

«Утверждаю» Член  
правления-Проректор по  
науке и корпоративному развитию

Е. И. Кульдеев

01 2026 г.



**ПРОТОКОЛ №9**

**Расширенного заседания кафедры «Геофизика и сейсмология»  
от 14 января 2026 г.**

г. Алматы

**Председатель:** Ратов Б.Т. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Геофизика и сейсмология».

**Секретарь:** Нысанова А.С. – инженер кафедры «Геофизика и сейсмология».

**Присутствовали:**

*От кафедры «Геофизика и сейсмология»:* Истекова С.А. – профессор, Исаева Л.Д. – профессор; Умирова Г.К. – профессор, Шарпатов А. – ассоц. профессор, Тогизов К.С. – профессор, Темирханова Р.Г. – ассоц. профессор, Исагалиева А.К. – ассоц. профессор, Алиакбар М.М. – ассоц. профессор, Әсірбек Н.Ә. – старший преподаватель, Аблесенова З.Н. – старший преподаватель, Толыбаева Д. – старший преподаватель, Сиылканова А. О. – старший преподаватель, Шәріпова Н. Ә. – старший преподаватель, Досымбекова Ж. Б. – старший преподаватель, Баудагулова Г. Т. – преподаватель, Саурыков Ж. – преподаватель, Музаппарова А.Б. – преподаватель, Туршеков Е.У. – зав. лаб., Жангирханова А. – инженер, Аубакирова Ж. – инженер.

**ПОВЕСТКА ДНЯ:**

Обсуждение диссертационной работы на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D07104 - «Нефтегазовая и рудная геофизика» Садуова Алишера Берикжановича на тему «Технология создания и использования искусственного интеллекта при решении геопрогнозных задач».

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Геофизика и сейсмология» Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева.

**Научные консультанты:**

- Шарпатов А., кандидат геолого-минералогических наук, ассоциированный профессор кафедры Геофизика и сейсмология Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева;

- Приезжев И.И., доктор технических наук, профессор кафедры разведочной геофизики и компьютерных систем, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, Генеральный директор ТОО «Лаборатория Приезжева».

**Рецензенты:**

- Исаева Людмила Джандуйсеновна – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры «Геофизика и сейсмология» Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева;

- Марат Нуртас – PhD, ассоц. профессор кафедры математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий.

1. **Председатель** собрания ознакомил присутствующих с повесткой дня, датами утверждения темы диссертационного исследования и научных консультантов, а также предоставленным соискателем пакетом документов:
2. Диссертационная работа
3. Озвучены научного руководителя и зарубежного научного консультанта
4. Отзывы внешнего и внутреннего рецензентов
5. Протоколы обсуждения диссертационной работы Садуова А. Б., в том числе на Совете молодых ученых ИГиНГД имени К. Турысова.
6. Список трудов, опубликованных по теме диссертации  
По теме диссертационной работы опубликовано:
  - 1 статья в международном журнале, входящем в базу данных Scopus, с процентилем -78, Q1, и 1 статья с процентилем 43, Q3.
  - 4 статьи опубликованы в журналах рекомендованные КОКСНВО МНВО РК;
  - 3 доклада опубликованы в материалах международной конференции.Затем слово было предоставлено Садуову А. Б. Согласно регламенту, время отведенное на доклад, не должно превысить 25 минут.

**2. СЛУШАЛИ:** Садуов А., который изложил содержание и результаты диссертационных исследований в форме презентации.

После доклада Соискателю были заданы следующие вопросы, на которые были даны ответы:

**Вопрос:** Истекова С.А.: Что означает “минерал-индикатор” в геологическом смысле и почему Вы используете редкие/аномальные минералы как критерии?

**Ответ:** Садуов А.: Под минералом-индикатором понимается минерал (или устойчивая ассоциация минералов), присутствие которого статистически и генетически связано с определенными физико-химическими условиями формирования среды (Еh-pH, соленость, активность флюидов, температура, давление, степень метасоматоза и т.д.). В моей работе акцент сделан на редких и аномальных минералах, потому что они чаще являются “диагностическими маркерами” специфических обстановок и процессов и, следовательно, лучше разделяют генетические типы сред, чем распространенные породообразующие минералы. Это позволяет перейти от “перечня минералов” к воспроизводимой типизации сред на основе минералогической подписи.

**Вопрос:** Истекова С.А.: В работе много говорится о неопределенности. Как именно она вычислялась и насколько эти значения приемлемы для геолого-геофизической интерпретации?

**Ответ:** Садуов А.: Неопределенность рассматривалась как обязательный компонент геопрогноза и оценивалась разными способами в зависимости от задачи. Для региональной модели перспективности по золоту и серебру неопределенность прогноза выражалась через разброс вероятностей в ансамбле деревьев Random Forest (случайный лес), то есть через стандартное отклонение калиброванных вероятностей по ансамблю внутри области применимости модели - это количественная мера “насколько стабилен прогноз” при вариации обучающей выборки и структуры деревьев. Такая карта неопределенности интерпретируется не как геология, а как качество и устойчивость прогноза, поэтому она нужна для риск-ориентированного принятия решений при выделении targets.

**Вопрос:** Истекова С.А.: По третьему защищаемому положению - это региональный масштаб. Можем ли мы утверждать, что в перспективных зонах “точно есть” минерализация?

**Ответ:** Садуов А.: Нет, на региональном уровне нельзя утверждать наличие минерализации как факт без подтверждения. Региональная карта перспективности - это инструмент первичной разведки и ранжирования территорий по ожидаемой вероятности

успеха в верхней части ранжирования (top-k% targets) при условии, что интерпретация выполняется только внутри области применимости модели. Вне области применимости предсказания не интерпретируются, чтобы исключить ложные “горячие зоны” из-за плохого покрытия исходными данными.

**Вопрос:** Истекова С.А.: Что означает “геопрогноз” в названии диссертации?

**Ответ:** Садуов А.: Под геопрогнозом понимается воспроизводимое прогнозирование пространственного распределения геологических объектов и свойств (перспективность рудоносности, продуктивные интервалы по каротажу, типы минералогических сред) в условиях неполных данных и пространственной неопределенности. В диссертации ключевой акцент сделан на том, что геопрогноз должен включать: корректную постановку задачи при дефиците разметки, пространственно независимую проверку качества и количественную оценку применимости и риска, чтобы прогноз был интерпретируемым и защищаемым перед практикой.

**Вопрос:** Исагалиева А.К.: Методологически три защищаемых положения выглядят похожими. В каком из них были наибольшие сложности и почему?

**Ответ:** Садуов А.: Наибольшая сложность была в третьем положении (региональный Mineral Prospectivity Mapping - минералого-поисковое картирование перспективности), потому что там одновременно присутствуют (1) пространственная автокорреляция, (2) неполная и несбалансированная разметка, (3) разнородность источников и масштабов данных, и (4) высокий риск ложных “аномалий” в плохо покрытых областях. Поэтому пришлось вводить явное ограничение области применимости (Area of Applicability - область применимости) и пространственно блокированную перекрестную проверку, чтобы качество не завышалось из-за “пространственной утечки”.

**Вопрос:** Исагалиева А.К.: Где проходит граница доверия к моделям искусственного интеллекта в геопрогнозе? Когда модели “можно верить”, а когда нельзя?

**Ответ:** Садуов А.: Граница доверия задается не “верой”, а условиями валидности: модель интерпретируется только там, где (1) выполнена пространственно независимая проверка качества, (2) вероятность откалибрована и подтверждается наблюдаемой частотой успеха, и (3) точка относится к области применимости модели по метрике сходства с обучающими данными. Вне области применимости прогноз не интерпретируется. Это и есть формализованная “граница доверия” для геопрогноза.

**Вопрос:** Ратов Б.Т.: Почему Вы выбрали именно это направление диссертации и чем оно важно для геологии и геофизики Казахстана?

**Ответ:** Садуов А.: Потому что в реальной практике геолого-геофизические решения принимаются при дефиците достоверной разметки, неоднородности данных и высокой неопределенности. Классические подходы часто дают локально хорошие результаты, но их трудно переносить и защищать количественно. Моя цель - предложить технологию GeoAI, где результаты воспроизводимы, валидированы пространственно корректно и снабжены оценкой риска и применимости. Это напрямую повышает обоснованность ранжирования объектов для дальнейших геологоразведочных работ и снижает риск затрат на ошибочные targets.

**Вопрос:** Исаева Л.Д.: Какие минералогические критерии Вы выявили для прогноза месторождений полезных ископаемых в части, связанной с аномальными минералами?

**Ответ:** Садуов А.: Критерии сформулированы не как “один минерал”, а как устойчивые ассоциации редких/аномальных минералов, которые образуют воспроизводимую минералогическую подпись. Далее эта подпись агрегируется в кластеры, соответствующие доминирующим генетическим обстановкам (например, эвапоритово-щелочные, метаморфо-метасоматические, магматические с последующей супергенной переработкой). Практический смысл критериев в том, что такие подписи часто связаны с элементами-индикаторами и ассоциациями рудных систем, в том числе экономически значимых металлов, и поэтому пригодны как поисковые признаки в больших базах данных.

**Вопрос:** Исаева Л.Д.: Откуда были взяты данные теплового потока и почему тепловой поток использован как предиктор?

**Ответ:** Садуов А.: В региональном положении по Великому Бассейну тепловой поток был взят из открытых геологических источников для Невады и сопредельных территорий (в презентации он указан как отдельный слой HeatFlow), и включен как физически осмысленный предиктор, поскольку многие эпитермальные золото-серебряные системы связаны с повышенным тепловым режимом и близкими к поверхности источниками энергии, а тепловой поток отражает региональные термальные аномалии и градиенты, которые могут коррелировать с рудогенерирующими процессами. При этом важно, что сам слой теплового потока имеет грубое эффективное разрешение (гладкое поле), поэтому он работает как региональный контролирующий фактор, а не как локальный “детектор” руды.

**Вопрос:** Тоғизов К.С.: Вы сказали, что привели все слои к ячейке 250 м. Не означает ли это искусственное “повышение разрешения” и риск некорректной экстраполяции?

**Ответ:** Садуов А.: Нет, приведение к 250 м - это гармонизация пространственной сетки для совместимости слоев, но не прирост физического разрешения. Фактическое разрешение каждого предиктора остается ограниченным исходными данными: потенциальные поля имеют эффективное разрешение порядка 0.5-1 км, геология и разломы представлены в масштабе 1:500 000 с эффективным разрешением около 1 км, тепловой поток еще более сглажен. Поэтому модель не “видит” деталей меньше фактического разрешения входных данных, а ячейка 250 м нужна, чтобы корректно собрать признаки в единый датафрейм и избежать геометрических артефактов при наложении слоев.

**Вопрос:** Умирова Г.К.: Как Вы связываете “геофизические” признаки с геологическим смыслом, чтобы это не выглядело как чисто математическая модель?

**Ответ:** Садуов А.: Связь обеспечивается через физически интерпретируемые предикторы и пост-анализ вкладов признаков: потенциальные поля и их производные отражают границы плотностных и магнитных блоков, структурные признаки задают близость к разломам и их геомеханическую благоприятность, геология задает домены, тепловой поток отражает термальный режим. Далее по модели проводится интерпретация вклада признаков (например, через анализ вкладов признаков в прогноз), и проверяется согласованность знаков влияния с физикой процесса (например, близость к разломам должна повышать вероятность при структурно контролируемой минерализации). В результате модель не подменяет геологию, а формализует ее в виде воспроизводимых предикторов.

**Вопрос:** Темирханова Р.Г.: Чем отличается “перспективность” от “доказанного месторождения” в Вашей терминологии?

**Ответ:** Садуов А.: Перспективность - это вероятностное ранжирование участков по ожидаемой вероятности выявления минерализации при последующих работах, а не доказательство наличия руды. Доказанное месторождение требует подтверждения бурением, опробованием и запасами. Моя карта задает приоритеты и снижает неопределенность на этапе выбора целей, но не заменяет детальную разведку.

**Вопрос:** Алиякбар М.М.: Почему Вы подчеркиваете, что модель “не вместо эксперта, а помощник”? Что именно она помогает делать эксперту?

**Ответ:** Садуов А.: Потому что эксперт принимает окончательное решение, а модель помогает в трех вещах: (1) быстро обрабатывать большие объемы разнородных данных и выдавать ранжирование, (2) объективно ограничивать интерпретацию там, где данные непредставительны (область применимости), и (3) показывать риск через количественную неопределенность прогноза. Это снижает вероятность когнитивных ошибок и “смещения внимания” на ложные аномалии, особенно в региональных задачах, где человек физически не может одинаково глубоко проанализировать всю территорию.

**Вопрос:** Аблесенова З.Н.: Какие ограничения Вашей работы Вы считаете принципиальными, чтобы комиссия правильно интерпретировала результаты?

**Ответ:** Садуов А.: Принципиальные ограничения такие: (1) региональный масштаб не дает гарантии наличия минерализации - это инструмент первичной разведки; (2) фактическое разрешение ограничено исходными слоями, поэтому модель не должна трактоваться как "локальный прогноз на уровне рудного тела"; (3) интерпретация возможна только внутри области применимости; (4) любые выводы должны подтверждаться независимыми геологическими данными (маршруты, опробование, бурение).

**3. После завершения вопросов и ответов с оценкой диссертационной работы выступили научные консультанты:**

**Выступил Шарапатов А.** – научный консультант, кандидат геолого-минералогических наук, ассоц. профессор кафедры «Геофизика и сейсмология» КазННТУ имени К.И. Сатпаева.

Я бы хотел отметить, что диссертационная работа Садуова Алишера Берикжановича "Технология создания и использования искусственного интеллекта при решении геопрогнозных задач" является актуальным и научно значимым исследованием, поскольку современная геологоразведка сталкивается с быстрым ростом объема и разнородности данных и одновременно требует повышения результативности поисковых работ. Я подчеркнул, что в практике нередко применяются подходы машинного обучения по типу "черного ящика", которые не учитывают ключевые особенности геологических данных: редкость целевых объектов, смещенную и неполную разметку, пространственную автокорреляцию и неоднородность наблюдений. В этой связи я считаю принципиально важным, что в диссертации предложена именно геологически осмысленная и воспроизводимая технологическая рамка применения методов искусственного интеллекта, согласованная с требованиями геологии и геофизики.

Оценивая степень обоснованности и достоверности полученных результатов, я отметил высокую культуру анализа данных, строгую постановку задач и последовательное применение современного математического аппарата. В частности, я обратил внимание на то, что автор уделяет системное внимание корректным схемам валидации, калибровке вероятностных прогнозов, контролю области применимости моделей и интерпретируемости результатов, что является критически важным условием для применения геопрогнозных моделей в практике.

По первому направлению, посвященному минералогической аналитике глобальной базы редких и аномальных минералов, я отметил успешную реализацию методов выявления аномалий и последующей кластеризации. Я подчеркнул, что полученные группы являются устойчивыми и статистически обоснованными, а также интерпретированы в геологическом контексте как осмысленные минералогическо-геохимические ассоциации, что повышает их ценность как индикаторов сред и процессов.

По второму направлению, посвященному моделированию урановых горизонтов Шу-Сарысуской провинции, я отметил корректный учет неполной разметки и пространственной зависимости данных. Я отдельно выделил применение подхода Positive-Unlabeled learning (обучение по позитивным и неразмеченным данным), пространственно независимой валидации по скважинам и вероятностного представления продуктивности. Я указал, что полученные результаты хорошо согласуются с керновыми данными и экспертными интерпретациями, при этом позволяют получать геологически правдоподобные уточнения, которые могут быть использованы при интерпретации и планировании.

По третьему направлению, посвященному региональному Mineral Prospectivity Mapping (картированию перспективности полезных ископаемых) для Au-Ag систем в Неваде, я отметил оригинальность и полноту использованного комплекса многомерных гравимагнитных, тепловых и структурных признаков. Я подчеркнул, что методически важным является сочетание Positive-Unlabeled learning, строгой блочной GroupKFold-валидации по субрегионам, калибровки вероятностей, маскирования прогнозов вне Area

of Applicability (Area of Applicability - область применимости модели) и подхода top-k ранжирования. Я отметил, что такой комплекс соответствует современному международному уровню работ по Mineral Prospectivity Mapping и обеспечивает высокую достоверность: известные месторождения концентрируются в верхних рангах перспективности, а искусственные "горячие зоны" подавляются за счет контроля применимости.

Отдельно я сформулировал, что научная новизна диссертации заключается в разработке единого технологического каркаса искусственного интеллекта для геопрогноза, который включает дизайн признаков, работу с неполной разметкой, пространственно независимую валидацию, интерпретируемость, калибровку вероятностных оценок и контроль области применимости. Я также отметил, что данный каркас впервые реализован в отечественной практике в столь комплексном и методологически строгом виде, что делает вклад диссертации существенным.

Говоря о практической значимости, я отметил, что результаты работы могут быть использованы геологоразведочными и сервисными организациями. Я указал, что выявленные минералогические ассоциации могут применяться как индикаторы перспективности, вероятностные разрезы продуктивности урановых горизонтов могут улучшать построение фильтрационно-емкостных моделей и поддерживать планирование бурения, а региональные карты перспективности Au-Ag пригодны для ранжирования блоков с учетом риска и потенциально адаптируемы для других регионов. Я отдельно подчеркнул аккуратное обращение автора с пространственной автокорреляцией и применение честных схем валидации и вероятностных методов, что соответствует мировым стандартам data science в геологии.

В заключение я отметил, что основные результаты диссертации апробированы публикационно, а сама диссертация представляет собой завершенное, методологически выверенное и научно обоснованное исследование, демонстрирующее глубокое владение современными методами искусственного интеллекта и их корректное применение в геолого-геофизическом анализе. Я сделал вывод о том, что диссертационная работа Садуова Алишера Берикжановича соответствует требованиям, предъявляемым к работам на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07104 "Нефтяная и рудная геофизика", и рекомендовал диссертацию к защите.

**Отзыв зарубежного научного консультанта** доктора технических наук, профессора кафедры разведочной геофизики и компьютерных систем, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, Генерального директора ТОО "Лаборатория Приезжева" Приезжева И. И., огласила Темирханова Раушан Галымжановна.

**Приезжев И.И.:** Хотел бы отметить, что диссертационная работа Садуова Алишера Берикжановича "Технология создания и использования искусственного интеллекта при решении геопрогностических задач" представляет собой целостное и методологически выверенное исследование, направленное на разработку и апробацию современной технологии применения методов искусственного интеллекта для решения широкого круга геопрогностических задач на основе комплексных минералогических, геофизических и геоинформационных данных.

Я подчеркнул, что особую научную и прикладную ценность в диссертации имеет раздел по региональному Mineral Prospectivity Mapping (картированию перспективности полезных ископаемых) для Au-Ag систем в Неваде. Я отметил, что данная часть работы соответствует современному международному уровню исследований в области Mineral Prospectivity Mapping, поскольку автор интегрирует разнородные данные - геологические и структурные материалы, гравимагнитные признаки и тепловые характеристики - в единую модель, а также корректно решает ключевую методологическую проблему редкости объектов минерализации за счет применения режима Positive-Unlabeled learning (обучение по позитивным и неразмеченным данным). Я отдельно указал, что пространственная независимость проверки качества обеспечена строгой схемой

GroupKFold-валидации (перекрестная проверка с группировкой) по блокам/субрегионам, что принципиально важно для геологических задач из-за пространственной автокорреляции и риска завышения метрик при случайном разбиении.

Я также отметил, что сильной стороной работы является перевод карты перспективности из иллюстративного продукта в инструмент поддержки принятия решений и управления рисками. Это обеспечено совместным применением калибровки вероятностей (чтобы вероятности соответствовали наблюдаемой частоте успеха), маскирования областей вне Area of Applicability (Area of Applicability - область применимости модели, то есть зоны, где модель не имеет права экстраполировать) и подхода top-k ранжирования (выделение верхнего процента наиболее перспективных ячеек как приоритетных targets). Я подчеркнул, что именно такая комбинация делает результаты практически применимыми: она позволяет формировать приоритеты обследования, сравнивать сценарии работ по ограниченному бюджету и избегать ложных "горячих зон" в плохо представленных областях данных.

Отдельно я подчеркнул высокий уровень владения автором современными методами многомерного анализа и машинного обучения и корректность их применения в геолого-геофизическом контексте. Я отметил, что в диссертации последовательно используются методы обнаружения аномалий (Isolation Forest - изоляционный лес, One-Class Support Vector Machine - одно-классовая машина опорных векторов), подходы обучения при неполной разметке (Positive-Unlabeled learning), ансамблевые модели, методы интерпретируемости (SHAP - Shapley Additive Explanations, PDP - Partial Dependence Plot, график частной зависимости; ICE - Individual Conditional Expectation, индивидуальные условные ожидания), калибровка вероятностей и строгие схемы пространственно независимой валидации. Я подчеркнул, что эти методы применяются не формально, а с учетом геологического смысла задач, требований к проверке обобщаемости и необходимости контролировать область допустимой интерпретации.

Я отдельно отметил, что три кейса диссертации образуют единую методологическую линию, а не набор разрозненных примеров. Минералогическая аналитика редких и аномальных минералов, моделирование продуктивных урановых горизонтов по данным геофизики скважин и региональный Mineral Prospectivity Mapping для Au-Ag систем связаны общими принципами: геологически осмысленный дизайн признаков, работа с неполной и смещенной разметкой, пространственно независимая проверка качества, использование калиброванных вероятностей, контроль области применимости и интерпретируемость моделей. Я отметил, что защищаемые положения сформулированы четко, конкретно и хорошо отражают содержание и вклад диссертационной работы.

Говоря о практической значимости, я подчеркнул, что предложенные подходы имеют прямую применимость для планирования реальных геологоразведочных работ. Я отметил, что результаты могут использоваться для приоритизации участков на региональном уровне, для уточнения схем продуктивности урановых горизонтов на основе данных геофизики скважин и для таргетинга перспективных зон Au-Ag с учетом вероятностей и неопределенности, то есть в режиме риск-ориентированного принятия решений.

В заключение я отметил общую культуру работы автора с данными, аккуратное обращение с пространственной автокорреляцией, применение честных схем валидации и явную работу с калибровкой и областью применимости моделей. Я сделал вывод о том, что диссертационная работа Садуова Алишера Берикжановича является завершенным исследованием, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07104 "Нефтяная и рудная геофизика", и рекомендовал ее к защите.

**4. С оценкой диссертационной работы выступили рецензенты:**

**Первый рецензент доктор геол-минерал наук, ассоциированный профессор кафедры «Геофизика и сейсмология» КазНУ им. К.И. Сатпаева, Исаева Л.Д.**

Исаева Л.Д.: В своем выступлении я отметила, что диссертационная работа Садуова Алишера Берикжановича "Технология создания и использования искусственного интеллекта при решении геопрогнозных задач" посвящена актуальной теме внедрения современных методов искусственного интеллекта в геологию и геофизику, и представляет собой завершённое исследование с выраженной научной и практической направленностью. Я подчеркнула, что работа отличается системным подходом к построению геопрогнозных моделей, использованием разнородных минералогических и геолого-геофизических данных и стремлением автора к воспроизводимости и корректной проверке результатов.

Я положительно оценила структуру диссертации и логическую связность трех направлений исследования, которые объединены едиными методологическими принципами: осмысленный выбор признаков, учет специфики неполной разметки, применение вероятностных оценок и акцент на интерпретируемость результатов. Я также отметила, что результаты, полученные автором по каждому из трех защищаемых положений, представляют интерес как для научного сообщества, так и для практики, поскольку ориентированы на поддержку принятия решений в поисково-разведочных работах.

Вместе с тем я указала на ряд замечаний, которые носят незначительный характер и не снижают общей положительной оценки диссертации. Во-первых, я рекомендовала более явно и компактно обозначить границы применимости результатов по региональному Mineral Prospectivity Mapping, подчеркнув масштабность модели и то, что полученные прогнозы являются инструментом первичного ранжирования участков, а не доказательством наличия минерализации. Во-вторых, я предложила дополнить пояснение по исходным данным и их разрешению, особенно для предикторов типа теплового потока и структурных признаков, чтобы у читателя не возникало впечатления о "ложном повышении" разрешения при приведении к единой сетке. В-третьих, я отметила, что в части минералогической аналитики желательно более четко сформулировать критерии, по которым присваивались интерпретационные названия кластерам, и усилить связь этих кластеров с геологическими обстановками через краткую сводную таблицу или алгоритм интерпретации. В-четвертых, я указала, что в разделе по урановым горизонтам полезно кратко выделить, какие элементы методики являются новыми по отношению к традиционной интерпретации геофизики скважин, чтобы новизна воспринималась более однозначно даже для специалистов, не работающих с методами машинного обучения.

В заключение я отметила, что представленные замечания носят рекомендательный характер, могут быть учтены автором при подготовке итоговой версии материалов, и не влияют на общий вывод. Я сделала вывод о том, что диссертационная работа Садуова Алишера Берикжановича соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07104 "Нефтяная и рудная геофизика", и может быть рекомендована к защите.

**Ответ.** Садуов А. Б.: Замечания принимаю, согласен со всем сказанным, в диссертации будет добавлено разъяснение по Вашим замечаниям.

*Ответ на первое замечание.* Благодарю Вас за внимательное прочтение работы и конструктивные замечания. Я полностью согласен с необходимостью более компактно и явно обозначить границы применимости регионального Mineral Prospectivity Mapping. В итоговой версии я дополнительно подчеркну, что полученные прогнозы относятся к региональному масштабу, предназначены для первичного ранжирования участков и не являются прямым доказательством наличия минерализации без последующей детальной проверки.

*Второе замечание.* Замечание по исходным данным и их разрешению принимаю. Я уточню в тексте и в презентации эффективное пространственное разрешение ключевых предикторов (включая тепловой поток и структурные признаки) и отдельно поясню, что приведение к единой сетке используется исключительно для согласования данных, а не для искусственного повышения детализации, чтобы исключить возможное неверное толкование читателем.

*Третье замечание.* По минералогической части согласен, что критерии присвоения интерпретационных названий кластерам следует формализовать еще прозрачнее. Я добавлю краткую сводную таблицу или схему алгоритма интерпретации, где будет показано, какие диагностические минералы и признаки минералогической подписи использовались и как они связываются с соответствующими геологическими обстановками.

*Четвертое замечание.* Замечание по урановым горизонтам считаю справедливым. Я дополню раздел кратким сопоставлением с традиционной интерпретацией геофизики скважин и отдельно выделю элементы методики, которые являются новыми: учет неполной разметки, вероятностное представление продуктивности, пространственно независимая проверка по скважинам и применение калиброванных вероятностей. Это позволит более однозначно отразить новизну даже для специалистов, не использующих методы машинного обучения.

**Отзыв внешнего рецензента PhD**, ассоциированный профессор кафедры математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий Марата Нуртаса был оглашен Сияылкановой А. О.

Работа является актуальной, поскольку современные поисково-разведочные работы опираются на большие массивы разнородных минералогических, геофизических и геоинформационных данных, а повышение эффективности их интерпретации требует воспроизводимых методов интеграции и оценки неопределенности. Я подчеркнул, что важной особенностью диссертации является отказ от формального применения моделей машинного обучения как "черных ящиков" и системный учет специфики геологических данных, включая редкость целевых объектов, неполную и смещенную разметку, пространственную автокорреляцию и неоднородность плотности наблюдений.

Оценивая степень обоснованности и достоверности результатов, я отметил корректную постановку задач, осмысленный выбор признаков и целевых функций, а также применение пространственно независимых схем проверки качества. Я положительно оценил блок минералогической аналитики редких и аномальных минералов, где применены методы обнаружения аномалий и кластеризация с анализом устойчивости выделенных групп и их геологической интерпретацией. Я отметил, что в кейсе по урановым горизонтам Шу-Сарысуской провинции корректно учтена неполная разметка, применены подходы *positive-unlabeled* обучения, скважинно-групповая валидация и сглаживание прогнозов по профилям, что обеспечивает реалистичность вероятностных разрезов и согласование с керном и экспертной интерпретацией. Я также подчеркнул, что в кейсе регионального *Mineral Prospectivity Mapping* для Au-Ag систем Невады реализованы интеграция геоданных, строгая блочная *GroupKFold*-валидация по субрегионам, калибровка вероятностей, контроль области применимости (АОА) и *top-k* ранжирование, а достоверность подтверждается концентрацией известных объектов в верхних рангах перспективности и подавлением ложных "горячих зон" в областях плохого покрытия.

Я отметил научную новизну работы, заключающуюся в разработке: (1) подхода к выделению устойчивых групп аномальных минералов и их интерпретации как генетических типов; (2) вероятностной технологии моделирования урановых горизонтов с учетом неполной разметки и пространственно независимой проверки; (3) комплексной технологии регионального *MPM*, объединяющей *PU-learning*, строгую валидацию, калибровку, АОА и *decision-focused top-k* ранжирование; (4) единого методологического

каркаса применения искусственного интеллекта к геопрогнозным задачам, включающего дизайн признаков, работу с неполной разметкой, интерпретируемость, калибровку вероятностей и контроль области применимости.

Отдельно я подчеркнул практическую значимость результатов, поскольку предложенная технология может использоваться для планирования геологоразведочных работ: выделения перспективных зон по минералогическим индикаторам, построения вероятностных разрезов продуктивности урановых горизонтов по данным геофизики скважин и формирования региональных карт перспективности Au-Ag с учетом риска и неопределенности. Я также отметил достаточную публикационную апробацию результатов, включая публикации в журналах квартилей Q1 и Q3.

Вместе с тем я указал на ряд замечаний, носящих развивающий характер и не снижающих общего высокого уровня работы: необходимость более развернуто представить физические основы используемых геофизических методов, более системно обсудить чувствительность моделей к гиперпараметрам и составу признаков, детальнее обозначить сценарии переноса подхода MPM на другие регионы и типы месторождений Казахстана, а также в перспективе усилить блок количественной оценки экономического эффекта от внедрения предложенной технологии. В заключение я сделал вывод о том, что диссертационная работа соответствует требованиям по специальности 8D07104 "Нефтегазовая и рудная геофизика" и рекомендовал ее к защите.

Ответ на замечания: Благодарю Вас за глубокий анализ работы и конструктивные замечания. Я согласен, что физические основы используемых геофизических методов стоит представить более развернуто. В итоговой редакции я уточню и усилю соответствующие пояснения по гамма-каротажу, электрическим методам и интерпретации гравимагнитных полей, чтобы баланс между геофизическим содержанием и ML-частью был более очевидным.

Замечание по гиперпараметрам и анализу чувствительности принимаю. Я согласен, что более систематическое исследование устойчивости к выбору параметров и состава признаков усилит аргументацию надежности. В дальнейшей доработке я добавлю компактный блок, где будет показано, как меняются ключевые метрики и ранжирование targets при разумных вариациях гиперпараметров и набора предикторов.

По переносу регионального MPM на другие типы месторождений и регионы Казахстана полностью согласен. Я дополню обсуждение кратким перечнем сценариев переноса, а также ограничений и необходимых адаптаций, в первую очередь по сопоставимости геоданных, масштабу съемок и характеру минерализующих систем.

Благодарю за идею усилить экономический аспект. Я согласен, что количественная оценка эффекта (например, снижение объема бурения при фиксированном числе "хитов") является логичным развитием технологии. Я обозначу этот блок как направление дальнейших исследований и планирую проработать его на отдельном прикладном кейсе совместно с производственными данными при наличии доступа к затратам и результатам бурения.

**5. После рассмотрения внешней и внутренней рецензий, ознакомления с отзывами отечественного и зарубежного научных консультантов, перешли к обсуждению диссертации соискателя.**

**Ратов Б.Т.:** Я бы хотел сразу сказать, что работа в целом выглядит как законченная, и видно, что она действительно сделана руками автора, а не собрана из разрозненных фрагментов. По выступлению у меня сложилось впечатление, что вы хорошо понимаете, что делали: где какие данные, почему выбраны именно такие решения, и что означают полученные результаты. Презентация мне понравилась, она аккуратная, читаемая, и в целом логика выдержана. Но у меня есть простое практическое замечание: на основной защите времени будет меньше, обычно 15-20 минут, и если вы начнете подробно объяснять, как именно работают алгоритмы, то слушатели уйдут не туда. Я бы

вам посоветовал алгоритмы оставить как короткое объяснение "почему именно так", а основной упор сделать на то, что важно для геологов и геофизиков: что это дает, где это применимо, и какие выводы отсюда следуют. И еще момент - после каждого защищаемого положения нужно, чтобы у слушателя оставалось "что из этого следует" в прикладном смысле. Вот этого сейчас местами не хватает, это надо прямо отдельной парой фраз закрывать. В этом же контексте целесообразно уточнить формулировку темы диссертации, чтобы она прямо отражала три основных прикладных блока исследования (минералогия, скважинные и региональные геолого-геофизические исследования). Рекомендуется оформить тему в следующем виде: «Технология создания и использования искусственного интеллекта при решении геопрогнозных задач (на примере минералогических, скважинных и региональных геолого-геофизических данных Казахстана и зарубежных стран)».

**Умирова Г.К.:** Я скажу честно как геологу это слушать местами тяжело не потому, что плохо, а потому что слишком много терминов из IT и машинного обучения. Когда вы говорите "positive-unlabeled", "неполная разметка", "АОА", "калибровка", для вас это очевидно, а половина аудитории просто теряет нить. Я бы вам очень советовала все эти вещи проговорить по-человечески, на геологическом языке. Например, вместо "positive-unlabeled" вы можете говорить так: "у нас есть уверенные подтвержденные интервалы, а все остальное по сути неизвестно, потому что керн берут не везде, и мы не имеем права считать все остальное отрицанием". Вот тогда становится ясно всем. То же самое с АОА: "модель не должна 'умничать' там, где у нас данных нет и условия не похожи". Если вы так сделаете, вообще будет отлично. Сама идея мне нравится, просто язык нужно сделать ближе к геологам, и тогда это будет восприниматься очень хорошо.

**Истекова С.А.:** Мне в целом понравилось, что у вас три положения не "три разных проекта", а одна линия - вы везде держите логику: данные, ограничения, проверка, интерпретация. Но я бы попросила аккуратнее с тем, как вы формулируете выводы, особенно по третьему положению. Региональная карта перспективности - это не "там точно есть месторождение". Это инструмент, который помогает выделить зоны, куда имеет смысл идти дальше: где делать детальную съемку, где ставить опробование, где планировать разведку. Вот эту мысль надо прямо проговаривать, чтобы у комиссии не возникло ощущения, что вы "обещаете" то, чего региональная модель по определению обещать не может. И второе: после каждого положения у вас должен быть маленький итог - буквально 2-3 предложения "что получили" и "как это можно использовать". Сейчас у вас выводы есть, но их нужно сделать более явными и структурными. В конце выступления обязательно нужен общий вывод по всей работе, чтобы у слушателей сложилась цельная картинка.

**Исаева Л.Д.:** Я бы хотела отметить высокий общий уровень работы и то, что вы не просто применили модели, а старались делать это аккуратно и честно. Но у меня есть несколько моментов, которые надо усилить именно для геофизической аудитории. Во-первых, физический смысл предикторов. Геологам и геофизикам важно понимать не только "модель сказала", а почему эти признаки вообще должны реагировать на минерализацию или на геологическую среду. Поэтому гамма-картаж, электрические методы, гравимагнитные поля, тепловой поток - это нужно объяснять чуть более развернуто, хотя бы ключевые причины, без формул, но по смыслу. Во-вторых, вопрос масштаба и разрешения. Когда вы все приводите к единой сетке, у людей может появиться ощущение, что вы как будто "сделали данные более детальными", хотя на самом деле это просто техническое согласование. Это надо прямо проговаривать: сетка 250 м - это рабочая сетка модели, но фактическое разрешение ограничено исходными съемками и их шагом. И еще - защищаемые положения по стилю лучше сделать в утвердительной форме: что конкретно сделано и что получено. Без оборотов "предложено рассмотреть" и т.д. Чем проще и конкретнее - тем лучше.

**Исагалиева А.К.:** Мне понравилось, что у вас одна методологическая логика на все три положения. Это сильная сторона, потому что видно, что вы строите технологию, а не просто показываете три примера. Но я бы попросила вас четче выделить, где была самая сложная часть и в чем именно ваша главная новизна по каждому положению. Например, для геологов важно услышать простую мысль: "в обычной практике у нас нет полной разметки, и поэтому мы не можем честно учить модель как будто у нас есть и плюсы, и минусы". И дальше - "вот как именно я это обошел, и почему это надежнее". Если вы это проговорите человеческим языком, новизна будет считываться сразу. И еще - по третьему положению мне бы хотелось услышать пару предложений, как вы видите перенос этой методики на Казахстан: какие типы месторождений, какие данные должны быть, какие ограничения по масштабу. Это сразу добавит прикладную ценность именно для нашей аудитории.

**Аблесенова З.Н.:** Я скажу по выступлению: вас было хорошо слышно, речь понятная, вы объясняли без чтения "по бумажке", и это очень хорошо. Презентация тоже в целом приятная. Но местами слайды перегружены терминами, и если вы начнете проговаривать все, времени точно не хватит. Поэтому мой совет простой: говорите коротко, но смыслово. Не "как работает алгоритм", а "что он дал и почему это геологически оправдано". И очень важно, чтобы после каждого положения у вас оставалась практическая часть: какая рекомендация для геолога или геофизика, какой следующий шаг в разведке, что делать с картой или разрезом. Тогда у слушателей будет ощущение, что это не просто научная работа, а инструмент, который можно применять.

**Тогизов К.С.:** Я бы добавил от себя простой момент: у вас работа на стыке геофизики и машинного обучения, и это нормально, что часть терминов "не наша". Но на защите важно, чтобы у комиссии не осталось ощущения, что геология тут вторична. Поэтому я бы попросил вас в каждом положении прямо показывать геофизическую логику: какой геофизический эффект вы используете, почему он должен быть связан с объектом прогноза, и где границы корректной интерпретации. Если вы это проговорите в 2-3 понятных фразах, вопросы про "почему модели можно доверять" будут сниматься автоматически. И еще - защищаемые положения действительно лучше переписать максимально конкретно, в утвердительной форме: что сделано, на каких данных, какой получен результат и что он дает для практики.

**Алиакбар М.М.:** Я бы сказал так: результат хороший, но вам нужно чуть сильнее "приземлить" его для производственников. То есть не только показать, что модель красивая и метрики хорошие, а объяснить, как это использовать на практике: что конкретно делает геолог после вашей карты или разреза, как это помогает принять решение, что считается успехом, и где риски. Особенно по третьему положению - хорошо бы внятно сказать, как этот подход можно перенести на Казахстан: какие типы объектов, какие данные должны быть, и что будет, если данных не хватает. Тогда работа будет восприниматься не как академическая демонстрация, а как технология, которую реально можно внедрять.

#### **6. После оглашения отзывов рецензентов и научных консультантов, проведенного обсуждения, выступил соискатель Садуов А.Б.**

**Садуов А.Б.:** Всем участникам расширенного заседания кафедры большое спасибо за внимательное отношение к моей работе и за конкретные, профессиональные замечания. Для меня важно, что вопросы и рекомендации были не формальными, а по сути - по терминологии, по геологической интерпретации, по практическим выводам и по подаче материала для аудитории геологов и геофизиков. Я со всеми замечаниями согласен и воспринимаю их как помощь, потому что они действительно делают работу сильнее. В ближайшее время я переработаю формулировки защищаемых положений в более утверждающий и конкретный вид, "огеологичу" терминологию машинного обучения, чтобы она читалась понятнее, сокращу в докладе блоки про внутреннюю механику

всех предложений улучшит качество диссертации и сделает основную защиту более убедительной.

**Шарапатов А.:** Я хотел бы поддержать соискателя. Все замечания, сделанные сегодня в процессе обсуждения, являются рабочими и абсолютно выполнимыми. Я согласен с тем, что нужно упростить терминологию для геологической аудитории, сделать акцент на геологическом смысле результатов и обязательно добавить четкие практические выводы по каждому положению. При этом я считаю, что фундаментально работа уже состоялась: методика выстроена, результаты получены, соискатель уверенно владеет материалом и показывает самостоятельность выполнения исследования. С учетом доработок, о которых сегодня говорилось, диссертация станет еще более сильной и готовой к основной защите.

По итогам обсуждения было проведено открытое голосование по вопросу допуска диссертационной работы к защите. Результаты голосования: "за" - 19, "против" - 0.

**7. Председатель Ратов Б.Т.:** С учетом положительных отзывов рецензентов и научных консультантов, результатов обсуждения на расширенном заседании кафедры, а также при условии устранения и проработки всех высказанных замечаний и рекомендаций, предлагаю допустить диссертационную работу Садуова А.Б. "Технология создания и использования искусственного интеллекта при решении геопрогнозных задач" к основной защите на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07104 "Нефтегазовая и рудная геофизика".

Председатель

Секретарь

Б. Т. Ратов

А. С. Нысанова