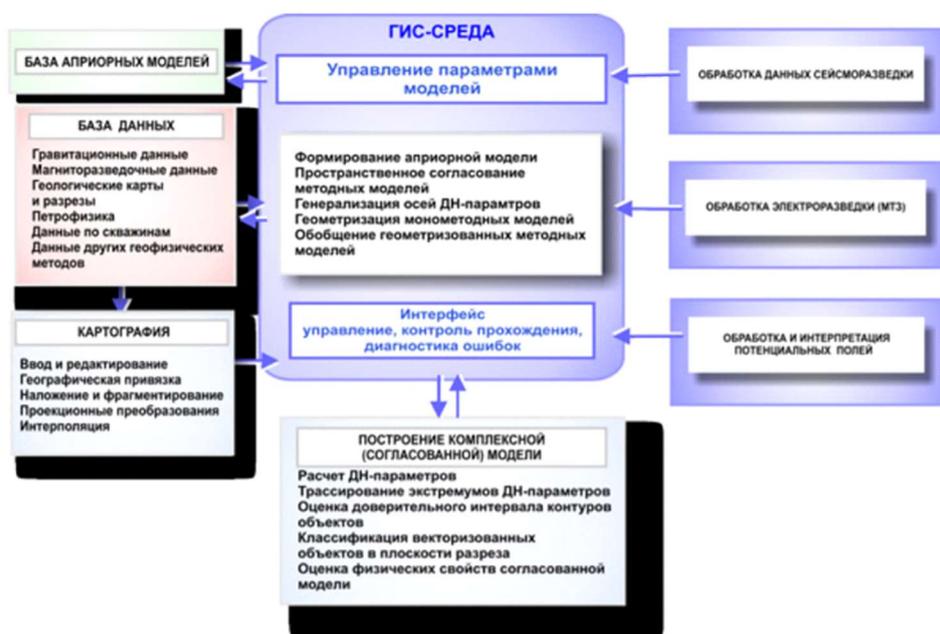


Рисунок 1.1 – Структура ГИС INTEGRО ГЕОФИЗИКА

На данный момент стало актуальным создавать внутрикорпоративные программы, как например ГИС «Алмалыкского горно-металлургического комбината». ОАО «Алмалыкский ГМК» - самый крупный горно-металлургический комбинат в Республике Узбекистан. Мощность производства основана на запасах твердых полезных ископаемых группы медно-порфириновых, свинцово-цинковых и золотосеребряных месторождений, которые расположены в 4 областях страны. Данный комбинат испытывает нужду в различные рода пространственной, картографической и др. информацией, предоставляемой маркшейдерской службой. В свою очередь маркшейдерская служба осуществляет подготовку производства оперативно предоставляя исходные материалы в том числе в виде топографических планов, а также осуществляя замеры остатков сырья на промплощадках. Переход на корпоративную ГИС был мотивирован тем, что многие из топопланов были изготовлены в 70-е годы прошлого века и потому назрела острая необходимость в обновлении и изменении формата и выдачи их пользователям. Таким образом происходит внедрение геоинформационных технологий на платформе ArcGIS. Ранее комбинат не имел четкого регламента по сбору, хранению и обработке данных таким образом использовалось различное ПО (Панорама, ArcGIS, CorelDRAW, AutoCAD), что влекло за собой разнородные форматы и структуры данных. Создание ГИС ОАО «Алмалыкский ГМК» предусматривает организацию централизованного хранения пространственных данных, предоставление единого ГИС-

функционала и картографического интерфейса для работы с пространственными данными по различным направлениям: земельно-имущественные отношения, маркшейдерия, геология и недропользование, транспорт, охрана окружающей среды и др. Данная система позволила оперативно и одновременно всеми пользователями корпоративной ГИС работать с пространственной информацией посредством Web-публикации во внутрикорпоративной сети предприятия. С интерфейсом корпоративной ГИС ОАО «Алмалыкский ГМК» можно ознакомиться на рисунке 1.2.

Следует отметить, что в настоящее время наиболее полезный массив данных для разведки полезных ископаемых и разработки их запасов несут в себе данные дистанционного зондирования (ДДЗ). Комбинация ДДЗ и ГИС открывает широкий спектр возможностей для развития бизнеса горнорудных и нефтегазовых компаний, деятельности других организаций, связанных с этими отраслями хозяйственной деятельности. Однако несмотря на стремительно быстрое развитие космических технологий в геологоразведке могут быть полезны лишь некоторые из них. Пригодность космических снимков обусловлена прежде всего качественными характеристиками, разрешением и спектральным диапазоном. Таким образом Exploration Mapping Group, Inc использует в своих сервисах данные таких систем как: WorldView ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), Sentinel и другие приборы промышленного уровня с 15 и более спектральными каналами высокого разрешения.

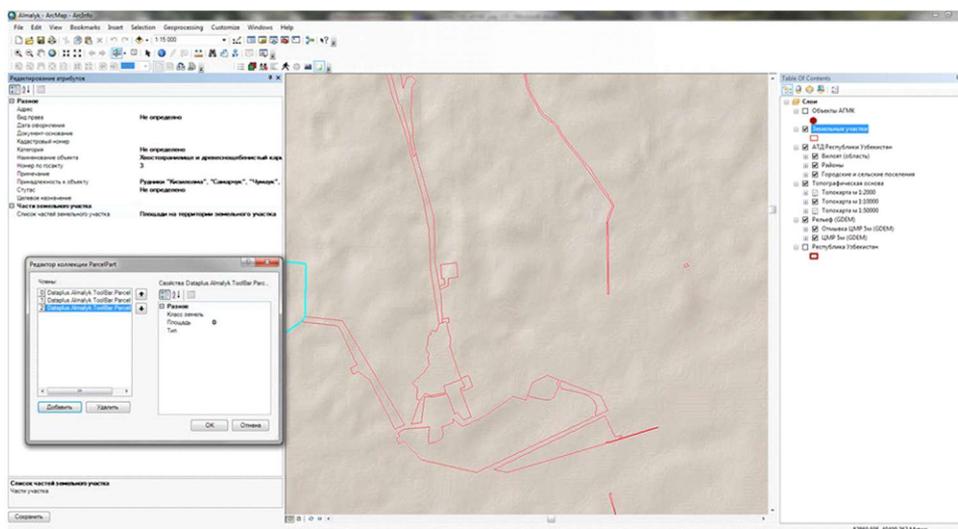


Рисунок 1.2 – Интерфейс корпоративной ГИС Алмалыкского ГМК

Компания Exploration Mapping Group предоставляет услуги и выполняет проекты на основании многоспектральных высокоточных космических снимков для предприятий, заинтересованных в разведке и добыче полезных ископаемых.

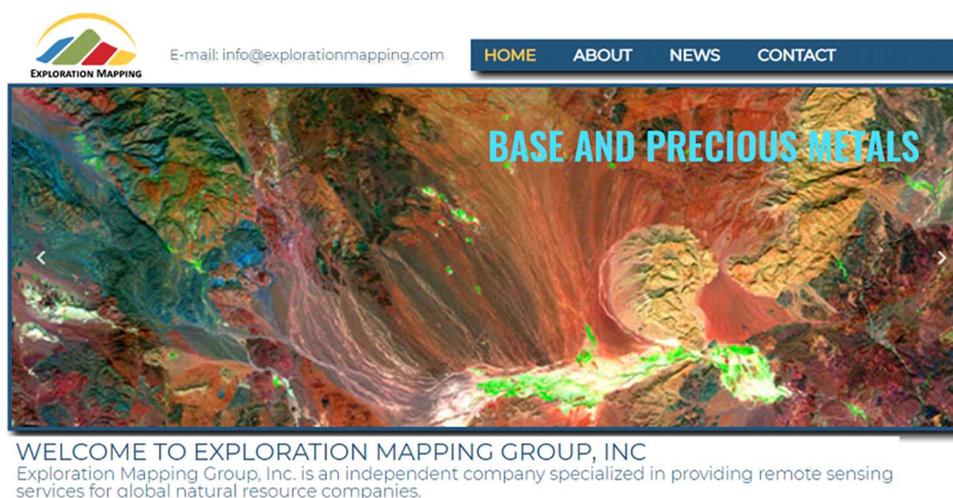


Рисунок 1.3 – Сайт компании Exploration Mapping Group

Данная компания производит исследования посредством настольных продуктов Esri, в числе которых ArcGIS Pro, ArcGIS Desktop. В ходе обработки осуществляется улучшение изображений, создание мозаик, векторный и растровый анализ, а также верификация при помощи инструмента Check Geometry для идентификации ошибок. Все этапы, входящие в производственный цикл тщательно проанализированы в ПО ArcGIS для принятия наиболее выгодных решений. Последние технологии в сфере дистанционного зондирования Земли предоставляют возможности геологоразведке чрезвычайно оперативно обследовать обширные площади для выявления потенциала и расположения месторождений, что значительно уменьшает траты материальных ресурсов и что немаловажно-времени.

Проанализировав значительно большое количество информации по методам обработки геологических данных, применяемым программным обеспечениям, а также исходным данным становится явным, во-первых, большое преимущество над другими, продуктов компании Esri. Главным образом потому, что в ПО осуществим централизованный сбор разнородных данных, их интегрированной интерпретации в одной среде, а также работа с big data, что обусловлено облачным хранилищем. Подобные возможности сильно подкупают внимание специалистов, занимающихся в сфере геологоразведки поскольку несмотря на большой объем данных, не требуются колоссальные возможности компьютера, вполне достаточно посредственного оборудования, что значительно увеличивает потенциал для расширения деятельности пользователей, занимающихся в данной области. Наряду с тем особого внимания заслуживает комбинация ГИС с данными дистанционного зондирования. Как было отмечено ранее ДДЗ в тандеме с ГИС дают наиболее оперативные, наименее трудоемкие результаты в виде выявления потенциала месторождения, его локации и т.п.

1.3 Общие принципы создания цифровой базы данных исходной геолого-геофизической информации

Так как важнейшим фактором развития горнорудной промышленности Казахстана в настоящее время является повышение детальности изучения геологических толщ, вмещающих рудные месторождения, как основы создания эффективного информационного обеспечения процессов разведки и разработки рудных залежей, то уточнение геологического строения месторождений и содержащихся в них геологических запасов руды, локализация остаточных запасов в пространстве и времени, отработка мероприятий по их вовлечению в разработку является обязательной процедурой мониторинга разведки и эксплуатации месторождений. Ограниченность информации о геологическом строении месторождений во многих случаях является тормозом при внедрении современных экономически целесообразных технологий интенсификации добычи руды и повышения коэффициента извлечения металла.

В связи с естественным сокращением фонда легко открываемых месторождений полезных ископаемых в Казахстане эффективность геологических, геофизических и геохимических методов при прогнозно-поисковых исследованиях в значительной мере определяется полнотой извлечения информации. Поэтому в процессе геолого-геофизических исследований собирается огромное количество разнородной информации, представленной в текстовом, графическом, табличном, картографическом и т.д. видах. Поэтому актуальность разработки и применения баз данных для систематизации, упорядочивания, хранения и анализа большого объема геофизической информации является бесспорной.

Для того, чтобы собранные данные приносили практическую прибыль, необходимо обеспечить возможность оперативного доступа к ним при решении конкретных задач недропользования. При этом, требуется определенное время для приведения набора разнородных данных к виду, пригодному для последующего их комплексного использования в системах моделирования, анализа и мониторинга.

Главным достижением в этой области стало переводение аналоговой информации в цифровую и создание электронного архива. Каждая компания, работающая в горнорудном секторе в Казахстане, имеет свою базу данных с ограниченным количеством информации. Эта информационная ограниченность приводит к невозможности обобщения, правильного достоверного анализа и корректного истолкования имеющейся информации. Как следствие, использование БД для геологического моделирования также имеет свои проблематичные стороны.

Обзор состояния баз данных по месторождениям твердых полезных ископаемых Казахстана показал, что необходимо создать единую систему хранения и доступа к геолого-геофизической информации, которая будет

поддерживать различные операции с данными, включая ввод, хранение, манипулирование, обработку запросов, поиск, выборку, сортировку, обновление, сохранение целостности и защиту данных.

Это позволит всем недропользователям и другим заинтересованным сторонам более оперативно и эффективно использовать накопленные за многие годы информационные ресурсы. Должна быть создана как единая база данных недропользования в Казахстане, так и отдельные БД по различным направлениям, важнейшим из которых на сегодняшний день является освоение рудных месторождений. В связи с планируемым переходом Казахстана на международную систему отчетности по запасам твердых полезных ископаемых по стандартам CRIRSCO/PERC, JORC и NI-43101 проблема обобщения и хранения больших объемов геологических данных, с целью создания цифровых моделей рудных месторождений является особенно актуальной.

На сегодняшний день в Казахстане проблема хранения больших объемов геологических данных рудных месторождений, с возможностью многократного обращения, комплексного анализа массовых данных, интерпретации и мониторинга геоданных является актуальной.

В рамках Государственной программы «Цифровой Казахстан» важным этапом является формирование базы данных для:

- создания цифровых геологических моделей месторождений полезных ископаемых РК;

- переход на управление разработки месторождений в онлайн-режиме («Умный рудник»);

- организация онлайн-системы управления базой данных (СУБД) с Web-интерфейсом по месторождениям полезных ископаемых Казахстана, которая должна включать комплекс работ по сбору, вводу, хранению пространственно-распределённой информации, её обработки и выдачи пользователю цифровых данных геологического и технологического содержания а также создание информационной системы контроля производством («Интеллектуальное месторождение»).

Применение современных технологий обработки и интерпретации первичной геолого-геофизической информации с широким использованием компьютерных технологий также все время требует дальнейшего совершенствования методики создания региональных и целевых баз геолого-геофизических данных.

Разработка структуры БД для хранения первичной информации по данным геологической разведки, наполнение базы информацией геологического и геофизического опробования; обобщение и анализ первичных геологических данных, необходимых для геологического моделирования. БД удовлетворяет условиям организации цифровых геолого-геофизических материалов, с обязательной увязкой и интегрированием БД, как с внешними носителями первичной информации, так и со

специализированными информационными системами сбора, обработки, интерпретации, построения конечных результативных моделей, с возможностью многократного использования и пополнения хранимой информации в процессе освоения рудных месторождений.

Методика исследований включает:

- изучение существующих методов и подходов к построению цифровых моделей с целью построения адекватной трехмерной геологической модели рудных месторождений Казахстана;

- разработку структуры базы данных для хранения первичной информации по данным геологической разведки;

- технологию наполнения базы информацией геологического и геофизического опробования;

- технологию каталогизации, статистического анализа первичных геологических данных, исправление ошибок, группировка данных, заверка базы, выявление закономерностей;

- систематизацию, классификацию, обработку, обобщение и анализ обширной геолого-геофизической информации по каждому месторождению исследуемого региона, необходимых для создания достоверной цифровой геологической модели.

Поскольку, фактическая база данных геологической модели является центральным звеном всего процесса эффективного освоения и разработки месторождений, а исходные данные на каждом этапе имеют ограниченную достоверность, планируется в дальнейшем разработка системы управления базой данных (СУБД), которая даст возможность пополнения, обновления и корректировки информации на всех этапах построения модели, многократного обращения к хранимой информации при решении различных геологических задач, в связи с появлением новых математических методов обработки, интерпретации и комплексного анализа геоданных .

В целом, созданная БД обеспечит унифицированное хранение пространственных и описательных данных в СУБД, без использования дополнительных программных средств.

Информационная база геологического моделирования рудных месторождений предусматривает оперативный доступ и действенное использование исходных данных, промежуточных и конечных результатов интерпретации, опирающихся на интегрированную базу данных, включающую всю информацию, связанную с поиском, разведкой и разработкой месторождения. Доступ и использование данных осуществляться при помощи большого набора интерактивных прикладных процедур.

База данных геолого-геофизической информации должна удовлетворять следующим требованиям:

- комбинирование различных способов хранения пространственной информации (ГИС и СУБД);

- наличие средств интеграции и динамической настройки на изменяемые структуры БД;
- наличие интерфейсов к существующим системам хранения и обработки геолого-геофизической информации;
- поддержка удаленного доступа средствами телекоммуникаций.

Организация геологических данных в электронном виде обладает рядом характерных особенностей, не позволяющих создавать электронные модели с применением достаточно простых математических алгоритмов. Среди этих особенностей, в первую очередь, выделяется разнородность существующей информации, которая выражается:

- в различных способах получения первичной информации;
- в различных методах получения первичной информации;
- в наличии дискретных данных, описывающих непрерывные процессы и их свойства;
- в различных способах электронного хранения информации (растровые, векторные изображения, табличные данные разных типов).

При создании базы данных необходимо придерживаться следующих принципов:

- использование единой системы идентификации информационных объектов;
- использование единого стандарта на формат записи признаков типа, формирование единого адресного пространства территориальной информационной системы и его внедрение во всех автоматизированных информационных системах;
- использование единого формата записи признаков при информационном обмене данными;
- использование общесистемных справочников и словарей по отдельным системам баз данных;
- предложение унифицированного протокола обмена между единым информационным банком данных производственной компании и научных организаций;
- учет предложений производственных компаний и научных организаций.

Проектирование структуры БД осуществляется на основе объектно-ориентированного анализа, в который включается анализ структуры подлежащих хранению данных, способ их сбора и анализ требований к организации доступа к базе данных, выбираемых технических средств (Рисунок 1.4).

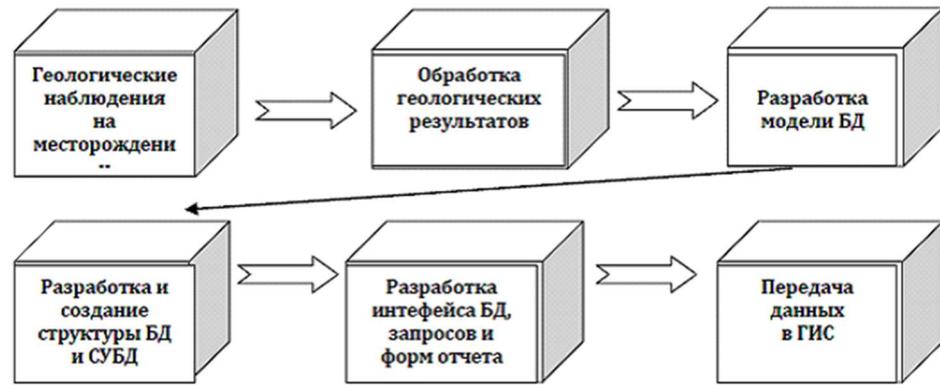


Рисунок 1.4 – Технологическая схема создания базы геологических данных

Созданная база геоданных для использования в различных геоинформационных системах для геологического моделирования отличается как особенностями форматов данных, так и способами их организации.

Для накопления геологических данных по отдельным месторождениям используются как собственные данные, данные производственных компаний, так и республиканский банк данных.

В БД накоплена вся информация об объекте исследования (месторождении, рудопроявлении, перспективном участке и пр.): геологическое строение, геофизическая характеристика объекта, тип оруденения, условия локализации рудных залежей и т.д.

Идентификация данных происходит через пространственную систему (схема расположения месторождений, рудопроявлений, участков и т.д.) или систематизированные таблицы наполненности файлов месторождений.

Методика исследований включает:

1) Изучение существующих методов и подходов к построению цифровых моделей с целью построения адекватной трехмерной геологической модели рудных месторождений Казахстана;

2) Разработка и создание общей модели автоматизированной системы сбора, обработки, хранения, поиска и выполнения запросов геолого-геофизических данных месторождений твердых полезных ископаемых. В этом аспекте необходимо разрабатывать:

– структуру базы данных для хранения первичной информации по данным геологической разведки;

– технологию каталогизации, статистического анализа априорных геологических данных, исправление ошибок, группировка данных, заверка базы, выявление закономерностей;

3) технологию наполнения и пополнения базы информацией геологического и геофизического опробования;

4) Разработка системы управления базой данных (СУБД), которая даст возможность пополнения, обновления и корректировки информации на всех этапах построения модели, многократного обращения к хранимой информации при решении различных геологических задач, в связи с появлением новых математических методов обработки, интерпретации и комплексного анализа геоданных;

5) Систематизация, классификация, обработка, обобщение и анализ обширной геолого-геофизической информации по каждому месторождению исследуемого региона, необходимых для создания достоверной цифровой геологической модели;

6) Подготовка теоретического обоснования и подходов к технологии проектирования и формирования базы данных позволили разработать архитектуру и технологию создания региональных и целевых баз геолого-геофизических данных, сформировать единый системно-модельный подход к созданию и поддержке информационно-картографических геолого-геофизических баз данных и установлению их тесных связей с геоинформационными системами геологического моделирования (Рисунок 1.5).

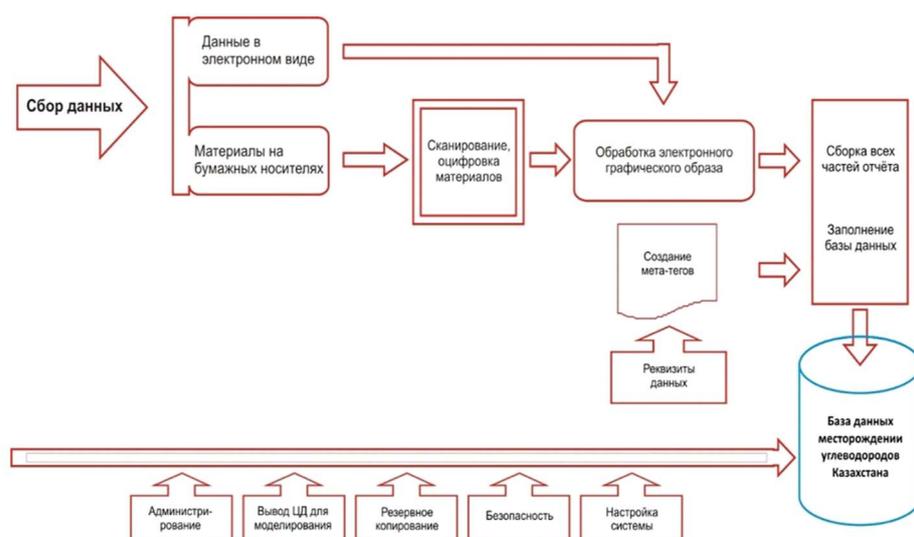


Рисунок 1.5 – Структура БД для хранения первичной информации по данным геологической разведки рудных месторождений

Основные составляющие БД:

- информационные системы сбора первичных геолого-геофизических данных;
- информационные системы хранения, систематизация и классификация накопленной цифровой информации;
- базы картографических геолого-геофизических данных;

– программы обработки, интерпретации и геологического моделирования накопленных геоданных.

Базовые типы данных:

– Месторождения, лицензионные участки, скважины;
– Геологические карты, разрезы, стратиграфия, литофациальные и лабораторные геохимические исследования керна и т.д.;

– Данные полевых геолого-геофизических исследований (полевые, первичные и обработанные данные, результаты глубокой обработки и интерпретации и т.д.);

– Данные по скважинам. Координаты, условия бурения, геофизические исследования скважин (1ас-файлы, каротажные диаграммы, петрофизика, корреляционные схемы), технологические параметры в скважине и т.д.

– Данные об общих технических средствах и оборудовании, испытания скважин и история работ на скважине;

– Данные для геологического моделирования и мониторинга и др .

Преимущество данного подхода состоит в том, что по мере обновления и поступления новых аналоговых данных, информация планомерно замещается оцифрованной. При этом база поступающих данных может вестись в смешанном аналогово-цифровом виде.

Такая технология позволила бы оперативно собирать, обрабатывать и каталогизировать поступающую информацию по рудным месторождениям, обеспечивая широкий доступ и эффективное использование цифровых данных сотрудникам геологических компаний.

2 Анализ методов создания литологической модели

2.1 Литологическая модель по методу Дженифер Карел

Так как ключевым моментом диссертационной работы является создание литологической модели в среде ГИС было рассмотрено множество методик ее создания. Первая рассматриваемая методика была применена в среде ArcGIS специалистом по ГИС и графике Геологической службы штата Иллинойс (ISGS), которой был разработан новый инструмент, помогающий визуализировать геологию недр. И так, Дженифер Карелл специалист по ГИС и графике в 2007 году обнаружила в векторизации ручных поперечных геологических сечений в ArcGIS источник множества ошибок, обнаружить которые возможно вручную. В этот момент возникла необходимость и идея создания инструмента генерирующего двумерные поперечные профили сечения в виде векторных объектов с расширением .shp, которые можно редактировать в реальном времени и в дальнейшем преобразовывать в любые удобные форматы. Данный инструмент получил название Xacto Section, что напрямую говорило о функции резать земной массив и вычислять точный профиль слоев. Не секрет, что основная геологическая информация содержится в результатах бурения скважин и для их визуализации Карелл разработала модуль в инструментарию ArcGIS 3D Borehole tools, при помощи которого геологи имеют возможность построить так называемый лес скважин, комбинируемые с поперечными сечениями в ArcScene.

Используя инструменты 3D для бурения скважин в ArcScene, геологи могут легко манипулировать описаниями каротажных записей скважин и геофизическими данными, которые затем классифицируются и интерпретируются геологом как единицы отображения. Оттуда они интерполируют поверхности по точечным данным и начинают построение рабочей концептуальной модели геологических слоев в данной области.

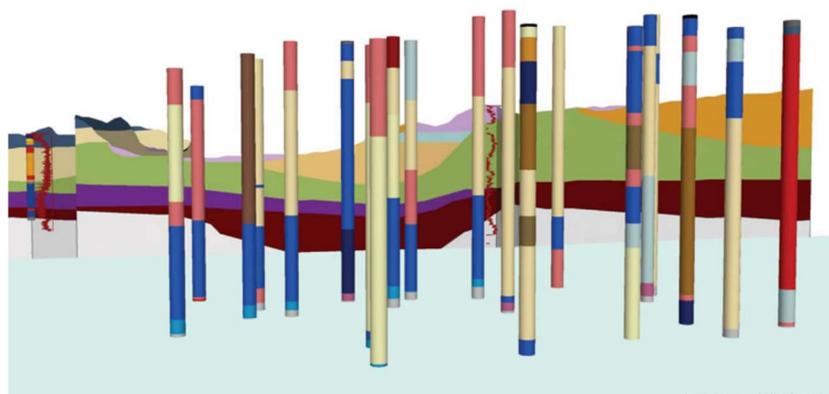


Рисунок 2.1 – Комбинация 3D скважин с поперечными сечениями в Arcscene

2.2 Построение литологической модели посредством инструментов набора Пространственного анализа

Во втором методе рассмотрим построение литологической модели на основании геологических разрезов в среде ArcGIS посредством инструмента Extrude Between. Инструмент Extrude Between позволяет вытягивать заключенный между двумя TIN поверхностями векторный объект, таким образом создавая 3Д-тело согласно рисунку 2.2

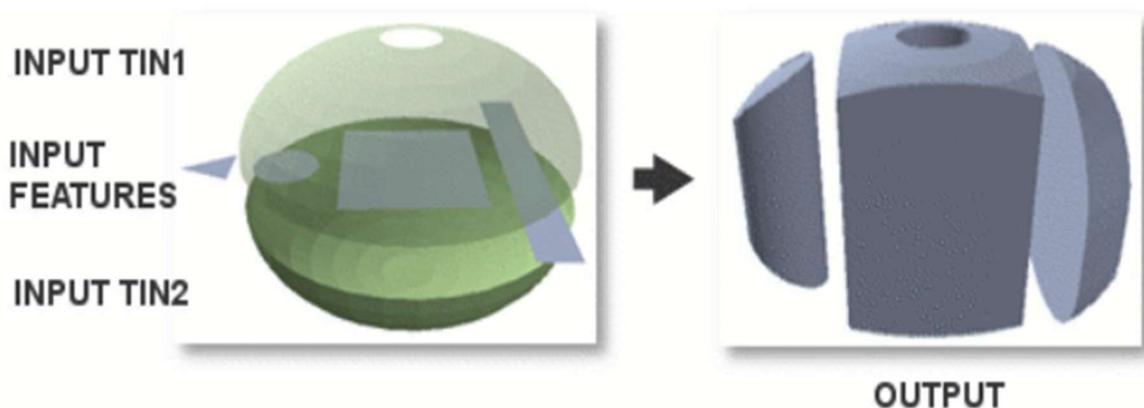


Рисунок 2.2 – Принцип работы инструмента Extrude Between

Описывая подробнее процесс создания модели, следует отметить, что в качестве исходных объектов на начальном этапе используются построенные заранее горизонты залегания породы в виде TIN поверхностей, как правило, построенные по классу пространственных объектов скважины. После чего строится так называемая блок-диаграмма инструментом Extrude Between, которая “вытягивает” объекты между построенными горизонтами, тем самым объединяя все в один слой массива земной поверхности. Таким образом построив каждый слой вышеописанным методом, образуется литологическая модель, из которой можно выделить отдельные разрезы произвольных направлений благодаря инструменту Intersect 3D. Для входных данных инструмента Intersect 3D применяется сама блок-диаграмма, а также мультитатч, который также можно сделать инструментом Extrude Between, либо отрисовать вручную, что не составит особого труда. Результирующие изображения маркированы рисунком 2.3, где изображена литологическая модель, включающая лес скважин. Каждому слою литологической модели приданы соответствующие горным породам характерные цвета. На рисунке 2.4 изображен разрез литологической модели по заданной линии. Как можно было понять из вышеописанного метода, весь процесс создания легко автоматизировать, создав модель геообработки в Model Builder.

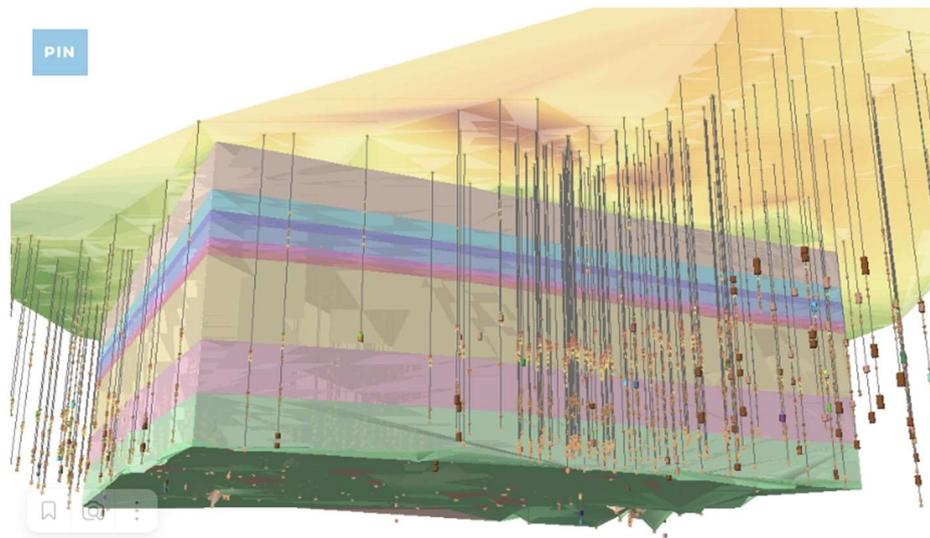


Рисунок 2.3 – Литологическая модель, построенная посредством инструментов набора “Пространственный анализ”

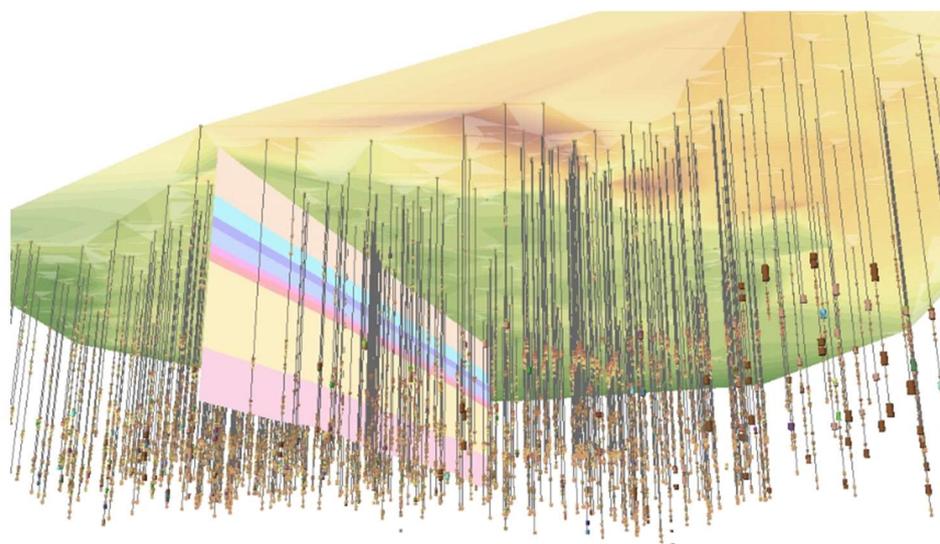


Рисунок 2.4 – Разрез литологической модели, построенной посредством инструментов набора “Пространственный анализ”

2.3 Построение литологической модели посредством вокселей

Прежде чем приступить к рассмотрению метода следует ввести понятие термина воксел. Воксел (voxel- volumetric pixel) – это элемент объёмного изображения, содержащий значение элемента растра в трёхмерном пространстве. Говоря простыми словами воксел – это пиксель объёмных тел.

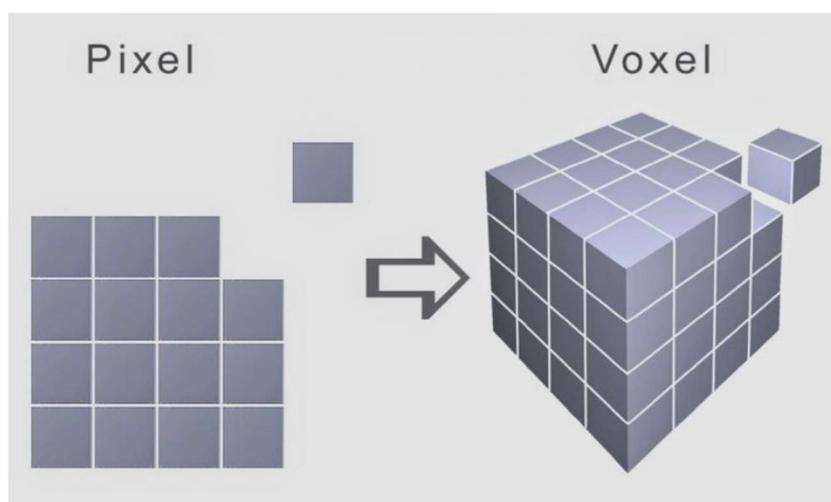


Рисунок 2.5 – Наглядный пример сравнения пиксела и воксела

Слой вокселей представляет собой многомерные объемные данные с регулярной сеткой. Источником данных для слоя вокселей может быть файл netCDF, пакет слоев сцены или сервис сцены. ArcGIS Pro предлагает несколько инструментов геообработки и рабочих процессов для создания источников данных, подходящих для слоя вокселей. Различные рабочие процессы позволяют создавать многомерные данные по входным 3D-точкам, через геостатистический анализ или при помощи конвертации существующих многомерных данных, таких как растровые данные, для визуализации как слоя вокселей.

Исходя из типа входных данных, в том числе сопутствующей им информации, т.е. атрибутивной таблицы, а также цели создания 3D тела при помощи вокселей выделяют несколько методов. На рисунке 2.6 представлена таблица, содержащая тип входных данных, метод обработки и примеры, взятые с документации ArcGIS Pro.

В этом разделе будет рассмотрен метод обработки, коррелирующий с конечной целью диссертационной работы. На начальном этапе применяется инструмент геостатистического анализа Эмпирический Байесовский кригинг 3D, после чего будет построен геостатистический слой, служащий входным слоем при конвертации 3D слоя в NetCDF, просматриваемый путем создания локальной сцены.

Входные данные	Обработка	Уроки Learn ArcGIS
Точки	Создать куб пространство-время по агрегации точек	Визуализация социального дистанцирования в Калифорнии
Точки	Ближайший сосед 3D, Эмпирический байесовский кригинг 3D, Слой GA в NetCDF 3D	Интерполяция 3D-измерений уровня кислорода в заливе Монтерей

Рисунок 2.6 – Примеры создания воксельной графики

2.4 Метод геостатистической интерполяции

Одним из мощных методов оценки неизвестных значений в избранном участке посредством доступных данных через интерполяцию является геостатистика. Корректно выбранный метод интерполяции позволяет минимизировать отклонение выходных данных в процессе построения литологической модели и потому имеет большое значение для геологов и девелоперов для достоверных результатов.

Наиболее популярными методами интерполяции можно назвать кригинг и SSI (последовательное индикаторное моделирование) как в картографии так и в пространственном моделировании. Каждый из методов специфичен и применяется в разных областях деятельности. К примеру, кригинг широко применяется в области геологии, нефтедобычи, горнодобывающей промышленности и т.д. Теоретически кригинг использует регионализированные переменные в качестве основных переменных и пытается получить наилучшие, непредвзятые результаты интерполяции с минимальной дисперсией, которые указывают на результаты детерминированного картирования или моделирования.

Интерполяция производится только на основе исходных доступных данных с использованием корреляции, определяемой вариограммами (или полувариограммами). Сравнивая SSI с Кригингом, SSI преобразует данные в стандартное нормальное распределение; значение случайным образом извлекается из нормального распределения, а затем значение и исходные данные используются для интерполяции. После этого смоделированные значения затем преобразуются обратно в эталонное распределение для получения реального значения.

Различия между Кригинг и SIS демонстрируют разные сценарии применения. SSI подчеркивает потенциал реагирования на неоднородность и неопределенность горных пород и почв, которые демонстрируют различные геотехнические свойства, изменяющиеся в зависимости от положения. Результаты интерполяции SSI менее плавные, чем результаты метода Кригинга, из-за математической логики, которая соответствует подземному распределению геологических тел.

Таким образом, кригинг подходит для мелкомасштабных ситуаций с большим объемом данных, тогда как SSI является лучшим стохастическим подходом для городского геологического моделирования (UGM), особенно для регионов с неравномерным распределением данных и крупномасштабным моделированием. Моделирование с использованием SSI вместо метода Кригинга могло бы минимизировать отклонения при моделировании и поддерживать лучшую интенсивность глобальных пространственных изменений [21].

3 Физико-географические и техногенные условия исследуемого участка

3.1 Климат

Климатическая характеристика района приводится по данным СП РК 2.04 - 01 – 2017. В соответствии со СП РК 2.04 – 01 – 2017 район изысканий расположен в III климатическом районе, подрайон В. Температура наружного воздуха по месяцам приводится в таблице 1 [22].

Таблица 1 – Температура наружного воздуха по месяцам

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
-5,3	-3,6	2,9	11,5	16,5	21,5	23,8	22,7	17,5	9,9	2,6	-2,9	9,8

Температура воздуха наиболее холодных суток с обеспеченностью 0,98 – (- 26,9° С).

Температура воздуха наиболее холодных суток с обеспеченностью 0,92 – (- 23,4° С).

Температура воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,98 – (- 23,3° С) Температура воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 – (- 20,1° С) Температура воздуха теплого периода с обеспеченностью 0,95 – (28,2° С).

Температура воздуха теплого периода с обеспеченностью 0,96 – (28,9° С). Температура воздуха теплого периода с обеспеченностью 0,98 – (30,8° С). Температура воздуха теплого периода с обеспеченностью 0,95 – (32,4° С). Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца года (июль) – 30,0° С Абсолютная минимальная температура воздуха – (- 37,7° С).

Абсолютная максимальная температура воздуха теплого периода – 43,4°С.

Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца - (-2,9° С).

Продолжительность периода со средней суточной температурой <0° С составляет 105 суток. Средняя температура этого периода – (- 2,9° С).

Средняя месячная относительная влажность воздуха: наиболее холодного месяца – 75% наиболее теплого месяца – 36%.

Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 часов:

– Наиболее холодного месяца – 65%;

– Наиболее теплого месяца – 36%.

Количество осадков: за ноябрь- март - 249 мм за апрель- октябрь - 429 мм.

Преобладающее направление ветра: за декабрь- февраль - Ю за июнь- август - Ю.

Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь – 2,0м/с.

Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль – 1,0 м/с.

Средняя скорость ветра за отопительный сезон – 0,8 м/с Районирование по ветровой и снеговой нагрузке приводится по НТП РК 01- 01-3.1(4.1)-2017 Ветровой район – II.

Давление ветра при базовой скорости ветра 25м/с - 0,39 кПа Снеговой район – II Снеговая нагрузка –1,20 кПа Толщина стенки гололеда –10 мм. [21]

Нормативная глубина промерзания грунтов определена с использованием данных таблицы №2 данного отчета и по СП РК 5.01-102-2013, составляет: 0,79м – для суглинков.

Глубина нулевой изотермы в грунте: по СП РК 2.04 – 01 – 2017 (ОГМС Алматы): Средняя из максимальных за год - 43 см.

Максимум с обеспеченностью 0,90-64см, с обеспеченностью 0,99-76см.

3.2 Геологическое строение

Литологическое строение района представлено мощной толщей четвертичных отложений аллювиально-пролювиального генезиса(типа). Это обогащенный суглинистый материал, выносимый водными потоками с хребта Заилийского Алатау и слагающий область низкогорья и предгорную равнину. Мощность суглинков составляет от первых метров до 12м. Грунтовое основание исследуемой территории представлено верхнечетвертичными (аQ3-4) отложениями, в толще которой по результатам бурения и лабораторных исследований проб грунта выделены нижеследующие инженерно-геологические элементы (слои): Почвенно-растительный слой с корнями растений. Мощность слоя 0,2м.

ИГЭ-1. Суглинок светло - бурого цвета, от твердой до полутвердой консистенции, просадочный (I-тип), лессовидный, макропористый, с гнездами карбонатов, с линзами разнозернистого песка (m- до 0,3м). Мощность слоя 3,8÷4,1м.

ИГЭ-2. Суглинок бурого цвета, от тугопластичной до мягкопластичной консистенции, непросадочная, с гнездами карбонатов, с линзами разнозернистого песка (m- до 0,3м). Мощность слоя 1,5÷4,5м.

ИГЭ-3. Суглинок бурого цвета, от текучепластичной до текучей консистенции, непросадочная, с гнездами карбонатов, с линзами разнозернистого песка (m- до 0,3м). Мощность слоя 2,0÷7,9м. На площадке распространен аллювиальный водоносный горизонт с уровнем подземных вод, отмеченным в октябре 2022 года, на глубинах 4,6 - 5,0м. от поверхности земли. Установившийся уровень грунтовых вод 4,0 - 4,3м. Сезонная амплитуда колебаний уровня подземных вод обычно не превышает 1,5-2,0м., с максимумом в апреле и минимумом в декабре. Участок строительства потенциально неподтопляемый, но проявление скрытой формы подтопления,

выражающейся в повышении влажности грунтов за счет замачивания их сверху из внешних источников и постепенного накапливания влаги в грунте вследствие инфильтрации поверхностных вод, а также экранирования поверхности при освоении территории. Поэтому учитывая высокий уровень установления грунтовых вод (4,0 - 4,3 м.), амплитуду их колебания ($\pm 1,5$ м.) и капиллярное поднятие воды по порам глинистых грунтов (до 2 м), площадка строительства потенциально подтопляемая. При проектировании зданий и сооружений, необходимо предусмотреть применение надежной гидроизоляции заглубленных фундаментов и помещений [22].

3.3 Физико-механические свойства грунтов

Физико-механические свойства суглинков изучались лабораторными методами исследования по пробам ненарушенной структуры. Нормативно-расчетные значения характеристик суглинка приведены с учетом статистической обработки частных показателей в соответствии с ГОСТ 20522-2012. Выделенные инженерногеологические элементы в пределах исследуемой глубины характеризуются показателями физико-механических свойств, послойное описание которых приводится ниже:

Почвенно-растительный слой имеет плотность по фондовым данным - 1,60 т/м³.

ИГЭ-1. Суглинок просадочный, характеризуется следующими нормативнорасчетными значениями физических свойств:

- Природная влажность, % 8,7/22,7;
- Влажность на пределе текучести, % 28,8;
- Влажность на пределе раскатывания, % 18,4;
- Число пластичности, % 10,8;
- Показатель текучести, дол.ед. 0÷0,22;
- Плотность грунта, г/см³ 1,72;
- Плотность сухого грунта, г/см³ 1,47;
- Коэффициент пористости, дол.ед. 0,840;
- Коэффициент водонасыщения, дол.ед. 0,30/0,79.

Суглинок характеризуется нижеследующими расчетными значениями плотности грунта при соответствующих доверительных вероятностях:

- $\alpha=0,85$ при расчетах по деформациям;
- $p''=1,69$ т/м³ $p_d''=1,44$ т/м³;
- $\alpha=0,95$ при расчетах по несущей способности;
- $p'=1,67$ т/м³ $p_d'=1,43$ т/м³.

Нормативные значения прочностных и деформационных свойств суглинков, следующие:

– при природной влажности: $\varphi_H=30^\circ$ $C_H=53$ кПа $E_H=31,9$ МПа в интервале 0,1-0,2 МПа;

– при полном насыщении водой: $\phi_H = 18^\circ$ $C_H = 17$ кПа $E_H = 23,2$ Мпа.

Суглинки при природной влажности имеют следующие расчетные значения прочностных и деформационных свойств:

– в расчетах оснований по деформациям или доверительной вероятности $\alpha = 0,85$: $\phi'' = 27^\circ$ $C'' = 42$ кПа $E_H = 30,8$ Мпа;

– в расчетах оснований по несущей способности или доверительной вероятности $\alpha = 0,95$: $\phi' = 26^\circ$ $C' = 35$ кПа.

Суглинки при полном насыщении водой имеют следующие расчетные значения прочностных и деформационных свойств:

– в расчетах оснований по деформациям или доверительной вероятности $\alpha = 0,85$: $\phi'' = 16^\circ$ $C'' = 14$ кПа $E_H = 22,4$ Мпа;

– в расчетах оснований по несущей способности или доверительной вероятности $\alpha = 0,95$: $\phi' = 16^\circ$ $C' = 11$ кПа.

Суглинки при замачивании проявляют просадочные свойства. Нижняя граница просадочности от собственного веса грунта и при дополнительных нагрузках до 0,3 МПа равна 4,0м (до установившийся уровня грунтовых вод). По просадочным свойствам грунты ИГЭ №1 относятся к первому типу грунтовых условий. Суммарная просадка толщи от собственного веса грунта (σ_{zq}) составляет менее 5,0 см (до 4,6см).

Расчетное сопротивление грунта основания (R_0), при возможном замачивании, принять равным начальному просадочному давлению (P_{sl}).

Начальное давление просадочности в условиях насыщения водой при дополнительных нагрузках варьирует в пределах 0,050-2,50МПа (нормативная 0,822 МПа).

ИГЭ-2. Суглинок непросадочный, характеризуется следующими нормативно-расчетными значениями физических свойств:

- Природная влажность, % 22,1;
- Влажность на пределе текучести, % 26,1;
- Влажность на пределе раскатывания, % 18,0;
- Число пластичности, % 8,1;
- Показатель текучести, дол.ед. $0,36 \div 0,69$;
- Плотность грунта, г/см³ 2,03;
- Плотность сухого грунта, г/см³ 1,67;
- Коэффициент пористости, дол.ед. 0,624;
- Коэффициент водонасыщения, дол.ед. 0,95;
- Расчетное сопротивление кПа 210.

Суглинок характеризуется нижеследующими расчетными значениями плотности грунта при соответствующих доверительных вероятностях:

- $\alpha = 0,85$ при расчетах по деформациям;
- $\rho'' = 1,99$ т/м³ $\rho d'' = 1,64$ т/м³;
- $\alpha = 0,95$ при расчетах по несущей способности;
- $\rho' = 1,97$ т/м³ $\rho d' = 1,63$ т/м³;

Нормативные значения прочностных и деформационных свойств суглинков, следующие:

– при природной влажности: $\phi_H = 16^\circ$ $C_H = 17$ кПа $E_H = 20,4$ МПа в интервале 0,1-0,2МПа.

Суглинки при природной влажности имеют следующие расчетные значения прочностных и деформационных свойств:

– в расчетах оснований по деформациям или доверительной вероятности $\alpha = 0,85$: $\phi'' = 15^\circ$ $C'' = 14$ кПа $E_H = 19,8$;

– в расчетах оснований по несущей способности или доверительной вероятности $\alpha = 0,95$: $\phi' = 14^\circ$ $C' = 11$ кПа.

Суглинок естественного сложения имеет высокие значения природной влажности и коэффициента водонасыщения (не просадочные), что соответствует полной степени водонасыщения. Вследствие этого компрессионные и сдвиговые испытания грунта выполнены преимущественно только в одном состоянии (естественном).

ИГЭ-3. Суглинок непросадочный, характеризуется следующими нормативно-расчетными значениями физических свойств:

- Природная влажность, % 25,8;
- Влажность на пределе текучести, % 25,4;
- Влажность на пределе раскатывания, % 17,4;
- Число пластичности, % 8,0;
- Показатель текучести, дол.ед. $0,81 \div 1,33$;
- Плотность грунта, г/см³ 2,04;
- Плотность сухого грунта, г/см³ 1,62;
- Коэффициент пористости, дол.ед. 0,670;
- Коэффициент водонасыщения, дол.ед. 0,96;
- Расчетное сопротивление кПа 190.

Суглинок характеризуется нижеследующими расчетными значениями плотности грунта при соответствующих доверительных вероятностях:

- $\alpha = 0,85$ при расчетах по деформациям;
- $\rho'' = 2,00$ т/м³ $\rho d'' = 1,59$ т/м³;
- $\alpha = 0,95$ при расчетах по несущей способности;
- $\rho' = 1,98$ т/м³ $\rho d' = 1,58$ т/м³.

Нормативные значения прочностных и деформационных свойств суглинков, следующие:

– при природной влажности: $\phi_H = 20^\circ$ $C_H = 14$ кПа $E_H = 18$ МПа в интервале 0,1-0,2МПа.

Суглинки при природной влажности имеют следующие расчетные значения прочностных и деформационных свойств:

– в расчетах оснований по деформациям или доверительной вероятности $\alpha = 0,85$: $\phi'' = 18^\circ$ $C'' = 11$ кПа $E_H = 18$;

– в расчетах оснований по несущей способности или доверительной вероятности $\alpha = 0,95$: $\phi' = 17^\circ$ $C' = 9$ кПа.

Суглинок естественного сложения имеет высокие значения природной влажности и коэффициента водонасыщения (непросадочные), что соответствует полной степени водонасыщения. Вследствие этого компрессионные и сдвиговые испытания грунта выполнены преимущественно только в одном состоянии (естественном). В ИГЭ-3 суглинки текучепластичные и текучие (обводненные) в природном состоянии, у текучепластичных суглинков увеличена влажность и консистенция, поэтому произошло разуплотнение грунтов (по лабораторным данным подтверждено), вследствие чего резко снижена устойчивость и под фундаментом нагрузок грунты могут деформироваться. При проектировании важно учесть эти особенности суглинков.

3.4 Агрессивно коррозионные свойства грунтов

Степень агрессивного воздействия грунтов на бетонные и железобетонные конструкции по ГОСТ 10178-76 и ГОСТ 22266-78: к бетонам на портландцементе - грунты сильноагрессивные, для бетонов на сульфатостойких цементах - грунты неагрессивные. По содержанию хлоридов - грунты неагрессивные.

Коррозионная активность грунтов по отношению к стали - средняя, по отношению к свинцу - средняя, по отношению к алюминию - высокая (по фондовым данным).

По суммарному содержанию солей по ГОСТ 25100-2011 (0,28%) - грунты незасоленные.

Подземные воды среднеагрессивные по содержанию сульфатов к бетону марки W4 по водонепроницаемости при применении портландцемента.

По содержанию хлоридов степень агрессивного воздействия подземных вод на арматуру железобетонных конструкций при постоянном погружении неагрессивная, а при периодическом смачивании слабоагрессивная.

3.5 Выводы согласного технического отчета по инженерно-геологическим изысканиям

1. По строительно-климатическому районированию площадка застройки относится к подрайону III В.

2. В геоморфологическом отношении площадка строительства представляет собой нижние предгорные ступени, с абсолютными отметками поверхности варьирующих в пределах: 693-694м.

3. На основании инженерно-геологических изысканий и лабораторных исследований грунтов выделены три инженерно-геологических элемента (ИГЭ), для них нормативные и расчетные характеристики приведены в тексте.

4. По ГОСТ 25100-2011 грунты незасоленные.

5. Коррозионная активность грунтов к металлическим конструкциям: к свинцовой оболочке кабеля – средняя; к алюминиевой оболочке кабеля – высокая; к углеродистой стали методом удельного электрического сопротивления – средняя.

6. Степень агрессивного воздействия грунтов на бетонные и железобетонные конструкции по содержанию сульфатов для бетонов на портландцементе для марки W4 – сильноагрессивные, для бетона марок W6, W8, W10-14, W16-20 на шлакопортландцементе – неагрессивные, сульфатостойких цементах для всех марок - неагрессивная.

По содержанию хлоридов на портландцементе, шлакопортландцементе и сульфатостойких цементах- неагрессивные.

Химический анализ в количественном выражении: (мг/кг) Cl⁻ - 138,0 SO₄ 2⁺ - 1536,0.

Сумма легкорастворимых солей - 0,28%

7. Давление ветра по карте районирования территории РК согласно НТП РК 01-01-3.1(4.1) – 2017 при базовой скорости ветра 25м/с - 0,39 кПа

8. Снеговая нагрузка для II снегового района – (характеристическое значение, определяемое с годовой вероятностью 0,02) по карте районирования территории РК согласно НТП РК 01-01-3.1(4.1) – 2017 составляет – 1,2кПа.

Высота снежного покрова:

– средняя из наибольших декадных за зиму-22,5см;

– максимальная из наибольших декадных – 43см.

Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова- 102дня

9. Толщина стенки гололеда не менее 10мм

10. Нормативная глубина промерзания составляет: 0,79м – для суглинков

11. Строительные категории грунтов по трудности разработки (ЭСН РК 8.04-01-2015 Раздел 1):

– Грунт растительного слоя (таблица 1, пункт 9а) - 1/1.

– Суглинки твердые и полутвердые (таблица 1, пункт 35в) - 2/2.

– Суглинки тугопластичные и мягкопластичные (пункты 35б, 35а) - 1/1

12. Зональная сейсмическая опасность в баллах по шкале MSK-64 (К) для района строительства по списку населенных пунктов приложения Б СП РК 2.03- 30-2017 будет равна 8 (восемь) баллам. Данными инженерно-геологическими изысканиями установлено, что грунты, слагающие естественное основание проектируемых фундаментов в пределах 10-ти метровой толщи имеют III и II категорию по сейсмическим свойствам. Однако в целом они относятся к III (показатель текучести > 0,5) категории по сейсмическим свойствам в соответствии с таблицей 6.1 СП РК 2.03-30-2017.

Поэтому, сейсмическая опасность территории строительства будет равна 9 (девяти) баллам по таблице 6.2 СП РК 2.03-30-2017 за счет грунтовых условий (увеличена за счёт грунтовых условий).

13. Значение расчетного ускорения a_g (в долях g) -0,511. Значение расчетного вертикального пикового ускорения a_{gv} (в долях g) -0,460.

14. Из физико-геологических процессов здесь развиты просадочность, плоскостной смыв, эрозионный размыв поверхности временными водотоками, подтопляемость, сейсмичность, коррозионность к стали и цветным металлам.

15. Площадка относится к III (высокая) категории инженерногеологических условий для проектируемого строительства.

16. На площадке распространен аллювиальный водоносный горизонт с уровнем подземных вод, отмеченным в октябре 2022 года, на глубинах 4,6-5,0м. от поверхности земли. Установившийся уровень грунтовых вод 4,0-4,3м. Сезонная амплитуда колебаний уровня подземных вод обычно не превышает 1,5-2,0м., с максимумом в апреле и минимумом в декабре.

17. Учитывая высокий уровень установления грунтовых вод (5,0-5,4 м.), амплитуду их колебания ($\pm 1,5$ м.) и капиллярное поднятие воды по порам глинистых грунтов (до 2 м), площадка строительства потенциально подтопляемая. При проектировании зданий и сооружений, необходимо предусмотреть применение надежной гидроизоляции заглубленных фундаментов и помещений.

18. Для расчета дренажа (в суглинках) рекомендуем принять K_f - 0,38 м/сутки, для прочих фильтрационных расчетов - 0,51 м/сутки.

В подобных участках рекомендуются:

– Основания, сложенные просадочными грунтами, согласно СП РК 5.01-102- 2013г. должны проектироваться с учетом их особенности, заключающейся в том, что при повышении влажности выше определенного уровня они дают дополнительные деформации просадки от внешней нагрузки и (или) собственного веса;

– Устранение просадочных свойств грунтов достигается: - в пределах верхней зоны просадки или ее части уплотнением тяжелыми трамбовками, устройством грунтовых подушек, вытрамбовыванием котлованов, в том числе устройством уширения из жесткого материала, химическим или термическим закреплением;

– При строительстве и благоустройстве территории возможны деформации устойчивости и обрушения грунта, поэтому при проектировании необходимо предусмотреть мероприятия по их устранению;

– Рекомендуемым типом фундаментов является сплошная плита. Свайный тип фундамента не рекомендуется, из-за отсутствия достаточно прочного слоя для опирания свай. Грунты ИГЭ №3 водонасыщенные, разуплотненные грунты. Решение по фундаменту и метод гидроизоляции должны приниматься проектировщиком. Система подбора будет выбираться в соответствии с расчетами конструктора;

- Водозащитные мероприятия – вертикальная планировка территории, обеспечивающая сток дождевых, талых и поливочных вод, прокладка водоводов в специальных каналах или размещение их на безопасных расстояниях от сооружений, а также контроль за возможными утечками воды;
- Обязательное устройство асфальтобетонных отмосток при тщательной засыпке пазух глинистым грунтом с его послойным уплотнением.

4 Исходные данные

Исходные данные для осуществления цели и задач работы были взяты из разнообразных общедоступных источников, а также путем непосредственного участия инженерно-геологического бурения скважин.

Всего необходимых исходных данных 3 вида:

- Линии тектонических разломов;
- Эпицентры землетрясений;
- Результаты инженерно-геологических изысканий.

Основной источник данных- USGS Геологическая служба США, каталог землетрясений (Рисунок 4.1). С сайта USGS Геологической службы США были взяты данные CSV формата эпицентров землетрясений за весь период времени, включающий подробные атрибутивные данные согласно рисунку 4.2. Для визуализации эпицентров землетрясений в среде ArcGIS Pro был применен инструмент Display XY Data, создающий точки на основании табличных данных, содержащих координаты, в качестве величины Z указываем глубину “depth” как указано на рисунке 4.3.

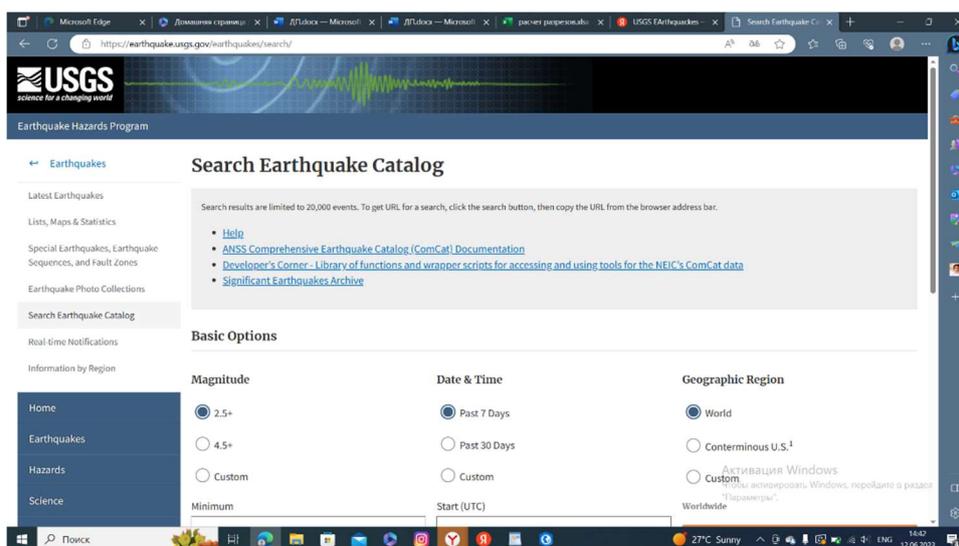


Рисунок 4.1 – Сайт USGS Геологическая служба США. Каталог землетрясений

OBJECTID	Shape	time	latitude	longitude	depth	mag	magType	nst	gap	dmin	rms	net
1	Point Z	2019-09-07T00:30:16...	43.1853	76.8626	10	3.1	ml	<Null>	109	1.085	0.88	us
2	Point Z	2018-02-02T09:20:45...	43.1071	76.841	14.65	3.8	mb	<Null>	73	0.902	0.41	us
3	Point Z	2015-03-15T14:01:03...	43.0727	76.9111	27.91	4.8	mb	<Null>	58	4.687	0.58	us
4	Point Z	2007-12-29T21:27:24...	43.046	76.862	20.2	4.5	mb	39	82.4	<Null>	1.26	us
5	Point Z	2005-10-09T12:00:33...	43.335	77.235	38.2	4.4	mb	50	124.8	<Null>	1.04	us
6	Point Z	2005-08-16T17:21:04...	43.64	77.312	0	3.5	m	8	169.6	<Null>	<Null>	us
7	Point Z	2005-06-24T09:33:22...	43.017	77.228	17.6	4.6	mb	50	55.2	<Null>	0.95	us
8	Point Z	2003-12-31T09:44:59...	43.566	77.253	33	3.7	mb	10	230.8	<Null>	0.65	us
9	Point Z	1983-03-13T12:20:14...	43.447	77.163	33	4.8	mb	<Null>	<Null>	<Null>	1.6	us

Рисунок 4.2 – Атрибутивная таблица эпицентров землетрясений

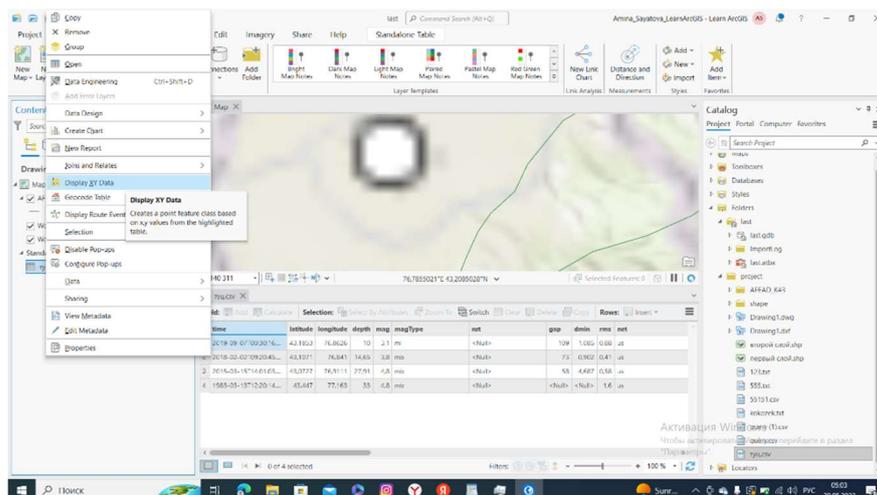


Рисунок 4.3 – Процесс конвертации табличных данных координат эпицентров землетрясений в точки

Линии тектонических разломов были взяты с сайта Геологического института Российской академии наук (Рисунок 4.4).

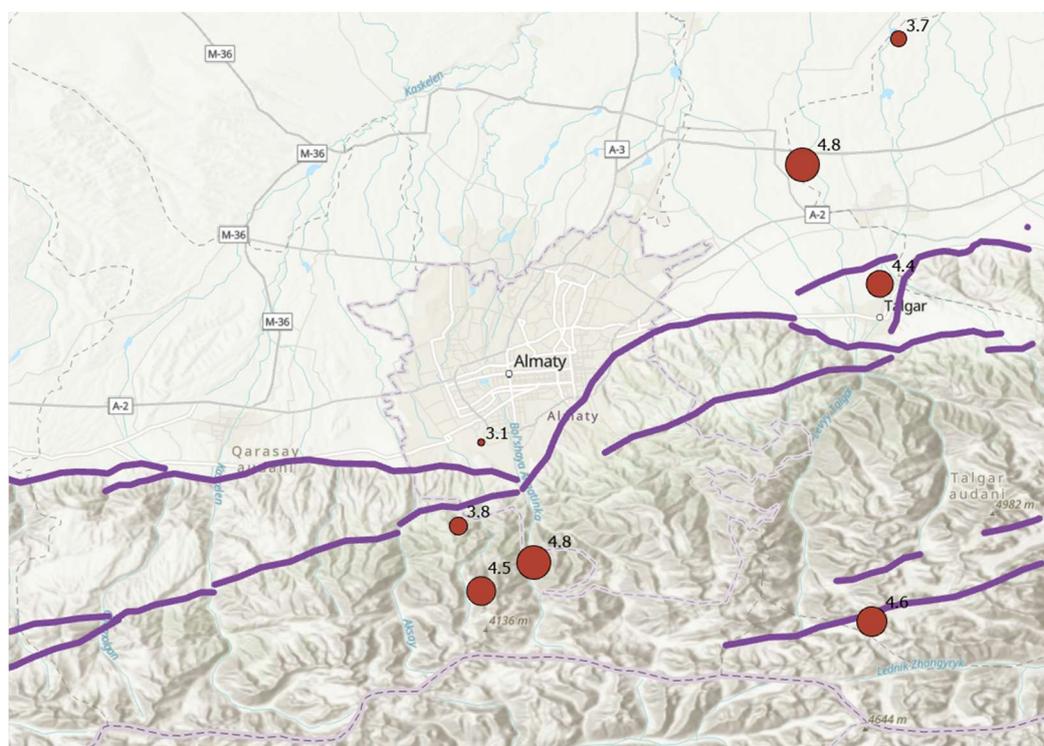


Рисунок 4.4 – Отображение тектонических разломов в среде ArcGIS Pro

По своей сути тектонические разломы и эпицентры землетрясений – это результаты развития геологии в некотором смысле, а ГИС помогает визуализировать эти данные в более понятном для восприятия человека виде.

Также помогает интерпретировать информацию в каком-то понимании продавать результаты деятельности геологов.

Источником основных исходных данных послужило прохождение производственной практики в ТОО «Right Direction», что позволило поучаствовать в инженерно-геологических изысканиях и приобрести необходимый материал для диссертационного проекта. Таким образом собраны данные по бурению 12 скважин с экспертным заключением, химическим анализом и разрезами. Участок изысканий находится в районе пересечения улиц Рыскулова и Немировича-Данченко.

Прежде чем приступить к описательной части данных, чуть подробнее об объекте. Инженерно-геологические изыскания производились на объекте: «Строительство Производственной базы», расположенного по адресу: г.Алматы.

Заказчик: ТОО «СтройЦентрАзия».

Основанием для производства работ послужил договор №01/11 и техническое задание на производство инженерно-геологических изысканий. Целевым назначением инженерно-геологических изысканий являлось: изучение инженерно-геологических и гидрогеологических условий исследуемой площадки строительства; определение нормативно-расчетных значений показателей физикомеханических свойств грунтов оснований; установление степени агрессивности грунтов по отношению к бетонным и железобетонным конструкциям, а также к металлам; исследование возможности геологических процессов негативно влиять на условия строительства и эксплуатаций проектируемых зданий и сооружений. Для решения вышеперечисленных задач на площадке проектируемого строительства, в местах, согласованных заказчиком, пройдено 12 выработок глубиной до 12м. Проходка выработок осуществлялась буровой установкой типа УГБ-2ВС. Бурение скважин производилось ударно-канатным способом диаметром 168мм. с отбором монолитов грунта диаметром 127мм обуривающим грунтоносом. Места расположения пробуренных скважин приведены на топографическом плане. Лабораторные исследования грунтов, отобранных из выработок в процессе полевых работ, выполнены в грунтоведческой лаборатории, в соответствии с требованиями существующих ГОСТов, инструкций и методических указаний. Результаты, полученные при лабораторных исследованиях грунтов, приведены в приложении к отчету. Все работы выполнялись в строгом соответствии с требованиями СН РК, СП РК и других нормативных документов Республики Казахстан. Отчет отпечатан в трех экземплярах, один экземпляр и первичные материалы хранятся в архиве ТОО «Right Direction», два экземпляра переданы Заказчику. При составлении отчета дополнительно были использованы фондовые материалы инженерно-геологических изысканий прошлых лет по 3 району работ, а также Справочные информационные климатические и геологические материалы. Данный отчет по инженерно-геологическим изысканиям не может

передаваться третьим лицам для разработки проектной документации и других объектов с аналогичными геотехническими условиями.

Как правило для производства любых инженерных работ выдается техническое задание, с которым подробнее можно ознакомиться ниже.

Техническое задание на производство инженерно-геологических работ по объекту: «Строительство Производственной базы», расположенного по адресу: Алматинская область, Карасайский район, Елтайский с/о., село Кокозек.». Для получения данных об инженерно-геологических условиях надлежит выполнить полевые, лабораторные и камеральные работы с предоставлением материалов в соответствии с требованиями действующих норм и правил Республики Казахстан в установленные графиком работ сроки.

Перечень заданий:

1. Буровые работы

– Произвести обследование грунтов под строительство склада, расположенного по адресу: «Алматинская область, Карасайский район» путем бурения 12 выработок шнековым д -168мм и ударно канатным способами глубиной 12,0м. с отбором проб ненарушенной (монолиты) и нарушенной структуры (без полевых работ – штамп, статический зондирования и т.п.): - 12 скважин x 12,0м.= 144п.м;

2. Опробование

– Произвести опробование: - отобрать монолиты связных грунтов и интервальные пробы рыхлообломочных грунтов для характеристики выделенных инженерно-геологических элементов в количестве требований действующих норм и правил Республики Казахстан;

– На каждом сооружении при наличии грунтовых вод отобрать пробы воды на сокращенный химический анализ и агрессивность;

– Отобрать пробы грунта на определение засоления и агрессивного воздействия грунтовой среды на бетонные конструкции.

3. Лабораторные работы

– Предоставить результаты физико-механических свойств связных грунтов, гранулометрический состав песчаных и рыхлообломочных грунтов, химический анализ воды, засоление грунтов.

4. Камеральные работы

– Выполнить корректировку полевой документации выработок по лабораторным данным;

– Выполнить обработку полевых, лабораторных работ;

– Предоставить ведомости лабораторных испытаний грунтов, химических анализов воды, и водных вытяжек;

– По окончании полевых, лабораторных и камеральных работ представить инженерно-геологический отчет о выполненных работах с перечисленными приложениями в сроки, обусловленные договором в 2-х экземплярах на бумажном носителе и 1-ой (одной) электронной версии на CD диске.

Для визуализации скважин в среде ArcGIS Pro был проведен ряд манипуляций и расчетов. Так как геологические отчеты сопровождаются графическими материалами в ПО AutoCAD было необходимо извлечь координаты точек размещения скважин, а также обозначить в уже экспортированных данных отметку устья. Затем, с учетом толщины слоя были произведены расчеты отметок каждого уровня слоя скважины таким образом сформировалась следующая таблица 2.

Таблица 2 – Таблица для расчета координат и отметок залегания слоев скважин

id	Название слоя	Мощность слоя	Координаты		
			X	Y	Z
1t	поверхность земли	0,2	768653,1623	432655,6348	753,812
2t		0,2	768615,6101	432634,8397	754,46
3t		0,2	768690,0261	432676,984	753,392
4t		0,2	768655,0977	432679,8539	753,484
5t		0,2	768619,4385	432682,7838	753,429
6t		0,2	768617,2841	432658,9778	753,429
7t		0,2	768599,4647	432684,4249	753,477
8t		0,2	768597,2219	432674,6244	753,783
9t		0,2	768591,9001	432651,3685	754,333
10t		0,2	768588,5045	432636,5188	754,677
11t		0,2	768651,2619	432631,8175	754,411
12t		0,2	768686,1778	432629,0559	754,5
1 s	почвенно-растительный слой	4,1	768653,1623	432655,6348	753,612
2 s		4,1	768615,6101	432634,8397	754,26
3 s		3,8	768690,0261	432676,984	753,192
4 s		3,9	768655,0977	432679,8539	753,284
5 s		3,9	768619,4385	432682,7838	753,229
6 s		4	768617,2841	432658,9778	753,229
7 s		4,1	768599,4647	432684,4249	753,277
8 s		4	768597,2219	432674,6244	753,583
9 s		3,9	768591,9001	432651,3685	754,13
10 s		3,9	768588,5045	432636,5188	754,47
11 s		3,8	768651,2619	432631,8175	754,21
12 s		3,8	768686,1778	432629,0559	754,3
1 th	суглинок светло-бурый	3,7	768653,1623	432655,6348	749,512
2 th		0	768615,6101	432634,8397	750,16
3 th		0	768690,0261	432676,984	749,392
4 th		3,4	768655,0977	432679,8539	749,384
5 th	суглинок светло-бурый	4,9	768619,4385	432682,7838	749,329
6 th		6,3	768617,2841	432658,9778	749,229
7 th		3,2	768599,4647	432684,4249	749,177
8 th		3,8	768597,2219	432674,6244	749,583
9 th		5,9	768591,9001	432651,3685	750,23
10 th		7,9	768588,5045	432636,5188	750,57

11 th		4	768651,2619	432631,8175	750,41
12 th		5	768686,1778	432629,0559	750,5
1 f	суглинок бурый текучий	2	768653,1623	432655,6348	745,812
2 f		3	768615,6101	432634,8397	750,16
3 f		2	768690,0261	432676,984	749,392
4 f		2,5	768655,0977	432679,8539	745,984
5 f		3	768619,4385	432682,7838	744,429
6 f		1,5	768617,2841	432658,9778	742,929
7 f		4,5	768599,4647	432684,4249	745,977
8 f		4	768597,2219	432674,6244	745,783
9 f		2	768591,9001	432651,3685	744,33
10 f		0	768588,5045	432636,5188	742,67
11 f		4	768651,2619	432631,8175	746,41
12 f		3	768686,1778	432629,0559	745,5
1 fi	суглинок бурый мягкопластичный	2	768653,1623	432655,6348	743,812
2 fi		4,7	768615,6101	432634,8397	747,16
3 fi		2,1	768690,0261	432676,984	747,392
4 fi		2	768655,0977	432679,8539	743,484
5 fi		0	768619,4385	432682,7838	741,429
6 fi		0	768617,2841	432658,9778	741,429
7 fi		0	768599,4647	432684,4249	741,477
8 fi		0	768597,2219	432674,6244	741,783
9 fi		0	768591,9001	432651,3685	742,33
10 fi		0	768588,5045	432636,5188	742,67
11 fi		0	768651,2619	432631,8175	742,41
12 fi		0	768686,1778	432629,0559	742,5
1 si	суглинок бурый текучий	0	768653,1623	432655,6348	741,812
2 si		0	768615,6101	432634,8397	742,46
3 si		3,9	768690,0261	432676,984	745,292
4 si		0	768655,0977	432679,8539	741,484
5 si		0	768619,4385	432682,7838	741,429
6 si		0	768617,2841	432658,9778	741,429
7 si		0	768599,4647	432684,4249	741,477
8 si		0	768597,2219	432674,6244	741,783
9 si		0	768591,9001	432651,3685	742,33
10 si		0	768588,5045	432636,5188	742,67
11 si		0	768651,2619	432631,8175	742,41
12 si		0	768686,1778	432629,0559	742,5
1 se	суглинок бурый мягкопластичный		76,8693814	43,2674581	741,812
2 se			76,8688113	43,2668295	742,46
3 se			76,8692133	43,2680575	741,392
4 se			76,8686943	43,2679552	741,484
5 se			76,8682192	43,267809	741,429
6 se			76,8686359	43,2672096	741,429
7 se			76,8677733	43,267787	741,477

8 se	суглинок бурый мягкопластичный		76,8679561	43,2674874	741,783	
9 se			76,8681461	43,2670488	742,33	
10 se			76,8681388	43,2666687	742,67	
11 se			76,8694545	43,2669903	742,41	
12 se			76,8700247	43,2672315	742,5	

Таким образом, исходя из таблицы понимаем отметку залегания каждого слоя и получаем 7 наборов отметок для построения разрезов в среде ArcGIS Pro. Повторение отметок означает отсутствие определенного слоя в скважине.

Для визуализации каждый набор точек аналогично визуализации эпицентров землетрясений при помощи Display XY Data отображаем в виде точек, в данном случае величина Z соответствует абсолютной отметке. В данном случае каждая точка проиндексирована согласно таблице 3.

Таблица 3 – Пояснение индексов точек, их соответствие грунтам

Индекс	Английский	Русский	Название слоя
"t"	top	верх	
"s"	second	второй	ПРС
"th"	third	третий	суглинок светло - бурого цвета, от твердой до полутвердой консистенции, просадочный (I-тип), лессовидный, макропористый, с гнездами карбонатов, с линзами разнозернистого песка (m- до 0,3м).
"f"	forth	четвертый	суглинок бурого цвета, текучей консистенции, непросадочная, с гнездами карбонатов, с линзами разнозернистого песка (m- до 0,3м).
"fi"	fivth	пятый	суглинок бурого цвета, мягкопластичной консистенции, непросадочная, с гнездами карбонатов, с линзами разнозернистого песка (m- до 0,3м).
"si"	sixth	шестой	суглинок бурого цвета, текучей консистенции, непросадочная, с гнездами карбонатов, с линзами разнозернистого песка (m- до 0,3м).
"se"	seventh	седьмой	суглинок бурого цвета, мягкопластичной консистенции, непросадочная, с гнездами карбонатов, с линзами разнозернистого песка (m- до 0,3м).

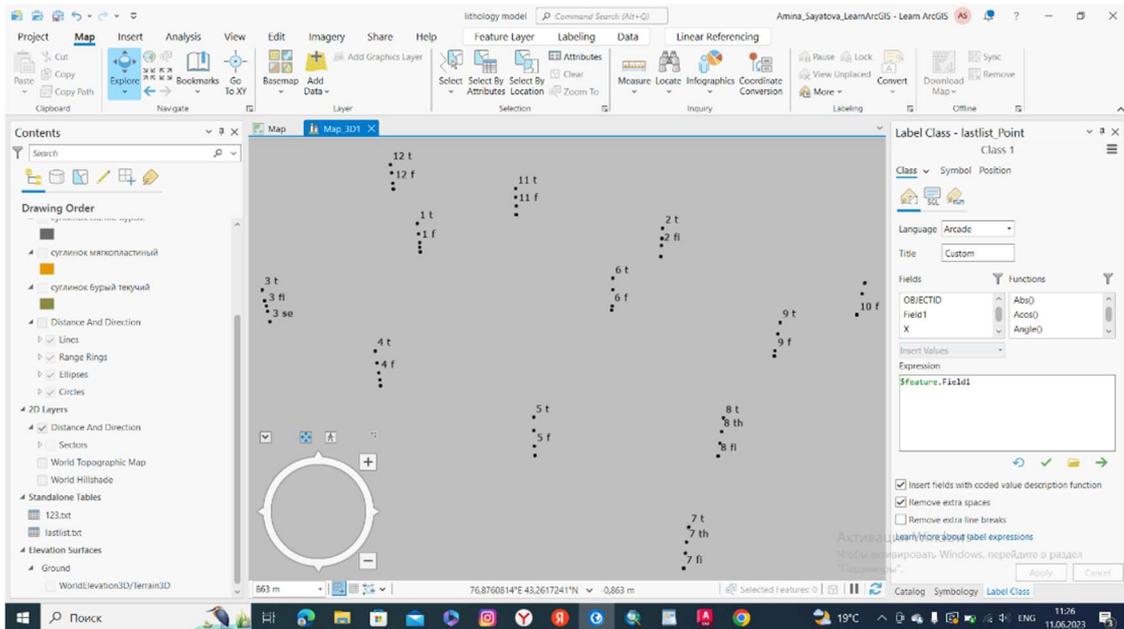


Рисунок 4.5 – Отображение наборов отметок скважины в ArcScene

Как и предполагалось в теории все точки находятся планомерно в одном месте, отличаясь лишь отметкой образуя линию. При виде сверху "линия" точек вырождается в одну (Рисунок 4.6).

Приступая непосредственно к анализу исходных данных, следует отметить, что благодаря набору базовых карт в среде ArcGIS Pro нет необходимости поиска дополнительных данных в виде космических снимков, карт OpenStreetMap. В данном случае использованы имеющиеся в программном обеспечении базовые карты: World Topographic Map, World Hillshade.

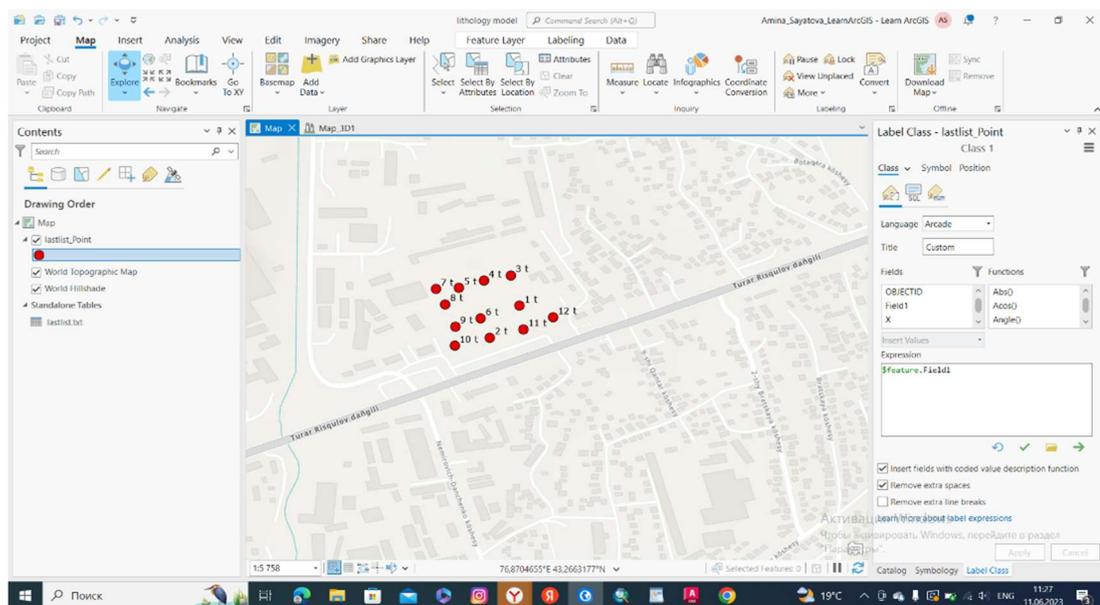


Рисунок 4.6 – Отображение наборов отметок скважины в среде ArcMap

5 Анализ данных для установления районов по степени опасности

5.1 Процесс установления степени сейсмической опасности на основании близости к тектоническим разломам

Как описывалось ранее тектонические разломы имеют большое влияние на сейсмическую опасность региона, таким образом, ставя под сомнение гражданское строительство высотных зданий. Несмотря на многочисленные моратории, крупные компании-застройщики находят лазейки для получения выгоды от многоквартирного высотного строительства жилых комплексов преследуя свою выгоду в продаже как можно большего количества квадратных метров жилья, как правило, подбирая районы города Алматы близ гор. Безопасны ли эти строения может выявить только тщательная экспертиза, однако выявить районы и ЖК сомнительной безопасности может анализ, произведенный в рамках данной диссертационной работе. И так, для выделения районов по степени сейсмической опасности исходя от близости к тектоническим разломам был применен инструмент Euclidian Distance, позволяющий классифицировать распространение некоторого явления, как сейсмической опасности в данном случае, в рамках заданного пользователем экстенда. Входными данными служит векторный слой “тектонические разломы”, задается количество классов, полученный результат в дальнейшем подвергается переклассификации при необходимости, в конечном итоге результат соответствует рисунку 5.1. Для понимания как зонировается город относительно построенной поверхности регулируется ее прозрачность, вследствие чего видно очертание города и т.п.

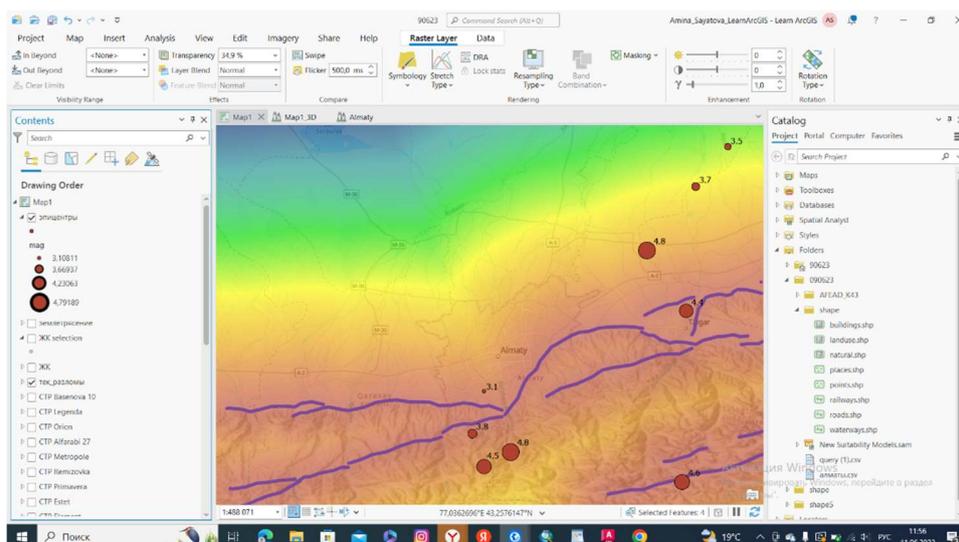


Рисунок 5.1 – Результат применения инструмента Euclidian Distance для тектонических разломов

Результат классификации выявил наиболее опасные участки, определяемые показателем *gridcode*, чем он, меньше-тем опасность больше. Придав классифицированной поверхности соответствующий стиль, получен результат на рисунке 5.1, чем более красный оттенок имеет поверхность, тем опаснее район и наоборот. В зону наибольшей опасности согласно рисунку 5.1 вошли ориентировочно Наурызбайский, Бостандыкский и Медеуский районы.

5.2 Процесс установления степени сейсмической опасности на основании близости к эпицентрам землетрясений

Эпицентры предшествующих землетрясений не имеют в целом большой значимости, однако повторение землетрясений именно в данной локации гораздо выше так как есть тенденция повторения, поэтому как исходные данные был отобран именно этот вид данных. Воспользовавшись уже знакомым инструментом *Euclidian Distance* проделаны аналогичные манипуляции и получен нижеследующий результат, изображенный на рисунке 5.2. Согласно рисунку 5.2 в зону опасности входит наибольшая часть города, однако при объединении результатов Евклидова расстояния по тектоническим плитам и эпицентрам будет задан вес значений, где большую роль сыграет первый показатель.

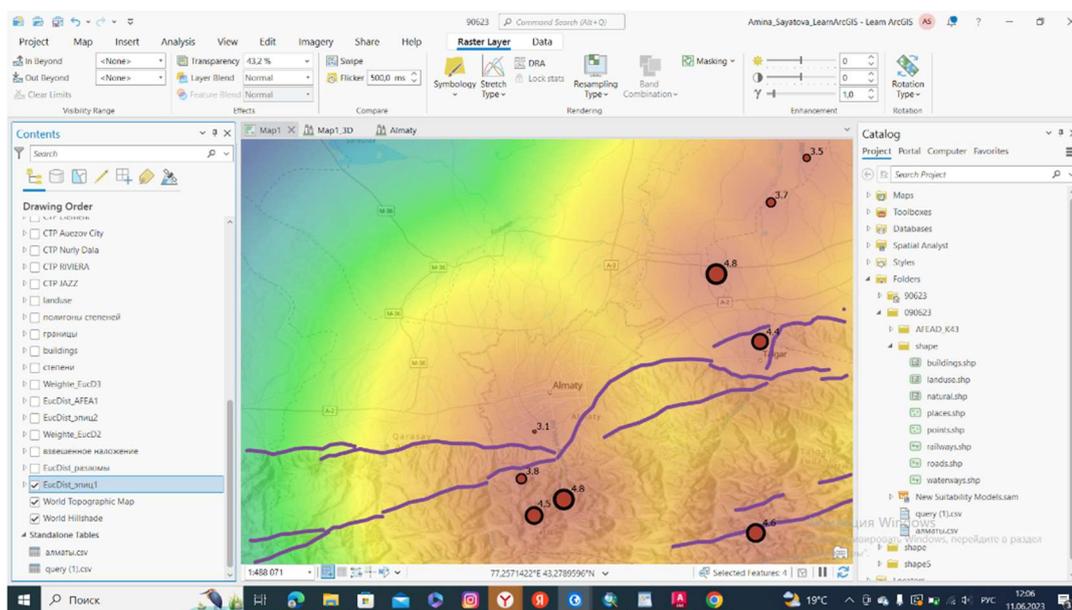


Рисунок 5.2 – Результат применения инструмента *Euclidian Distance* для эпицентров землетрясений

Аналогично поверхности, созданной по принципу удаленности от тектонических плит применяется логика: чем более красный оттенок, тем опаснее и наоборот.

5.3 Интеграция полученных результатов анализа

Для совмещения результатов, полученных при обработке данных тектонических разломов и эпицентров землетрясений наиболее приемлемо использовать инструмент “взвешенной суммы” (Weighted Sum) двух показателей, где можно назначить “вес”, то есть достоверность каждого входного критерия. Функция «Взвешенная сумма» позволяет взвешивать и комбинировать несколько входных данных для создания интегрированного анализа. Она похожа на функцию взвешенного наложения в том, что несколько растровых входных данных, представляющих несколько факторов, могут быть легко объединены, включая веса или относительную важность.

Взвешенная сумма работает путем умножения значений назначенных полей для каждого входного растра на указанный вес. Затем он суммирует (складывает) все входные растры вместе, чтобы создать выходной растр.

Между этими функциями есть два основных различия:

- Функция «Взвешенная сумма» не изменяет масштаб реклассифицированных значений обратно в оценочную шкалу;
- Функция «Взвешенная сумма» допускает значения с плавающей запятой и целые числа, тогда как функция «Взвешенное наложение» принимает в качестве входных данных только целочисленные растры.

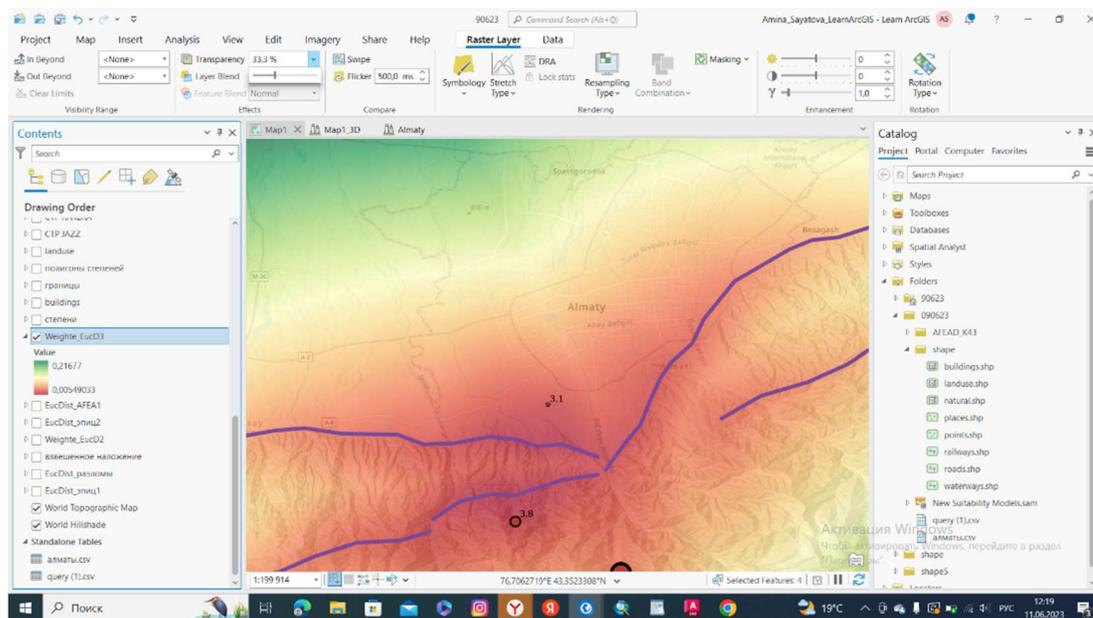


Рисунок 5.3 – Результат интеграции данных

Благодаря тому, что переклассифицированные значения не переносятся обратно в оценочную шкалу, анализ сохраняет свое разрешение. Например, в модели пригодности, если есть 10 входных критериев, которые были реклассифицированы по шкале от 1 до 10 (10 является наиболее благоприятным), и веса не были присвоены, значения выходных данных

взвешенной суммы могут находиться в диапазоне от 10 до 100. Для тех же входных данных взвешенное наложение нормализует диапазон реклассифицированного анализа от 10 до 100 до шкалы оценки, например, обратно к шкале от 1 до 10. Сохранение разрешения модели в взвешенной сумме может быть полезно, если вы хотите определить только несколько наиболее благоприятных местоположений или указанное количество сайтов.

Таким образом, в качестве входных растров использованы результаты анализа определения районов по степени опасности исходя из близости к тектоническим разломам и эпицентрам землетрясений.

Для более четкого понимания границ районов было найдено необходимым реклассифицировать изображение выходного растра и очертить их путем конвертации полученного реклассифицированного изображения в полигоны, тем самым получены следующие результаты, изображенные на рисунках 5.4, 5.5. Процесс переклассификации с последующей конвертацией в полигоны детально показан на рисунке 5.6, 5.7.

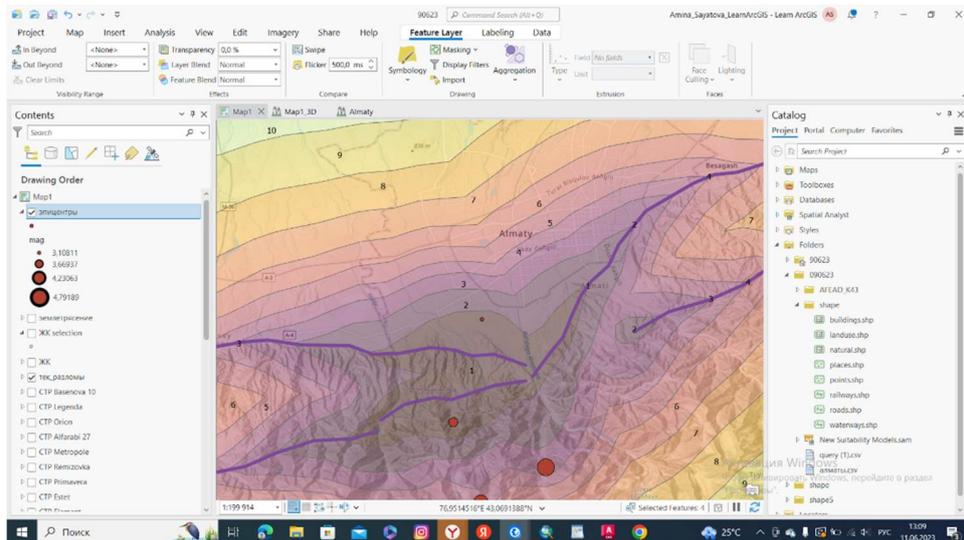


Рисунок 5.4 – Районы с указанием степени сейсмической опасности

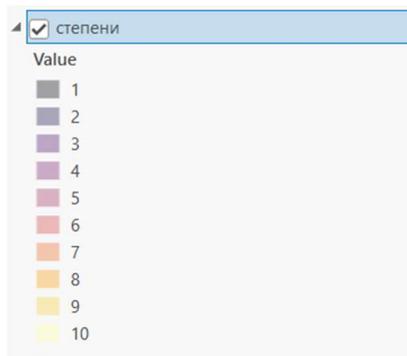


Рисунок 5.5 – Степени сейсмической опасности

Согласно вышеуказанного рисунка районы 1 степени наиболее опасны, 10- напротив наименее опасны.

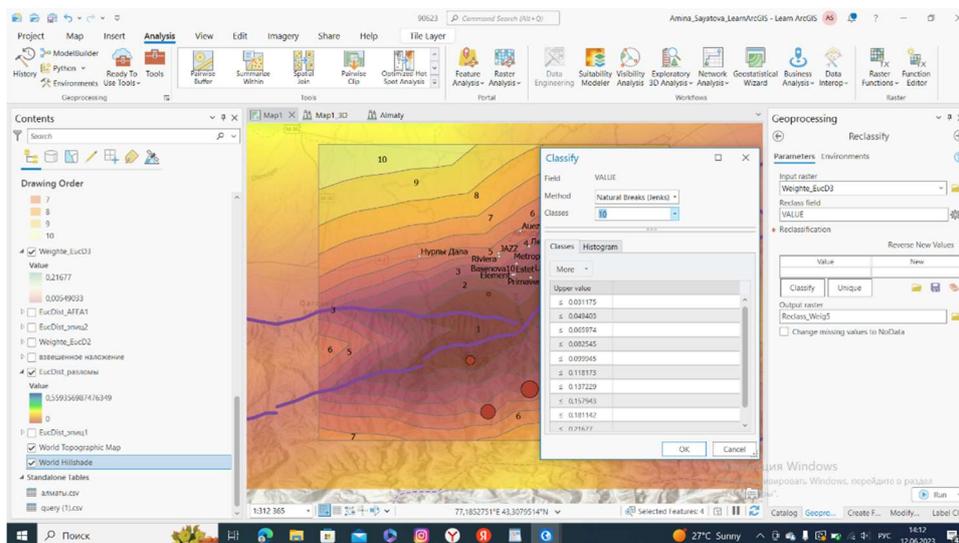


Рисунок 5.6 – Процесс переклассификации поверхности

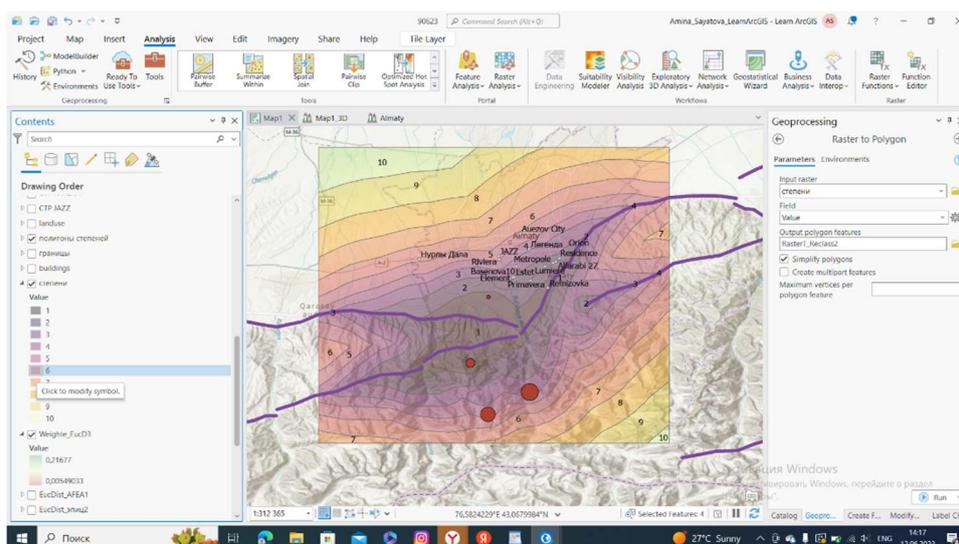


Рисунок 5.7 – Процесс конвертации растра в полигоны

После конвертации полигонам придавался стиль, то есть отсутствие заливки, соответствующий общему дизайну изображения цвет контура и т.д., показаны надписи степеней опасности.

В ходе выполнения диссертационной работы было принято решение отобразить новостроящиеся жилые комплексы, дабы показать которые из них находятся в потенциально опасных районах и нуждаются в тщательном мониторинге при эксплуатации. Так как в общедоступном сервисе Open Street Map не имеется информации о местонахождении и наименовании жилых комплексов, данная информация для улучшения производительности была изъята путем “парсинга” из картографического сервиса 2 ГИС.

Парсинг – автоматизированный сбор и систематизация данных. Его проводят с помощью программ, которые называются парсерами. Парсинг нужен, чтобы ускорить рутинную работу. В качестве парсера с картографического сервиса 2ГИС был выбран одноименный Parser2ГИС (Рисунок 5.8).

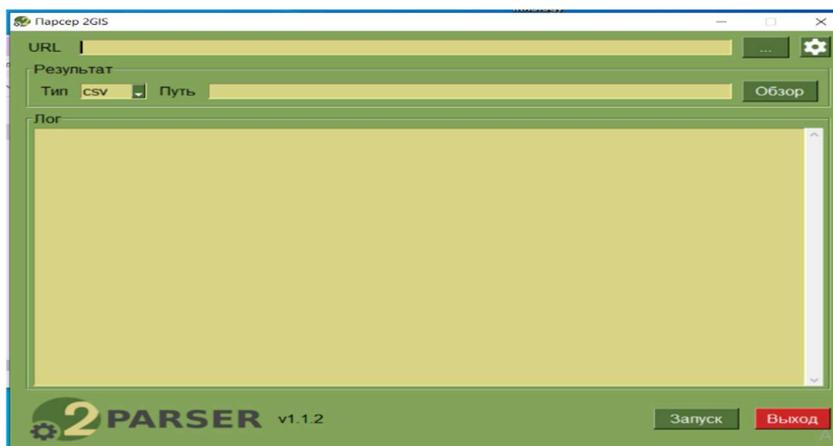


Рисунок 5.8 – Интерфейс Парсера 2 ГИС

Для того, чтобы отобрать интересующую информацию необходимо выбрать город путем поиска через троеочие, далее производится выбор страны и города, а также рубрики, в данном случае “новостройки”, после чего генерируется ссылка, по которой парсер понимает запрос и запускается поиск и отбор информации с источника, также нужно указать путь конечного файла. Файл создается в удобном, читаемом формате ArcGIS Pro-CSV, для удобства визуализации в дальнейшем в виде точек. Важный момент парсинга состоит в том, чтобы на ПК был установлен браузер Chrome, именно посредством данного браузера производится поиск. Конечный файл имеет исчерпывающую и информацию о ЖК такую как: сайт застройщика, инстаграм, контактные данные отдела продаж, адреса, координаты и т.п.

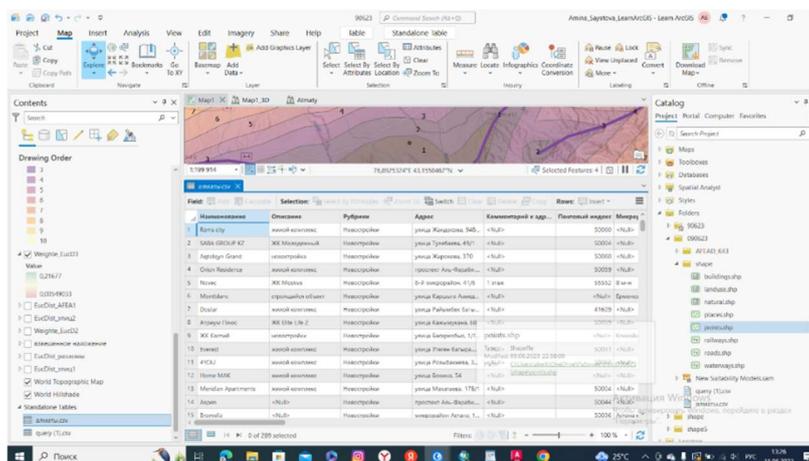


Рисунок 5.9 – Данные новостроек, полученный путем парсинга

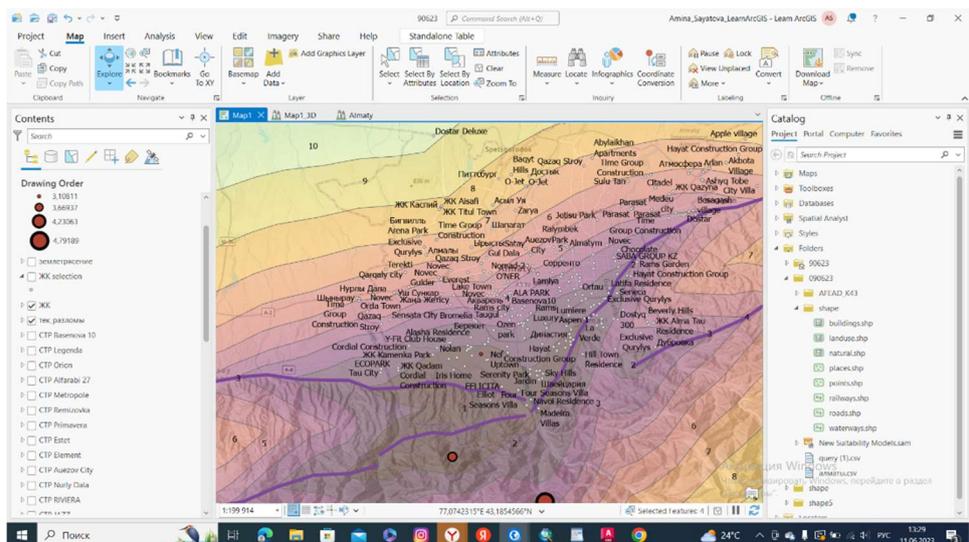


Рисунок 5.10 – Визуализация данных новостроек, полученных путем парсинга

Разместив в рабочей области локации ЖК и отобразив наименования можно сделать вывод о том, какие ЖК более безопасны или напротив. Наибольший интерес представляют ЖК, построенные корпорацией “Bazis-A” поэтому из множества был сделан отбор и создан отдельный слой. На рисунке 5.11 размещены локации строящихся и уже построенных в недавнее время жилых комплексов корпорации “Bazis-A”

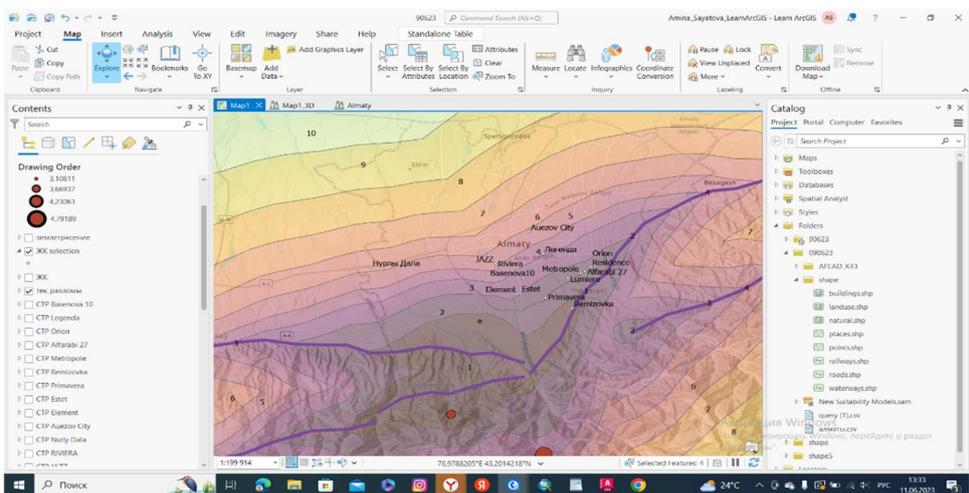


Рисунок 5.11 – Визуализация новостроек корпорации “Bazis-A”

Как видно из рисунка 5.11, в районе 1 степени опасности находится 1 ЖК- Remizovka, подавляющее число ЖК находится в районе 2 степени опасности, наиболее безопасны из всего числа оказались: JAZZ, Auezov City, Riviera, Легенда, Акварель, Нурлы дала. Как можно заметить так называемая “нижняя” часть города более благоприятна для жилья и менее агрессивна в аспекте сейсмоопасности.

6 Литологическая модель экспериментального участка

Основная идея диссертационной работы заключается в визуализации наиболее запрашиваемой и важной геологической информации в строительном производстве в коммерческих целях. Таковой информацией является инженерно-геологическое бурение скважин и заключение по результатам бурения. Сама идея заключается в создании открытого портала, содержащего базу литологических моделей построенных на основании фактических инженерно-геологических изысканий. Важность такого портала заключается в том, чтобы упростить процесс мониторинга за строительством, учесть все аспекты и технологии необходимые к применению исходя из размещенной информации, главным образом для надзора со стороны компетентных государственных ведомств.

В качестве примера была построена литологическая модель по данным забоя скважин в пределах города, находящаяся согласно установленной градации в районе 6 степени опасности, т.е. условно безопасном районе Алматы.

Участок, в пределах которого построена литологическая модель носит название далее по тексту-экспериментальной.

Для построения литологической модели были изучены методики построения доступные и прогрессивные для их осуществления в среде ArcGIS Pro. Таким образом на начальном этапе построения важно создать разрезы по предварительно подготовленным и рассчитанным данным в пространстве для понимания логики залегания слоев. Для удобства построения и правильной координации разрезов между собой, было принято решение произвести расчеты отметок начала следующего и окончания предыдущего, таким образом 1 скважина в зависимости от количества слоев имеет от 4 до 7 отметок, согласно таблицы 2. Расчеты производились исходя из мощности слоя сверху вниз, соответственно от абсолютной отметки отнималось значение мощности.

На основании разрезов были выявлены такие показатели как мощность слоя, отметка устья и т.п. Были произведены расчеты и выделены 7 наборов проиндексированных точек согласно ранее указанной таблице. Таким образом общее количество точек составило 84 штуки, часть из которых повторяется ввиду отсутствия залегания тех ли иных слоев. После произведенных расчетов точки были внедрены в рабочую среду ArcMap ArcScene после чего начался процесс построения разрезов. Для построения разрезов была использована отрисовка посредством типа пространственных данных-мультипатч.

Объект-мультипатч – это ГИС объект, в котором хранится коллекция патчей, отображающих границы 3D объекта, в виде одной записи в базе геоданных. Патчи хранят текстуру, цвет, прозрачность и геометрическую информацию, относящуюся к части пространственного объекта. Геометрическая информация, которая хранится в патче, может быть в виде

треугольников, вееров треугольников, полос треугольников или колец, как показано ниже.

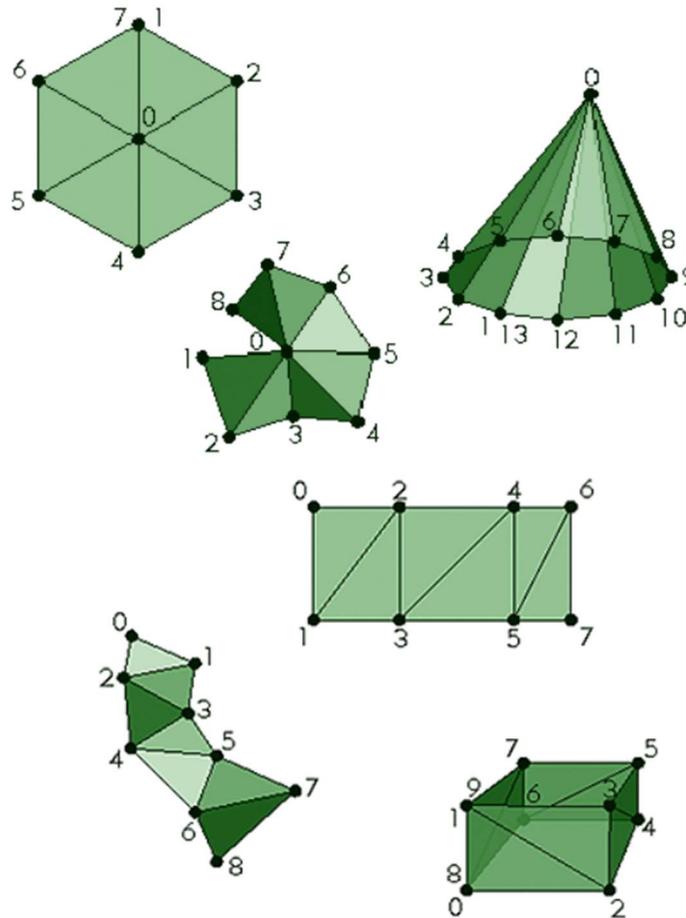


Рисунок 6.1 – Примеры объектов, построенных через тип пространственных объектов “мультипатч”

Все мультипатч хранят z-значения как часть координат, используемых для построения патчей. Хотя базовые z-значения мультипатча можно моделировать с помощью числового атрибута объекта, эта опция не позволяет использовать все возможности анализа и взаимодействия, применяющиеся для встроенных z-значений.

Некоторые объекты-мультипатч рассматриваются как замкнутые, что означает наличие объема. Замкнутые объекты-мультипатчи могут участвовать в различных инструментах анализа, таких как Объединение 3D (Union 3D) и Пересечение 3D (Intersect 3D). Чтобы объект-мультипатч стал замкнутым, его необходимо создавать определенным способом. Пространственный объект должен отображать один независимый объем. Патчи, из которых он создается, должны иметь одинаковую ориентацию координат, против часовой стрелки, и участвовать в определении границ объема. Патчи не должны пересекаться друг с другом, между ними не должно быть промежутков и пустых

пространств. Вы можете использовать инструмент геообработки **Замкнутый (Is Closed)**, чтобы проверить, действительно ли замкнут мультипатч.

Примерами объектов-мультипатчей являются здания с текстурами, фонарные столбы, деревья, подповерхностные геологические формации, подземные строения и некоторые типы аналитических поверхностей

При помощи мультипатч, были построены послойно разрезы в ArcScene и выглядят они следующим образом.

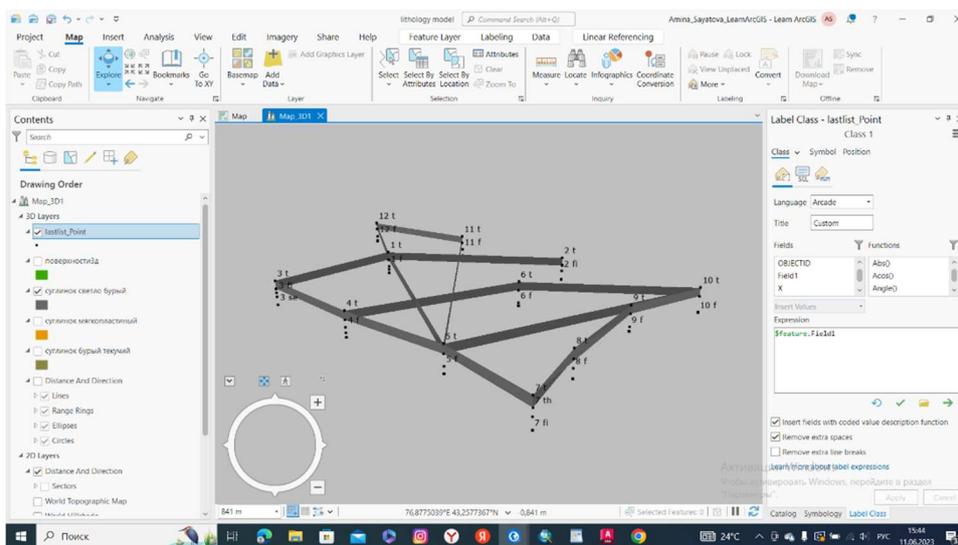


Рисунок 6.2 – Слой суглинок светло - бурого цвета, от твердой до полутвердой консистенции, просадочный (I-тип), лессовидный, макропористый, с гнездами карбонатов, с линзами разнозернистого песка (m-до 0,3м).

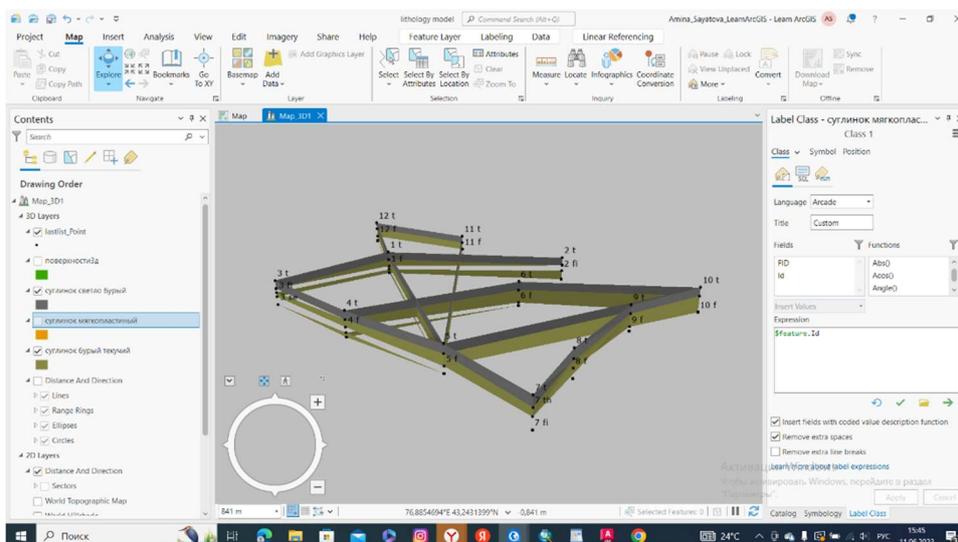


Рисунок 6.3 – Суглинок бурого цвета, текучей консистенции, непросадочная, с гнездами карбонатов, с линзами разнозернистого песка (m-до 0,3м).

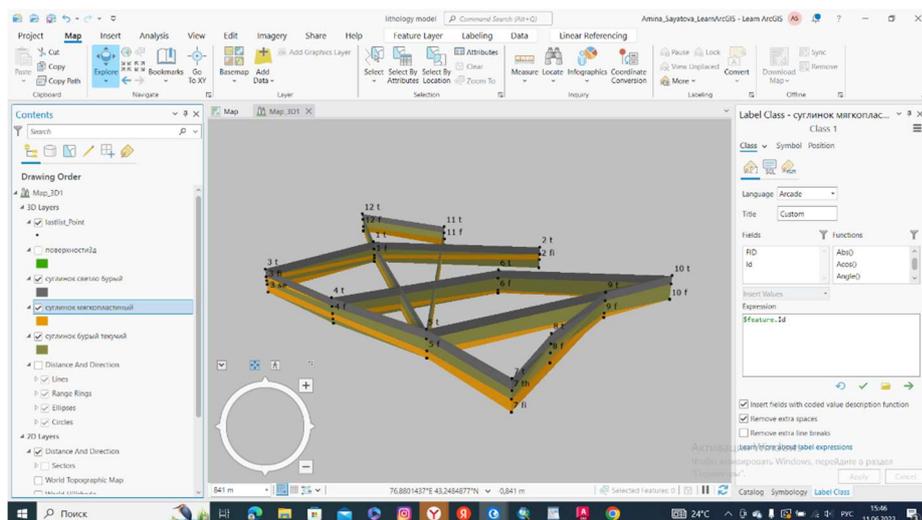


Рисунок 6.4 – Суглинок бурого цвета, мягкопластичной консистенции, непросадочная, с гнездами карбонатов, с линзами разнозернистого песка (м-до 0,3м). Конечный вид совокупности геологических разрезов

При построении разрезов в среде ArcScene было сопоставление с разрезами, подготовленными геологами в ПО AutoCAD, наблюдалось полное соответствие, однако, в местах пересечения разрезов не хватало скважин для обозначения окончания слоя в той или иной отметке. Наглядно недостаток скважины можно наблюдать на рисунке 6.5.

На основании полученных разрезов имеется понимание логики залегания грунтов, следующий шаг-непосредственно построение литологической модели, которая состоит из интерполированных исходя их слоев разреза пространственных тел. Таким образом литологическая модель приобретает следующий вид, изображенный на рисунке 6.6.

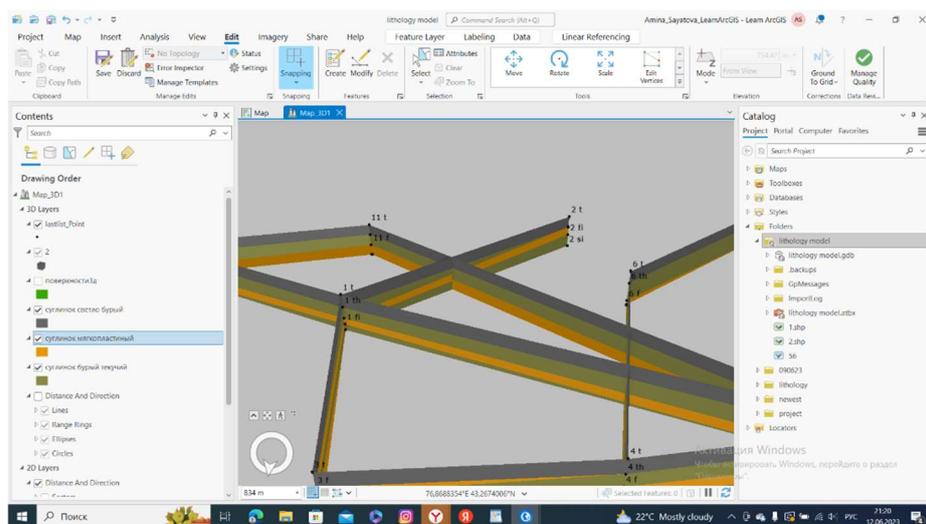


Рисунок 6.5 – Некорректное пересечение разрезов

Рисунок 6.5 свидетельствует о необходимости построения если не полноценных литологических моделей, то разрезов в пространстве, поскольку от этого страдает достоверность, соответственно и качество предоставляемых данных.

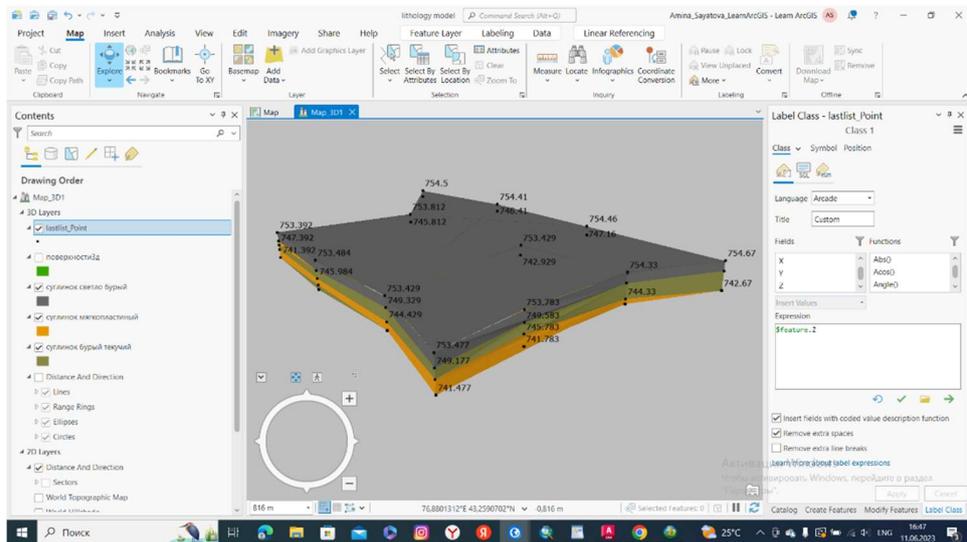


Рисунок 6.6 – Литологическая модель

Вышеуказанные разрезы в среде ArcScene основаны на рахрезах, предоставленных геологами в виде, изображенном на рисунках 6.7-6.14.

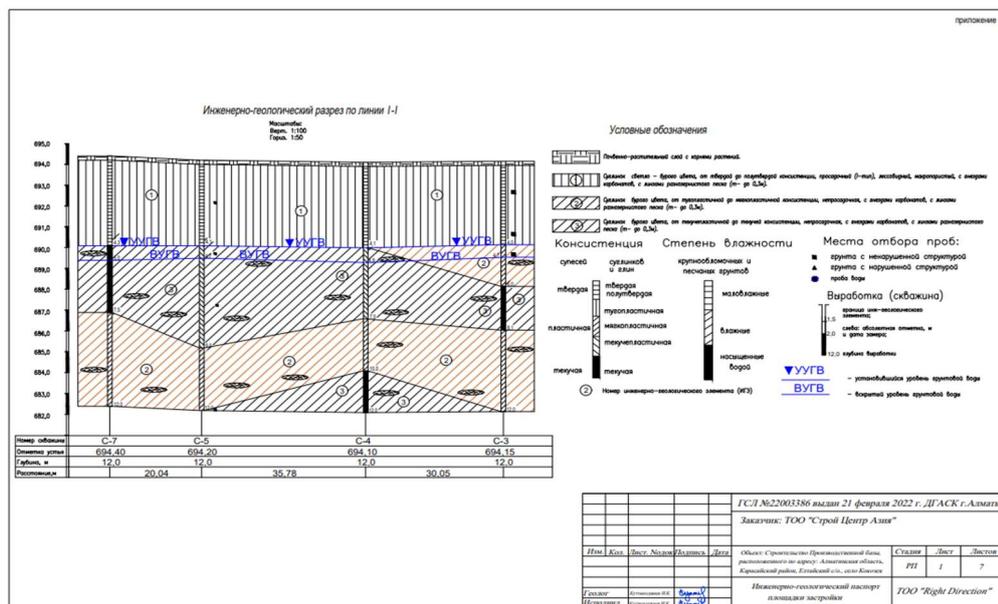


Рисунок 6.7 – Инженерно-геологический разрез по линии 1-1

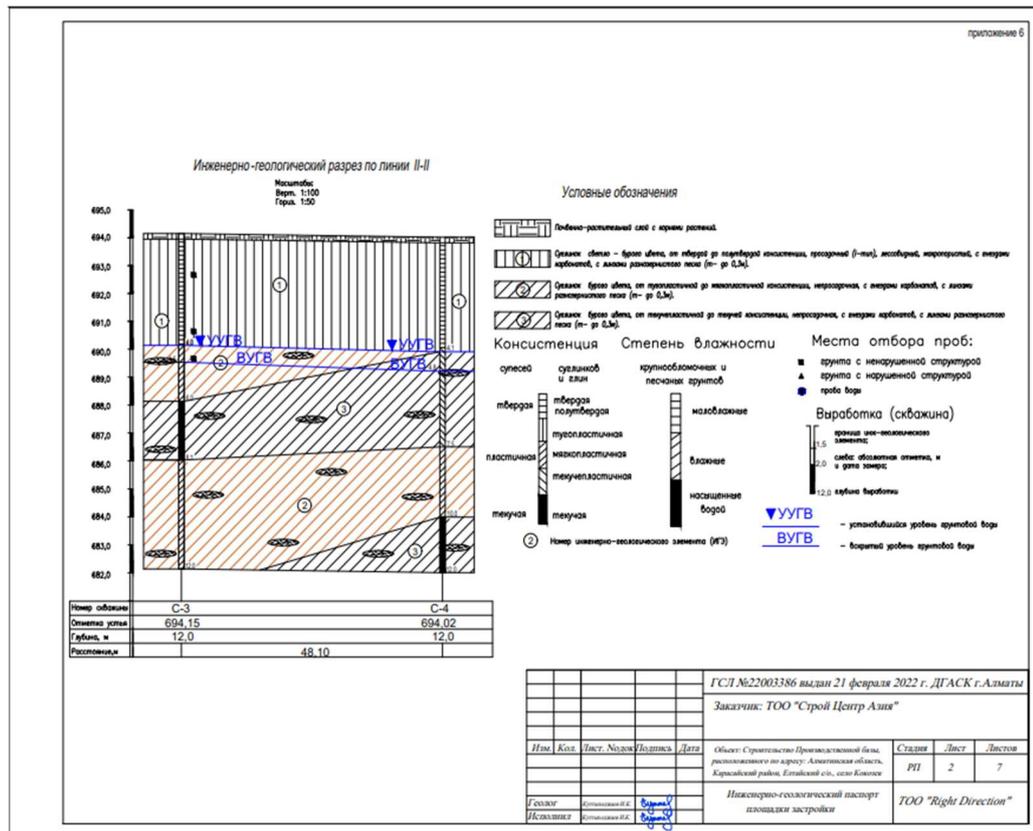


Рисунок 6.8 – Инженерно-геологический разрез по линии 2-2

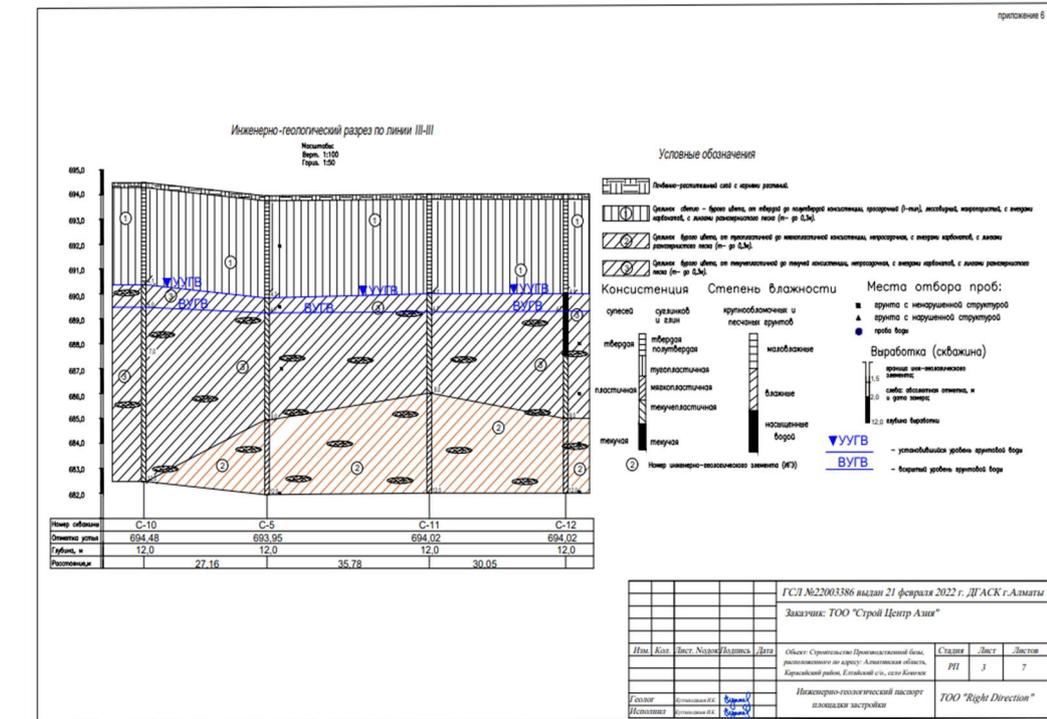


Рисунок 6.9 – Инженерно-геологический разрез по линии 3-3

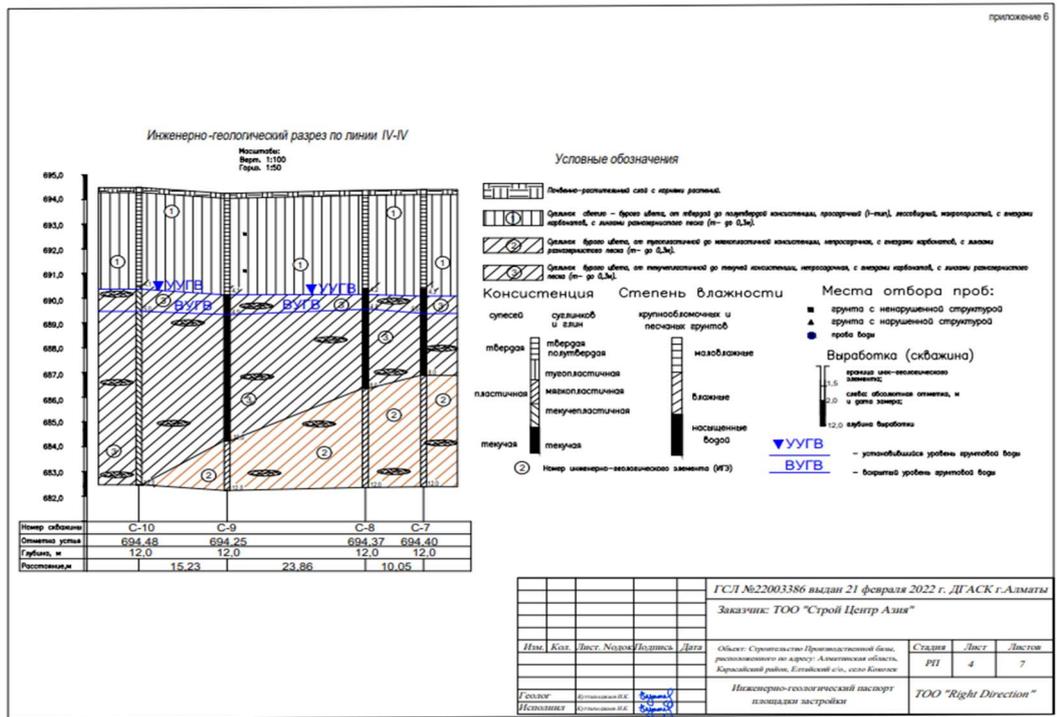


Рисунок 6.10 – Инженерно-геологический разрез по линии 4-4

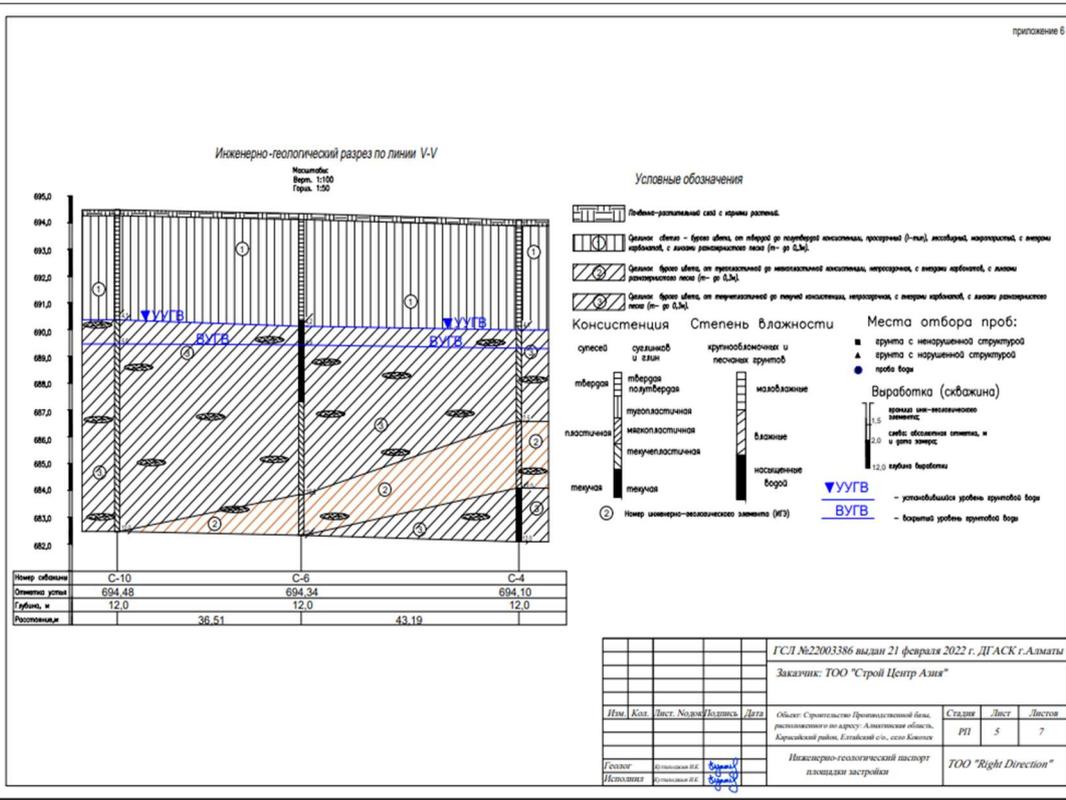


Рисунок 6.11 – Инженерно-геологический разрез по линии 5-5

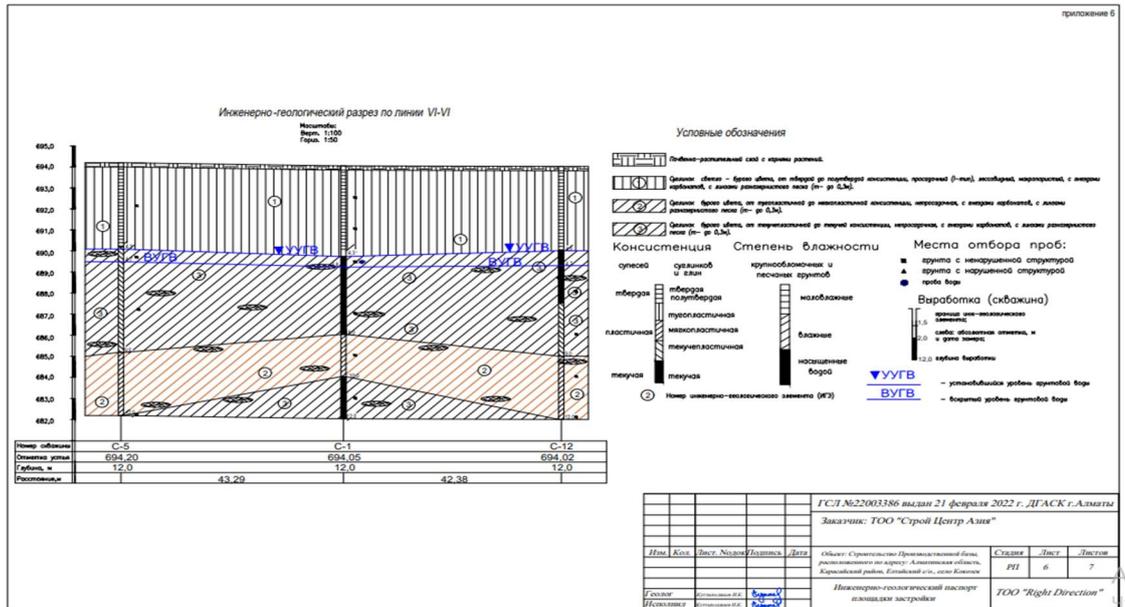


Рисунок 6.12 – Инженерно-геологический разрез по линии 6-6

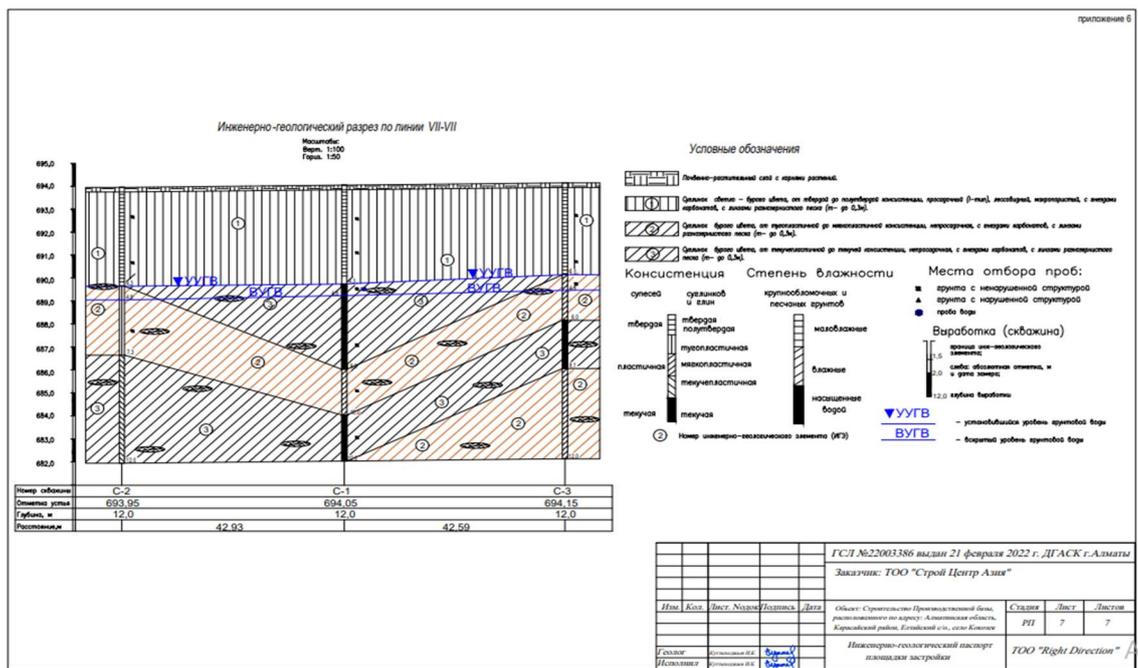


Рисунок 6.13 – Инженерно-геологический разрез по линии 7-7

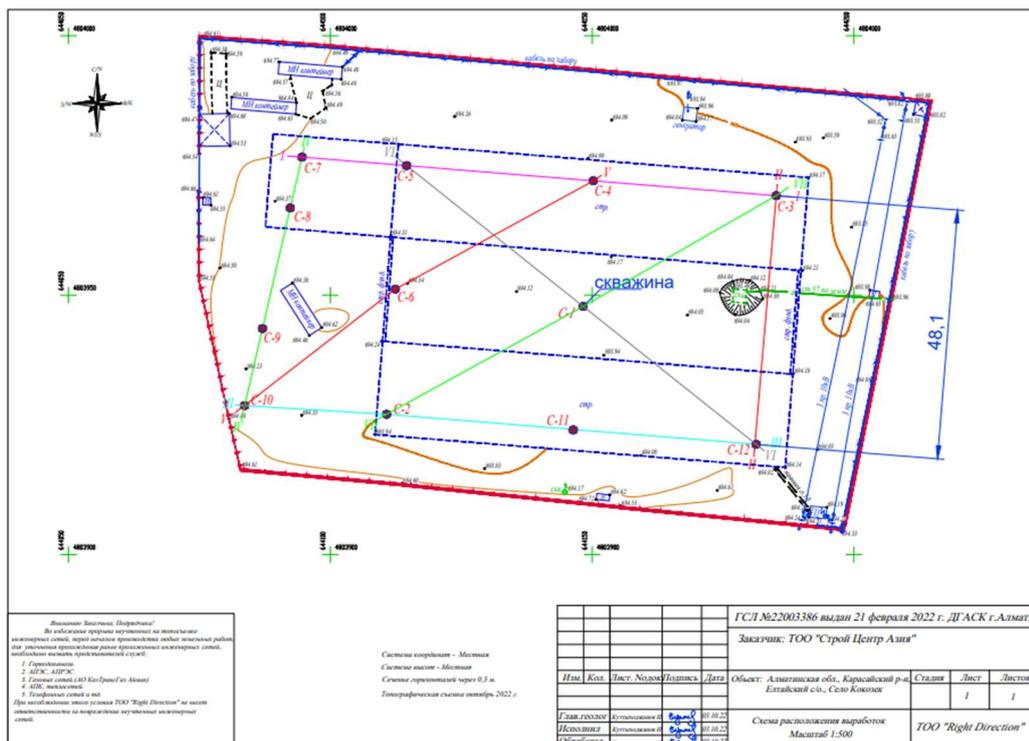


Рисунок 6.14 – Схема расположения выработок в масштабе 1:500

Целесообразность создания подобных литологических моделей служит полезной при:

- При проектировании, для учета технологий и материалов, применяемых при данном виде грунтов, при необходимости учет расхода на мероприятия по снижению уровня грунтов;
- При мониторинге за сооружениями, находящимися на потенциально нестабильных грунтах;
- При подобной презентации результатов геологических изысканий повысится спрос на компании способные предоставлять подобные услуги;
- Инженерно-геологические изыскания подобного характера при внедрении данных в единую базу будут иметь унифицированный вид, нести достоверную информацию, позволят предсказывать типы и глубину залегания грунтов в неисследованных участках;
- Снизится количество фиктивно выданных геологических заключений на строительство.

Визуализация является основным применением 3D-геологической модели. В отличие от традиционных иллюстраций на основе ГИС, которые ограничены фиксированной 2D-сценой, 3D-геологическая модель предлагает возможность поворачивать модель в реальном 3D-пространстве от поверхности до определенной глубины, что показывает панораму исследуемой территории. Между тем, поперечные сечения и выдержки из 2D-срезов модели представляют протяженность и тенденцию геобъектов там, где отсутствуют данные исследований [21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассуждая на перспективу развития идеи диссертационного проекта можно заявить, что он бы принес пользу в нескольких аспектах:

– При приобретении/строительстве жилья у пользователей подобного портала была бы возможность удостовериться в безопасности района предполагаемого проживания;

– На основании данной интерпретации можно выявить постройки, нуждающиеся в проверке на устойчивость и системном мониторинге.

Суть публикации подобного рода данных как литологическая модель широкому обществу людей заключается в нижеследующем.

Наблюдая за недобросовестными застройщиками, несоблюдением ими норм и правил, технологии строительного производства и отсутствие необходимой экспертизы приводит к похожему итогу в виде деформации, нарушения целостности зданий, например, ввиду строительства на нестабильных грунтах. Литологическая модель дает некомпетентным в области геологии людям поверхностное понимание того, на что прежде всего стоит обратить внимание, например запросить рабочий проект, сверить фактически выполненные работы с соответствующими данным грунтам и сейсмической зоне технологиям и решениям. С другой стороны, в случае строительства частного дома физическими лицами, пользователи будут воспринимать информацию для понимания рисков, средств при покупке определенных участков и соответствующей им литологии при возведении дома.

Результирующий итог данной работы заключается в том, что данный проект несет полезную информацию обществу и городскому управлению в том числе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Жетписбаева, А. С. Общие принципы создания цифровой базы данных исходной геолого-геофизической информации / А. С. Жетписбаева, Х. М. Касымханова. - Текст : непосредственный // Молодой ученый. - 2023. - № 1.1 (448.1). - С. 41-45, <https://moluch.ru/archive/448/98672/> (дата обращения: 11.06.2023).
- 2 Ананьев А.С. Гис в геологии. – М.: Изд-во компании: Gemcom Software International Inc., 2012.
- 3 Галуев В.И. ГИС ИНТЕГРО ГЕОФИЗИКА – геоинформационная система интегрированной интерпретации геофизических данных для изучения глубинного строения земной коры, http://www.geosys.ru/images/articles/Galyev_1_2006.pdf.
- 4 ГИС в геологии. Тевелев А.В, <http://geo.web.ru/~tevelev/gis.htm>.
- 5 GISLab // Источники открытых геолого-геофизических данных, <http://gis-lab.info/qa/geology-geophysics-open-data-sources.html>
- 6 Билибин С.И. Технология создания и сопровождения трехмерных цифровых геологических моделей нефтегазовых месторождений: на основе интеграции данных петрофизики, ГИС и сейсморазведки: специальность 25.00.10 Москва, 2010.- 281 с.
- 7 Королёва А.В. Формирование и использование региональных баз геофизических данных: Специальность 25.00.35 «Геоинформатика»: Автореферат на соискание доктора технических наук / Королёва А.В.; Иркутский государственный технический университет. - Иркутск, 2010. - 28 с.
- 8 Платэ А.Н., Веселовский А.В. База геолого-геофизических данных как составная часть геоинформационной системы (ГИС-проекта), Москва 2016.-7 с.
- 9 Жанкоразова, Н. Н. Принципы разработки и создания структуры базы данных / Н. Н. Жанкоразова, А. Ж. Амиров. Молодой ученый. - 2016.
- 10 Геоинформационные системы в геологии: учебметод. пособие для студентов спец. 011100 «Геология» и 011500 «Гидрогеология и инженерная геология» / сост.:А.В. Коноплев, И.В.Кустов, П.А.Красильников; науч. ред. В.В. Середин; Перм. ун-т. – Пермь, 2007. – 100 с.
- 11 Мельниченко И. А. Трехмерное геомоделирование границ литологических разностей железорудных месторождений на основе пространственно-координированных данных. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. - М.: НИТУ «МИСиС», 2021. - 30 с.
- 12 Лихман А. А. Геологическая блочная модель как главный актив горнодобывающего предприятия // Недропользование XXI век. - 2020. - № 4 (87). - С. 170-175.

- 13 СП РК 1.02-105-2014 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Астана, 2015г.
- 14 СН РК 1.02-102-2015 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Астана, 2015г.
- 15 СП РК 2.03-30-2017* Строительство в сейсмических зонах Республики Казахстан. Нур-Султан, 2019г
- 16 ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация. Москва, 2013г.
- 17 СП РК 2.01-101-2013 Защита строительных конструкций от коррозии. Астана 2015г.
- 18 Экспресс-информация: Нормативные и расчетные характеристики крупнообломочных грунтов. КазЦНТИС, №1, 1979г.
- 19 НТП РК 01-01-3.1(4.1)-2017. Нагрузки и воздействия на здания. Часть 1-3. Снеговые нагрузки. Часть 1-4. Ветровые воздействия. Астана 2017г
- 20 ГОСТ 21.302-2013 Условные графические обозначения в документации по инженерно-геологическим изысканиям. Астана 2015г.
- 21 Статья журнала Frontiers: “Основанное на литологии 3D-моделирование геологических характеристик городов и их инженерное применение: на примере города Гуан-ан, ЮГО-Западный Китай”, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2022.918285/full#B35>
- 22 Интернет ресурс, <https://ecoportal.kz/Public/PubHearings/LoadFile/12220>