



**SATBAYEV
UNIVERSITY**



**SCIENCE AND HIGHER
EDUCATION MINISTRY
OF REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**



**75 Years of the Department
of Geophysics and Seismology:
Science, Education,
and Human Destinies**

**Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция
«ГЕОФИЗИКА ЖӘНЕ СЕЙСМОЛОГИЯ» КАФЕДРАСЫНЫҢ
75 ЖЫЛДЫҒЫ – БІЛІМ, ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ТАҒДЫРЛАР**

**Международная научно-практическая конференция
75 ЛЕТ КАФЕДРЫ «ГЕОФИЗИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ» –
ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА И СУДЬБЫ**

**International Scientific and Practical Conference
75TH YEARS OF THE DEPARTMENT OF GEOPHYSICS AND
SEISMOLOGY – EDUCATION, SCIENCE, AND DESTINIES**

**21 ноября 2025 год
г. Алматы**

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И. Сатпаева

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF
KAZAKHSTAN

Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev

«ГЕОФИЗИКА ЖӘНЕ СЕЙСМОЛОГИЯ» КАФЕДРАСЫНА 75 ЖЫЛ
– БІЛІМ, ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ТАҒДЫР

Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның

ЕҢБЕКТЕРІ

21 қараша 2025 ж.

ТРУДЫ

Международной научно-практической конференции

75 ЛЕТ КАФЕДРЫ «ГЕОФИЗИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ» –
ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА И СУДЬБЫ

21 ноября 2025 г.

PROCEEDING

International scientific and practical conference

75 YEARS OF THE DEPARTMENT OF «GEOPHYSICS AND
SEISMOLOGY» – EDUCATION, SCIENCE AND DESTINIES

21 november 2025

Алматы 2025

УДК 550.3
ББК 20.02
Г32

«ГЕОФИЗИКА ЖӘНЕ СЕЙСМОЛОГИЯ КАФЕДРАСЫНА 75 ЖЫЛ – БІЛІМ, ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ТАҒДЫР» Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның еңбектері. Алматы, 21 қараша 2025 жыл.

Шарапатов Ә.	– басылымның жауапты редакторы
Аблесенова З. Н.	– басылымның жауапты хатшысы
Әсірбек Н. Ә.	– басылымның жауапты хатшысы
Жәңгірханова А. А.	– басылымның жауапты хатшысы

«ГЕОФИЗИКА ЖӘНЕ СЕЙСМОЛОГИЯ» КАФЕДРАСЫНА 75 ЖЫЛ – БІЛІМ, ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ТАҒДЫР» = 75 ЛЕТ КАФЕДРЫ «ГЕОФИЗИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ» – ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА И СУДЬБЫ = «75 YEARS OF THE DEPARTMENT OF «GEOPHYSICS AND SEISMOLOGY» – EDUCATION, SCIENCE AND DESTINIES»: Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференцияның материалдары – Алматы: ҚазҰТЗУ, 2025. – 244 с. – Kaz., rus.
ISBN 978-601-323-650-6

Еңбектер жинағында геофизика, сейсмология және геологиялық бағыттардағы ғылыми жұмыстардың, оларды жүргізуде жаңа технологияларды қолдану нәтижелері келтірілген. Еңбектер мазмұндары бойынша пайдалы қазбалар кенорнындарын геологиялық-геофизикалық барлау, сейсмологиялық және экологиялық мәселелер, кенорындарды тиімді игеру, минералдық шикізаттарды болжау мен өндіруде озық әдістемелерді қолдану және жасанды интеллект технологиясын ендіру тақырыптарын қамтыған.

В сборнике представлены результаты научных исследований в области геофизики, сейсмологии и геологии, а также применения новых технологий при их выполнении. Содержание трудов охватывает такие темы, как геолого-геофизическая разведка месторождений полезных ископаемых, сейсмологические и экологические проблемы, эффективное освоение месторождений, использование передовых методик в прогнозировании и добыче минерального сырья, а также внедрение технологий искусственного интеллекта.

The collection presents the results of scientific research in the fields of geophysics, seismology, and geology, as well as the application of new technologies in conducting these studies. The contents of the volume address topics such as geological and geophysical exploration of mineral deposits, seismological and environmental issues, the efficient development of mineral resources, the use of advanced methodologies in the forecasting and extraction of mineral raw materials, and the integration of artificial intelligence technologies.

Ж.К. Калмагамбетов, Л.М. Дюсемалиева

АО «НИПИнефтегаз», Актау, Казахстан

НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРО-УСТЮРТСКОГО БАСЕЙНА

Аннотация. Рассмотрены результаты новых сейсморазведочных работ в центральной части Северо-Устюртского бассейна. В результате интерпретации и палеоструктурных реконструкций определены новые перспективные объекты в каменноугольных отложениях.

Ключевые слова: Северо-Устюртский бассейн, доюрские отложения, отражающие горизонты, структурные карты, палеогеоморфологическая карта.

Северо-Устюртский бассейн – обширная структура, расположенная на территории Казахстана и Узбекистана, представляющая собой сложный палеогеографический объект с богатой историей осадконакопления.

Его осадочный чехол охватывает длительный геологический интервал, начиная с верхнего палеозоя и заканчивая неогеном (Рисунок 1).

Вскрытые в Узбекистане верхнепалеозойские отложения, охватывающие период от франского яруса верхнего девона до артинского яруса нижней перми, служат ключом к пониманию эволюции бассейна. Эти отложения показывают разнообразные условия образования осадков – от прибрежных и переходных зон (в ограниченных морях) до открытых морских вод с глубинами, которые изменяются от мелководья континентального шельфа до сравнительно глубоких участков. Литологическое разнообразие представлено преимущественно мергелями, известняками и туфами, свидетельствующими о переменном воздействии морских и континентальных процессов. Несогласное залегание этих отложений на более древнем фундаменте указывает на значительные тектонические события, предшествовавшие осадконакоплению.

Результаты настоящих сейсмических исследований продемонстрировали, что геологическое строение района доюрского периода существенно отличается от ранее существовавших представлений, в которых этот разрез рассматривался исключительно как пермотриасовый, заканчивающийся снизу поверхностью артинского несогласия.

Авторы провели аналогию геологического строения данной территории с хорошо изученным разрезом Прикаспийского бассейна, что позволило им разработать стратиграфическую схему доюрских отложений, выделив опорные горизонты, которые служат основными маркерами для района (Рисунок 2).

ХРОНОСТРАТИГРАФИЯ			ВОЗРАСТ (млн.лет)	ЛИТОЛОГИЯ	СРЕДА ОСАДКОНА- КОПЛЕНИЯ	ТЕКТОНИЧЕСКИ Е СОБЫТИЯ				
ТРЕТИЧНАЯ	Плиоцен		-50-		Мелководный морской континентальный	Термальное оседание Столкновение Евразии и Аравии: подъем и сдвиг				
	Мноцен	Мноцен3								
		Мноцен2								
	Мноцен1									
	Олигоцен	Олигоцен2								
		Олигоцен1								
	Эоцен	Эоцен3								
Эоцен2										
Палеоцен	Эоцен1									
	Палеоцен2									
МЕЗОЗОЙСКАЯ	Мел	K2	-100-		Морской	Подъем, связанный со сдвиговыми движениями				
		K1			Мелководный морской					
	Юра	J3	-150-		Более глубокий морской		Инверсия Донбасско-Туаркырского разлома (киммерийский орогенез) Рифтогенез в системе Донбасс-Туаркыр			
		J2			Мелководная морская переходная дельта					
		Юра			J1			-200-		Речной мелководный морской
					J1					Континентальный
	Триас	T3	-250-				Орогенез Урала: столкновение Казахской и Евразийской плит			
		T2								
	ПАЛЕОЗОЙСКАЯ	Пермь	T1	-300-				Палеозойский микроконтинент Северного Устья		
			P2							
Пермь		P1	-350-		Глубоководный морской - Мелководный морской					
		P1			Лагунный					
Карбон		C2	-400-		Глубоководный морской - Мелководный морской					
		C1								
Девон		D3	-400-							
		D2								
		D1								
		PZ1								

Рисунок 1 - Хроностратиграфический литологический разрез Северо-Устьюртского бассейна

ОСАДОЧНЫЙ КОМПЛЕКС	СЕЙСМО-ЭТАЖ	СЕЙСМО-КОМПЛЕКС	ОТРАЖАЮЩИЙ ГОРИЗОНТ	СИСТЕМА (ИНДЕКС)
КВАЗИПЛАТФОРМЕННЫЙ	ВЕРХНЕПЕРМСКО-ТРИАСОВЫЙ	P2-T	V	T
			VI	P2
	ДОВЕРХНЕ-ПЕРМСКИЙ ПАЛЕОЗОЙ	D-P1	"6" (П1)	P1
			П2	C2
			П2'	D3
			П3	D2-D1
			"Ф"	

Рисунок 2 - Стратиграфическая схема Северо-Устьюртского бассейна в аналогии с Прикаспийским бассейном

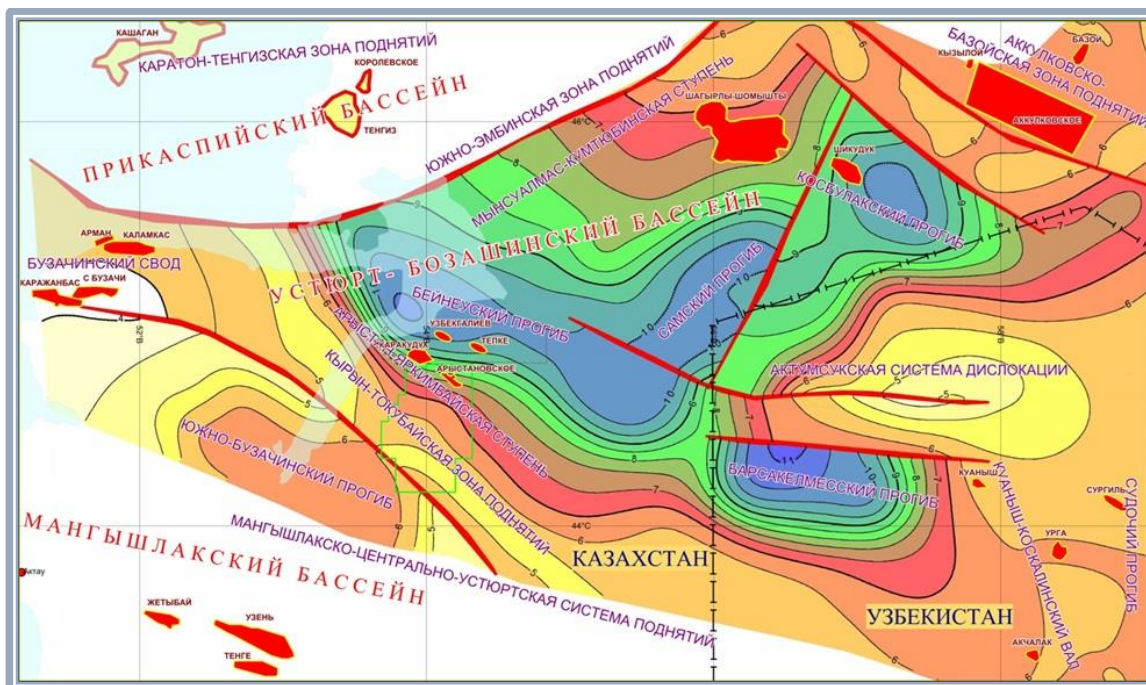


Рисунок 3 - Тектоническая схема осадочного чехла Северо-Устьюртского бассейна

Впервые на Северном Устьюрте выделены самый нижний комплекс осадочного чехла – отложения верхнего девона – артинского яруса, которого многие исследователи относили к складчатому комплексу осадочного чехла. Этот комплекс является достаточно дислоцированным, неметаморфизованным или слабо метаморфизованным иногда с пластами вулканитов [2].

Разрезы, содержащие отложения девона и ранней перми, ранее были обнаружены в двух отдельных зонах, сопряженных с данным районом. Первая зона расположена к северу от исследуемой территории в Южно-Эмбенско-Бузачинском районе. Эта зона предоставила ценную, хотя и ограниченную информацию о составе и мощности отложений. Вторая зона, значительно более обширная, находится на юге. Здесь доверхнепермские отложения вскрыты в нескольких ключевых геологических структурах: на Южном Мангышлаке, Южном Устьюрте, в Судочьем прогибе, Южном Приаралье, Барсакельмесской впадине и Актумсукской системе дислокаций (Рисунок 3).

Самый глубокий горизонт складчатого комплекса осадочного чехла авторы предположительно назвали аналогично разрезу Прикаспийского бассейна - ПЗ?, как подошва верхнедевонских отложений (Рисунок 5). Ниже него может следовать только поверхность складчатого фундамента – горизонт «Ф» (Рисунок 4). Таким образом, возраст консолидированной коры или фундамента на Северном Устьюрте считается до верхнедевонским.

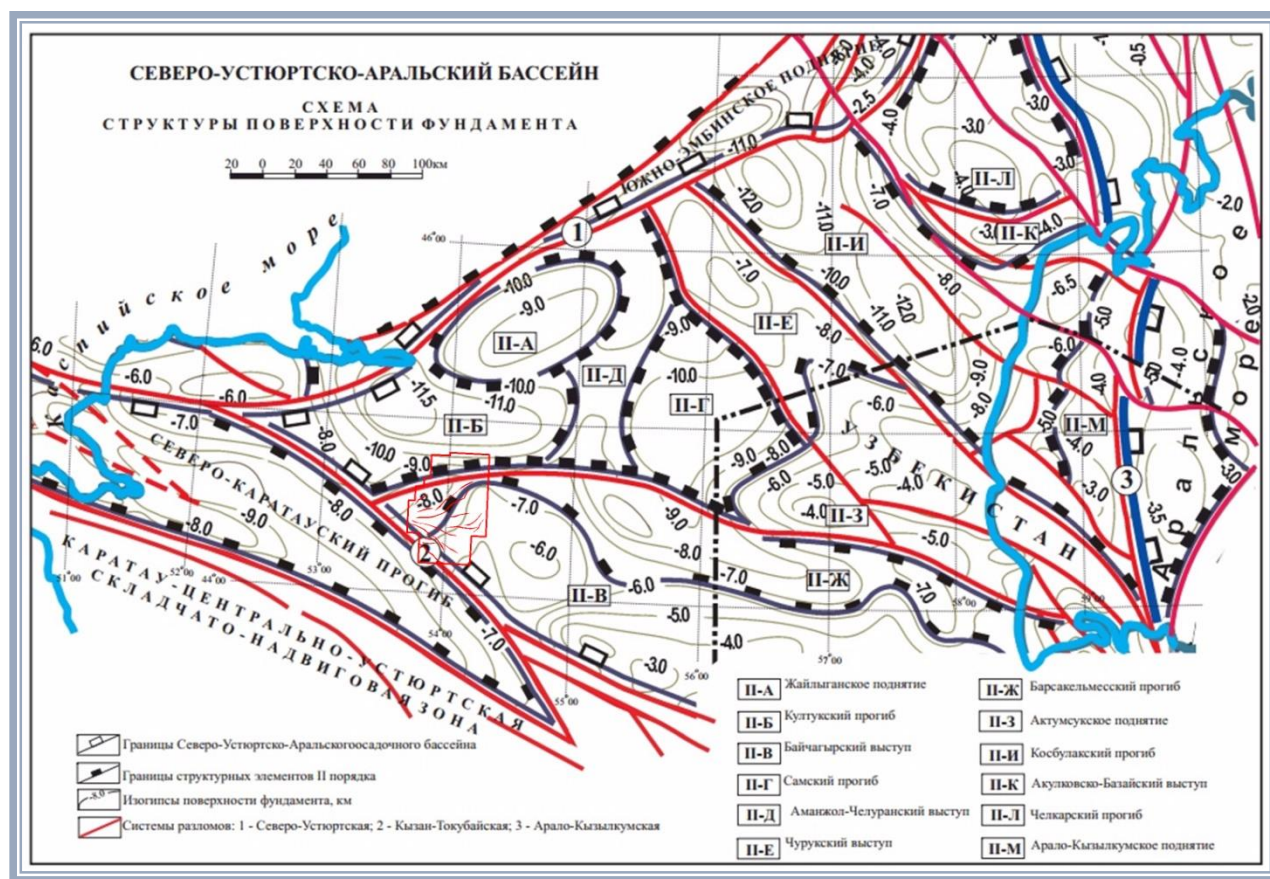


Рисунок 4 - Схема структуры поверхности фундамента
(Рабинович А.А., Воцалевский Э.С. и др. 2009 г.)

В пределах участка выделено 14 тектонических нарушений, разных направлений, типов и амплитуд (Рисунок 5). Разломы, формирующиеся в Северо-Устьюртском бассейне, в основном ориентированы на северо-запад. Однако также наблюдается наличие небольшого количества

разломов с северо-восточной и почти северо-южной ориентацией. Разломы северо-западного простирания, как правило, сформировались в доюрский период, что подчеркивает их древность и важность для понимания тектонической эволюции региона.

Горизонт ПЗ? поднят на юге участка возле разломов F1 и F10 до отметок -5000 м, система разломов F1, F2, F10 совпадает в плане Кызан-Токубайской системой разломов и ее поведение указывает на то, что она является левосторонней системой сдвигов в фундаменте. Горизонт падает от линии разломов F1-F10 и к югу и северу, на юге после небольшого прогиба возле разлома F2 образует небольшое поднятие в районе скважины Елигажи-2. К северу и северо-востоку горизонт волнисто падает, образуя по пути небольшие поднятия и впадины до отметок -13000 м на крайнем северо-востоке участка. В центральной части участка имеются небольшие приразломные поднятия, а на северо-западе обособляется отдельное глубококопгуженное поднятие с отметками на своде -7000-7200 м, и данное поднятие не закрывается на западе в пределах участка исследований.

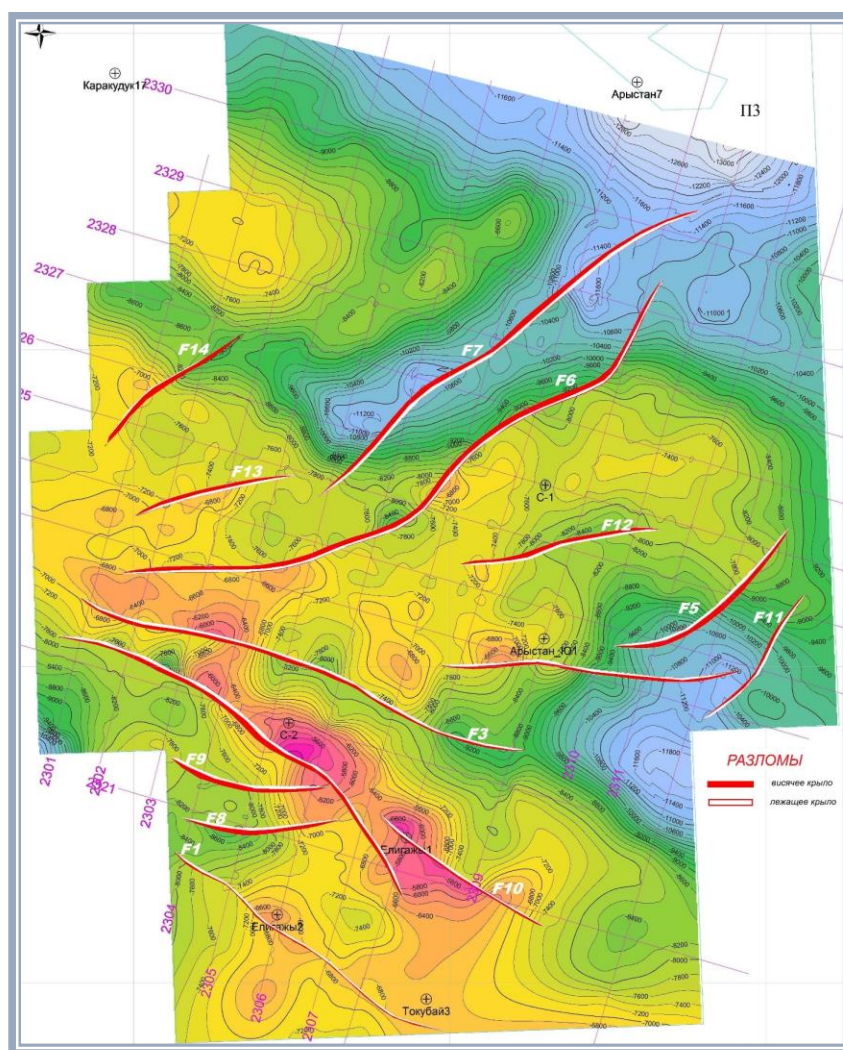


Рисунок 5 - Структурная карта по горизонту ПЗ участка

Авторы настоящей работы, в основном, сосредоточились на изучении карбонатных пород каменноугольного периода. Эти породы, по мнению авторов, сформировались поверх девонских отложений, повторяя их форму (унаследованно). Авторы предполагают, что в древности эти

карбонатные отложения представляли собой обширные карбонатные платформы. На этих платформах, согласно их гипотезе, развивались рифовые структуры, мелководные участки (межрифовые отмели) и склоны, спускающиеся с платформы. Таким образом, исследование посвящено анализу геологической структуры и истории формирования карбонатных образований каменноугольного периода, которые, как предполагается, возникли на месте древних карбонатных платформ с характерным для них рельефом – рифами, мелководьями и склонами.

Анализ данных по горизонту П2 показывает, что на территории участка Сай-Утес каменноугольный комплекс характеризуется значительной мощностью. Более подробное изучение этого комплекса, включая анализ его литологического состава и тектонических особенностей, позволило более точно реконструировать геологическую историю региона и наметить новые перспективные участки для поиска УВ в карбонатных отложениях.

При сопоставлении (привязке) скважины Елигажи-1 с сейсмическим профилем 2308, включая построение и анализ синтетической сейсмограммы и комплексной интерпретации региональных геологических данных, выявлено отсутствие в районе скважины отложений триасового и части верхнепермского возраста, которые в районе скважины Елигажи-1, были выведены на поверхность Земли и подверглись значительной эрозии.

В этот период произошли значительные вертикальные перемещения земной коры, связанные с альпийской эпохой горообразования, приведшие к поднятию и последующему денудационному выщелачиванию (эрозии и размыву) триасовых и части верхнепермских отложений в раннеюрское время. Вместе с тем, более детальное рассмотрение данных калибровки скважины к сейсмическому профилю указывает на наличие в скважине между сейсмическими горизонтами П1 и П2 слоя нижнепермских отложений мощностью около 442 метров (Рисунок 6).

Результаты анализа полученных материалов также показаны на временном разрезе по профилю 2308 (Рисунок 7) и по нему построен сейсмогеологический разрез (Рисунок 8), который принимается как геологическая модель участка.

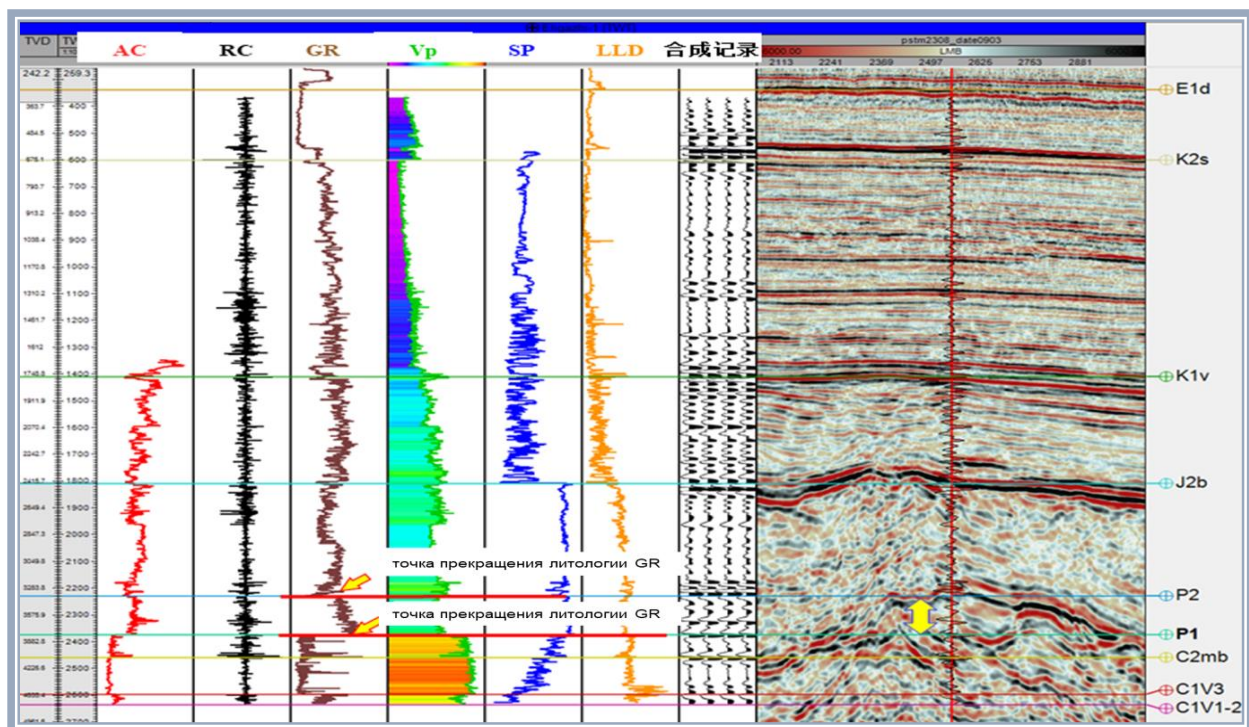


Рисунок 6 - Привязка скважины Елигажи-1 к данным сейсморазведки

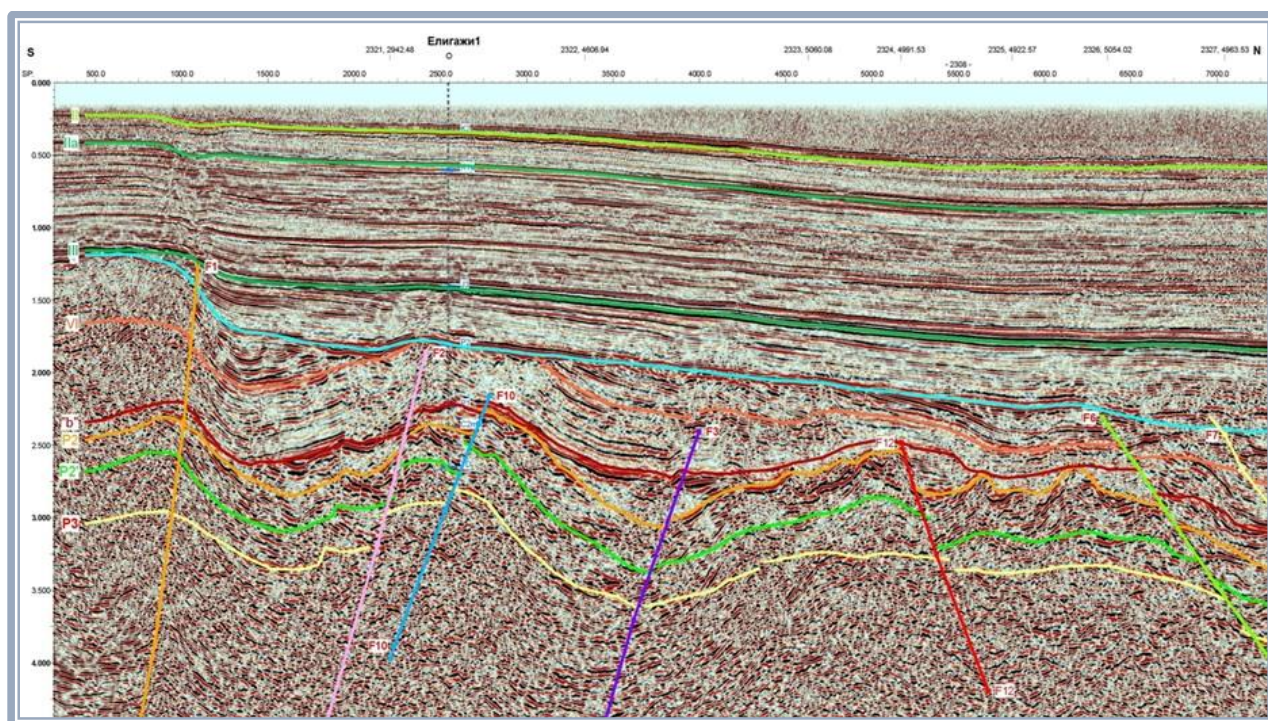


Рисунок 7 - Временной разрез по профилю 2308

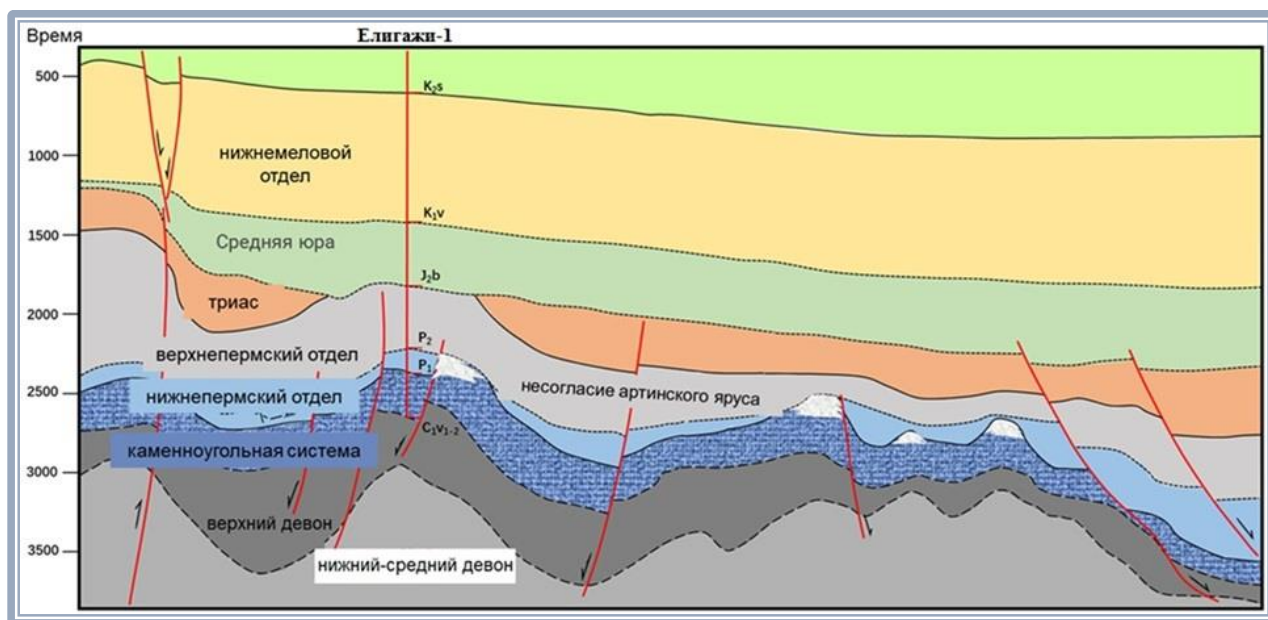


Рисунок 8 - Геологическая модель участка

Карта мощности каменноугольных отложений показывает, что наибольшая толщина каменноугольных отложений находится в центре участка, а не в районе наивысшего свода современной каменноугольной структуры в районе скважины Елигажи-1. Но использование поверхности и основания каменноугольных отложений для восстановления истинной палеогеоморфологии участка является не совсем надежной, из-за их неоднозначности и прерывистости. Поэтому авторы в качестве «отпечаточного» пласта для палеоструктурных

реконструкции использовали VI отражающий горизонт (подошва триасовых отложений), который характеризуется сильными и непрерывными фазами и непрерывно прослеживается по площади. В зонах денудации и плохого прослеживания горизонта была применена экстраполяция горизонта методом минимальной кривизны.

Для восстановления палеорельефа каменноугольных отложений был также использован горизонт «б» - поверхность артинского несогласия, по которому можно прокоррелировать горизонт П2, в местах их отсутствия.

В результате была получена приблизительная палеогеоморфологическая карта каменноугольных отложений участка в момент геологического времени их накопления (Рисунок 9). Согласно карте, на участке выявлены две карбонатные платформы (в центре и на северо-западе). В пределах этих платформ были определены новые перспективные участки.

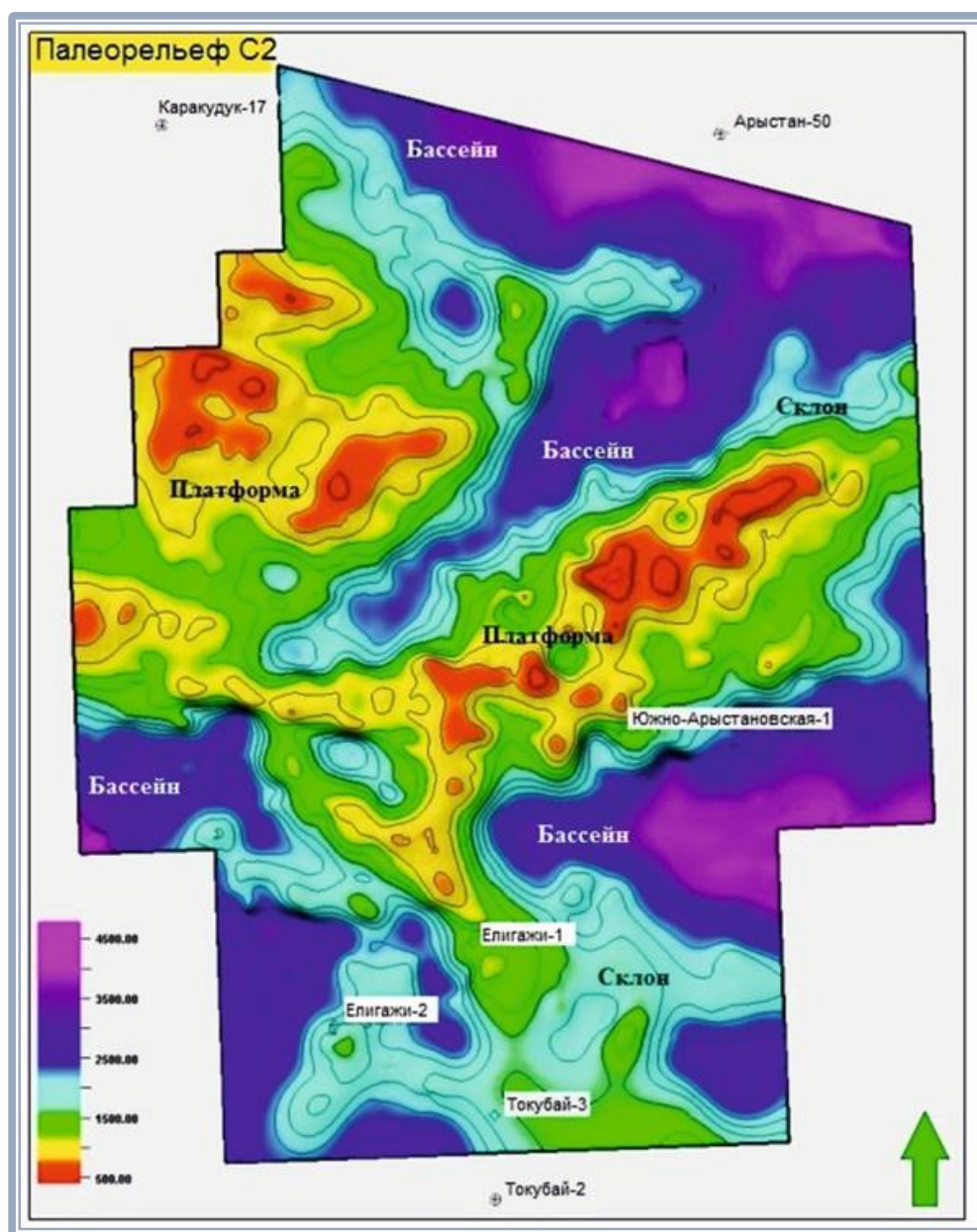


Рисунок 9 - Приблизительная палеогеоморфологическая карта каменноугольных отложений

Список литературы:

1. Бабаджанов Т. Л., Кунин Н. Я., Лук-Зильберман В. И. Строение и нефтегазоносность глубокопогруженных комплексов Средней Азии по геофизическим данным. - Ташкент, издательство «ФАН» Узбекской ССР, 1986. - стр.3-188.
2. Волож Ю.А., Быкадоров В.А., Антипов М.П., Сапожников Р.Б. Особенности строения палеозойских отложений Тургайско-Сырдаринского и Устьюртского регионов (в связи с перспективами нефтегазоносности глубоких горизонтов осадочного чехла)//Нефтегазовая геология, Теория и практика. – 2016. - Т.11. - №4.
3. Гаврилов В.П. Геодинамическая модель эволюции Северного Устьюрта и прилегающих районов туранской плиты в связи с нефтегазоносностью палеозойского комплекса// Научно-технический журнал: Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2011. - №10.
4. Кнепель М.Н., Высоцкий В.И. и др. Современное состояние и тенденции развития нефтегазового комплекса Туркменистана и других центральноазиатских стран Ближнего Зарубежья. - М., ОАО «ВНИИЗарубежгеология». - 2010.
5. Калмагамбетов Ж.К. Геодинамический подход к поиску залежей углеводородов в Мангистау, международная научно-практическая конференция Нефтегазовое будущее Мангистау, Актау. - 2024.
6. Xiaodong Zheng*, Yandong Li, Jingsong Li and Xiaowei Yu, PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development. Reef and shoal reservoir characterization using paleogeomorphology constrained seismic attribute analysis. SEG Technical Program Expanded Abstracts 2007. doi:10.1190/1.2792757.
7. Hao Wang, Qiumei Zhou, Wen Zhou, Yinde Zhang, and Jianhua He. Carbonate Platform Reef-Shoal Reservoir Architecture Study and Characteristic Evaluation: A Case of S Field in Turkmenistan, Energies 2022, 15, 226. <https://doi.org/10.3390/en15010226>

С. М. Исенов

ООО «Ветераны нефтегазового комплекса», Алматы, Казахстан

ТЕХНОЛОГИИ МУЛЬТИФОКУСИНГ СРЕДСТВО ВЫЯВЛЕНИЯ НЕАНТИКЛИНАЛЬНЫХ И ГЛУБОКО ЗАЛЕГАЮЩИХ ЛОВУШЕК

Аннотация. Рассмотрены проблемные вопросы и практические примеры выявления неантиклинальных и глубоко залегающих ловушек углеводородов, на основе повышения качества и детальности сейсмического изображения среды при обработке сейсмоданных с применением технологии Мультифокусинг. Метод Мультифокусинга обеспечивает ряд преимуществ в сравнении с базовым методом ОГТ. Существенное увеличение соотношения Сигнал/Помеха и разрешающей способности сейсмической записи повышают достоверность результатов сейсморазведки.

Ключевые слова: ограничения сейсморазведки методом ОГТ, количественные оценки соотношения Сигнал/Помеха и вертикальная разрешающей способности, технологии Мультифокусинг.

Введение. Известно, что современная методика среднечастотной сейсморазведки методом ОГТ обеспечивает решение структурно-тектонических (кинематических) задач с достаточно высокой степенью точности и достоверности. «Динамические» задачи сейсморазведки, включая прогнозирование вещественного состава отложений и параметров резервуаров УВ на основе анализа атрибутов сейсмической записи и определения их корреляционных связей со скважинными и добычными данными, являются более проблематичными.

Несмотря на известный прогресс в современных методах и технологиях сейсморазведки, отмечают уменьшение количества открытий новых месторождений в комплексах отложений с доказанной нефтегазоносностью и снижение объемов добычи нефти. Большие перспективы связывают с выявлением неантиклинальных ловушек углеводородов (УВ), а также с глубоко залегающими палеозойскими структурами, разведка которых продолжает оставаться проблематичной [1, 2, 3]. В определенной мере это связано с недостаточной эффективностью метода ОГТ и ограниченным применением более эффективных и информативных инновационных методик, и технологий сейсморазведки.

К факторам, ограничивающих эффективность и результативность среднечастотной сейсморазведки методом ОГТ следует отнести: (1) сложные природно-географические и глубинные геологические условия; (2) тонкослоистость геологического разреза; (3) слабая геолого-геофизическая изученность палеозойского комплекса отложений; (4) малое количество опорных скважинных данных; (5) низкое качество освещения верхней части разреза (ВЧР) на разрезах и кубах ОГТ в интервале накопления кратности ОГТ и др.

Эффективность технологии Мультифокусинг проявляется в значительном повышении качества сейсмического изображения среды на разрезах и кубах МФ и прослеживания основных и энергетически слабых второстепенных отражающих горизонтов, которые характеризуют внутреннее геологическое строение продуктивных толщ терригенных и карбонатных осадочных отложений. Эти второстепенные отражения определяют возможность выявления как неантиклинальных ловушек УВ, которые незначительно отличаются по акустическим свойствам от вмещающих отложений, так и глубоко залегающих палеозойских структур, и объектов.

Отметим, что достоверность результатов решения «динамических» задач сейсморазведки зависит от следующих факторов: «(1) качества сейсмических материалов, (2) сложности

геологического объекта и (3) величины аномального эффекта, т.е. от соотношения ожидаемой полезной аномалии некоторого параметра к погрешности его определения... Очевидно, что решение задач оценки вещественного состава возможно только там, где качество сейсмических материалов или, другими словами, соотношение Сигнал/Помеха (С/П) достаточно велико. В зависимости от характера решаемой задачи потребуется обеспечить соотношение С/П от 5 до 50» (Г.Н. Гогоненков, 1981). Известные положительные результаты «динамического» анализа данных 3Д и 4Д сейсморазведки были получены в благоприятных сейсмогеологических условиях и при адекватности реальному строению геологического разреза базовых математических моделей среды в применяемых методиках и технологиях сейсморазведки.

Примеры применения технологий Мультифокусинг

Эффективность и результативность сейсморазведки во многом зависят от качества исходных полевых сейсмических записей, от методики, технологии, параметров возбуждения и регистрации сейсмических колебаний. В докладе рассмотрены новые возможности существенного повышения качества сейсмических записей в поле отраженных волн, после дополнительной обработки сейсмограмм ОГТ с применением технологии «Мультифокусинг» (МФ).

В основе метода МФ лежит оригинальное математическое решение, в котором описание фронта отраженной волны охватывает широкий класс моделей среды, с учетом волновой природы формирования отраженного сигнала в пределах 1-й зоны Френеля. Описание метода МФ приведено в работах (Б. Гельчинский, 1992, А. Беркович, И. Бельфер, Е. Ланда и др., 1994, 1999, 2008, 2009, 2012).

Приведем отличительные свойства технологии Мультифокусинга, расширяющих круг решаемых задач:

1. Увеличение на 1-2 порядка статистического эффекта накопления сигналов на сейсмограммах МФ и оценок Сигнал/Помеха в среднем в 2-3 раза, сформированных по принципу общности 1-й зоны Френеля и с сохранением относительных амплитуд;
2. Сохранение исходной разрешенности сейсмической записи после ввода кинематических поправок и суммирования вдоль фронтов отраженных волн. Это повышает точность скоростного и «динамического» анализа сейсмической записи;
3. Учёт локальной негиперболичности годографов отраженных волн и времени вступления отраженной волны, это повышает качество сейсмического изображения в условиях сложнопостроенных сред;
4. При обработке сейсмограмм МФ может учитываться сложный рельеф местности;
5. Повышение качества результатов глубинной миграции до суммирования (PSDM) за счет использования улучшенных сейсмограмм МФ и формирования более достоверной Модели PSDM по улучшенному суммарному разрезу или кубу МФ;
6. Подавление остаточных волн-помех путем дополнительной обработки улучшенных сейсмограмм МФ по методике ОГТ (А. Беркович и др., 2012).

Приведём несколько примеров, демонстрирующих эффективность МФ, (из опубликованных источников и материалов «Geomage, LTD», ООО «Геомедж РУ» и ТОО «Геомедж KZ»). Это результаты среднечастотной 2Д/3Д сейсморазведки в разных сейсмогеологических условиях, характеризующихся большими углами наклона и криволинейностью границ раздела, осложненных тектоническими нарушениями, и при сложном рельефе местности. На мигрированных разрезах и кубах МФ существенно улучшилось прослеживание основных и второстепенных отражений от поверхности наблюдений и по всей глубине разреза, включая самую верхнюю часть разреза (ВЧР). Отметим, что при значительном увеличении соотношения С/П на результатах МФ не наблюдается ухудшение латеральной разрешенности сейсмической записи, что хорошо видно на участках тектонических нарушений и выклинивания слоев.

На рисунке 1 демонстрируется учет фактической топографии сложного рельефа сейсмосьемки и статических поправок, при обработке по методикам ОГТ и МФ (разработка «Geomage, LTD»). Это повышает детальность изучения и учет искажающего влияния скоростных неоднородностей в ВЧР в процессе обработки МФ и глубинной миграции до суммирования (PSDM).

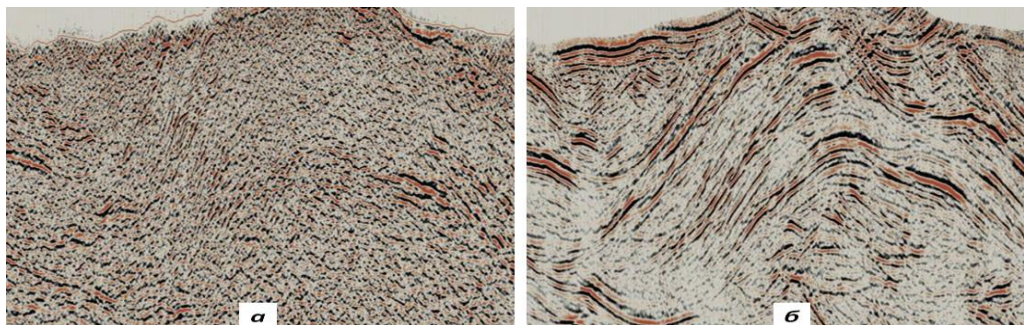


Рисунок 1 - Сравнение сейсмических разрезов (British Columbia, Канада):
а – суммарный разрез ОГТ, б – суммарный разрез МФ

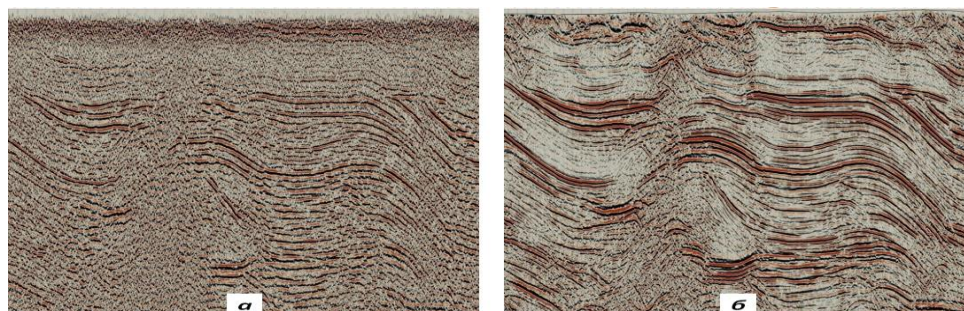


Рисунок 2 - Сравнение сейсмических изображений (Якутия):
а – суммарный разрез ОГТ, б – суммарный разрез МФ

На месторождении Русское технология МФ значительно улучшила качество сейсмического изображения среды, в сравнении со стандартной обработкой ОГТ (Рисунок 3, б). «По кубу МФ было уточнено геологическое строение газонефтяной сеноманской залежи, включая выделение малоамплитудных нарушений, при этом повысилась надежность привязки к скважинным данным отражений от кровли продуктивных пластов (Рисунок.3, б), также отчетливо проявились субгоризонтальные отражения от газо-нефтяного контакта в пределах продуктивных слоев» [4].

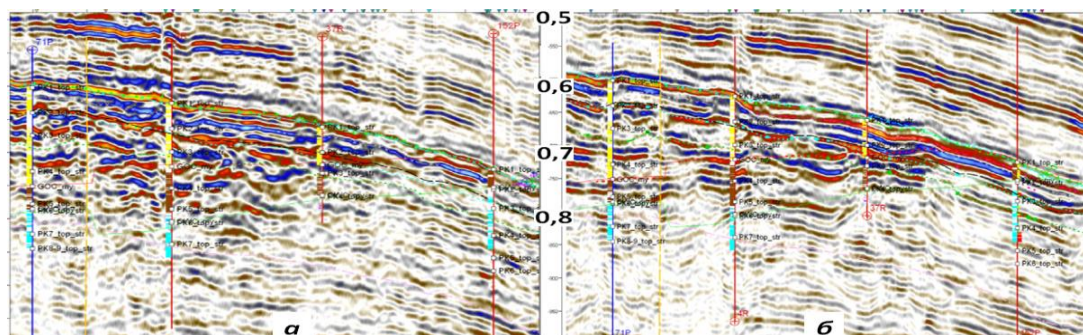


Рисунок 3 - Сравнение фрагментов мигрированных кубов ОГТ (а) и МФ (б)

Выделение ловушек руслового или озерно-болотного типов по амплитудным аномалиям типа «ярких пятен». Сейсмические разрезы ОГТ (Рисунок 8, *а*) были получены в Западной Сибири с целью разведки структур в перспективном юрском комплексе отложений (из материалов «Geotage LTD»). После дополнительной обработки сейсмограмм ОГТ по технологии Мультифокусинг значительно улучшилось качество прослеживания основных и второстепенных отражений как в юрско-меловых отложениях, так и в доюрском комплексе отложений. Отметим, что в толще юрских отложений существенно улучшилось прослеживание второстепенных отражений, на которых уверенно начали выделяться амплитудные аномалии типа «ярких пятен» (Рисунок 8, *б*). Для детального рассмотрения участков выделения амплитудных аномалий также показаны увеличенные фрагменты разрезов ОГТ и МФ (Рисунок 8, *1* и *2*). Некоторое смещение этих аномалий в пределах антиклинальных структур может свидетельствовать о наличии ловушек руслового или озерно-болотного типов.

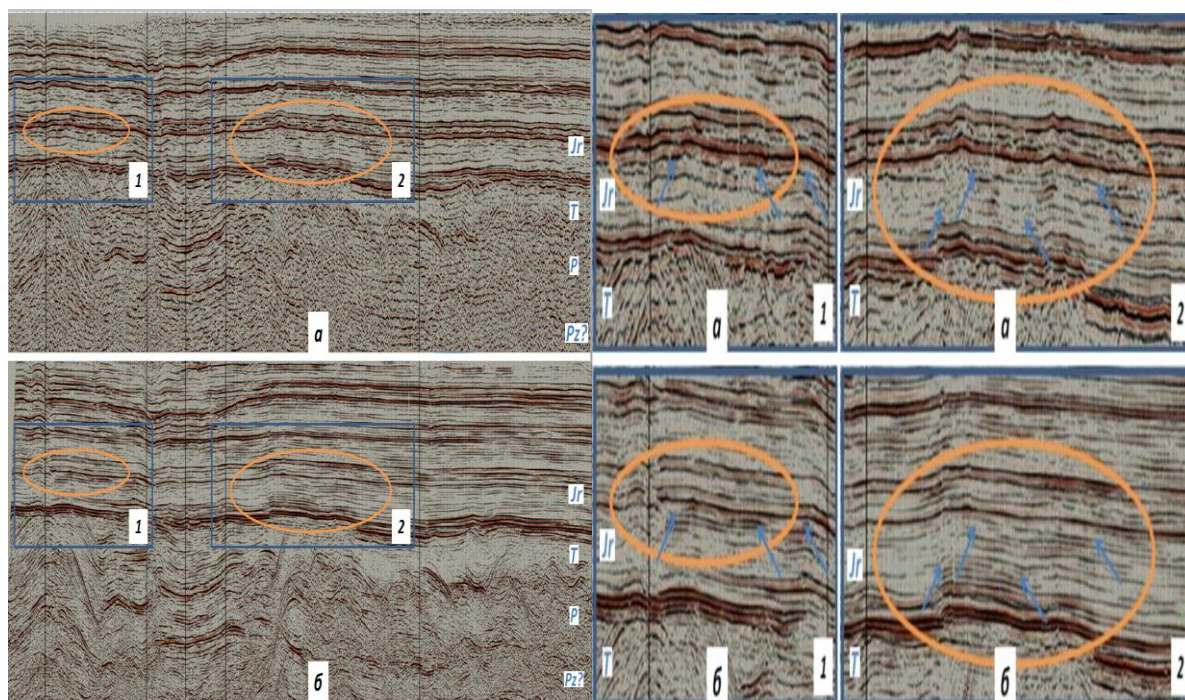


Рисунок 4 - Сравнение сейсмических разрезов ОГТ (*а*) и МФ (*б*) и увеличенных фрагментов (*1*) и (*2*), на которых выделены амплитудные аномалии в юре

Значительное улучшение прослеживания основных и второстепенных отражений в нижней части разрезов МФ свидетельствует, что доюрский комплекс отложений сложен осадочными породами и имеет слоистую складчатую структуру, осложненную тектоническими нарушениями (рис. 8, *б*), что привлекает внимание с целью изучения перспектив нефтегазоносности [1, 2].

Применение технологии Мультифокусинг обеспечивает выявление глубоко залегающих ловушек. Изучение внутреннего строения подсолевого палеозойского комплекса отложений, в котором слои характеризуются незначительной акустической дифференциацией, осложнено в поле нерегулярных и динамически слабых второстепенных отражений на стандартном разрезе PSDM (Рисунок 5, *а*).

Формирование Модели PSDM обычно выполняется по разрезу или кубу ОГТ, на которых прослеживание целевых отражающих горизонтов ухудшается вплоть до полной их потери, по мере усложнения строения геологического разреза и увеличения негиперболичности годографов отраженных волн. Для существенного повышения качества сейсмических изображений на

разрезах или кубах PSDM необходимо: (1) формировать начальный вариант Модели PSDM по более полному и качественному сейсмическому изображению среды на разрезах или кубах МФ; (2) использовать в качестве входных данных PSDM улучшенные сейсмограммы МФ [5].

На рисунке 5 сравниваются сейсмические изображения на разрезах PSDM, полученных по стандартной глубинной миграции (Рисунок 5, *а*) и с использованием улучшенных сейсмограмм МФ. На разрезе PSDM (Рисунок 5, *б*) заметно улучшилось качество сейсмического изображения, количественные оценки С/П увеличились в среднем в 2-3 раза. При этом внутри глубоко залегающего подсолевого палеозойского комплекса на нескольких профилях появились наклонные и субгоризонтальные отражающие площадки, которые вполне свидетельствуют о наличии крупной антиклинальной структуры на глубине 7-8 км.

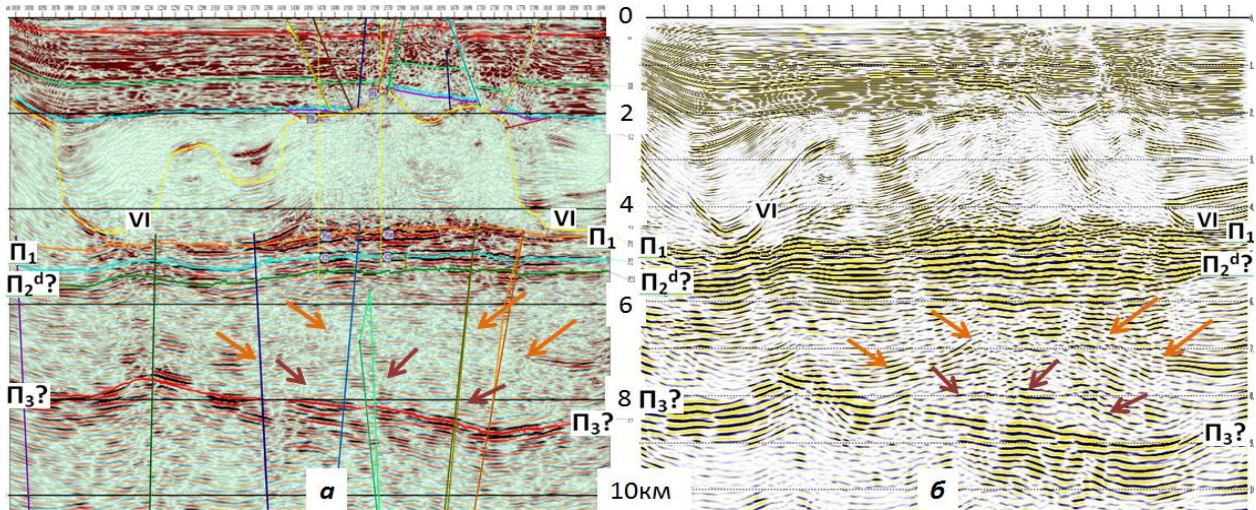


Рисунок 5 - Выделение глубоко залегающего антиклинального объекта: *а* – предыдущий разрез PSDM, *б* – PSDM с применением Мультифокусинга [5]

Выводы и рекомендации

1. Для повышения эффективности ГРП в конкретных сейсмогеологических условиях необходимо применять наиболее эффективные методики и технологии, базовые математические модели которых адекватны реальному геологическому строению среды и характеристикам сейсмического волнового поля.
2. Применение технологии «Мультифокусинг», дополнительно к стандартной методике обработки сейсмоданных по методике ОГТ, расширяет круг решаемых геологических задач в разных сейсмогеологических условиях за счет существенного повышения качества и информативности сейсмического изображения среды на результативных разрезах и кубах, а также на сейсмической записи улучшенных сейсмограммах МФ, при сохранении относительных амплитуд.
3. Значительное улучшение выделения энергетически слабых второстепенных отражений на результатах МФ, характеризующих внутреннее строение продуктивных терригенных и карбонатных толщ, является основой для выявления неантиклинальных и глубоко залегающих ловушек УВ.
4. На результатах МФ количественные оценки соотношения Сигнал/Помеха увеличиваются в среднем до 2-3 раз и разрешенности записи до 10-15%. В результате повысятся информативность и достоверность смежных видов сейсмогеологических исследований, также будут уменьшены неопределенности параметров в геологических и гидродинамических моделях резервуаров и снижены риски разведочного и эксплуатационного бурения.

Список литературы:

1. Кузнецова О.В., Караулов А.В., Цимбалюк Ю.А. Новые геотехнологии – для старых нефтегазоносных провинций. Oil & Gas Journal, 1-2, 2013.
2. Исенов С.М. Геотехнологии Мультифокусинг и Дифракционный Мультифокусинг – новый уровень решения геологических задач. / Материалы совещания ООО «Газпром геологоразведка»: Развитие минерально-сырьевой базы газонефтедобычи в Восточной Сибири. Красноярск, 2013, стр. 114-121.
3. Исказиев К.О., Адилбеков К.А., Исенов С.М. Повышение качества сейсмического изображения при изучении глубоких палеозойских отложений. / Нефть и газ. Алматы. №1, 2018, стр. 52-64.
4. Karabelnikov A., Kulikova A., Nevidimova A. et al., Application of Multifocusing technology for reprocessing seismic materials for the Russkoye field in Western Siberia. First Break, vol. 26, April 2008, pp. 69-75.
5. Исенов С.М. Проблемные вопросы и пути повышения эффективности сейсморазведки. / Нефть и газ. Алматы. №1, 2021, стр. 52-68 и №2, 2021, стр. 47-75.

А.Е. Воробьев¹, К.А. Воробьев², К.К. Кушеков³¹ГГНТУ РФ, ²РУДН, ИПКОН РАН, ³КарГТУ

ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Аннотация: Представлены основы создания интеллектуальных угольных шахт. Рассмотрены предпосылки происходящей интеллектуализации угольных шахт. Детализированы следующие аспекты интеллектуализации угольных шахт: полностью механизированной подземной добычи угля, технологии интеллектуального позиционирования и навигации горно-шахтного оборудования, интеллектуальной системы общешахтной и забойной вентиляции, использование искусственного интеллекта для предотвращения самовозгорания угля, интеллектуализацию мониторинга и предотвращения внезапных выбросов угля и газа, а также переход на безлюдную выемку угля на основе подземной робототехники.

Ключевые слова: угольные шахты, интеллектуализация, основные, базовые аспекты.

Основная часть. Развитие в начале XXI в. прорывных технологий (таких, как информационные технологии, искусственный интеллект и большие данные) открыло принципиально новые возможности для широкого развития интеллектуального производства на угольных шахтах [3-5].

Так, были предложены 8 платформ управления интеллектуальными системами, предназначенных для строительства интеллектуальных угольных шахт [7], работающих на основе реализации безопасной и эффективной добычи угля посредством объединения данных из нескольких источников, совместного управления группой оборудования и технологий интеллектуального принятия наиболее оптимальных решений, а также определены 3 основные теории и ключевые технологические направления интеллектуальной добычи угля (включающих в себя 3D-геологическое моделирование, интеграцию облачных сетей и интеллектуальное принятие эффективных решений на основе больших данных). Для этого необходимо обеспечить равномерное размещение сенсорных узлов в угольной шахте и динамически корректировать объем пересылаемых данных и маршрут пересылки узлов, чтобы сбалансировать энергопотребление узлов и максимизировать жизненный цикл подобной сети [9].

Создания интеллектуальных угольных шахт предполагает решение следующих аспектов:

1. Интеллектуализацию полностью механизированной подземной добычи угля, позволяющей осуществлять комплексный мониторинг рабочего забоя и ленточного конвейера, а также предоставлять изображения в режиме реального времени для диспетчерского центра, обеспечивать подробной информацией для дистанционного мониторинга и помогать диспетчерскому центру более точно и эффективно управлять горно-шахтным оборудованием, механизмами и машинами.

С точки зрения дистанционного управления добычей угля в подземных условиях интеллектуальное полностью механизированное забойное оборудование собирает и анализирует необходимые данные в режиме реального времени с помощью датчиков и систем видеомониторинга в реальном времени, чтобы реализовать обмен сведениями между технологическими процессами и диспетчерской, а также дистанционное управление интеллектуальным забоем.

При создании интеллектуальных полностью механизированных горнодобывающих забоев необходимо решить следующие вопросы:

- проблему горного давления и внезапных выбросов угля и газа;

- проблему распознавания пустой породы: точное определение пустой породы имеет решающее значение для регулировки высоты комбайнов при изменении кровли забоя, что снижает износ оборудования и увеличивает его производительность.

В этой связи, интеллектуализация добычи угля выходит за рамки отдельных научных направлений и требует комплексной интеллектуальной связи между разработкой угольных пластов, геомеханикой и геологией, с одной стороны, и математикой, кибернетикой и интеллектуальными технологиями, с другой.

В результате появляется возможность создания целостной системы мониторинга ситуации в реальном времени, аналитического прогнозирования, автономного анализа и многогранной координации технологий, осуществляемых в угольных шахтах, интегрируя интеллектуальные данные в такие процессы, как разработка угольных пластов, операции в забое, транспортировка угля, его промывка, складирование и утилизация пустой породы и эффективное управление безопасностью шахтного производства в целом.

2. Разработку технологии интеллектуального позиционирования и навигации горно-шахтного оборудования. Для обеспечения работы горнодобывающего оборудования по заданным траекториям необходимо регистрировать и передавать информацию о местоположении и параметров горно-шахтного оборудования, механизмов и машин в режиме реального времени.

При этом необходимо отметить, что ограничения (связанные с подземными условиями шахты) не позволяют использовать традиционные спутниковые навигационные технологии. Основной технологией на угольных шахтах пока еще является навигационная система на основе ГИС (геоинформационной системы), причём наиболее распространёнными являются инерциальные навигационные системы.

Для реализации интеллектуального мониторинга применяют умные датчики, которые служат базовой основой для получения точной и полной информации, критически важной для обеспечения внутришахтных интеллектуальных операций, в том числе – позиционирования нахождения горно-шахтного оборудования.

3. Создание интеллектуальной системы общешахтной и забойной вентиляции. Обеспечение хорошей вентиляции, предотвращение распространения газа и угольной пыли и тушение возникающих пожаров является ключевым фактором в эффективном управлении и контроле угольных шахт в предотвращении крупных аварий, т.е. в обеспечении технологий полностью безопасной подземной добычи угля.

Для этого необходимо объединение нового поколения информационных технологий, представленных 5G, большими данными, мобильным Интернетом и Интернетом вещей (IoT), периферийными вычислениями, облачными вычислениями, искусственным интеллектом, цифровыми двойниками, с технологиями подземной выемки угля и горношахтным оборудованием, механизмами и машинами.

Так, интеллектуальная система вентиляции угольных шахт предполагает объединение технологий Интернета вещей (таких, как машинное обучение, большие данные, технологии сбора и обработки информации) и современных технологий управления сложными техническими системами (обладающими множеством влияющих, во-многом, стохастических факторов).

Анализируя структуру сети вентиляции шахт, была получена линейная функциональная зависимость между ключевыми параметрами сети вентиляции [9], определяемым количеством вентиляционных ветвей, узлов, независимых контуров, независимых путей и диагональных ветвей, необходимая для последующего получения основных параметров шахтной сети вентиляции.

В качестве исследовательского алгоритма выбирают среду интеллектуальной системы шахтной вентиляции, объекты интеллектуальной системы вентиляции, рациональность сетевой структуры интеллектуальной системы вентиляции и эффективность мониторинга интеллектуальной системы вентиляции.

Система машинного обучения создания шахтной вентиляционной сети состоит из четырех слоев, каждый из которых может работать независимо параллельно (Рисунок 1).

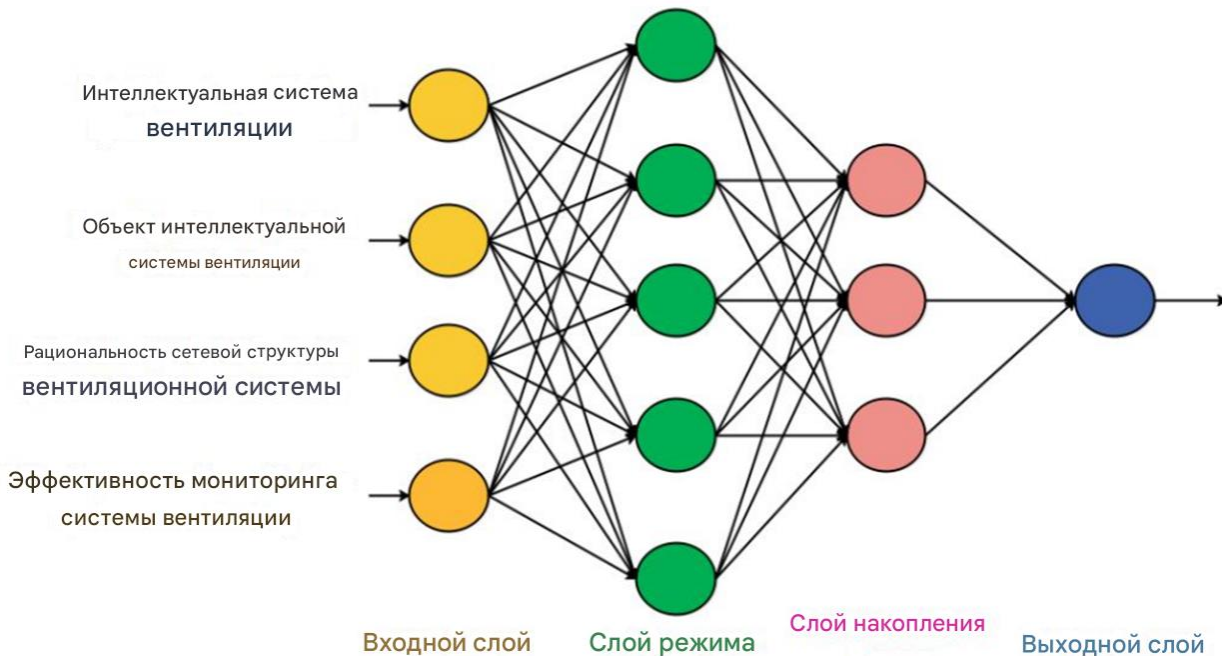


Рисунок 1 - Базовая структура нейронной сети машинного расчета шахтной вентиляции

4. Использование искусственного интеллекта для предотвращения самовозгорания угля, когда основными параметрами, влияющими на минимизацию последствий подземного пожара, являются именно временные характеристики. При этом, искусственный интеллект будет учитывать, что при форсированном нагреве различные угли имеют различную динамику развития дымовыделения и самовозгорания [6], а также что динамика образования трассерных газов для разных углей существенно различается.

5. Многие угольные шахты – газовые. В результате в них возможны различные катастрофы и аварии. В этой связи, решение проблемы мониторинга и ограничения внезапных выбросов угля и газа, несмотря на осуществляемые многолетние усилия исследователей и работников угольных шахт, по-прежнему остается весьма актуальной. Это обусловлено тем, что с внезапными выбросами угля и газа столкнулось около 23 стран (включая Россию, Австралию, Англию, Германию, Индию, Казахстан, Китай, Мексику, Польшу, США, Францию, Южную Африку и Японию). Так, более 40000 выбросов были зарегистрированы по всему миру с момента первого задокументированного выброса (который был зафиксирован в 1834 г. во Франции на шахте «Исаак» в угольном бассейне Луара, а в России первый внезапный выброс угля и газа был отмечен в 1906 г. на шахте «Новая Смолянка», Донбасс). Самый большой выброс в мире произошел на угольной шахте им. Гагарина (СССР) 13 июля 1969 г., с выбросом 14000 тонн угля и 2500000 м³ метана.

Внезапные выбросы угля и газа из угольных пластов опасных по газу в подземных шахтных условиях, вызванные процессами перераспределения концентрации напряжений, разрушения прочности угля, внезапной его дестабилизации и быстрого перемещения (под воздействием находящегося в угольном пласте газа), представляют собой крупную и довольно сложную для изучения, предотвращения и ликвидации последствий, природно-техногенную катастрофу.

Так, необходимо отметить, что даже после примерно 190 лет изучения механизмы внезапных выбросов угля и газа остаются до конца неясными до сих пор. В результате, применяемые методы прогноза выбросоопасности и борьбы с внезапными выбросами угля и газа не обладают должной надежностью. Все это предопределяет необходимость осуществления дальнейших исследований в данной области.

На возникновение внезапных выбросов, в первую очередь, оказывает влияние концентрация газа в угольном пласте и величина горного давления (в совокупности обеспечивающие появления значительных напряжений), а также физико-механические характеристики угля, параметры угольного пласта и скорость подвигания забоя.

Глубина добычи угля, из-за постепенной выработки относительно неглубоко залегающих угольных пластов, ежегодно увеличивается со средней скоростью 10-25 м/год. Согласно имеющейся статистике, в настоящее время глубокие (ниже 1000 м) угольные ресурсы составляют приблизительно 53 % от общешахтных угольных ресурсов. В результате только в КНР 47 шахт уже функционируют глубже 1000 м, некоторые из них имеют максимальную глубину добычи 1500 м, и еще более 30 новых шахт, глубиной 1000 м, будут построены в течение следующих 5-7 лет [10].

Кроме того, горно-геологические условия глубоких угольных пластов, как правило, чрезвычайно сложны (прежде всего, за счет значительного давления вмещающих горных пород), что угрожает авариями технологиям безопасной добычи угля и физической безопасности непосредственно шахтеров. Поэтому точное прогнозирование и предупреждение внезапных выбросов угля и газа в глубоких угольных шахтах имеет весьма большое и важное значение [1,2].

В результате, в настоящее время многие ученые по всему миру осуществляют многочисленные исследования по вопросу прогнозирования риска возникновения внезапных выбросов угля и газа и их своевременного предотвращения.

При этом, одновременно с расширением применения компьютерных технологий, предназначенных для оценки и прогнозирования различных катастроф, в угольной промышленности начали применять различные интеллектуальные алгоритмы и машинное обучение. Так, наиболее часто используемыми интеллектуальными алгоритмами при оценке возможности возникновения внезапных выбросов угля и газа являются искусственные нейронные сети (ИНС), опорные векторные модели (SVM) и экстремальные обучающиеся машины (ELM) [10].

Кроме того, необходимо отметить, что по мере развития Интернета вещей, а также больших данных и технологий облачных вычислений, всё большее количество подключенных устройств предоставляют (для последующего анализа и эффективного использования) огромный объем разнообразных данных, что является главной основой для дальнейшего повышения эффективности моделей глубокого обучения интеллектуальных систем, что привело к использованию машинного обучения (ML) в качестве нелинейного метода прогнозирования, основанного на самообучающихся алгоритмах [4].

Однако, независимо от прогресса, направленного от одной модели машинного обучения к более поздним, улучшенным (с помощью различных алгоритмов и методов оптимизации), от моделей глубокого обучения, с еще более сложными моделями и амбициозными фреймворками, до более легковесных версий, всегда существует целесообразность анализа и сравнения их преимуществ и недостатков.

Необходимо отметить, что анализируемые данные являются наиболее важным фактором при исследовании качества работы различных моделей, характеризующих или оценивающих весьма сложные процессы (к которым относятся внезапные выбросы угля и газа). При этом, способна ли модель, использующая машинное обучение, осуществлять достоверные и точные прогнозы или нет, определяет, как количество и качество применяемых данных, так и её основные

характеристики. Однако, их исследование всё еще ограничивается только анализом данных, которые они используют, и пока еще не подлежит глубокому математическому обобщению.

Более того, было осуществлено тестирование машинного обучения интеллектуальных систем только лишь с небольшим количеством фиксированных данных [8]. Хотя при этом были получены довольно хорошие результаты, однако из-за ограниченного количества обучающих данных они не смогли дать соответствующий ответ для каждого тестового задания.

В результате стало ясным, что объем анализируемых данных и тип используемой модели имеют решающее значение для определения применимости того или иного подхода к интеллектуальному прогнозированию и оценки всех его возможностей.

6. Переход на безлюдную выемку угля на основе подземной робототехники. После внедрения этапов механизации, автоматизации (Рисунок 2) и цифровизации угольная промышленность вступит в новый этап роботизации. В настоящее время в мировой угледобывающей отрасли уже разработано множество горных роботов, предназначенных для добычи угля, крепления щитов, анкерной защиты, спасательных операций и других функций обеспечения безопасности производства.



Рисунок 2 - Развитие технологий на угольных шахтах

В заключении целесообразно отметить, что подземные роботы, предназначенные для угольных шахт, обладают многовариантными, многосценарными, многорежимными и многофункциональными характеристиками.

Список литературы:

1. Воробьев А.Е. и др. Основные закономерности изменения свойств углей // Материалы международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр». Москва (Россия) – Котону (Бенин). М., РУДН. 2010. С. 304-306.
2. Воробьев А.Е. Комплексное использование углеметановых месторождений // В сб.: Современные проблемы шахтного метана. – М: МГГУ, 1999. – С. 257-262.
3. Воробьев А.Е., Аламгир Мд Джалил. Совершенствование технологии разработки мощных пологих пластов угля с учетом охраны окружающей среды в месторождении Барапукурия (Бангладеш). – М., Мэйлер. 2009. – 192 с.
4. Воробьев А.Е., Воробьев К.А., Кушеков К.К. Введение в искусственный интеллект. Москва. Вологда. Инфра-Инженерия. 2026. – 132 с.
5. Воробьев А.Е., Корчевский А.Н., Воробьев К.А. Основные элементы и составляющие искусственного интеллекта // Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПИИВС–2024): V Междунар. науч.-практ. конф., сб. материалов и докладов, Т. 1, г. Донецк, 27–28 нояб. 2024 г. / Ред. кол.: Зори С.А. (пред.); Мальчева Р.В.; отв. ред. С.С. Бердюкова. – Донецк, ФГБОУ ВО «ДонНТУ», 2024. С. 323-327.
6. Тимофеева С., Смирнов Г., Бобоев А. Использование искусственного интеллекта для предотвращения самовозгорания угля // GEOTEX-2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341704006>.
7. Ju Huang. Synergizing AI and Industrial IoT for intelligent ecosystem evolution in underground coal mining systems // International Journal of Energy. Vol. 6, N 2. 2025. Pp. 48-51.
8. Xijian Li. Transfer learning for gas emission prediction: a comparative analysis of six machine learning methods and TabNet // DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3211817/v1>. 2023.
9. Xuezhan Xu, Kequan Wang, Qinghua Zhang and Yahu Yao. A comprehensive evaluation of intelligent coal mine ventilation systems in the internet of things // Human-centric Computing and Information Sciences. 2023. DOI: <https://doi.org/10.22967/HGIS.2023.13.046>.
10. Yang L., Fang X., Wang X., Li S., Zhu J. Risk prediction of coal and gas outburst in deep coal mines based on the SAPSO-ELM // Algorithm. Int. J. Environ. Res. Public Health. 19. 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912382>.

Д.Ж. Икимов, Я.К. Аршамов

Научный руководитель – Аршамов Я.К., кандидат геолого-минералогических наук, профессор

Satbayev University, Казахстан, г. Алматы

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РУДОНОСНОСТИ УЧАСТКА КАРАКУДУК (АЙТИКЕБИЙСКИЙ РАЙОН, АКТЮБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Аннотация. В докладе приводится геологическая информация о состоянии геолого-геофизической изученности участка Каракудук. Представлены результаты электроразведочных работ методом вызванной поляризации (поле-диполь, IP/ ρ) на участке Каракудук, выполненных в осенне-зимний сезон 2022–2023 гг. (24,5 пог. км). По данным 2D/3D инверсии построены разрезы удельного электрического сопротивления и поляризуемости, рассчитаны индикаторные коэффициенты Metal Factor (MF) и Gold Index (GI). Выделены две приоритетные зоны повышенной поляризуемости в пределах пониженных сопротивлений (юго-восточная и северо-западная), пространственно согласованные с зонами гидротермально изменённых вулканитов и разломами Каракудукской синклинали. Сформирован перечень проверочных скважин GF-1...GF-8 (до 150 м) для тестирования IP-аномалий Cu-Pb-Zn и Au-Cu. Показано, что сочетание высоких значений IP с низким ρ (высокий MF) является первоочередной целью опробования, тогда как аномалии GI требуют осторожной интерпретации ввиду возможной переоценки зон высокого ρ при умеренной IP.

Ключевые слова: Каракудук, вызванная поляризация, удельное электросопротивление, Metal Factor, Gold Index, полиметаллическая минерализация, поисковое бурение.

Участок Каракудук относится к числу перспективных колчеданно-полиметаллических объектов Западного Казахстана, локализованных в пределах южной части Тургайского прогиба и связанных с зоной вулканогенно-осадочных толщ верхнего девона – нижнего карбона. Геологическое строение района характеризуется сочетанием терригенных и вулканогенных пород, пронизанных даек основного и среднего состава, а также системой разломов субмеридионального и северо-восточного направлений, контролирующих развитие гидротермально-метасоматических изменений и сульфидной минерализации.

Минерализация участка представлена преимущественно рассеянной и прожилково-вкрапленной формой сульфидов медно-цинково-свинцового комплекса, сопровождаемых зонами окварцевания, карбонатизации, серицитизации и пропилитизации. В ряде структурных положений отмечается вероятность формирования золотоносной компоненты в пределах кварцево-карбонатных зон, что повышает металлогеническую значимость участка.

При существующем уровне изученности ключевой задачей является уточнение формы, мощности и пространственного положения потенциально рудоносных тел в пределах структурных и литологических ловушек. Для решения этой задачи применяются методы электрической разведки, прежде всего вызванная поляризация (ВП) и удельное электрическое сопротивление (ρ), которые позволяют выделять зоны повышенной поляризуемости, часто ассоциируемые с сульфидной минерализацией. Полученные данные интерпретируются с использованием 2D/3D инверсии и индикаторных коэффициентов Metal Factor (MF) и Gold Index (GI), позволяющих дифференцировать участки возможного развития полиметаллической и золото-кварцевой минерализации. Это создаёт основу для обоснования поисково-оценочного бурения и дальнейшего геолого-экономического анализа перспектив участка [1-4].

Краткая геолого-геофизическая характеристика.

Площадь (13,3 км²) расположена в западной части Тургайского плато, в пределах Каракудукской синклинали Иргизского синклинория, на стыке с Карашатауским антиклинорием. Рельеф – полого-волнистая равнина (250–265 м), обнажённость слабая (покрытие кайнозойскими отложениями >85%).

Стратиграфия: верхний девон - нижний карбон (углисто-кремнисто-терригенная толща), верхний визе - серпухов (вулканогенно-осадочные/вулканиты: андезит-базальт, туфы, лавобрекчии), локально – средний карбон (Рисунок 1). Широко развиты древние коры выветривания (площадные и линейные). Магматизм: ультрамафиты, габбро, гранитоиды; повсеместны дайки основного-среднего состава. Тектоника осложнена разломами субмеридионального и северо-восточного направлений (в т.ч. Соркольская зона), контролирующими гидротермальные изменения (пропилитизация, серицитизация, окварцевание, карбонатизация) и сульфидизацию [1-4].

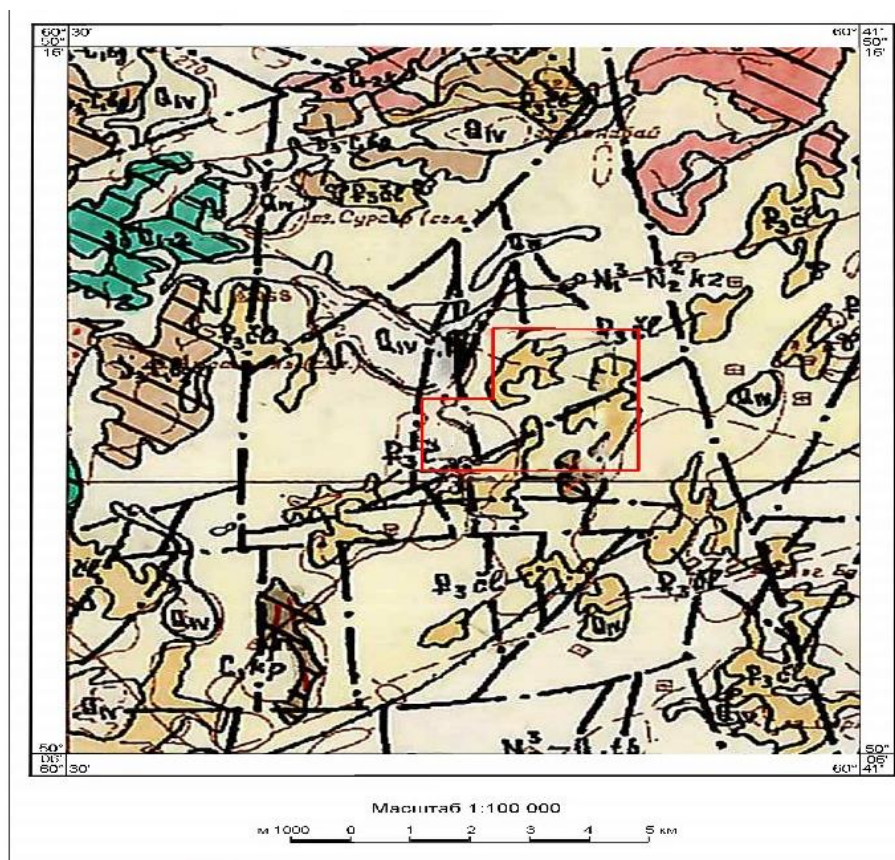


Рисунок 1 - Геологическая карта района участка Каракудук [1, 2]

Материалы и методы.

Методика – ВП во временной области (поле-диполь) с параллельным определением кажущегося сопротивления. Съёмка: базовый шаг «а» = 37,5 м; «п» = 1–30; межпрофильное расстояние ~200 м. Контроль качества выполнялся с удалением <1% аномальных точек. Инверсия: 2D (профильная) и обзорная 3D (сводная) с типовой невязкой порядка ~6% по ρ и ~0,5–7% по IP. Показатели:

- Metal Factor (MF) = $IP / \sqrt{\rho} \times 1000$ — подсветка проводимых и поляризуемых объектов (рассеянные/полумассивные сульфиды).

- Gold Index (GI) = $IP^2 \times \rho / 1000$ — выделение зон «умеренно-высокая IP + высокий ρ » (кварцево-карбонатные зоны и пр.); требуется осторожная интерпретация.

По полевым наблюдениям можно увидеть следующие результаты по участку работ. Профили демонстрируют хорошую повторяемость аномалий. На восточной окраине – протяжённая зона пониженного ρ и повышенной IP (>20 мВ/В), усиливающаяся к северу (профили 6–7). Южная часть площади характеризуется локальной яркой аномалией ~ПК 2645 (IP ~10 мВ/В). 2D/3D инверсия (сводно):

- Центральная часть разрезов – высокоомное основание ($\rho \sim 2000\text{--}7000$ Ом·м) с ЮЗ–СВ простиранием; запад и восток – низкоомные блоки ($\rho \sim 100\text{--}1500$ Ом·м) (Рисунок 2).

- По IP выделены две ключевые зоны: Зона 1 (ЮВ): ПК ~2600–2700, профили 2–4; IP до 9–10 мВ/В на глубинах ~50–100 м; сопряжена с кровлей высокоомного блока. Зона 2 (СЗ): профили 4–7, ПК ~1200–1500 и ~3500; IP до 20–30 мВ/В, местами приповерхностно.

- Горизонтальные срезы 3D-модели на 100 м подтверждают четыре локуса IP, из которых два интерпретируются как перспективные, один — как боковой эффект, один — вероятный артефакт инверсии на границе сети. Индикаторные коэффициенты:

- MF чётко выделяет две приоритетные зоны (совпадают с Зонами 1 и 2) в пределах пониженного ρ — первоочерёдные цели на Cu-Pb-Zn.

- GI формирует локальную аномалию на профиле 5 (~ПК 2600) в области высоких ρ — потенциальная цель на Au-Cu в кварцево-карбонатизированных зонах, но с оговоркой о возможной переоценке.

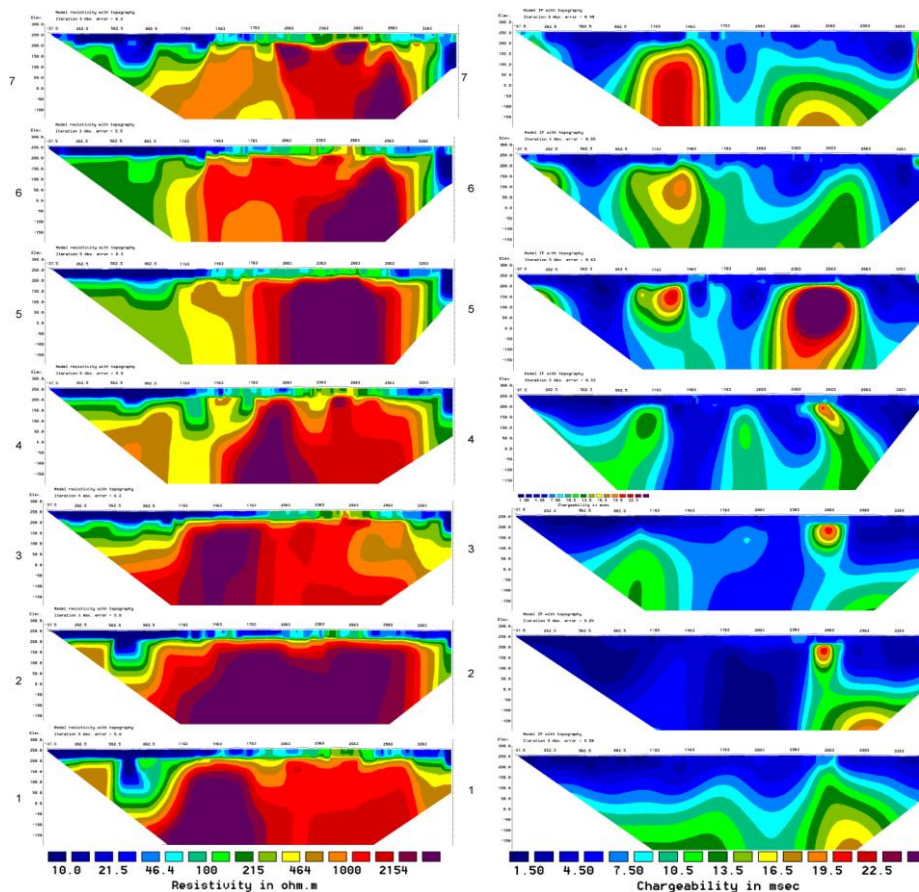


Рисунок 2 - Геоэлектрические разрезы по результатам 2D инверсии (удельное сопротивление слева, северный профиль вверху).

Буровые цели и опробование.

Рекомендуется проверочное бурение GF-1...GF-8 (угол 75°, глубина до 150 м) по сетке, ориентированной на максимумы IP и MF, с приоритетами:

- Приоритет 1: GF-1, GF-4, GF-6, GF-8 — пересечение максимумов IP/MF (и GI для GF-8).
- Приоритет 2: GF-2, GF-3, GF-5, GF-7 — фланговые тесты аномалий.

Минимальный комплекс работ по каждой скв.: ориентированное опробование (через 2–3 м и по рудным интервалам), ПГИ (каротаж сопротивления/СП), описание окolorудных изменений (серицит-хлорит-карбонат, окварцевание), контроль на As-Bi-Sb-Te-Se для уточнения металлогенической модели.

Обсуждение.

Сочетание высокой IP с низким ρ интерпретируется как зоны рассеянно-прожилковой сульфидной минерализации в гидротермально изменённых вулканитах, контролируемых разломами. Аномалии GI могут фиксировать более резистивные, но минерализованные зоны (кварцевые/карбонатизированные), потенциально золотосодержащие, однако требуют верификации из-за чувствительности к высокому ρ . Различия между 2D и 3D инверсиями на отдельных профилях объясняются геометрией сетки и краевыми эффектами; для уточнения геометрии тел целесообразно уплотнение сети и/или 3D-съёмка.

Выводы:

1. На участке Каракудук выделены две приоритетные IP-зоны (ЮВ и СЗ), совпадающие с пониженными ρ и зонами гидротермального изменения.
2. MF подтверждает их как первоочередные цели на Cu-Pb-Zn; локальная аномалия GI указывает на возможную Au-Cu составляющую.
3. Предложен перечень проверочных скважин GF-1...GF-8 до 150 м для экспресс-верификации аномалий.
4. Результаты обосновывают переход к поисково-оценочному бурению с последующим доизучением (уплотнение профилей, 3D съёмка на ключевых участках).

Список литературы:

1. Геологическое строение Казахстана/ Бекжанов Г.Р., Кошкин В.Я., Никитиченко И.И. и др. – Алматы: Академия минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2000. – 369 с.
2. Геология СССР. Т. XL: Южный Казахстан. Полезные ископаемые. Недра, 1977.
3. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. Металлогения. Авторы: Мирошниченко Л.А., Жуков Н.М., и др. Алматы, 2002.
4. Справочник месторождения меди. Второе издание. 2014 г. – 229 с.

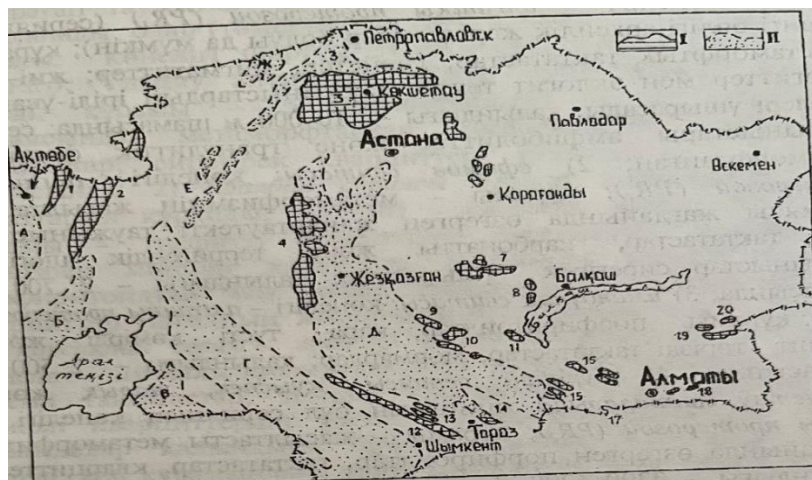
А.Е. Аманбаева
Жетекші: Смабаева Р.К.

Satbayev University, Алматы, Казахстан

АЙРАҚТЫ КЕН ОРНЫНЫҢ ГЕОЛОГИЯСЫ МЕН ТЕКТНИКАСЫ

Андатпа. Бұл мақалада Айрақты кен орнының геологиясы мен тектоникасы қарастырылады. Зерттеуде кен орнының геологиялық құрылымы, литологиялық құрамдары және стратиграфиялық ерекшеліктері сипатталады. Сондай-ақ, тектоникалық құрылымдар мен олардың кен орнының қалыптасуына әсері талданады. Жұмыста Айрақты кен орнының стратиграфиялық қимасы егжей-тегжейлі зерттеліп, оның негізгі литологиялық бірліктері анықталады. Сонымен қатар, аймақтың тектоникалық дамуы, жарылымдар жүйесі және тектоникалық қозғалыстардың кен түзілу процестеріне ықпалы талқыланады. Кен орнының геологиялық картасы мен қимасы негізінде оның құрылымдық ерекшеліктері сипатталады. Зерттеу барысында Айрақты кен орнының геологиялық даму тарихы мен кен түзілу процестері қарастырылып, оларды түсіндіру үшін геологиялық және геофизикалық деректер пайдаланылды. Алынған нәтижелер негізінде кен орнының болашақ зерттеу мен игеру перспективалары анықталды. Бұл жұмыс геология және пайдалы қазбалар кен орындарын игеру саласында маңызды болып табылады және болашақта Айрақты кен орнын тиімді пайдалануға қатысты ғылыми негіздеме ретінде қызмет ете алады.

Түйінді сөздер: геология, стратиграфия, құрылымдық формациялық белдемі, палеонтология, литология, тектоника.

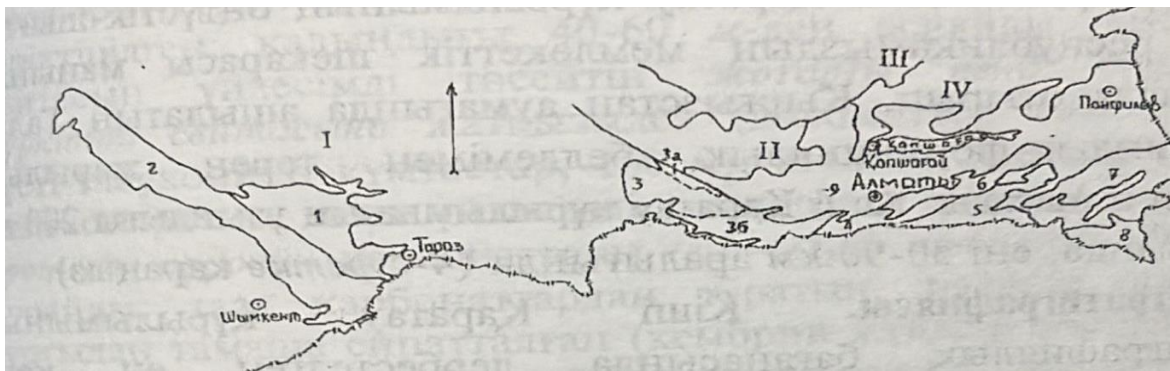


I - венд-кембрийге дейін тұрақтанған жер бетіне шығып жатқан жаралымдар: орталық массивтердің атаулары: 1 – Ор-Елек; 2 – Шығыс Мұғалжар; 3 – Көкшетау; 4 – Ұлытау - Қарсақпай; микроконтинент блоктарының атаулары: 5 – Ешкіөлмес; 6 – Ерментау - Нияз; 7 – Ақтау - Мойынды; 8 – Қызылеспе; 9 – Жуантөбе; 10 – Шу; 11 – Бұрынтау; 12 – Үлкен Қаратау; 13 – Кіші Қаратау; 14 – Макбел; 15 – Кіндіктас; 16 – Анрахай; 17 – Қастек Ақтүз; 18 – Іле сырты; 19 – Текелі; 20 – Орталық Жоңғар. II платформалық, квазиплатформалық немесе орогендік тыспен көмкерілген орталық массивтер; А - Шығыс Еуропа платформасының Каспий маңы синеклизасы; Б - Үстірт; В - Солтүстік Қызылқұм; Г - Сырдария; Д – Ұлытау - Мойынқұм; Е - Ергенкөл; Ж - Демьянов; З – Заградов.

Сурет 1 - Қазақстан аумағында палеозойға дейін (венд-кембрийге дейін) қалыптасқан орналасу сұлбасы (А.А.Абдулин бойынша)

Көкшетау Орталық массиві Қазақстан аумағындағы ең ірі орталық массив болып табылады, теңөлшемді пішінмен сипатталатын оның ауқымы жүздеген км мен өлшенеді. Атлас мегантиклинорийдің орталық өңірін қамтитын бұл массив қимасында екі серия, үш свита дараланады, олар: 1) зеренді сериясы: көнегілі – алғашқы протерозой (PR1); құрамы метаморфтық тақтатастар, гнейстар, магматиттер, жиі жиі эклогиттер мен эклогит тектес таужыныстардың ірілігі-ұсақты денелері ұшырасады; қалыңдығы 10000 м шамасында; серия таужыныстары амфиболиттік және гранулиттік фацияда метаморфтанған; 2) ефримов свитасы: көнелігі – алғашқы протерозой (PR1); құрамы метаморфизмнің жасылтасты фациясы жағдайында өзгерген жанартаутекті таужыныс мен тақтатастар, карбонатты және терригендік шөгінді таужыныстар сирегірек ұшырасады; қалыңдығы 2700 м шамасында; 3) иманбұлақ свитасы: көнелігі – алғашқы протерозой (PR1); құрамы порфиритоидтар, қара түсті көмірлі және филлит тәрізді тақтатастар, мәрмәрлар; қалыңдығы - 2500 м шамасында; 4) бурабай сериясы; қуыспек, шарық және көкшетау свиталарына жіктелетін бұл серияның көнелігі - соңғы протерозой (PR2); құрамы – жасылтасты метаморфизм жағдайында өзгерген порфириоидтар, тақтатастар, кварциттер; қалыңдығы 2300 – 4200 м аралығында өзгерді; 5) николюк бурыл свитасы: көнелігі соңғы протерозой (PR2); құрамы – порфириттер, спилиттер, кремнийлі тақтатастар, порфирлер; қалыңдығы 1300 м шамасында.

Көкшетау орталық массивіне тән кембрийге дейін тұрақтанған жаралымдар каледондық гранитті интрузияларды молынан кіріктіреді. Сөз болып отырған жаралымдар қимасын өте күрделі түрде қатпарланған, аракідік күмбез тұрқылас құрылымдар да көрініс береді.



Сурет 2 - Каледондық Көкшетау – Солтүстік Тянь – Шань қатпарлы жүйесіне тиесілі тектоникалық құрылымдардың Оңтүстік Қазақстан аймағында орналасу сұлбасы

1 – Кіші Қаратау құрылымдық формациялық белдемі; 2 – Үлкен Қаратау құрылымдық формациялық белдемі; 3 – Кіндіктас құрылымдық формациялық белдемі: 3а – Шоқпар белдемшесі; 3б – Батыс Кіндіктас белдемшесі; 3в – Шығыс Кіндіктас белдемшесі; 4 – Іле Алатау құрылымдық формациялық белдемі; 5 – Шелек-Кемин құрылымдық формациялық белдемі; 6 – Бөгеті құрылымдық формациялық белдемі; 7 – Кетпен құрылымдық формациялық белдемі; 8 – Теріскей құрылымдық формациялық белдемі; 9 – Іле ішкі ойысы. I – Шу-Сарысу ойысымы; II – каледондық Көкшетау – Солтүстік Тянь-Шань қатпарлы жүйесінің Орталық Қазақстан аймағындағы тектоникалық құрылымдары; III – герциндік Жоңғар Балқаш қатпарлы жүйесіне қарасты Оңтүстік - Балқаш ішкі ойысы; IV – герцигендік Жоңғар - Балқаш қатпарлы жүйесіне қарасты Іле құрылымдық формациялық белдемі.

Кіші Қаратау құрылымдық-формациялық белдемін шартты түрде екі бөлікке бөлуге болады, оның солтүстік шығыс бөлігі Қарой белдемшесі, ал оңтүстік-батыс бөлігі Көкжота белдемшесі деп аталады. Кіші Қаратау құрылымы шығысында және солтүстігінде Шу-Сарысу ойысымының мезозой-кайнозой түзілімдері қимасының көмкеру сызығымен шектелсе, оңтүстік-батысында Үлкен Қаратау құрылымдық-формациялық белдемімен Басты Қаратау терең жарылымы арқылы жапсарласады. Карта бетінде солтүстік-батыс (оңтүстік-шығыс) бағытта созыла сағаланатын жолақ түрінде көрініс беретін Кіші Қаратау құрылымының оңтүстік-шығыс

жиегі республикамыздың мемлекеттік шекарасы маңында тамамдала отырып, Қырғызстан аумағында ашылатын Талас құрылымдық-формациялық белдемімен терең жарылым арқылы жанасады. Кіші Қаратау құрылымының ұзындығы 200 км шамасында, ені 30-90 км аралығында.

Стратиграфиясы. Кіші Қаратау құрылымының стратиграфиялық бағанасында дербестелген ең көне жаралымдар қатарына Көкжота белдемшесі аумағында хатталған аттас серия (көкжота сериясы) жатқызылады. Азын-аулақ метаморфтанған терригендік таужыныстардан (құмтастардан, алевролиттерден, конгломераттардан, филлиттерден) тұратын бұл жаралымдар шартты түрде жоғарғы протерозойдың, ортаңғы-жоғарғы рифейлік түзілімдері деп есептелінеді; қалыңдығы 4500 м-ге дейін. Қарой белдемшесі аумағында көкжота сериясының жоғарғы бөлігіне сәйкес келетін (жоғарғы рифейдің жоғарғы бөлігі) түзілімдер жиынтығы үлкенқарой және жаңатас серияларына топтастырылған; жалпы қалыңдығы 5700 м-ге дейін жететі: бұл жаралымдар қимасы терригендік таужыныстармен қатар карбонаттарды да мол кіріктіреді.

Венд - төменгі палеозойлық түзілімдердің біршама қалын және мейілінше өкілетті қимасы Қарой белдемшесі аумағында карталанған. Венд жаралымдарынан басталып, ортаңғы ордовиктің лландейло жікқабатымен тамамдалатын бұл стратиграфиялық бағана палеонтологиялық қалдықтарды молынан кіріктіретін карбонаттармен (эктастар мен доломиттер) сипатталады; бағананың төменгі бөлігінде ғана (төменгі венд) карбонаттармен қатар терригендік түзілімдерді және азын-аулақ дәрежеде липариттер (риолиттер) мен олардың туфтарын кіріктіретін қалыңдығы 1200 м-лік қабат оқшауланады, бұл шабат кішіқарой сериясына топтастырылған. Сөз болып отырған қимасының тағы бір ерекшелігі төменгі кембрийдің алдан жікқабаты деңгейінде фосфорит кендерінің шоғырлануы; кремнийлі таужыныстармен ырғақтала қат-қабатталған фосфориттерден тұратын бұл түзілімдер шолақтау свитасына біріктірілген; қалыңдығы 40-60 м-ден аспайды. Шолақтау свитасын үйлесімді төсейтін жоғарғы венд түзілімдері бүркітті свитасына жатқызылса (доломиттер мен қызғылт түсті глауконитті құмтастар, 150 м), аталған свитаны үзіліссіз жалғастыратын, яғни үйлесімді көмкеретін төменгі кембрий -ортаңғы ордовик карбонаттары шабақты свитасын құрайды; таза карбонаттардан тұратын, палеонтологиялық тұрғыдан тамаша сипатталған (кембрий жүйесін бөлімдер мен жікқабаттарға жіктеудің кейбір халықаралық мәселелері нақ осы свита түзілімдерін саралау нәтижесінде Қазақстанның ғалым-палеонтологы Ғ.Х. Ерғалиев тарапынан жүзеге асырылған) шабақты свитасының қалыңдығы 3400 метр. Кіші Қаратау құрылымында жоғартюғы ордовик - ортаңғы девон аралығына сәйкесетін түзілімдер ұшыраспайды. Бірақ Көкжота белдемшесінде түзілімдерінің қалын қабаты (3000 м-ге дейін). Қызғылт түсті терригендік шөгінділер мен эктастардан тұратын бұл түзілімдер қимасы түлкібас свитасына топтастырылған. Кішкжота белдемшесінің стратиграфиялық қимасы осы түзілімдермен тамамдалады.

Үлкен Қаратау Қазақстанның оңтүстік құрылымдық-формациялық белдемі Қазақстанның оңтүстік өңірінде Қызылорда қаласы орналасқан ендіктен Шымкент және Тараз қалаларының аралығы арқылы республиканың оңтүстік шекарасына дейін оңтүстік-шығыс бағытта созылып жатыр. Құрылымның оңтүстік - оңтүстік-батыс шекарасын Сырдария ойысының мезозой-кайнозой түзілімдерімен көмкерілу сызығы жиектесе, солтүстік- солтүстік-шығыс жапсарында Шу-Сарысу ойысымы және Кіші Қаратаудың каледондық құрылымы (оңтүстік бөлігінде) орналасқан. Бұл шекара анық сағаланатын Басты Қаратау терең жарылымы арқылы өтеді. Құрылымның ұзындығы 450 км-ге жетеді, ені 50-60 км-ден аспайды.

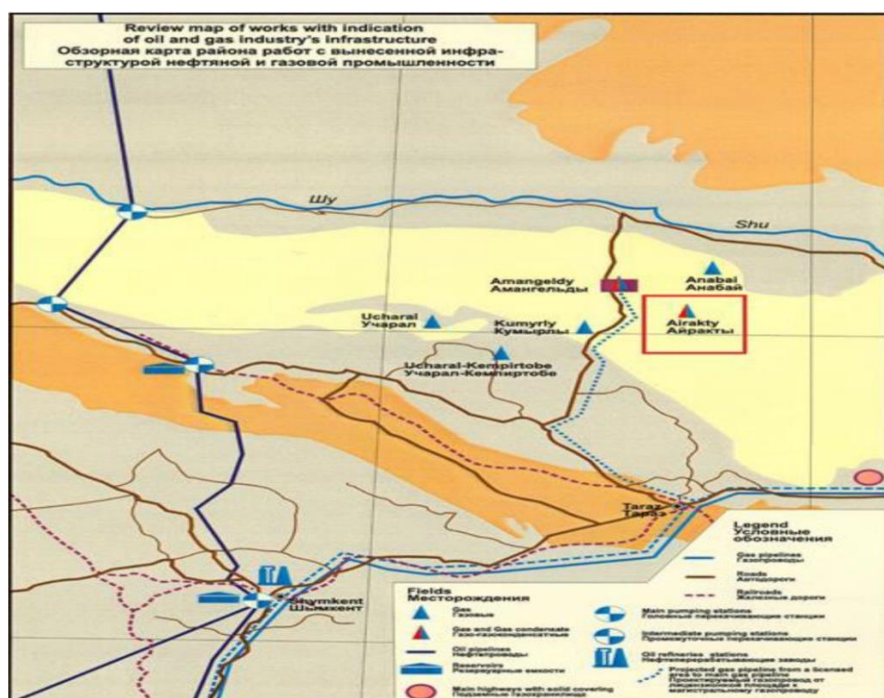
Стратиграфиясы. Үлкен Қаратау құрылымының оңтүстік- шығыс жиегінде эпидот-амфибол фациясында метаморфтанған гнейстерден, тақтатастардан, амфиболиттерден тұратын бессаз сериясы хатталғандығы, бұл жаралымдар шартты түрде төменгі протерозойға (PR1) жатқызылады. Бұл жаралымдар қалыңдығы 2500- 3000 м аралығында. Үлкен Қаратаудың кембрийге дейін тұрақтанған жаралымдары бессаз сериясымен ғана тамамдалмайды. Бұл көне жаралымдар жоғары протерозойдың (рифейдің) бір топ свиталарға топтастырылған

түзілімдерімен үйлесімсіз көмкеріледі. Төменнен жоғары қарай ұрсаты, бақырлы және қайнар свиталарына жіктелген бұл жаралымдар негізінен терригендік құраммен сипатталады, алайда қима құрамында карбонаттар мен эффузитардың қабатшалары біршама жиі ұшырасады; эффузиялар (липариттер, базальтар) мен олардың туфтары әсіресе рифейлік түзілімдер қимасының беткі бөлігінде (қайнар свитасы) біршама мол шоғырланған.

Үлкен Қаратаудың венд түзілімдері ұлытау сериясына топтастырылған. Бұл түзілімдер қимасының негізін терригендік таужыныстар құрайды, карбонаттар мен жанартаутекті таужыныстар қосалқы рөл атқарады.

Үлкен Қаратау құрылымдық-формациялық белдемінде кембрий-ордовик түзілімдерінің қимасы толықтай хатталған. Бұл қиманың Кіші Қаратаудағы деңгейлес түзілімдер қимасынан айтарлықтай ерекшелігі бар: 1) төменгі кембрий түзілімдері Кіші Қаратаудағыдай карбонаттардан емес, негізінен тақтатастардан тұрады; қорымсақ свитасына топтастырылған бұл тақтатастар қимасында фосфариттер емес, ванадий кендерінің мол қоры шоғырланған; 2) ортаңғы-жоғарғы кембрий деңгейі ғана карбонаттардан тұрады, алайда ордовик түзілімдерінің қимасы Үлкен Қаратауда толық және олар түйірлерінің мөлшері алуан түрлі терригендік таужыныстардан тұрады. Кембрий-ордовик түзілімдері қимасының жиынтық қалыңдығы 1600-7700 м аралығында. Девон-карбон түзілімдерінің қимасы живет жікқабатынан басталып, төменгі карбонмен тамамдалады. Қалыңдығы 4300-11000 м аралығындағы бұл қима негізінен карбонатты құраммен сипатталады, оның төменгі және жоғарғы бөліктері ғана қанық бояулы терригендік шөгінді таужыныстардан құралған.

Айрақты газконденсат кен орны 1972 жылы №1 барлау ұңғымасымен ашылды, онда тас көмір жүйесінің төменгі визей шөгінділерін сынау кезінде өндірістік газ ағыны алынды. Географиялық тұрғыдан алғанда, ол Мойынқұм құмдарының оңтүстік-батыс бөлігінде орналасқан. Бұл аудан Шу және Талас өзендерінің арасындағы алқапты алып жатыр, ал оңтүстік-батысында ол Үлкен Қаратаудың бір тармағы болып табылатын Кіші Қаратаудың тау алды жазығымен шектеседі. Ең жақын елді мекен – Талас өзенінің бойындағы **Үюк** ауылы, ол кен орнынан 70 км оңтүстікте орналасқан. Айрақты кен орны елді мекендермен тек жазда және қыстың аязды уақытында жүріп өтуге болатын топырақ жолдарымен байланысады. Облыс орталығы **Таразды** Ақкөл, Үюк және Ұланбел ауылдарымен асфальтталған тас жол байланыстырады. Кен орнынан оңтүстік-батысқа қарай 40 км жерде игерілген **Амангелді** кен орны орналасқан, ол зерттеу алаңымен топырақ жолы арқылы байланысқан. Кен орнының аумағынан аудандық маңызы бар жоғары кернеулі электр беру желісі (ЛЭП) өтеді. **Амангелді** арқылы облыс орталығы **Тараз қаласын** Ақкөл, Үюк және Ұланбел ауылдарымен байланыстыратын тас жол өтеді. Кен орны аумағындағы **су көздері** – құдықтар мен артезиан ұңғымалары. Олардың су деңгейі жер бетінен 10-20 м тереңдікте орналасқан. **Палеоген су қабаттары** 160-220 м тереңдікте жатыр, олардың минералдану деңгейі 3-5 г/л. Құрылыс материалдары (**қиыршық тас, құм**) Талас өзенінің арнасында (кен орнынан 75 км оңтүстік-батыста) молынан кездеседі. **Тасты құрылыс материалы** кен орнынан 120 км солтүстікте, Ұланбел ауылы маңында өндіріледі. **Амангелді** аумағынан оңтүстік-шығыстан (Жамбыл ГЭС-тен) солтүстік-батысқа қарай аудандық маңызы бар **жоғары кернеулі электр желісі** өтеді. Ауданның **климаты** күрт континенттік, жазы ыстық және құрғақ (температура +40°C-қа дейін), қысы суық және қар аз түседі (–40°C-қа дейін). Жылу беру маусымының ұзақтығы – 178 күн (15 қазаннан 15 сәуірге дейін). **Басым жел бағыты** – солтүстік-шығыс.



Сурет 3 - Жұмыс аумағының шолу картасы

Стратиграфический горизонт	Интервал, м		Горная порода		Стандартное описание горной породы: полное название, характерные признаки (структура, текстура, минеральный состав и т.д.)
	от (верх)	до (низ)	Краткое название	% в интервале	
1	2	3	4	5	6
Mz+Kz	0	296	Суглинки Глины Пески	5 65 30	Суглинки светло серые. Глины от желтого до коричневого, плотные. Пески светло серые, разнозернистые.
P _{2nc}	296	700	Алевролиты Ангидриты Песчаники	65 25 10	Алевролиты зеленовато серые, песчаные. Аргиллиты серовато-черного цвета с зернами скольжения с отпечатками обуглившейся флоры. Песчаники серые, мелкозернистые, слоистые
P _{1c}	700	1090	Соли Алевролиты Аргиллиты	30 50 20	Соли светло-серые, представлены галитом в виде прослоев в терригенных породах. Алевролиты коричневатобурые, плотные, крепкие. Аргиллиты коричневатобурые, плотные, крепкие.
P _{1nc}	1090	1265	Аргиллиты Песчаники Алевролиты	40 40 20	Аргиллиты коричневатобурые, плотные, крепкие. Песчаники коричневатобурые, плотные, крепкие средне-мелкозернистые плотные. Алевролиты шоколадно-коричневого цвета крепкие.
C _{2,3}	1265	1605	Песчаники Аргиллиты Алевролиты	55 15 30	Песчаники коричневатобурые, известковистые, среднезернистые, плотные, крепкие. Аргиллиты серовато-черного цвета, плотный с остатками обуглившейся флоры. Алевролиты шоколадно-коричневого цвета, плотные, крепкие, пльчатые.
C _{sr}	1605	1750	Аргиллиты Известняки Песчаники	35 35 30	Аргиллиты серовато-черного цвета с зернами скольжения с включением гнезд пирита. Известняки серые, темно-серые, плотные, массивные, окремненные. Ангидриты белые мелкокристаллические слабощелочные
C _{1V2,3}	1750	2070	Известняки Доломиты Песчаники Аргиллиты	35 20 15 30	Известняки органогенные, редко мелкокристаллические, массивные с частыми стилолитовыми швами. Доломиты серые, темно-серые, плотные, крепкие. Песчаники коричневатобурые, плотные, крепкие средне-мелкозернистые плотные. Аргиллиты коричневатобурые, плотные, крепкие
C _{1V1}	2070	2250	Песчаники Аргиллиты Алевролиты	35 30 35	Песчаники серые, светло-серые, средне-мелкозернистые, крепкие, плотные в разной степени карбонатизированные, горизонтально- и косослоистые, отмечаются редкие тонкие прослойки глинистого материала и угля. Аргиллиты черные, углистые. Алевролиты серые, темно-серые, глинистые, крепкие, плотные, слабо карбонатные, с прерывисто- волнистой и линзовидной слоистостью, с тонкими прослойками угля.

Қорытынды

Бұл зерттеу нәтижесінде Айрақты кен орнының геологиялық құрылымы мен тектоникалық ерекшеліктері жан-жақты қарастырылды. Аймақтың стратиграфиялық қимасы егжей-тегжейлі талданып, негізгі литологиялық бірліктер анықталды. Кен орнында шөгінді, магмалық және метаморфтық жыныстардың кең таралғаны белгілі болды. Тектоникалық тұрғыдан алғанда, кен орны күрделі құрылымды, оның қалыптасуына әртүрлі геодинамикалық процестер әсер еткен. Жарықтар жүйесі мен тектоникалық қозғалыстардың кен түзілу процестеріне ықпалы айқындалды. Аймақтың тектоникалық дамуы бірнеше фазадан тұрады, бұл кенорынның құрылымдық ерекшеліктерін қалыптастыруда маңызды рөл атқарған. Жалпы, Айрақты кен орнының геологиялық жағдайы оның минералдық ресурстарға бай екенін көрсетеді. Зерттеу нәтижелері бұл кен орнын одан әрі барлау мен игеру үшін ғылыми негіз бола алады. Болашақта кен орнын тиімді пайдалану мақсатында қосымша геологиялық және геофизикалық зерттеулер жүргізу қажет.

Әдебиеттер тізімі:

1. Абдулин А.А Геология Казахстана. – Алматы: Наука, 1981. 303 стр.
2. Сейітов Н., Жүнісов А.А. Қазақстан Геологиясы. – Алматы: Наука, 2002. 107-113 стр.
3. Сеитов Н.С. Тектоника плит и офиолитовые зоны Казахстана: (принципы умеренного мобилизма). - Алматы: Наука, 1988. 112 стр.
5. ТОО “ Проектный институт OPTIMUM” ГТП бурение эксплуатационных скважин месторождения Айрақты. – Астана: Наука, 2024. 16-22 стр.

З.А. Кунанбаева-Ерханова¹, Б.Ж. Ерханов²

Научный руководитель – Я.К. Аршамов, кандидат геолого-минералогических наук, профессор

¹Satbayev University, Казахстан, г. Алматы

²ТОО «ERG Exploration», г. Астана

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ КАРАБАС И ЕЕ ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Аннотация. В докладе приводятся краткая геолого-геофизическая информация в виде результатов интерпретации геолого-геофизических работ на площади медно-порфирового рудопроявления Карабас. Приведены результаты современных магниторазведочных и результаты интерпретации выполненных наземных электроразведочных работ в модификации вызванной поляризации в 2023 г на исследуемом объекте. Полученные данные могут быть использованы для принятия решений о перспективности объекта и планирования дальнейших геологоразведочных работ, для определения масштабов рудопроявления и интенсивности минерализации.

Ключевые слова: медно-порфировые месторождения, Карабасская площадь, геолого-геофизическая изученность, магниторазведка, электроразведка, вызванная поляризация.

Карабасская площадь расположена в Актогайском районе Карагандинской области (рис. 1), на площади листа L-43-30. Находится в 38 км к северо-западу от города Балхаш, в 27 км северо-западу от рудника Конырат. Ближайшими железнодорожными станциями являются: Кокдомбак, расположенная в 25 км на юго-запад и станция Балхаш, находящаяся в 45 км. Район работ считается промышленно-освоенным. К юго-востоку расположен карьер рудника Конырат, к северо-востоку расположено разрабатываемое месторождение Борлы, к югу имеется действующий горно-металлургический комбинат Корпораций «Казахмыс» в г. Балхаш [1, 3].

Геологическое строение района.

Исследуемый район расположен в Северном Прибалхашье, площадь которого входит в Жонгаро-Балхашскую складчатую систему. Согласно схемы тектонического районирования Г.Ф. Ляпичева (1968 г) район расположен в Токрауской структурно-формационной зоне, для которой характерно завершение складчатого этапа в герцинский геотектонический этап, а начало платформенной стадии совпадает с орогенным этапом этой складчатости и по времени приурочено к концу палеозоя. Значительная роль осадочных формаций и интенсивное проявление орогенного магматизма создают картину сложного геологического строения территории [1].

Протерозойский кристаллический фундамент предполагается только на западе Токрауской впадины. Под большей её частью основание сложено нижнепалеозойской яшмо-диабазовой формацией. Фундамент впадины перекрыт мощным покровом средне- и верхнепалеозойских пород.

Массивы вторичных кварцитов Карабас-Борлинской группы располагаются в пределах восточного окончания антиклинория в месте сочленения его с южным окончанием Токрауского синклинория. Сложное геологическое строение района определяется его положением между двумя названными крупными структурно-тектоническими зонами.

Широко представленные в районе эффузивы кисло-среднего состава девон-карбонового возраста прорываются верисскими (герцинскими) гранитоидами. В результате деятельности постмагматических растворов образованы обширные поля гидротермально измененных пород.

Проникновению растворов способствовали многочисленные разломы и зоны трещиноватости, характерные для участков сочленения крупных региональных структур. В описываемом районе расположены многочисленные медно-молибденовые месторождения, такие как Конырат, Борлы, Восточный Конырат и многочисленные медно-молибденовые и редкометалльные рудопроявления [1,3].

История геолого-геофизической изученности.

Рудопоявление Карабас было открыто М.П. Русаковым в 1928 году. В своей последующей рукописной работе он кратко осветил геологическое строение района, дал краткую характеристику массивов вторичных кварцитов и их перспективную промышленную оценку. Им впервые была составлена геологическая карта северо-восточной части Карабаса в масштабе 1:2000. Вторичные кварциты М.П. Русаковым делятся на рудоносные и нерудоносные. В 1930 году на площади видимого медного озеленения было пробурено 5 скважин. Промышленная халькозиновая зона по скважинам не установлена. Первичные вкрапленные руды большей частью бедные (содержания ниже 0,8 %). Лишь в редких случаях содержания меди повышается до 0,5 %.

Геологической съемкой в масштабе 1:100 000 урочищ Шезек, Саргуль, Карабас в 1933 году занималась Л.В. Хмелевская. Вторичные кварциты на Карабасе ею делятся на широко представленные в районе серицитовые вторичные кварциты и турмалиновые вторичные кварциты, развитые в северо-восточной части рудопоявления. Образованы они за счет эффузивных порфиров, смятых в антиклинальную складку и генетически связаны с интрузией гранодиорит-порфиров, слагающих её ядро. Изучением месторождения Карабас в 1937 году занималась вторично-кварцитовая партия АН СССР под руководством геолога К.И. Асташенко. В результате проведенной геологической съемки в масштабе 1:5000 было выделено около 30 контуров видимого медного озеленения с общей площадью 47800 кв. м. Все они приурочены к серицитовым вторичным кварцитам. Разведочные работы на Карабасе впервые проводились в 1938 году Балхашской конторой «Цветметразведка». Между Большим и Малым Карабасом под наносами установлены вторичные кварциты серицитового типа. Кроме рудной вкрапленности сульфидов меди и пирита, была отмечена ещё более редкая вкрапленность молибденита. Подсчет запасов, произведенный в 1938 году П.П. Кривошеевым, дал следующие результаты: убогих руд (содержания меди от 0,09 до 0,4 %) – 108 068 т; промышленных руд (0,5 % меди) – 29372 т. Содержание молибдена низкое, непромышленное. В результате разведки 1938 года рудопоявление Карабас было признано непромышленным [1 - 3].

Магнитометрические и электроразведочные работы, а также кольцевая спектрометаллометрическая съемка, произведенная Агадырской геофизической экспедицией в 1955 году, послужили основанием производства детальных геолого-геофизических работ. Ореолы повышенных концентраций совпадают и тяготеют к площадям распространения серицитовых вторичных кварцитов. В местах наибольших концентраций меди и молибдена было пробурено 2 скважины: одна на Большом Карабасе (глубиной 95,6 м), другая на Малом (глубиной 73,2 м). Содержания Cu и Mo весьма низкие, лишь одна проба содержала 0,35 % меди. В результате проведенных работ было установлено, что ореолы меди и молибдена образовались в результате миграции растворимых соединений меди и молибдена и их последующей концентрации в зоне гипергенеза.

В 1963-64 гг. электроразведочные работы методом ВП проводились на массиве геофизической партией МГУ. Установленная на Большом Карабасе аномалия ВП имеет субширотное направление. На Малом Карабасе она поворачивает на северо-запад. Оканчивается аномалия в изолинии 4 %, при нормальном фоне 2 %.

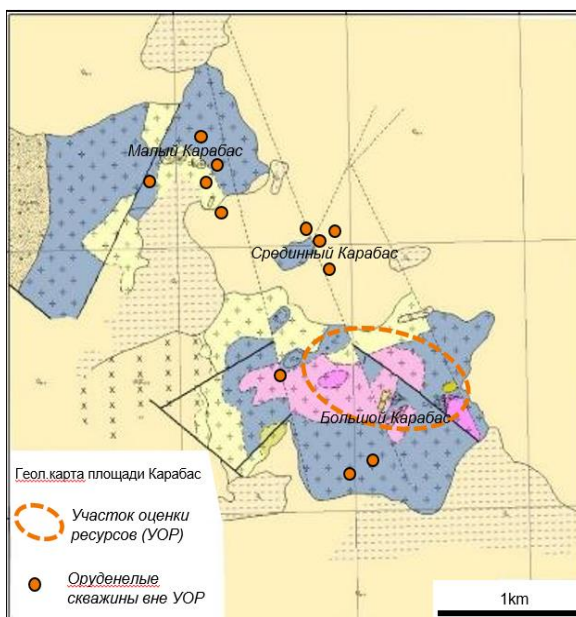


Рисунок 1 - Схематическая геологическая карта площади Карабас [4]

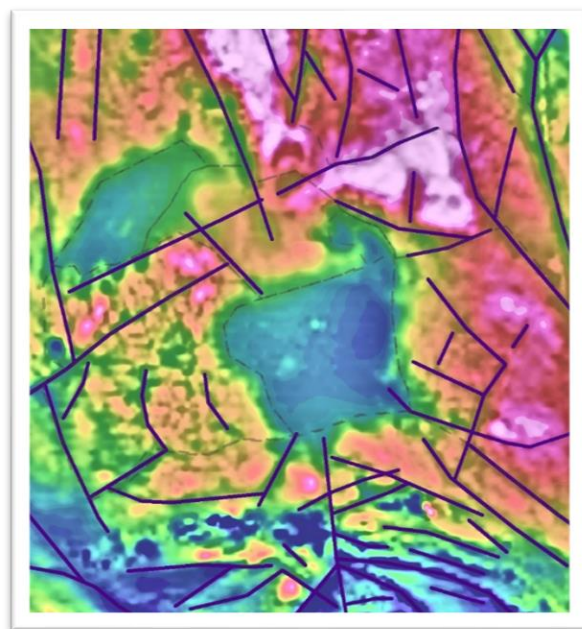


Рисунок 2 - Схема качественной интерпретации магнитного поля площади Карабас [4]

Далее ревизионные работы на массиве Карабас были выполнены Л.К. Алексеевой в 1966 году. В результате выполненных работы было подтверждено, что основной объем вторичных кварцитов развивается по массиву гранодиоритов. Помимо этого, автором было предложено, что величина эрозионного среза составляет более 1 км. Отсутствие промышленных руд в обнаженной части массива может быть, в частности, связано с рассеянием рудного вещества, которое произошло вследствие сильной тектонизации пород жерла, способствующей свободной проницаемости рудоносного гидротермального раствора. Алексеевой Л.К. для дополнительного изучения были рекомендованы периферические зоны массива.

В 2023 году силами компании TOO ERG Exploration проведены магниторазведка и электроразведка. Магниторазведка проведена с целью расчленения пород по магнитным свойствам, картирования тектонических нарушений и зон дробления, уточнения геологических разрезов и выявления зон оруденения. Совокупная качественная интерпретация трансформант магнитного поля позволила выявить сеть разнонаправленных тектонических нарушений, блоков и определить аномальные зоны, обладающих специфическими характеристиками (интенсивность МП, изменчивость и разнонаправленность изолиний МП, зоны градиента и резкой смены знака поля) [4].

Западная и центральная части участка представлена гранодиорит-порфирами, гранодиоритами и кварцевыми диоритами. Сплошные зоны с пониженными магнитными свойствами соответствуют площади Большого и Малого Карабаса представленными сильно гидротермально-измененными породами – вторичными кварцитами над пропилизитизированным массивом гранодиоритов. Средние значения магнитного поля на Большом Карабасе составляет - 150 нТл, на Малом Карабасе -50 нТл.

В результате интерпретации выполненных наземных электроразведочных работ был проведен анализ кажущихся параметров. На первом этапе анализа рассмотрены карты кажущегося сопротивления (ρ_k) и кажущейся поляризуемости (η_k). Эти параметры, являясь первичными независимыми данными, не зависят от субъективных интерпретаций исследователя.

На первом разное фиксируется низкий уровень кажущихся сопротивлений – более 85 % площади характеризуется значениями менее 100 Ом·м. Это обусловлено распространением гидротермально изменённых пород – серицит-каолинитовых кварцитов.

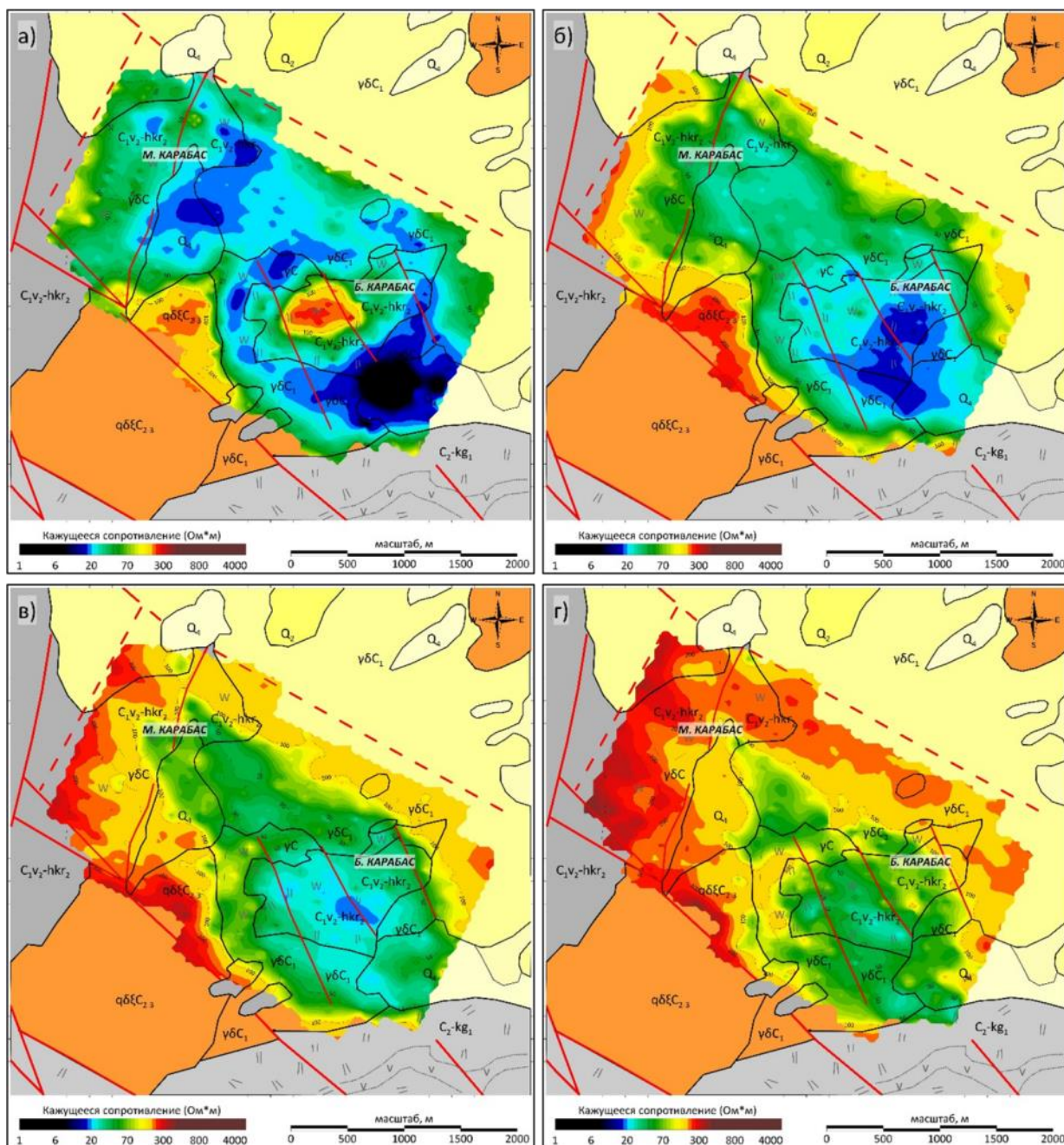


Рисунок 3 - Карты кажущегося сопротивления на разностях 75 (а), 325 (б), 625м (в), 925м (г) наложенные на геологическую карту [4]

Высокая проводимость метасоматитов определяется значительным содержанием каолинита (30–60 %) и присутствием электропроводящих минералов – пирита и лимонита. Дополнительное понижение сопротивлений связано с влиянием четвертичных отложений, распространённых к северу и востоку от массива Большой Карабас. В поле рк выделяются две положительные аномалии: первая приурочена к возвышенной части массива Большой Карабас и

соответствует монокварцитам, вторая совпадает с контурами развития среднезернистых кварцевых монцитов. Метасоматиты массива формируют характерную для меднопорфировых систем кольцевую структуру – высокоомное ядро, окружённое проводящими породами. С увеличением разноса средний уровень рк возрастает. Пониженные значения формируют область в форме цифры «8», ориентированную северо-западно. Нижняя часть аномалии соответствует месторождению Большой Карабас, верхняя – рудопроявлению Малый Карабас. На разносе 925 м влияние проводящих пород в районе Малого Карабаса практически исчезает. В поле кажущейся поляризуемости на первых разносах выделяются две аномалии: более интенсивная приурочена к центральной части массива Большой Карабас (η_k до 5 %), вторая – к массиву Малый Карабас (η_k до 4 %). С увеличением разноса уровень поляризуемости снижается до 3 %, а аномальные зоны смещаются к югу, что, вероятно, связано с использованием несимметричной установки. Форма аномалий становится сложнее, их число увеличивается до 4–5.

Интерпретационная схема и перспективные участки

На основе трёхмерной инверсии построена сводная интерпретационная карта с выделением перспективных участков. В качестве фона использована геологическая карта и выделены контуры проводящих зон на глубинах 50 и 100–200 м, а также аномалии поляризуемости на различных уровнях.

В пределах исследуемой площади выделены два перспективных участка:

1. Центральная часть массива **Большой Карабас**, характеризующаяся низкими сопротивлениями и высокими значениями поляризуемости.
2. Район массива **Малый Карабас**, включающий прилегающие с востока и запада крупные поляризуемые объекты.

Список литературы:

1. Геологическое строение Казахстана/ Бекжанов Г.Р., Кошкин В.Я., Никитиченко И.И. и др. – Алматы: Академия минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2000. –369с.
2. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. Металлогения. Авторы: Мирошниченко Л.А., Жуков Н.М., и др. Алматы, 2002.
3. Справочник месторождения меди. Второе издание. 2014 г. – 229 с.
4. Периодический отчет о результатах геологоразведочных работ на Карабасской площади в Карагандинской области за 2023 г./ Шалабаев А.Ж., Шурилов А.В., Хамзин А.Б., Гуськов А.Н. 2023 г. – 24 с.

А. А. Қасымова, А. Жангирханова, Қ. С. Тогизов

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан.

ЖАМАН-АЙБАТ КЕН ОРНЫНЫҢ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫСЫ КОМПЛЕКСТІ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕР БОЙЫНША

Аңдатпа. Жаман-Айбат мыс құмтас кен орнында геологиялық және геофизикалық деректерге кешенді талдау жүргізілді. Геологиялық құрылым ерекшеліктері зерттелді, өнімді горизонттар анықталды, кен денелерінің параметрлері белгіленді және сынамалау нәтижелерін ескере отырып, кен орнының жекелеген учаскелерінің қорларын қайта есептеу бойынша ұсыныстар берілді. Жаман-Айбат кен орнының қоры сарқылу сатысында екенін ескере отырып, далалық зерттеулердің инновациялық технологияларын, геолого-геофизикалық деректерді өңдеу мен интерпретациялаудың заманауи геоақпараттық жүйелердегі әдістерін қолдану жаңа кен объектілерін анықтау үшін геологиялық ақпараттың сенімділігін едәуір арттырады.

Түйінді сөздер: Мыс құмтастар, геофизика, аномалиялар, интерпретация, геологиялық құрылыс, кен горизонты.

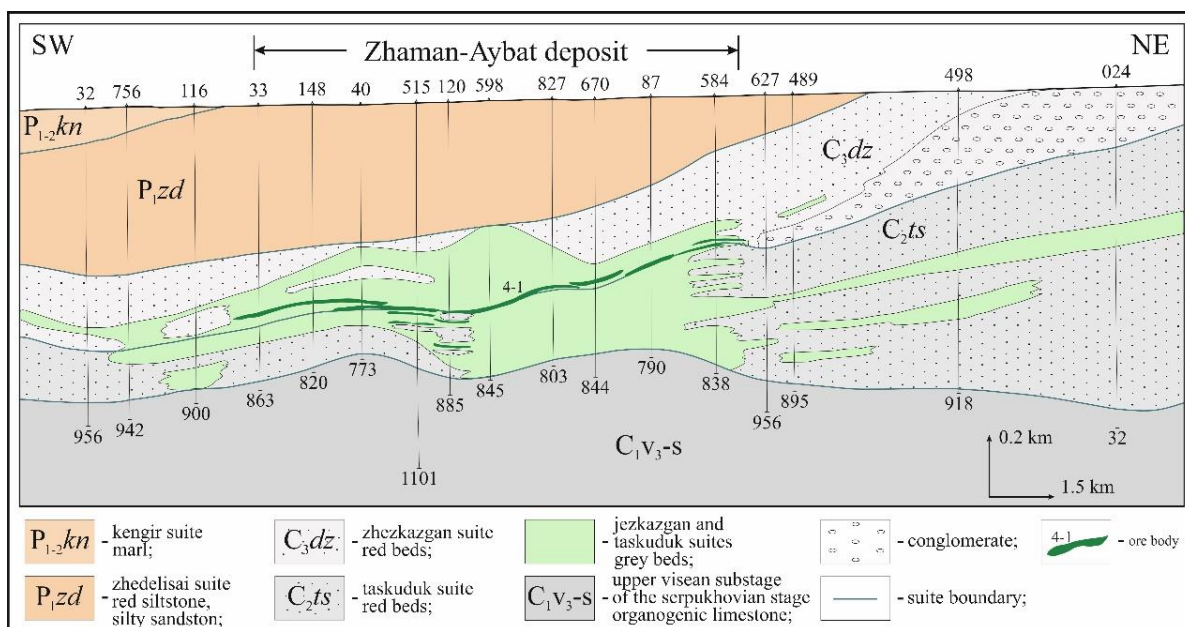
Кіріспе

Жезқазған кен ауданы өз қоры, кендену типтері және мыс құмтас кен орындарының орналасу жағдайлары бойынша бірегей болып табылады және Жезқазған кен алаңын (Жезқазған кені), Жыланды кен алаңын (Шығыс және Батыс Сарыоба, Қыпшақпай, Қарашошақ, Итауыз, Жартас кен орындары), Жаман-Айбат кен алаңын (Жаман-Айбат, Тасқұра кен орындары), Кумола кен алаңын (Талсай, Әділбек сай, Шілісай, Жезды, Батыс-Кумола және Оңтүстік-Кумола кен көріністері мен учаскелері), сондай-ақ осы алаңдар арасындағы перспективалы аумақтарды біріктіреді [1–4] (1-сурет).

Жаман-Айбат мыс құмтас кен орны Жаңаарқа ауданында, Жезқазған кентінен оңтүстік-шығысқа қарай 200 км жерде орналасқан. Ол Жезқазған–Сарысу ойпатының шығыс қанатына жатады, ойпат жоғарғы девон, таскөмір және пермь жүйелерінің лагуналық, жағалаулық-дельталық және көлдік-аллювийлік шөгінділерімен қалыптасқан [5]. Бұл аймаққа брахиформалық қатпарлылық, тұздық тектоника, жалпы құрылымдық жоспар және дерлік үздіксіз стратиграфиялық қималар тән. Жезқазған–Сарысу ойпатының орталық және шеткі бөліктері субендік бағыттағы қатпарлармен, флексурамен, күмбездермен күрделенген [6].

Жаман-Айбат кен орнының геологиялық позициясы Жезқазған кеніне өте ұқсас. Жезқазған типіндегі мыс құмтас кен орындары үшін кенденудің жезқазған және тасқұдық свиталарының сұр құмтас горизонттарына нақты байланысы тән (1-сурет) [7].

Өткен ғасырдың 80-жылдарының соңынан бастап Жаман-Айбат горст-антиклиналі ауданы, оның шегінде Жаман-Айбат және Тасқұра кен орындары орналасқан, 1:25000–1:50000 масштабтарда жүргізілген кешенді жерүсті геофизикалық және геохимиялық зерттеулермен қамтылды. Іздеу кезеңінде іс жүзінде жерүсті геофизикалық зерттеулердің толық кешені орындалды, оған гравиразведка, магниторазведка, сейсморазведка МОГТ, электроразведка ЗСБ және ВЭЗ кіреді.



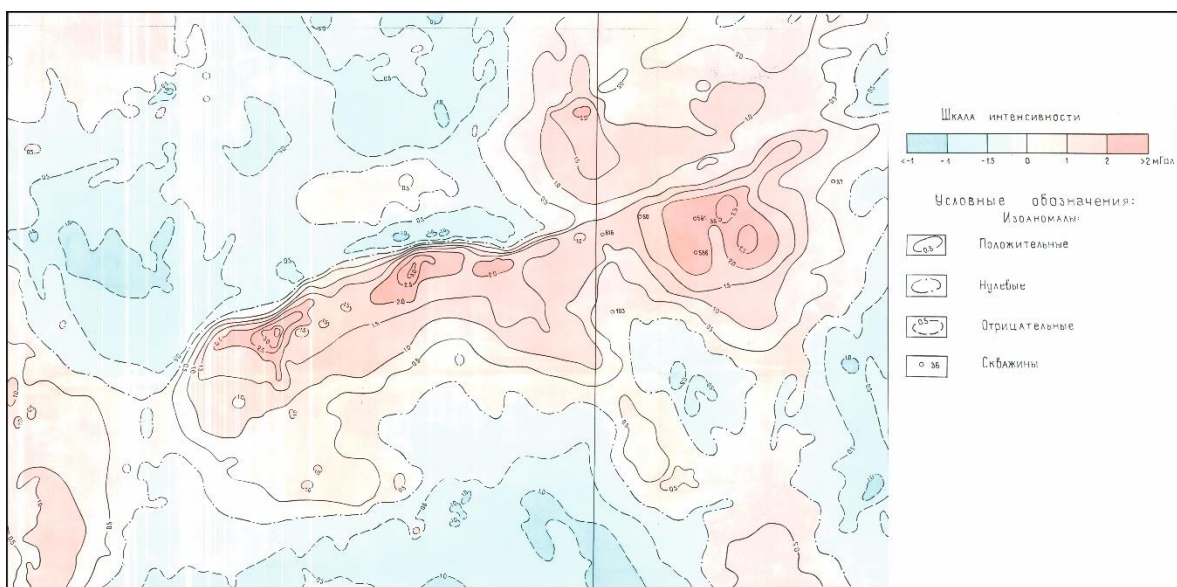
**Сурет 1 - Жаман-Айбат кен алаңының сызбалық геологиялық қимасы
(«АО «Жезказғангеология» деректері бойынша)**

Жерүсті геофизикалық және геохимиялық әдістердің интерпретациясы нәтижелері құрылымдық-картографиялық міндеттерді шешу және кен залеждерін іздеу кезінде жанама алғышарттарды анықтау үшін пайдаланылды. Барлау міндеттерін шешу үшін геофизикалық зерттеулер құрамына электроразведка (ВЭЗ-ВП), ЧИМ, ядролық-геофизикалық әдістер, ұңғымалық геофизикалық зерттеулер (ГИС) кірді, олар каротаж және арнайы ұңғымалық зерттеулерді, сондай-ақ биогеохимиялық және литохимиялық түсірілімдерді қамтыды.

Геофизикалық аномалияларды интерпретациялау негізінде жыныстар мен рудалардың физикалық қасиеттері туралы деректер жатыр. Физикалық қасиеттер ұңғымалардан алынған керн үлгілерінде және ұңғымалық геофизикалық зерттеулер (ГИС) деректері бойынша зертханалық жағдайда жеткілікті толық зерттелген. Алынған деректер статистикалық өңдеуден өткізілді.

Жаман-Айбат құрылымының шегінде оның құрылысын егжей-тегжейлі ашу, рудалық алаң құрылымының ерекшеліктерін анықтау және іздеу бұрғылауының бағытын нақтылау мақсатында гравиразведка, шағылған толқындар әдісіндегі сейморазведкалық жұмыстар (МОГТ), автомагниттік түсірілім (50 м қадаммен) және электроразведка ЗСБ әдісімен (480 м қадаммен) 0,86–1,25 км аралықтағы, сейморазведкалық профильдермен үйлестірілген бағыттар бойынша жүргізілді.

Гравитациялық өрістегі жергілікті оң аномалиялар бойынша Жаман-Айбат горст-антиклиналін күрделендіріп тұрған жеке жыныс блоктары анықталды, ал ВЭЗ деректері бойынша жезқазған свитасының жабынымен сәйкестендірілетін жоғары кедергідегі горизонттың жату тереңдігі белгіленді. Δg жергілікті аномалияларының картасында Жаман-Айбат горст-антиклиналі қарқындылығы 3,5 мГал-ға дейінгі оң жергілікті аномалиялар аймағымен ерекшеленеді. Бұл аймақ субендік бағытта созылып жатады және 1 мГал изоаномалиясы бойынша $6 \times 10 \times 40$ км өлшемге ие. Аномальды аймақ шектеулі түрде қадағаланады, ал геологиялық деректер бойынша Жаман-Айбат горст-антиклиналдік құрылымы жер бетінде шығысқа қарай одан әрі созылып, жалпы алғанда т. б. Жаман-Айбат құрылымдық тұмсығын құрайды (2-сурет).



Сурет 2 – Жаман-Айбат кен орны ауданындағы Δg жергілікті аномалиялар картасы («АО «Жезказгангеология» деректері бойынша)

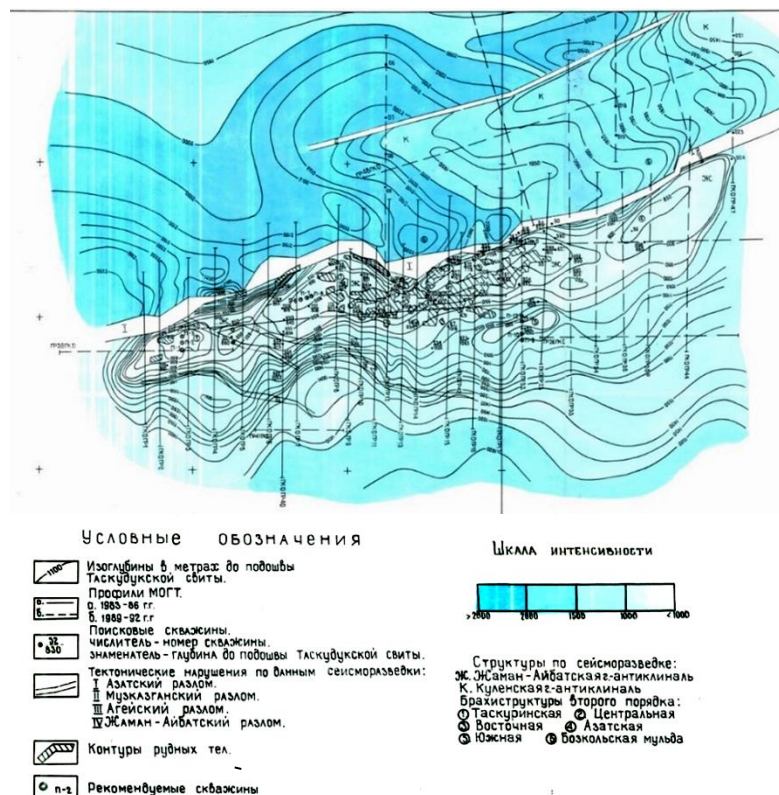
Жаман-Айбат антиклиналінің орналасуы мен өлшемдері, өнімді шөгінділер табанының (шағылысу горизонты – RI) жату тереңдігінің реттілігі сейсморазведка МОГТ жұмыстарының деректері бойынша жеткілікті сенімді түрде анықталған, олардың көмегімен басқа да құрылымдық міндеттер шешілді: екінші ретті антиклинальдық құрылымдар (брахиантиклинальдар) бөлінді, Азат тастамасы бойынша жыныстардың ығысу орны мен амплитудасы нақтыланды, Агей және Жаман-Айбат жарылымдық бұзылыстар анықталды. Жалпы алғанда, сейсмикалық деректер бойынша Жаман-Айбат горст-антиклиналі субендік созылымдағы сызықтық қатпар түрінде сипатталады және солтүстігі мен батысы бойынша Азат флексуралық аймағымен шектелген. Оның тектоникалық құрылысы тірек шағылысу горизонты RII (тасқұдық свитасының табаны C2ts) бойынша изотереңдік картасында айқын көрінеді. Шығыс шеткі бөлігінде жату тереңдігінің изосызықтары субмеридионалды бағытта бұрылып, қарастырылып отырған құрылымның шығыс жағында орналасқан субмеридионалды шөгінді ойысты сипаттайды (3-сурет).

Магниттік өрісте Жаман-Айбат құрылымы шағылысу бермейді. Кен орны аймағындағы байқалатын магниттік өріс оң және теріс аномалиялар ΔT_a арқылы солтүстік- солтүстік-батыс бағытында беріледі және каледондық фундамент тастарымен байланысты.

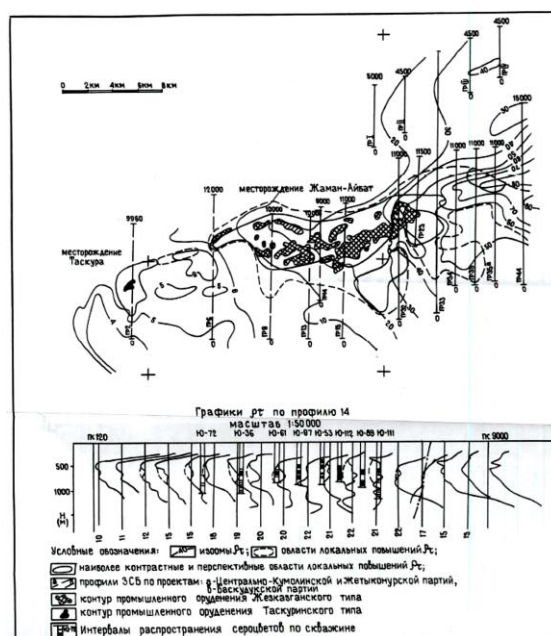
Жалпы алғанда, Жаман-Айбат гарст-антиклиналі сейсморазведка және геологиялық мәліметтер бойынша (бұрғылау, геологиялық съёмка) төрт жоғары тәртіптегі құрылыммен күрделенген, олардың карбон-перм отложениялары бойынша брахиантиклинальдық формасы бар және изоглубиналары бойынша өлшемдері 1,2×4,9 км, 800–900 м.

Анықталған брахиантиклинальдар Таскуринская, Орталық, Шығыс (Орталық және Шығыс брахиантиклинальдарды Батыс және Приразломная деп атаған) және Азатская деп аталған. Гравитациялық өрісте оларға екінші тәртіптегі 4 локальды максимум сәйкес келеді, салыстырмалы интенсивтілігі 1–1,5 мГал.

Жаман-Айбат кен орнында рудалық және рудасыз интервалдарды анықтау мақсатында барлау жұмыстары кезеңінде ЗСБ әдісімен электроразведка жұмыстары жүргізілді. Тік кескіндерде ρ_t қарастырылып отырған 500–800 м тереңдік интервалында, 2–3 Ом және одан жоғары интенсивті локальды кедергілер тіркелген, олар Жезқазған және Тасқұдық свиттеріндегі өнімді отложениялардағы сұр түсті тастармен сәйкес келеді (4-сурет).



Сурет 3 - Жаман-Айбат кен орны. Таскудық свитінің негізінің изоглубиналары картасы (тұрақты горизонт RII) («АО «Жезказгангеология» деректері бойынша)



ұңғымалар разрезін құрайтын жыныстардың радиоактивтілігі мен поляризацияланушылығын өлшеу үшін жүргізілді. Кешенді каротажбен геологиялық сынамау арқылы анықталған рудалық интервалдардың көпшілігінің орналасуы расталды, ал селективті каротажбен стронций минерализациясының горизонттары анықталды, олар кен орнында қосымша стратиграфиялық репер болып табылады.

Ядролық-геофизикалық зерттеулер ұңғымаларда (РРК және РРО) мыс, мырыш және қорғасын бойынша, сондай-ақ спектрометриялық гамма-гамма тығыздық каротажымен (СГГК-П) литологиялық айырмашылықтар мен рудалық денелерді байланыстыру; керн бойынша және ұңғыма қабырғаларында рудалық қиылыстарды бөлу; компоненттердің концентрациясын анықтау; рудаланудың контрасттылығын және опробованияның өкілдігін бағалау; мыс қорының бақылау есептеуін жүргізу міндеттері шешілді.

Жалпы алғанда, Жаман-Айбат кен орнында іздестіру жұмыстары кезінде ең тиімді жерүсті геофизикалық әдістер МОГТ әдісімен сейсморазведка, ЗСБ әдісімен электроразведка және гравиразведка болып табылады. Барлау кезеңінде рудалық денелер мен стратиграфиялық кешендердің кеңістіктегі байланысын бақылау үшін ұңғымалық геофизикалық зерттеу әдістері қолданылды. Геофизикалық зерттеулер арқылы бұрғылау деректерінің сапасына жүргізілген баға Жаман-Айбат кен орнындағы мыс кентастары қорының есебінің негізіне алынған сынамау нәтижелерінің дұрыстығын растады.

Жаман-Айбат кен орнында жүргізілген геофизикалық зерттеулерге жасалған шолу геологиялық құрылымның ерекшеліктерін зерттеу, өнімді горизонттарды анықтау, рудалық денелердің параметрлерін белгілеу және оларды сынамау нәтижелерімен кешенде пайдалану арқылы мыс құмтастар кен орындарының есептік параметрлерін бағалаудағы жоғары тиімділікті көрсетеді. Жаман-Айбат кен орны қорының сарқылу сатысында екенін ескере отырып, далалық зерттеулер жүргізу, физикалық өрістерді өңдеу мен интерпретациялаудың инновациялық технологияларын қазіргі геоақпараттық жүйелер ортасында қолдану жаңа рудалық нысандарды анықтау үшін геологиялық ақпараттың нақтылығын және сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі:

1. Сәтбаев Қ.И. Орталық Қазақстандағы эндогенді кендену аймақтарының кеңістікте орналасу заңдылықтары // Кеңес геологиясы. – Жинақ: 1957. – Т.58. – 93–109.
2. КСРО геологиясы. XX том. Орталық Қазақстан. Геологиялық сипаттама. – М.: «Недра» баспасы, 1972. – 532 б.
3. Сәтбаев Қ.И. Орталық Қазақстанның кешенді металлогендік картасы. Қара металдар, мыс, полиметалдар және сирек металдардың кен орындары мен кен көріністері кадастры. – Мәскеу, 1955 ж. – 396 б.
4. Сюсюра Б.Б. Қазақстанның мысқа бай шөгінді формациялары // Түсті металдардың стратиформды кен орындарының орналасу және болжау заңдылықтары. – Алматы, 1983. – 17–32 б.
5. Сәтбаева М.К. Жаман-Айбат кен орнының кен денелерінің минералогиясы // ҚР ҰҒА хабарлары. Геологиялық серия. – 2006. – №5. – 29–41 б.
6. Богданов А.А. Орталық Қазақстан мен Тянь-Шань палеозойының тектоникалық аудандастырылуы // МОИП бюллетені. – М.: Наука, 1965. – Т.40, №6. – 8–42 б.
7. Жезқазған кен орны // Қазақстан. Ұлттық энциклопедия. — Алматы: Қазақ энциклопедиясы, 2005. — Т.ІІ. — ISBN 9965-9746-3-2.

А.Б. Асанбаев, Ә.Б. Байбатша

Satbayev University, Казахстан, г. Алматы

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ, А ТАКЖЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УПРАВЛЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫМИ ПРОЦЕССАМИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РАЙГОРОДОК

Аннотация. Месторождения Райгородок, включая Южный и Северный участки, являются важными геологическими объектами для изучения. Эти месторождения имеют сложное геологическое строение, связанное с вулканическими и интрузивными процессами. Применение современных технологий, таких как искусственный интеллект (ИИ), в геологоразведке может значительно повысить эффективность разведочных работ, а также улучшить точность прогноза минерализации. В данной работе рассматриваются геология месторождения Райгородок и возможности применения ИИ в геологоразведке на примере месторождения Райгородок, с акцентом на геофизическое моделирование, анализ геохимических данных, оптимизацию буровых работ и создание 3D моделей месторождений.

Ключевые слова: ИИ-искусственный интеллект, месторождение, геологическое строение, рудная минерализация.

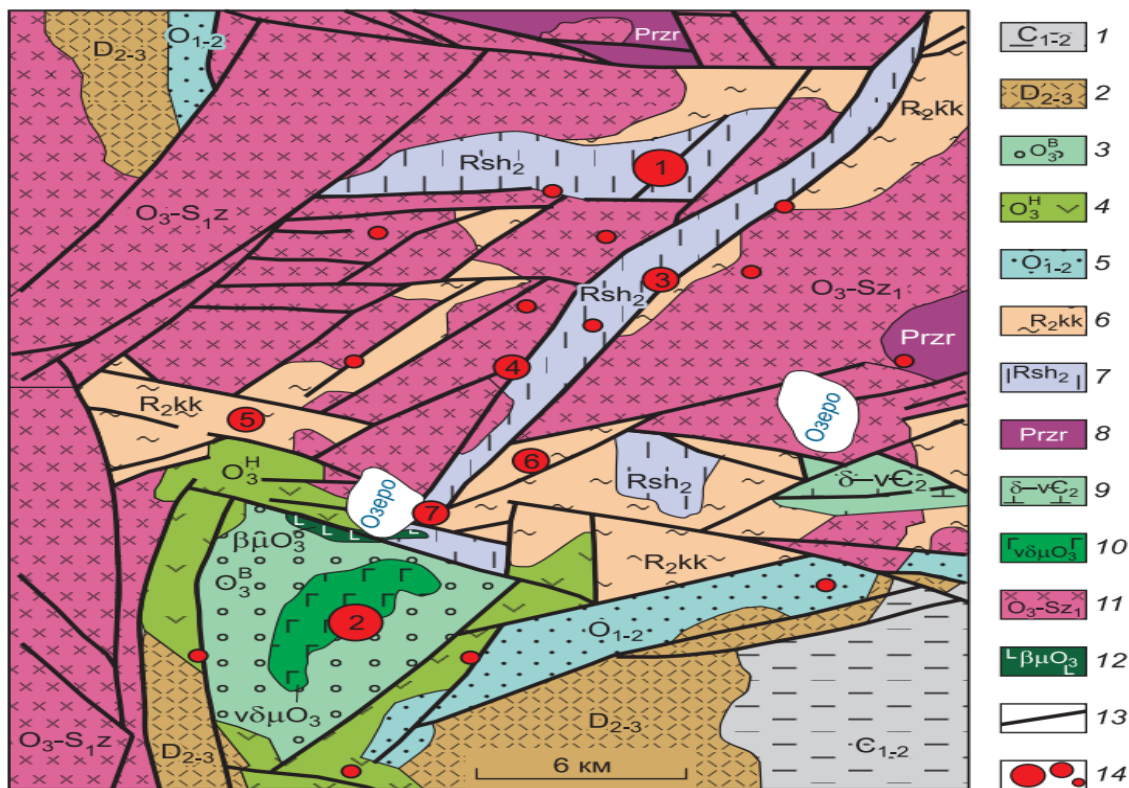
Основная часть

Месторождение расположено в Бурабайском районе Кокшетауской области в 54 км к юго-западу от железнодорожной станции Макинка. Открыто в 1937 г. геологом Ф.А. Рыбинцевым. Месторождение находится в узле пересечения меридионального и северо-восточного региональных разломов. Оруденение вмещает ожелезненные конгломераты нижнего ордовика. К участкам дробления приурочены минерализованные зоны северо-восточного простирания и кварцевые жилы, ориентированные поперечно к ним. Горными выработками вскрыты 4 зоны окварцевания и 4 кварцевые жилы. Протяженность зон 30-50 м, мощность до 1 м. Кварцевые жилы ветвящейся формы, с частыми пережимами и раздувами, длиной до 20-50 м, мощностью 0,1-0,5 м. Рудные тела по простиранию и на глубину не прослежены. Содержание золота в ожелезненных участках зон окварцевания колеблется от 0,1 до 3-7,6 г/т (в одной пробе 84 г/т), в кварцевых жилах не превышает 1 г/т [1].

Месторождение Райгородок располагается в районе сочленения Кокчетавского массива и Степнякской палеоостроводужной зоны, сложенной ордовикскими вулканогенными и осадочными породами (Рисунок 1).

Геологическое строение района и месторождения Райгородок

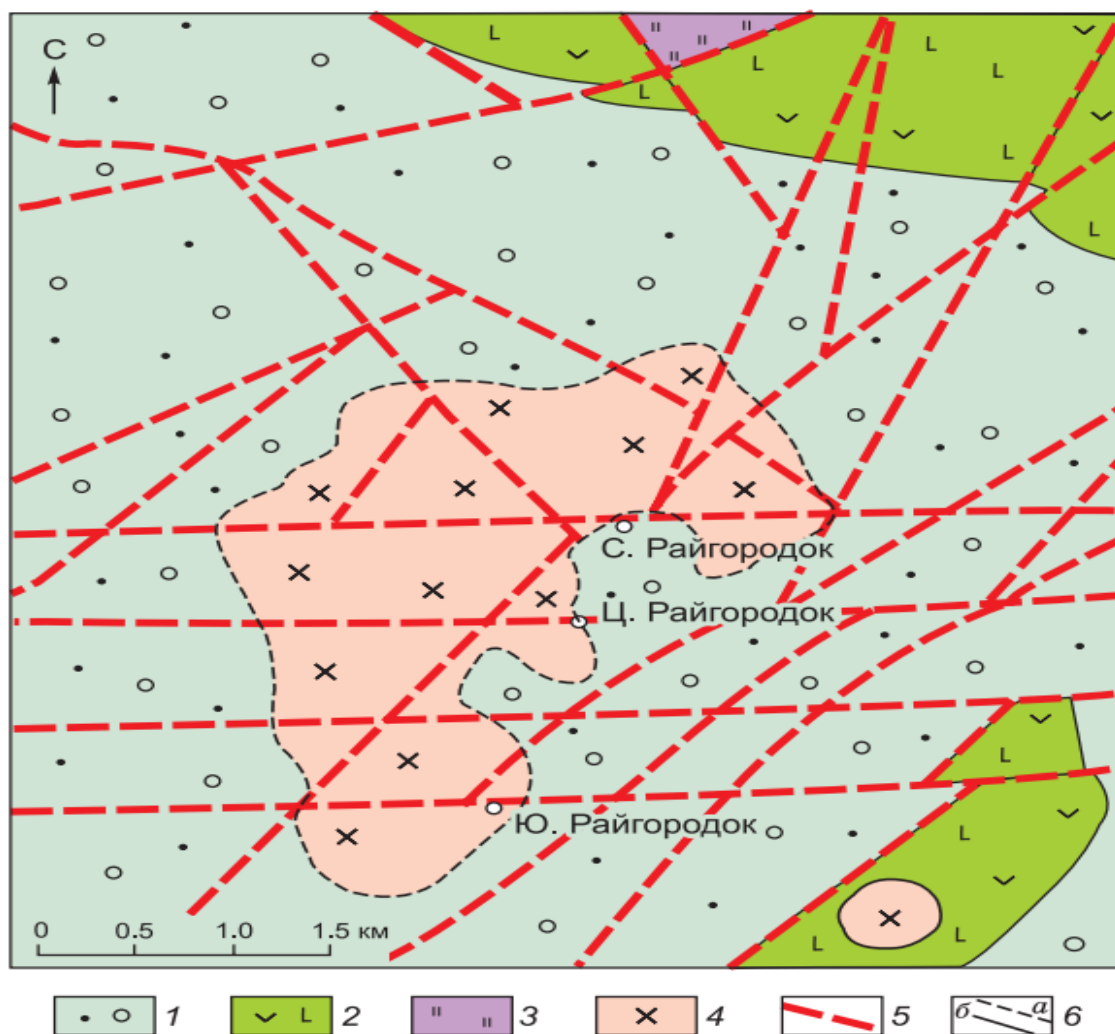
Месторождение Райгородок расположено в одноименном интрузивном массиве, который объединяет несколько рудных участков: Северный, Центральный и Южный Райгородок (Рисунок 2). Этот массив представляет собой штокообразное тело монцогаббродиоритов размерами 2,5×1,5 км, которое взаимодействует с вмещающими породами верхнего ордовика, образуя рвущие контакты. Массив хорошо виден по данным гравиметрических и магнитометрических исследований, а на поверхности его проявления можно наблюдать только на участке Южного Райгородка в виде небольшого выступа.



1 — отложения нижнего—среднего карбона, красноцветные песчаники; 2 — отложения нижнего—верхнего девона, красноцветные конгломераты, красноцветные и сероцветные эффузивы; 3 — верхний ордовик, верхняя конгломератовая толща; 4 — верхний ордовик, нижняя порфириновая толща; 5 — нижний—средний ордовик, пестроцветные кремнистые алевролиты, яшмoids; 6 — кокчетавская свита венда—раннего кембрия, кварциты, кварцсерицитовые сланцы; 7 — шарыкская свита венда, углеродисто-карбонатно-кремнистые сланцы; 8 — зерендинская свита, кристаллические сланцы, амфиболиты, гнейсы; 9 — щучинский интрузивный комплекс среднего кембрия, габбро, пироксениты; 10 — степнякский комплекс, монцогаббро, монцодиориты, гранодиориты; 11 — зерендинский комплекс, граниты, гранодиориты, диориты; 12 — позднеордовикские субвулканические тела габбро-диабазов и диабазов; 13 — тектонические нарушения; 14 — золоторудные месторождения, рудопроявления и точки минерализации: 1 — Новоднепровское, 2 — Райгородок, 3 — Погашевское, 4 — Тастынаул, 5 — Карагай, 6 — Западное, 7 — Моховое.

Рисунок 1 - Схематическая геологическая карта района месторождения Райгородок (М.И. Музыка, 2007, с изменениями авторов)

Рудовмещающие породы на этом участке представлены фациально разнообразной пачкой конгломератов, песчаников и алевролитов, перемежающихся с туфогенным и вулканическим материалом, а также реже встречаются порфириды среднего и основного состава. Обломочный материал терригенных пород включает углеродисто-кремнисто-сланцевые породы, кварц, известняки, доломиты, кварциты, гнейсы, а также эффузивные породы как основного, так и кислого состава. На этом участке часто встречаются графитистые сланцы с пиритом и рутилом, циркононосные кварциты, которые типичны для подстилающих шарыкской и кокчетавской свит. Цемент обломочных пород имеет глинисто-песчанисто-карбонатный состав и почти полностью заменен вторичными минералами.

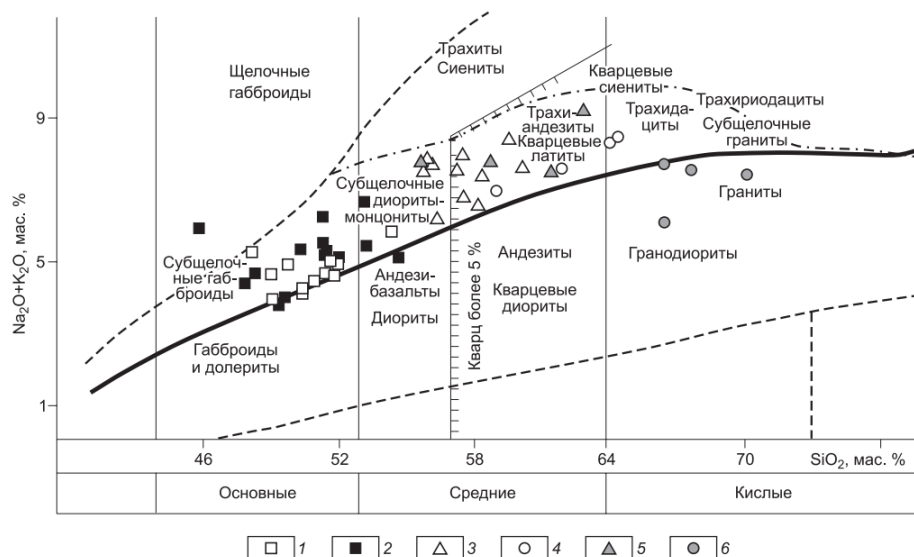


1 — конгломераты, песчаники, алевролиты; 2 — андезитовые, андезитобазальтовые порфиры и их туфы; 3 — слюдяно-кварцевые и кварцево-хлоритовые сланцы, кварциты; 4 — гранодиориты, диориты, габбродиориты; 5 — тектонические нарушения; 6 — границы глубинных частей интрузии (а) и эффузивных пород (б)

Рисунок 2 - Геологическое строение рудного поля Райгородок по результатам остаточных гравиметрических аномалий (В.А. Бирюлин и др., 2002)

Райгородокский интрузивный массив отличается сложной геологической структурой и разнообразием кровельных конфигураций. В основном встречаются монцодиориты, реже можно встретить дайкообразные тела габбро-диоритов и гранодиоритов. Мощность даек обычно не превышает нескольких метров. Породы в этом массиве различаются по степени пропилитизации и березитизации.

На основе петрографического и петрохимического анализа выделяют несколько групп пород: основные (монцогаббро, монцогаббро-порфиры, трахидолериты), средние (монцодиорит-порфиры) и кислые (гранодиорит, гранодиорит-порфир). На диаграмме TAS все эти породы попадают в поле умеренно-щелочных разностей (Рисунок 3).



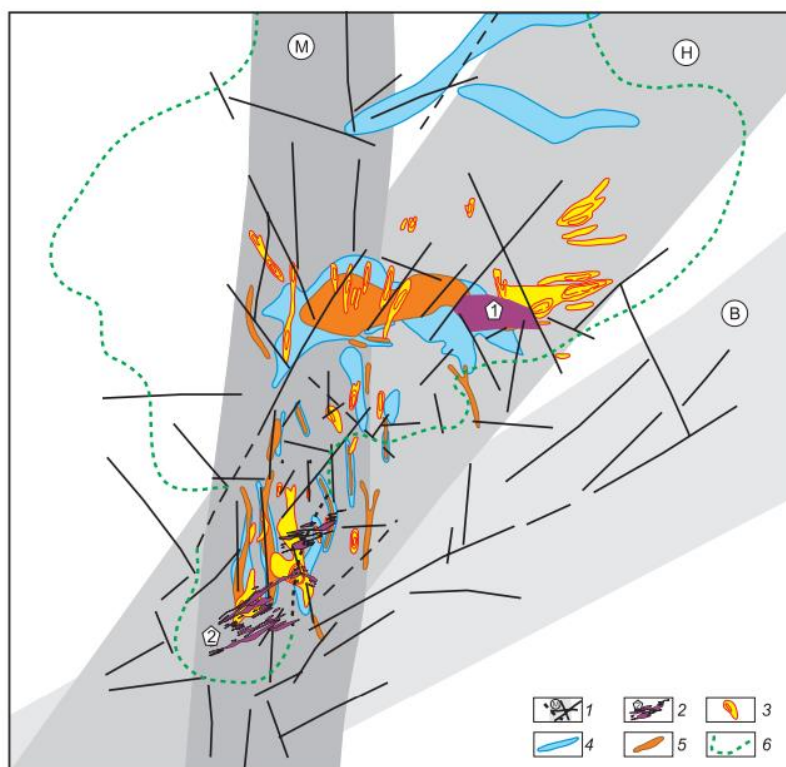
1 — монцогаббро, 2 — трахидолерит, 3 — монцодиорит, 4 — кварцевый монцит, 5 — Hbl-монцодиорит, 6 — гранодиорит

Рисунок 3 - Составы пород на TAS-диаграмме SiO_2 —(Na_2O — K_2O)

что свидетельствует о принадлежности пород к единой магматической серии, т.е. образование их происходило из единого магматического источника. Таким образом, породы Райгородокского интрузивного массива характеризуются пестротой химического и петрографического состава, полнокристаллическим и порфировым строением и пространственным совмещением нескольких интрузивных фаз. По петрогеохимическим особенностям они наиболее близки к породам степнякского комплекса, относимых к габбро-диорит-плагиогранитной формации. Несколько повышенная щелочность интрузивных пород месторождения, по сравнению с большинством массивов этого комплекса, по-видимому, связана с наложенной калишпатизацией, как это имеет место на месторождении Васильковское. Повышенная щелочность интрузивных массивов зерендинского и крыккудукского комплексов изменяется в зависимости от структурного положения по отношению к Кокчетавскому массиву. Вдоль его границ породы характеризуются более высоким содержанием щелочей и калий-натровым отношением по сравнению с массивами, расположенными в срединной части Степнякской зоны. Интрузивные породы рудного поля Райгородок, сформированные в зоне сочленения Кокчетавского массива и Степнякской зоны, согласно данной закономерности, должны иметь повышенное содержание щелочей по сравнению с типичным Степнякским массивом. Что касается более молодых силурийско-девонских интрузивов аралаульского (тассуйского) монцит-граносиенит-гранитового комплекса, то они имеют отчетливо более кислый состав и однородное строение. Практически все исследователи связывают структурный контроль золотого оруденения района месторождения с Новоднепровской зоной разломов, представленной серией субпараллельных тектонических нарушений северо-восточного простирания, образующих, как правило, грабеновые структуры. Вдоль зоны интенсивно проявлены катаклаз, расланцевание, окварцевание и сульфидизация. Проведенные структурные исследования показали, что важную рудоконтролирующую роль играла также крупная Меридиональная субвертикальная разломная зона. Анализ размещения рудных тел, первичных ореолов золота, а также проявлений зон окварцевания и сульфидизации показывает, что все они приходятся на узел пересечения крупных разломных зон северо-восточного, восток-северо-восточного и меридионального направлений (Рисунок 4). Указанные зоны неоднократно

активизировались на последующих этапах геологического развития. Структуры Новоднепровской и Меридиональной зон играли определяющую рудоконтролирующую роль. Формирование и активизация разрывной сети рудного поля происходили на протяжении как минимум пяти тектонических этапов, каждый из которых характеризовался действием определенного поля напряжений, преимущественно сдвигового характера. С ранним этапом связано становление интрузивного массива, с двумя поздними — формирование оруденения.

Основным структурным фактором, обусловившим локализацию рудных тел на участке Северный Райгородок, явилась активизация разломов, образующих узел сопряженных сдвигов. Рудная зона в целом имеет линейную морфологию, субширотную ориентировку с крутым (60—80 °) северным падением. На участке Южный Райгородок определяющим фактором структурного контроля оруденения явились правосдвиговые смещения при взаимодействии меридиональных и восток-северо-восточных нарушений. Рудные тела имеют как субширотную (на севере), так и северо-восточную (на юге) ориентировку с крутым (60—85°) падением на север и северо-запад соответственно.



1 — разломные зоны и разрывные нарушения (М — Меридиональная, Н — Новоднепровская, В — Ворошиловская), 2 — рудные тела, 3 — первичные ореолы золота, 4 — зоны сульфидной минерализации, 5 — зоны окварцевания, 6 — контур интрузивного массива по геофизическим данным

Рисунок 4 - Структурное положение рудного поля Райгородок с элементами проявления гидротермальных процессов

Оруденение на месторождении Райгородок связано с эндо- и экзоконтактами интрузивного массива и контролируется зонами повышенной трещиноватости и катаклаза в гидротермально измененных породах, расположенных в контактовых зонах. На участке Северный Райгородок рудные тела встречаются как в самом интрузивном массиве, так и в скарнированных конгломератах. Протяженность рудной зоны здесь составляет 1700 м, ширина варьируется от 200 до 500 м, а глубина — более 500 м, без признаков затухания. В участке Южный Райгородок

рудная зона имеет протяженность 1400 м и ширину от 60 до 350 м. Оруденение прослеживается на глубину 700 м, не снижая рудоносность. Руды залегают преимущественно в березитизированных эндоконтактовых зонах массива.

Промышленное оруденение Райгородка представлено серией линзообразных и пластообразных рудных тел с прожилковым типом минерализации, содержащих золото в диапазоне от 0.3 до 3.5 г/т. Рудные тела разделены интервалами с некондиционным содержанием золота, ниже 0.3 г/т. По результатам исследований, минерализация месторождения рассматривается как прожилково-штокверковый тип.

Породы, включающие как магматические, так и вмещающие конгломератовую толщу, подвергались различным метасоматическим процессам, таким как ороговикование, скарнирование, пропилитизация, калишпатизация, березитизация, окварцевание, серицитизация и в меньшей степени хлоритизация. Скарновые минералы развиваются как в цементе конгломератов, так и в известковистых обломках, формируя парагенезисы с гранатом, пироксеном и эпидотом. В породах месторождения распространены пропилиты с вкрапленной пирит-халькопиритовой минерализацией и иногда с наличием свободного золота.

Процессы калишпатизации, как на магматических, так и на скарнированных породах, широко предшествуют продуктивному рудоотложению. Золотое оруденение сопровождается процессами березитизации, прокварцевания и серицитизации. Контакты метасоматических и гидротермально измененных пород не имеют четких пространственно-временных взаимосвязей: первые породы контролируются экзоконтактами интрузивов, вторые — тектоническими зонами, при этом иногда эти породы совмещаются пространственно.

Рудная минерализация райгородокского типа характеризуются разнообразием рудных минералов, которых насчитывается не менее 40. Минералы подразделяются на главные (с частотой встречаемости 50-95%), подчиненные (20-49%) и редкие (менее 10-15%). Среди главных рудных минералов можно выделить пирит, халькопирит, самородное золото, висмутин, а также менее распространенные арсенопирит, сфалерит, галенит, молибденит, пирротин, марказит. Редкие минералы включают кобальтин, герсдорфит, айкинит, теллуриды, такие как петцит и калаверит, а также самородный висмут, антимонит, и другие редкие минералы.

Пирит является одним из самых распространенных минералов, образуя несколько поколений с различными генезисами и габитусами. Пирит может встречаться в виде тонких зерен, вкраплений, жилок или крупных кристаллов. Он широко распространен в штокверках, в том числе в калишпатитах, серицитолитах и кварц-карбонатных золотоносных жилках. Пирит часто проявляется в метасоматитах и в кварцевых жилках, а также может быть сцементирован кварцем, эпидотом или хлоритом.

Халькопирит является важным индикатором месторождений Райгородокского типа. Он встречается в основном в скарнах, образующихся на поздних этапах метаморфизма, таких как пропилитизация и щелочной метасоматоз. Халькопирит часто встречается в составе кварцевых жилок и пропилитизированных породах. Его форма варьируется от вкраплений и линз до жилок и полос, часто ассоциируя с пиритом и самородным золотом.

Золото (самородное) является ключевым минералом месторождения. Оно встречается как в ранней, так и в поздней генерации. Раннее золото представлено тонкодисперсными частицами, часто ассоциирующимися с пиритом и халькопиритом, и обычно имеет высокую пробу (900-912). В поздней генерации золото представлено более крупными частицами с пониженной пробой (840-873), обычно в кварцевых жилках или в местах пропилитизации и серицитизации.

Теллуриды, такие как *петцит*, *калаверит* и *сильванит*, также характерны для месторождения Райгородок. Они часто встречаются в ассоциации с самородным золотом и сульфидами, такими как халькопирит, пирит и висмутин. Петцит образует прожилки, интерстициальные вкрапления и пойкилитовые включения в кварцевых и кварц-карбонатных жилках. Калаверит и сильванит реже встречаются, но также образуют вкрапления в тех же жилках.

Висмутин является важным компонентом в райгородокской минерализации. Он встречается в различных ассоциациях с золотом, пиритом и халькопиритом. Висмутин часто образует поздние вкрапления и встречается в кварцевых жилках, а также в скарнах, подвергшихся гидротермальным изменениям. Ранние ассоциации висмута включают золото, пирит и халькопирит, в то время как поздние — молибденит и сфалерит.

Молибденит в райгородокских рудах встречается в виде микрогнезд, пластинок и волокнистых агрегатов. Этот минерал образует ассоциации с пиритом, халькопиритом, висмутином и арсенопиритом. Размеры его выделений могут достигать 0,3-0,8 мм, и он часто встречается в кварцевых жилках и серицитизированных породах.

Арсенопирит также является важным минералом месторождения и встречается в ранних и поздних формах. Ранний арсенопирит ассоциирует с самородным золотом, халькопиритом, висмутином, молибденитом и другими минералами. Поздний арсенопирит встречается в пропицитизированных и серицитизированных породах, а также в кварцевых жилках. Его кристаллы могут быть игольчатыми или пластинчатыми, и они часто связаны с минералами, такими как галенит, сфалерит, тетраэдрит и другие.

Рудная минерализация месторождений Райгородок характеризуется многими минералами, часто образующими сложные ассоциации, которые помогают в поиске новых месторождений и в оценке экономического потенциала этих объектов [3].

Возможности искусственного интеллекта (ИИ) в управлении геологоразведочными процессами открывают новые горизонты для оптимизации и повышения эффективности всех этапов работы в этой области — от прогнозирования и поиска месторождений до их разведки и разработки.

Геологическое строение месторождений Райгородок представлено разнообразными породами, включая долериты, габбро, диориты, вулканогенные комплексы, а также осадочные и магматические образования. Эти месторождения характеризуются высокой тектонической активностью, что значительно усложняет процесс их разведки и разработки. Участки Южный и Северный Райгородок представляют собой сложные геологические структуры с разнообразными минерализациями, включая золото, пирит и халькопирит. Для месторождения Райгородок, где разнообразие пород и тектонические структуры могут значительно осложнить процесс бурения и разведки, искусственный интеллект (ИИ) может стать важным инструментом для повышения эффективности и точности этих процессов. Рассмотрим, как ИИ может быть применен в оптимизации разведочных работ и бурения в контексте этого месторождения, учитывая геологические особенности, такие как тектонические структуры и минерализация.

ИИ, в частности методы машинного обучения и нейросети, могут использоваться для прогнозирования потенциальных месторождений. Алгоритмы могут анализировать данные о геологическом строении, исторических разведочных работах, геофизических и геохимических обследованиях, а также сейсмических и тектонических данных, чтобы предсказать, где с наибольшей вероятностью можно ожидать наличия минеральных ресурсов.

Проводя анализ геофизических и геохимических аномалий ИИ может анализировать данные о составе почвы и горных пород, выявляя зоны с высокой концентрацией минералов. Это помогает фокусировать разведочные работы на наиболее перспективных участках, минимизируя затраты и время.

Также при прогнозировании оруденения на основе исторических данных ИИ может предсказывать, где могут быть сосредоточены золотые оруденения, например, как в случае с Райгородком, связанного с диорит-габбро-монцититовым интрузивным комплексом.

Изучая прогнозирование изменяющихся условий ИИ может учитывать влияние тектонических процессов на геологическое строение, например, тектонические зоны разломов, как на Райгородке, что помогает прогнозировать не только расположение минеральных тел, но и изменения их характеристик (например, степени окисления руд).

ИИ может значительно повысить эффективность разведочных работ, автоматизируя процессы анализа и оптимизируя маршрут бурения. Включение ИИ позволяет автоматическую обработку и проверку данных, например, при работе с базами данных месторождений Северного и Южного Райгородка. ИИ может автоматически обрабатывать и проверять данные с буровых скважин, геофизических исследований и интегрировать их в единую информационную модель. Кроме того, ИИ способен анализировать данные о геологическом строении и сейсмических изменениях, что позволяет предсказывать, в каких местах бурение будет наиболее эффективным. Это, в свою очередь, способствует снижению избыточных затрат и ускорению процесса геологоразведки. С помощью ИИ также можно создавать 3D модели месторождений, прогнозировать изменения доступности руды в процессе бурения и предсказывать, какие участки могут содержать более высокое содержание золота. Такие технологии критичны для разработки месторождений, таких как Райгородок, где геологическое строение имеет сложную многослойную структуру.

Искусственный интеллект активно используется для обработки геологической информации и создания 3D моделей месторождений, что помогает лучше понять структуру месторождений и точнее классифицировать минеральные ресурсы. С помощью ИИ можно строить 3D модели рудных тел, основываясь на данных бурения, учитывая все литологические, тектонические и гидрогеологические особенности, что особенно важно при оценке сложных месторождений, таких как Северный и Южный Райгородок. Также ИИ ускоряет обработку геофизических и геохимических данных, таких как магнитные, электрические и гравитационные методы, что позволяет эффективно выявлять аномалии, например, зоны повышенной минерализации, указывающие на наличие ценного минерала, такого как золото. Использование ИИ для построения и уточнения каркасных моделей помогает более точно определять границы рудных тел и их характеристики, что важно при определении запасов минералов и их классификации по стандартам, таким как KAZRC.

ИИ может анализировать и классифицировать минералы в разведанных участках на основе геофизических и химических данных. В случае с месторождением Райгородок — это может включать автоматическое выявление таких минералов, как пирит, халькопирит, кварц, и их связей с оруденением золота. Алгоритмы машинного обучения могут использовать данные химического состава и текстуры пород для автоматической классификации минералов, что ускоряет процесс обработки и анализа данных, снижает вероятность ошибок и повышает точность результатов. Кроме того, ИИ может автоматизировать процесс создания прототипов блочных моделей для классификации и подсчета запасов золота, включая создание цифровых моделей поверхности кровли и подошвы зоны окисления, анализ структуры окисленных и первичных руд и расчет золотоносных блочных моделей.

Одним из самых важных аспектов является использование ИИ для прогнозирования и предотвращения геоопасных явлений, таких как оползни и сдвиги земной коры, которые могут повлиять на безопасность разработки месторождений. ИИ может анализировать данные о тектонических процессах и предсказывать возможные сдвиги, что позволяет предпринять профилактические меры для предотвращения ущерба. Кроме того, ИИ может анализировать сейсмические данные и делать выводы о возможных изменениях в геологическом строении, что позволяет оперативно адаптировать стратегию разведки и разработки в условиях сейсмической активности.

Современные решения на основе ИИ могут интегрировать все этапы геологоразведки и разработки месторождений в единую систему управления проектами. ИИ может использоваться для автоматической агрегации и анализа данных, создавая централизованную платформу для управления проектами, что позволяет специалистам быстрее принимать решения на основе актуальных данных. Алгоритмы ИИ также могут предсказать и оптимизировать ресурсы, такие

как трудозатраты, оборудование и материалы, что помогает ускорить выполнение работ и снизить затраты.

Таким образом применение искусственного интеллекта в геологоразведке и управлении геологоразведочными процессами, как это продемонстрировано на примере месторождений Северного и Южного Райгородка, оказывает значительное влияние на эффективность, точность и скорость всех этапов работы. ИИ позволяет значительно ускорить обработку и анализ данных, прогнозировать месторождения, автоматизировать процесс классификации минералов, а также предупреждать геоопасные явления, что в итоге снижает риски и увеличивает рентабельность разработки месторождений. Райгородок представляет собой уникальную геологическую зону с перспективными месторождениями, где активно развиваются процессы интрузии и метасоматической переработки пород. В условиях такого сложного геологического строения использование современных технологий, таких как ИИ, значительно повышает эффективность геологоразведки и разработки месторождений. Применение ИИ в анализе геофизических данных, геохимии, моделировании минерализации и оптимизации разведочных работ позволяет ускорить процессы поиска полезных ископаемых, снизить затраты и повысить точность прогнозов.

Список литературы:

1. Х.А. Беспаяев, В.А. Глоба, В.М. Абишев, Н.Я. Гуляева (1997). Месторождения золота Казахстана, справочник. 35 стр.
2. К.Р. Ковалев, С.О. Сыздыков, Ю.А. Калинин, Е.А. Наумов, В.В. Баранов, В.П. Сухоруков, А.С. Гладков, Ф.И. Жимулев (2018). Штокверковое золото-сульфидно-кварцевое месторождение Райгородок северо-казахстанской золоторудной провинции. Журнал Геология и геофизика 1855-1859 стр.
3. М.С. Рафаилович. Золото Недр Казахстана: Геология, металлогения , прогнозно-поисковые модели. 2009 год. 97-103 стр.

Н.Н. Михайлова, А.С. Мукамбаев

Филиал «Институт геофизических исследований» Национального ядерного центра Республики Казахстан» Агентства Республики Казахстан по атомной энергии

СЕЙСМИЧЕСКИЙ ЯДЕРНЫЙ МОНИТОРИНГ И КРИОСЕЙСМОЛОГИЯ – НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СЕЙСМОЛОГИИ В КАЗАХСТАНЕ

Аннотация. В Казахстане в 2000-2006 г.г. создана современная сеть высокотехнологичных станций, основу которой составляют 5 сейсмических групп, созданных для контроля выполнения обязательств Казахстана по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Станции являются одними из лучших в Международной системе мониторинга (МСМ) по обнаружению и локализации землетрясений и взрывов с источниками на всем земном шаре. Для территории Казахстана их данные позволили сделать важные открытия по сейсмической активности регионов, ранее считавшихся «асейсмичными», выявить новые закономерности в распространении волн, в проявлении афтершоков, начать наблюдения по криосейсмологии в зонах высотных ледников Тянь-Шаня.

Ключевые слова: мониторинг, сейсмическая группа, землетрясение, взрыв, эпицентр, магнитуда.

Основная часть

В Казахстане в начале этого столетия создана новая сеть станций ядерного мониторинга, входящих в состав глобальных сетей мониторинга за испытаниями ядерных взрывов – IMS и AFTAC. Перед строительством станций проведена тщательная работа по выбору площадок на основе изучения геологических характеристик среды, сейсмических шумов в широком спектральном диапазоне, выбора окончательного расположения на альтернативной основе из 9-14 вариантов. Главное требование – низкий уровень сейсмических шумов, высокая эффективная чувствительность за счет группирования сейсмических элементов, подбора нужной конфигурации группы, размещения аппаратуры в скважинах, комплексирования однокомпонентных и трехкомпонентных сейсмометров для возможности лучшего детектирования и надежного определения энергетических характеристик сигналов. На рисунке 1 показана сеть сейсмического мониторинга НЯЦ РК. На отдельных выносках представлена конфигурация сейсмических групп. В составе групп 10-21 сейсмический элемент. Видно, что сейсмические группы размещены в основном по периметру страны независимо от уровня сейсмичности территории. Станции Маканчи, Боровое, Курчатов входят в международную сеть IMS ДВЗЯИ. Станции Каратау и Акбулак входят в сеть AFTAC.

В Международной сети мониторинга 50 сейсмических станций составляют первичную сеть, 120 станций входят во вспомогательную сеть. Эти станции размещены на территориях 90 стран мира, работают по единому регламенту, строго соблюдается бесперебойность в предоставлении данных в полном объеме в режиме реального времени по спутниковым каналам связи в Международный центр данных в Вена (IDC) и в Национальный центр данных в Алматы (входит в состав ИГИ НЯЦ РК).

На рисунке 2 представлена конфигурация первичной сейсмической группы Маканчи, условно представляющая собой две окружности. Сейсмическая группа Маканчи состоит из 10 точек наблюдения, расположенных по двум окружностям с одной центральной точкой. Радиус внутреннего кольца ~500 м, наружного ~2000 м. 9 элементов представляют однокомпонентные

вертикальные каналы, один элемент группы – трехкомпонентная сейсмическая станция. В январе 2002 г. станция была сертифицирована комиссией МСМ в качестве первичной станции МСМ.

Аналогичную конфигурацию имеют сейсмические группы Боровое, Акбулак и Каратау. Сейсмическая группа Курчатов в своем составе имеет 21 элемент, расположенный по двум ортогональным профилям («Курчатов-Крест»).

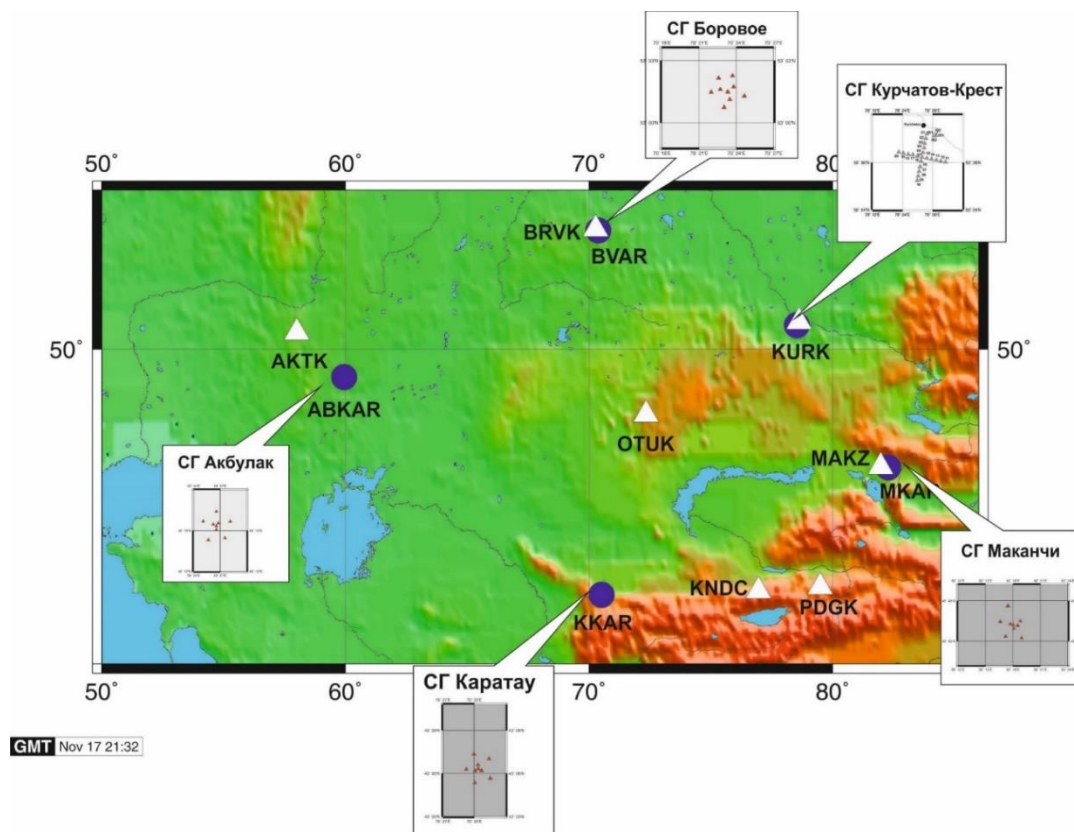


Рисунок 1 - Размещение станций сети НЯЦ РК на территории Казахстана. Синие кружки – сейсмические группы, треугольники – трехкомпонентные сейсмические станции

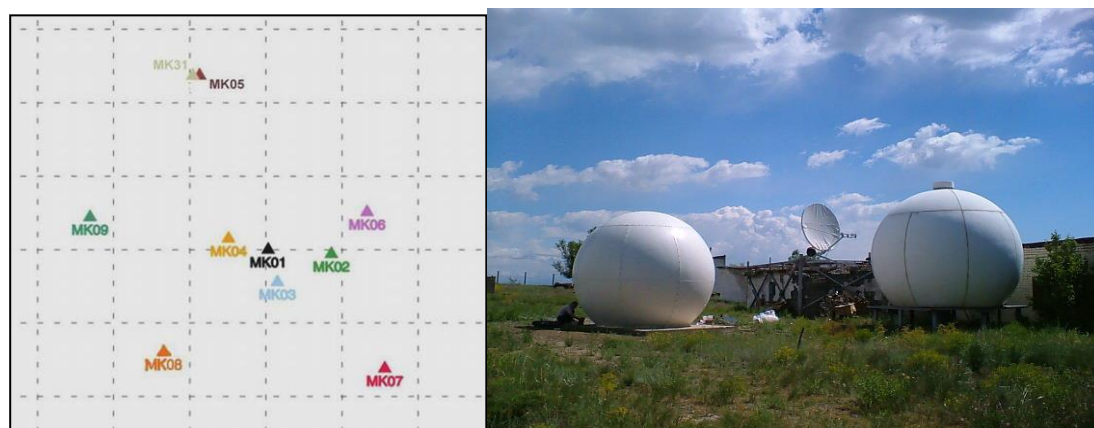


Рисунок 2 - Конфигурация первичной сейсмической станции Маканчи и вид на элемент станции

Общее представление о Международной системе мониторинге (IMS) дает рисунок 3. В ее составе более 300 объектов, работающих по четырем технологиям – сейсмический мониторинг, инфразвуковой мониторинг, гидроакустический мониторинг, радионуклидные станции и лаборатории. Благодаря такому комплексу, обеспечен контроль за ядерными испытаниями в разных средах на всем земном шаре.



Рисунок 3 - Карта объектов Международной системы мониторинга ДВЗЯИ, осуществляющей глобальный контроль за ядерными испытаниями и землетрясениями

В Институте геофизических исследований применяются две технологии – сейсмические и инфразвуковые наблюдения. В казахстанском сегменте IMS имеется одна первичная станция – Маканчи (MKAR) и три вспомогательных сейсмических станции – Боровое (BVAR), Курчатов (KURK) и Актюбинск (AKTO). Две сейсмические группы входят в сеть AFTAC. Сеть инфразвуковых наблюдений представлена в НЯЦ РК тремя инфразвуковыми группами – Актюбинск, Курчатов и Маканчи.

За годы эксплуатации Международной системы мониторинга казахстанские станции продемонстрировали высокую эффективность в обнаружении событий, в участии в создании Международного бюллетеня сейсмических событий REB, выпускаемого Международным центром данных на основе анализа данных всей сети глобального мониторинга. Это хорошо видно по рисунку 4, где представлено распределение «мест» в рейтинге станций мира по количеству ассоциируемых с бюллетенем REB событий. Такой анализ проведен отдельно по первичным (слева) и вспомогательным (справа) сейсмическим станциям.

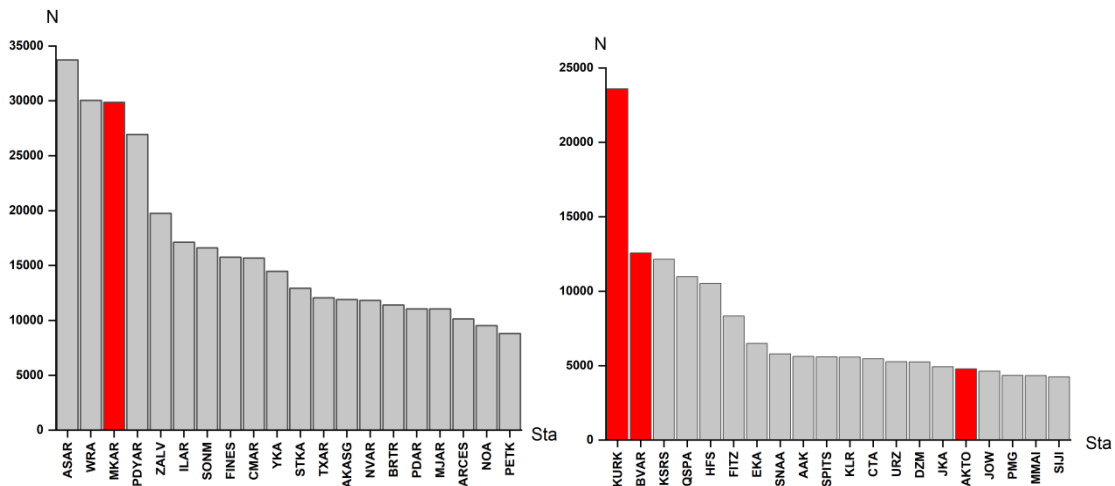


Рисунок 4 - Распределение сейсмических станций по количеству детектируемых и ассоциированных с бюллетенем REB фаз по первичным (слева) и вспомогательным (справа) сейсмическим станциям Международной системы мониторинга IMS. Красным выделены казахстанские станции сети НЯЦ РК

Из рисунка 4 видно, что сейсмическая группа Маканчи находится на третьем месте среди 50 первичных станций, а сейсмические группы Боровое и Курчатов – на первых местах среди 120 вспомогательных станций мира. Трехкомпонентная станция Актюбинск также показывает высокую эффективность. Этот анализ выполнен по данным 2024 года. Такая картина сохраняется уже много лет. Чем это определяется? Во-первых, положением всех казахстанских станций далеко внутри континента на большом удалении от океанов. Во-вторых, выбором участков на скальных грунтах с низким уровнем шумов, в третьих, размещением аппаратуры в скважинах на глубинах 30 – 60 м.

О чувствительности к обнаружению событий группы Маканчи свидетельствует и карта на рисунке 5. Сейсмическая группа регистрирует большое количество самых разнообразных по природе событий из разных районов мира. Это и локальные события вблизи самой станции, начиная с магнитуды 1,5, региональные события (землетрясения и карьерные взрывы) с магнитуды 2,0 на территории Казахстана и Центральной Азии, ядерные испытания с полигона Северной Кореи и землетрясения из районов полигонов Китая, Индии, Пакистана, множество телесейсмических землетрясений из далеких регионов мира. На рисунке 5 показано распределение эпицентров событий по регионам мира с указанием разным цветом доли событий, в определении которых участвует группа Маканчи, относительно всех вошедших в REB событий.

На огромных территориях Азии, Европы, Африки сейсмическая группа Маканчи обнаруживает от 80 до 100 % всех происходящих событий с магнитудой более 3,5.

Открытие новых сейсмических групп в начале 2000-х годов на территории Казахстана позволило изменить представление о сейсмической опасности территории Казахстана и пересмотреть карты общего районирования (зонирования) страны. Те территории, которые ранее считались «асейсмичными», оказались подверженными довольно сильным и ощутимым землетрясениям. Первое из них было зарегистрировано в Центральном Казахстане в 2001 году и проявилось интенсивностью в 6 баллов в эпицентре. В Западном Казахстане зарегистрировано Шалкарское землетрясение с интенсивностью 7-8 баллов в эпицентре.

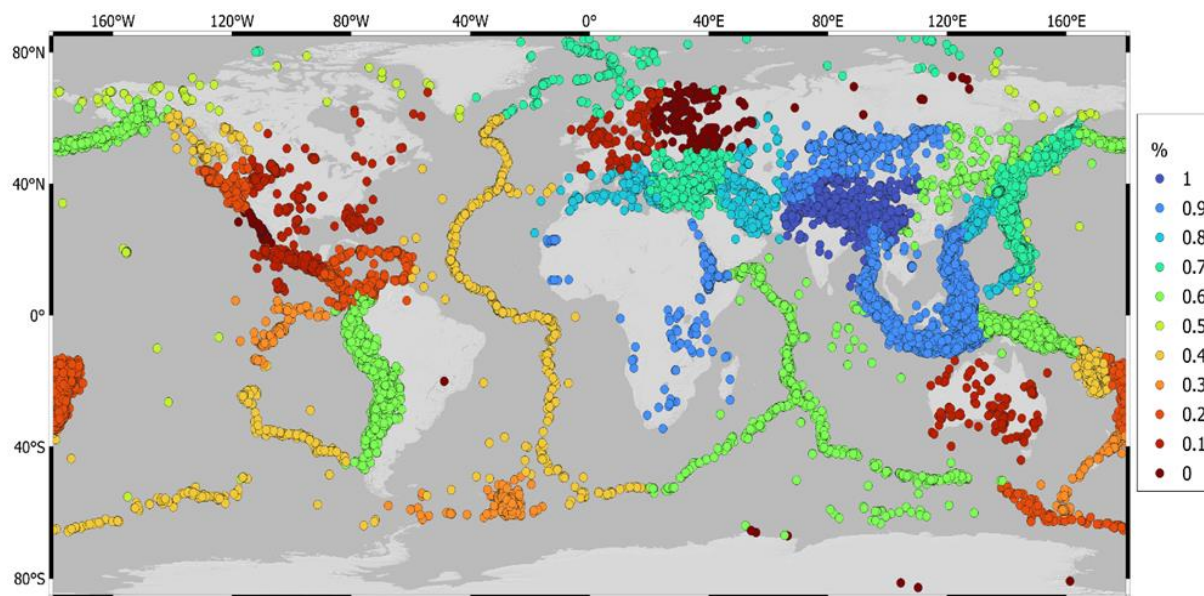


Рисунок 5 - Карта эпицентров сейсмических событий мира за 2024 г.(по REB с указанием доли, зарегистрированных сейсмической группой Маканчи)

Начали регистрироваться и идентифицироваться в огромном количестве карьерные взрывы, техногенные землетрясения и другие по природе события (5-6 тысяч взрывов в год). В 2017 году ИС МОН РК произведены работы по составлению новой уточненной карты общего сейсмического зонирования территории Казахстана, куда вошли новые данные, полученные и сетью станций НЯЦ РК.

Данные станций ядерного мониторинга позволили не только найти применение в прикладных исследованиях в целях обеспечения сейсмической безопасности территорий и отдельных ответственных объектов, но и получить новые фундаментальные знания о характеристиках сеймотектонических напряжений в новых районах, об особенностях распространения кода-волн через структуры Центрального Казахстана и др. [1].

Началось развитие нового направления сейсмологии – криосейсмологии. Именно открытие сейсмической группы Маканчи и анализ ее данных в 2006-2009 г.г. привел к заключению, что в данных сейсмической регистрации содержится информация о процессах, происходящих в масштабных ледниках Высотного Тянь-Шаня. Ранее в мире работ по континентальным ледникам и регистрации их жизнедеятельности сейсмическими и инфразвуковыми методами практически не было. Новое направление в сейсмологии – криосейсмология, в основном, развивалось на основе наблюдений за ледниками в арктической зоне и в Антарктике. В последние годы во всем мире в связи с большим интересом к проблемам глобального потепления и его влияния на климат началось активное изучение ледников и в горных районах на континентах. Подробный обзор мировых и отечественных источников по исследованию сейсмических процессов в ледниках под воздействием климатических изменений приведен в работе [2]. Результаты последующих исследований разных авторов показали, что изменение суточной температуры воздуха модулирует ледниковую сеймику. Расселины и трещины являются принципиальными компонентами баланса массы ледников, они служат путями талой воды в ледниковую водопроводящую систему, приносят огромное количество скрытого тепла в ледник. Это вызывает сдвиги ледниковой массы, их движение, которое может регистрироваться сейсмическими методами. Организация длительных непрерывных мониторинговых наблюдений позволит

оценить и прогнозировать изменения в динамике ледников в связи с глобальными климатическими изменениями.

ИГИ НЯЦ РК в рамках ПЦФ ИРН BR 21881915 «Применение ядерных, сейсмических и инфразвуковых методов для оценки климатических изменений и смягчения последствий изменения климата» создал многопараметрическую сеть наблюдений в ближней и дальней зоне за ледниками Тянь-Шаня на границе трех стран – Казахстана, Кыргызстана и Китая. Получены уникальные данные о распределении ледниковой сейсмичности, ее интенсивности, суточных и сезонных вариациях ледниковых событий, Работы в этом направлении продолжаются.

Список литературы:

1. Михайлова Н.Н. Важные результаты, полученные благодаря открытию сейсмических групп в Казахстане. // Вестник НЯЦ РК. – 2016. – Вып. 2. С.23.

2. Михайлова Н.Н., Мукамбаев А. С., Казаков Е. Н., Морозов В. Г., Игибаев У. А. Аналитический обзор мировых и отечественных источников по исследованию сейсмических процессов в ледниках под воздействием изменений климата // Вестник НЯЦ РК. – 2024. – Вып.3. С.65 - 74.

Н.Н. Михайлова, А.С. Мукамбаев, А.Е. Великанов, А.Н. Узбеков

Филиал «Институт геофизических исследований» Национального ядерного центра Республики Казахстан» Агентства Республики Казахстан по атомной энергии

О ПРИРОДЕ РЕГИСТРИРУЕМЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В «АСЕЙСМИЧНЫХ» РЕГИОНАХ КАЗАХСТАНА

Аннотация. После создания в 2000-2006 г.г. современных сейсмических групп НЯЦ РК, размещенных в Западном, Северном, Восточном Казахстане, изменился взгляд на сейсмичность и сейсмическую опасность так называемых «асейсмичных» территорий. Отмечены природные землетрясения на считавшихся асейсмичными территориях. Это события, связанные с активными разломами (2001 г., Шалгинское землетрясение в Центральном Казахстане, интенсивность в эпицентре 6 баллов), с активным соляным диапиризмом и карстовыми процессами (2008 г., Шалкарское землетрясение в Западном Казахстане, интенсивность в эпицентре 7-8 баллов), землетрясения в Мангистауской области. Зарегистрировано большое количество событий техногенной природы. Зарегистрированы и локализованы тысячи каверных взрывов, техногенные землетрясения в местах добычи жидких и твердых полезных ископаемых. Отдельным классом землетрясений являются триггерные (природно-техногенные) землетрясения, возникающие в районах, подверженных длительному воздействию карьерных взрывов, а также в местах ранее проведенных ядерных испытаний. Пример – Жезказганские землетрясения 1994-1996 г.г., Карагандинское землетрясение 2014 г., интенсивность в эпицентре 5-6 баллов и др.. Изучение природных и техногенных событий имеет важное значение для оценки сейсмической опасности.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическая группа, тектонические и техногенные землетрясения, магнитуда, интенсивность, сейсмическая опасность.

Основная часть

Для оценки сейсмической опасности основным информационным ресурсом являются детальные каталоги землетрясений с точными параметрами очагов и распознанной природой событий. Качество каталогов напрямую зависит от сети сейсмических станций. Ранее в Казахстане сеть сейсмических наблюдений развивалась в основном в районах, где уже были известны сильные землетрясения. Это юг, юго-восток и частично восток Казахстана. Эту ситуацию отражали и карты сейсмического районирования 1998г. и 2003 г. В конце 90-х -начале 2000-х годов были открыты новые станции в связи с международными обязательствами Казахстана по контролю соблюдения Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, подписанного и ратифицированного Казахстаном (1996 и 2001 г.г.). Расположение станций не зависело от уровня сейсмичности, наоборот – они располагались в самых тихих по сейсмическим шумам районах. Их данные позволили существенным образом изменить взгляд на сейсмическую опасность считавшихся асейсмичными регионов. Оказалось, на «асейсмичной» территории происходят сейсмические события природного и техногенного характера, даже с выраженным сейсмическим эффектом (разрушенные здания, инфраструктура, жертвы среди населения),

То, что на платформенных территориях происходят землетрясения, было известно и ранее. Первое из необычных событий, инструментально зарегистрированных и подробно изученных, было Баканасское землетрясение 1979г. (юго-восток Казахстана). Оно привлекло внимание в силу ряда уникальных особенностей. Большая глубина очага 40 км, казавшаяся специалистам нереальной для данного района, подтверждена не только данными локализации источника, но и

геологическими, тектоническими характеристиками считается, что это естественное тектоническое явление, связанное с карстовым процессом и активным соляным диапиризмом [4].

В Западном Казахстане в 2023 г. отмечены землетрясения на полуострове Бузачи, признанные природными тектоническими землетрясениями. 23 мая 2023г. произошло землетрясение с магнитудой $m_b=4.6$, $M_L=4.8$, энергетический класс $K=10,5$. Толчки с интенсивностью 4 балла ощущали жители п. Кызан (23км от эпицентра), п.Тузшыкол (37 км от эпицентра) и 2-3 балла в г.Актау. Этому уникальному для данного региона землетрясению, первому ощутимому здесь и инструментально зарегистрированному событию посвящена работа [5]. По современной карте общего сейсмического зонирования 2017 г. территории Казахстана район эпицентра расположен между двумя сейсмогенерирующими зонами - Центрально-Мангышлак-Устюртской и Южно-Эмбенско-Мугоджарской.

Кроме природных, на территории Казахстана регистрируется большое количество техногенных событий и землетрясений. Большую часть зарегистрированных сейсмических событий техногенной природы первого типа, безусловно, составляют промышленные взрывы, проводимые при разработке полезных ископаемых. Их регистрируется около 5000-6000 в год. Взрывная сейсмичность представляет отдельный аспект в сейсмическом мониторинге и требует распознавания их природы в отличии от землетрясений для корректности составляемых каталогов, используемых в оценке сейсмической опасности.

Второй тип – техногенные землетрясения, происходящие при проведении горных работ, при заполнении водохранилищ, при добыче нефти и газа, при закачке в недра жидких отходов, при проведении подземных ядерных взрывов и крупных взрывов химических ВВ. Эффекты техногенной сейсмичности разнообразны по масштабу: от слабых сейсмических толчков до катастрофических землетрясений, сопряженных с большими рисками и соответствующим ущербом.

Сеть НЯЦ РК регистрирует такого рода техногенные землетрясения как в местах разработки нефти и газа, так и твердых полезных ископаемых. Например, сетью НЯЦ РК регистрируются события на месторождениях углеводородов Тенгиз, Жанажол, Карачаганак, на угольных месторождениях Каражыра, Экибастуз, на месторождении меди Жезказган и др.

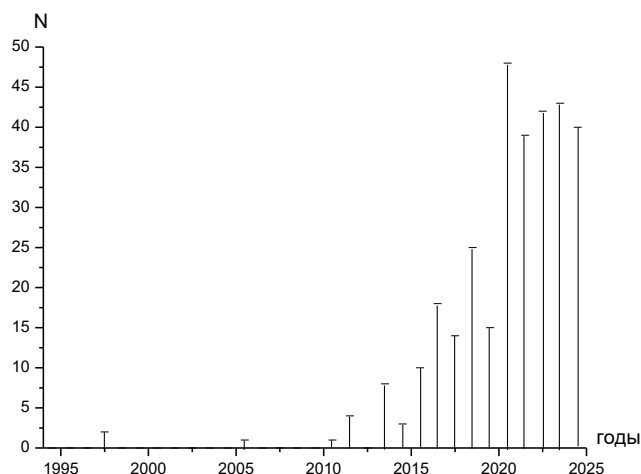


Рисунок 2 - Ежегодное количество техногенных землетрясений по данным сети НЯЦ РК на месторождении Тенгиз

Количество техногенных событий ежегодно возрастает, а максимальная выделявшаяся при таких событиях энергия уже сейчас превышает магнитуду 4. На рисунке 2 представлена

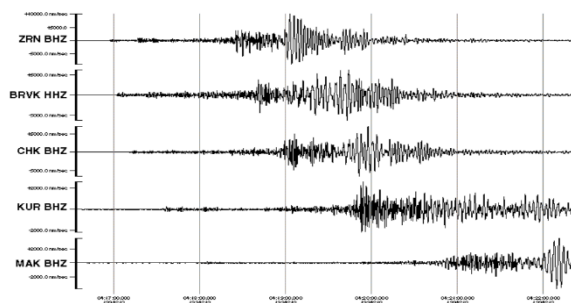
динамика ежегодного количества наиболее сильных техногенных событий на месторождении Тенгиз (по данным сети НЯЦ РК). Здесь демонстрируются только события с магнитудами более 2,1.

Очаги техногенных землетрясений имеют, в основном, небольшие глубины. Это повышает их опасность для зданий и сооружений: небольшие магнитуды землетрясений компенсируются близостью очагов к поверхности, так что относительно слабые техногенные землетрясения способны вызвать сильные сейсмические воздействия.

Решение широкого спектра научных и практических задач, связанных с безопасной эксплуатацией промышленных систем и объектов, должно базироваться на мониторинге геодинамических процессов и изменений естественных сейсмо-деформационных режимов литосферы в регионах повышенного геодинамического риска. Анализ результатов мониторинга позволит в принципе контролировать эколого-геодинамическую ситуацию и управлять сейсмическим риском.

Третий тип техногенных землетрясений - триггерная (природно-техногенная или индуцированная) сейсмичность, возникает в результате нарушения стационарного деформационного режима в среде, когда даже слабые воздействия могут привести к возникновению сильной техногенной сейсмичности. В таких условиях интенсивность триггерной сейсмичности может превышать интенсивность техногенного воздействия. Триггерная сейсмичность возникает иногда при техногенных воздействиях в условиях несейсмичных или слабосейсмичных районов, что является неожиданным и редким явлением. Техногенное воздействие в этом случае только ускоряет или запускает (является триггером) процесс высвобождения собственных запасов упругой энергии в массиве или вызывает срабатывание практически готового очага землетрясения.

Для сведения - ярким примером триггерного сейсмического события является сильнейшее Бочатское землетрясение, произошедшее 18.06.2013 г. в Кузбассе с магнитудой 5,8 – 6,1 (сейсмическая энергия $6 \cdot 10^{13}$ Дж). На территории Центрального Казахстана также наблюдались подобные землетрясения. Это землетрясения, связанные с техногенной деятельностью на месторождении Жезказган. Они произошли в 1994 и 1996 г.г. Нами были найдены их сейсмические записи, обработаны, оценены магнитуды, которые достигали 4,8.



Разрыв грунта.



Деформация рельсового пути.

Рисунок 3 - Записи и проявления на поверхности землетрясения 1 августа 1994г., $t_0=04:15:39,7$, на территории карьера Златоуст-Беловский вблизи г. Жезказган. $m_b=4.8$, $M_s=4.5$

Это было крупномасштабное обрушение, которое унесло жизни 6 человек, вызвало разрушение множества действующих подземных выработок и зданий на поверхности. Проявления землетрясения были столь сильными, что практически привели к полной остановке

работ на одном из рудников, закрытию ряда шахт и переносу поверхностных строений из опасной зоны [6.7].

Удивительным для сейсмологов было землетрясение 21 июня 2014 года в Центральном Казахстане близ г. Караганды с магнитудой $m_{pva}=5.2$. У события 21 июня 2014 года было зарегистрировано 3 афтершока, а 19 июня 2014 г. в этом же районе было зарегистрировано более слабое землетрясение, с магнитудой $m_{pva}=2.6$. Землетрясение ощущалось с интенсивностью сотрясений от 2 до 5 баллов по шкале MSK-64 на площади 230×190 км]. Макросейсмическое обследование эпицентральной территории землетрясения проведено сотрудниками Института геофизических исследований НЯЦ РК. По результатам макросейсмического обследования. Изосейсты землетрясения имеют форму, близкую к изометричной и чуть вытянуты в ССЗ направлении. Интересно, что в этом же районе в ноябре 2005 года было зарегистрировано землетрясение с $m_{pva}=3.7$ [8].

То, что землетрясение 21 июня 2014 г. имеет тектоническую природу, сомнений нет, об этом свидетельствует приуроченность к тектоническому разлому, механизм взбросо-сдвиг, глубина события ~ 10 км, наличие афтершоков, особенность волновой картины и др. Однако вблизи эпицентра расположен один из крупнейших в мире Карагандинский угольный бассейн, по запасам угля он занимал третье место в СССР после Кузбасса и Донбасса. Первая горная выработка была заложена в 1857 г. Регулярное техногенное воздействие могло ускорить процесс подготовки этого землетрясения.

В Северном Казахстане отмечены землетрясения аналогичной природы близ г. Рудный, близ г. Степняк недалеко от курорта Боровое, где зарегистрированы ощутимые землетрясения с интенсивностью 4 балла.

В последнее время представления о современном геодинамическом состоянии недр радикально изменились. Многолетние работы на геодинамических полигонах показали, что деформационные процессы наблюдаются повсеместно и даже на древних платформах и в сейсмически спокойных регионах [9]. Поэтому очень важным представляется тщательный анализ всех случаев реакции естественных сейсмо-деформационных процессов на деятельность человека, приводящих к развитию аномальных деформаций земной поверхности и появлению техногенных сейсмических явлений. Необходима заблаговременная постановка наблюдений в районах, где осуществляется значительное воздействие или имеются предпосылки чувствительности естественных деформационных процессов к воздействию. Следует также еще на этапе проектирования освоения месторождения или заполнения водохранилища оценивать возможную реакцию горного массива на ожидаемое воздействие.

Изучение сейсмичности на территории «асейсмичных» регионов Казахстана представляет большой интерес как для проблемы оценки сейсмической опасности, так и для изучения закономерностей распространения сейсмических волн через платформенную часть страны, особенностей проявления афтершоковой деятельности, напряженно-деформированного состояния коры [10].

Список литературы:

1. Нурмагамбетов, А. Баканасское землетрясение 25 сентября 1979 г. / А. Нурмагамбетов, А. Сыдыков, А.А. Власова, А.Ф. Краснова // Землетрясения в СССР в 1979 г. – М.: Наука, 1982. – С. 48 - 53.
2. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. О необычном Баканасском землетрясении 1979 г. в Казахстане ($MW=5,7$). // Вестник НЯЦ РК. - 2013. - Вып. 2. С.154-160.
3. Михайлова Н.Н., Неделков А.И., Соколова И.Н., Казаков Е.Н., Беяшов А.В. Шалгинское землетрясение в Центральном Казахстане 22.08.2001 г. //Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2002. Вып. 2(10). С. 78-87.

4. Михайлова Н.Н. О природе Шалкарского землетрясения (Западный Казахстан, 26 апреля 2008 года) / Н.Н.Михайлова, А.Е.Великанов // Промышленность Казахстана, 12.2008-02.2009.
5. Mikhailova, N.N., Mukambayev, A.S., Velikanov, A.Ye. and Issagali, A.A. (2025) The Earthquake Occurred in the West of Kazakhstan, Buzachy Peninsula on April 25, 2023. *Open Journal of Earthquake Research*, 14, 49-66. doi: 10.4236/ojer.2025.142005.
6. Сатов, М.Ж. Мониторинг горного массива по данным сдвижения горных пород / // Горный журнал, 1999. – №3 – С. 44 - 47.
7. Сатов, М.Ж. Сейсморайонирование месторождения по данным приборного контроля Горный журнал, 1999. – N 3. – С. 14 - 16.
8. 18. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н., Великанов А.Е., Узбеков А.Н. О землетрясении близ Караганды 21 июня 2014 года // Вестник НЯЦ РК, 2015. – Вып. 3. – С. 94 - 100.
9. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы) // М.: ИНЭК, 2005. – 252 с.
10. Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н. Сейсмичность взрывных работ на территории Республики Казахстан. // Вестник НЯЦ РК. – 2017. – Вып. 4. С.124.
11. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. Сейсмичность и характер напряжённо-деформированного состояния в слабосейсмичных районах Казахстана. // Вестник НЯЦ РК. - 2013. - Вып. 2. С.140-153.

Б.К. Аукешев¹, Д.А. Инкин¹, Н.Д. Есимханова¹, С.Н. Беляков²

¹ТОО “Qazaq Geophysics (QG)”,

²ТОО “Kazakhmys Barlau (Казахмыс Барлау)”

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ АЭРОЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РУДНОЙ ГЕОФИЗИКИ

Аннотация. В статье рассмотрены инновационные аэроэлектромагнитные технологии, разработанные компанией Expert Geophysics Limited (MobileMT), и их применение при решении задач рудной геофизики в Казахстане. Приведены примеры успешного использования технологии при поисках железомарганцевые и полиметаллических руд в Центральном Казахстане. Отмечены преимущества современных аэроэлектромагнитных систем – высокая разрешающая способность, оперативность и экологичность.

Ключевые слова: аэроэлектромагнитные технологии, рудная геофизика, инновации, геологоразведка, Казахстан.

Основная часть

В XX веке аэроэлектромагнитные исследования зачастую рассматривались только в качестве вспомогательного метода для региональных исследований и мелкомасштабного геологического картирования. Аэрогеофизические технологии активно развивались и в настоящее время трансформировались в эффективный инструмент поисков месторождений полезных ископаемых и рудных тел, залегающих на значительных глубинах, недостижимых для прямого обнаружения с поверхности. При этом, по оперативности, производительности и стоимости аэроэлектромагнитные методы занимают значительно более выгодное положение по сравнению с наземными аналогами.

Традиционные наземные методы (TDEM, TDIP, MT) остаются эффективными, однако ограничены по скорости и техническим возможностям при реализации проектов в труднодоступных районах. В связи с этим всё большее распространение получают **аэрогеофизические технологии с электромагнитным возбуждением**, позволяющие получать данные высокой точности с вертолётных или беспилотных платформ.

Особое место среди таких систем занимают решения, разработанные компанией **Expert Geophysics Limited**. Первая разработка системы семейства MobileMT была представлена на рынке аэрогеофизических исследований в 2018 году [1, 2].

Принцип работы мобильной геофизической системы MobileMT EM основан на комбинации двух методов: магнитотеллурического (MT) и магнитовариационного (MV) [3]. Измерительная система для всех конфигураций состоит из двух основных частей: воздушного и наземного (рис. 1).

Три ортогональные индуктивные катушки dB/dT (Рисунок 1б) в каплевидном корпусе, буксируются под вертолётном. Изменения измеряемого магнитного поля (H-поля) регистрируются в цифровом виде в системе сбора данных, установленной внутри вертолёт. Нет необходимости точно отслеживать или контролировать наклон, поскольку система измерения предоставляет данные об общем поле, инвариантные относительно вращения.

Две пары независимых заземлённых ортогональных (X и Y) электрических линий (Рисунок 1а) измеряют «сигнальные» и «эталонные» вариации электрического поля (E-field). Некоррелируемые вариации E-field, измеренные независимо с помощью «сигнальной» и «эталонной» линий, используются для фильтрации полевых данных от электрических помех [4],

при условии, что шум не коррелируется с сигналом. Этот процесс, использующий кросс-спектральный метод, значительно снижает риск получения необъективных результатов [5]. Данные стационарной системы измерения электрического поля записываются отдельной системой сбора данных с той же частотой дискретизации, что и данные воздушной мобильной системы измерения магнитного поля.

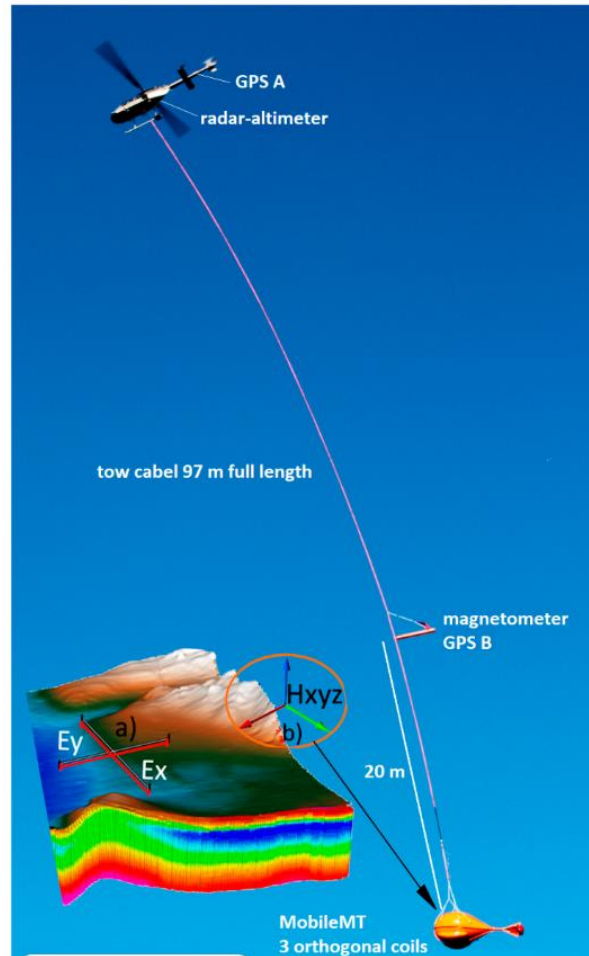


Рисунок 1 - Система MobileMT для ЭМ-исследований. а - Схема базовой станции, включающей две пары независимых заземлённых ортогональных электрических линий, расположенных в одном месте. б - Схема трёх ортогональных индуктивных катушек dB/dT

Очищенные от шумов и скорректированные данные об электрическом поле представляют собой первичные естественные вариации электромагнитного поля. Они позволяют разделить временные вариации и пространственные вариации измеренных полей (как в случае с магнитным полем). Комбинация вариаций магнитного (H) и электрического (E) полей используется для расчёта тензора проводимости, описанного Бостиком и Смитом [6] как $Y = H/E$ (в тензорной записи), и, в конечном счёте, для расчёта кажущихся проводимостей, соответствующих различным частотным диапазонам:

$$\sigma(\omega) = \mu\omega|Y^2|,$$

где μ – магнитная проницаемость свободного пространства, а ω – угловая частота.

На основе данных о вариациях магнитного и электрического полей, измеренных при различных относительных ориентациях, рассчитываются величины суммарных векторов H и E , не зависящие от пространственного положения датчиков [4]. Обработанные данные обычно охватывают частотный диапазон от 26 до 21 000 Гц и разделены на 30 окон (Рисунок 2). Диапазон «мёртвых зон», показанный на рисунке как типичный, меняется в зависимости от времени суток и сезона.

Исследования с помощью MobileMT доказали свою эффективность в обнаружении как поверхностных, так и глубинных геоэлектрических объектов; как проводящих, так и высокоомных, в различных геологических средах и для поиска различных полезных ископаемых, таких как магматические сульфидные системы и вулканогенно-осадочные месторождения [7], полиметаллические эпitherмальные системы [4], урановые структуры, связанные с несогласным залеганием [4,7], кимберлитовые трубки [4], системы порфирового типа [8], осадочная медь [9] и орогенное золото [10].

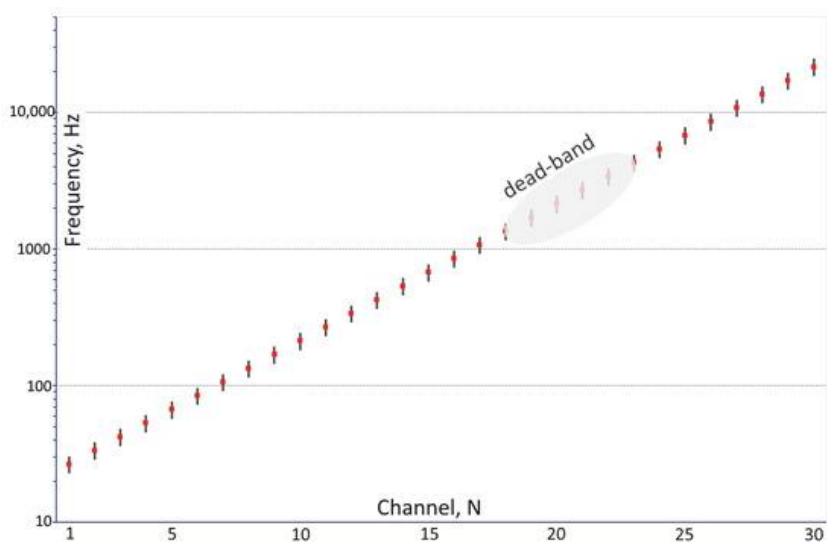


Рисунок 2 - Типичный частотный диапазон данных MobileMT с частотной зоной (мёртвой зоной), в которой естественная мощность сигнала снижается до критического для регистрации уровня

Успенский рудный пояс (Центральный Казахстан, железомарганцевые и полиметаллические руды).

Тип минерализации в Успенской континентальной рифтовой долине включает в себя стратифицированные Fe-Mg линзы с наложенными полиметаллическими залежами цинка, свинца, бария, меди и сопутствующими залежами ртути, кадмия, серебра, сурьмы, таллия, индия, которые находятся на сравнительно близком к поверхности контакте между слоями вулканических отложений и вышележащим аллювием [11]. Проницаемые позднедевонские туфы, песчаники, конгломераты и алевролиты (обозначенные как D₃fm-a и -b на рисунке 3) несогласно залегают на среднедевонских алевролитах и песчаниках (обозначенных как D₂gv-D₃fr). Четвертичные отложения в этом районе встречаются повсеместно и имеют мощность до 25 м. В зависимости от условий формирования они делятся на аллювиальные, аллювиально-пролювиальные, делювиально-пролювиальные и озёрные. Важно отметить, что на поверхности проводящих солевых отложений (солончаков) в низинах преобладают основные рудные минералы пластообразных железо-марганцевых, полиметаллических свинцово-цинково-

баритовых и медных руд. Они залегают в пористом аргиллито-кремнисто-известняковом комплексе пород и включают гематит, барит, галенит, сфалерит, пирит и халькопирит. Минерализация считается многоэтапной – гидротермально-осадочной, гидротермально-метасоматической и гидротермально-жильной [11].

Исследования с технологией MobileMT, проведённые в 2022 году компанией ТОО «Qazaq Geophysics» в сотрудничестве с Expert Geophysics Limited, охватили 140 км², в том числе территорию выявленного месторождения Восточный Атабай. Во время исследований был зарегистрирован сильный сигнал в естественном электромагнитном спектре от 22 до 5662 Гц, а также наблюдалось отсутствие «мёртвой зоны» вблизи 2000 Гц. На рисунке 4 показаны кажущиеся удельные сопротивления, измеренные (точки) и рассчитанные (линии), соответствующие 20 окнам в этом диапазоне частот. Каждая кривая удельного сопротивления относится к разным станциям на линии L1540, которая пересекает месторождение (Рисунок 5).

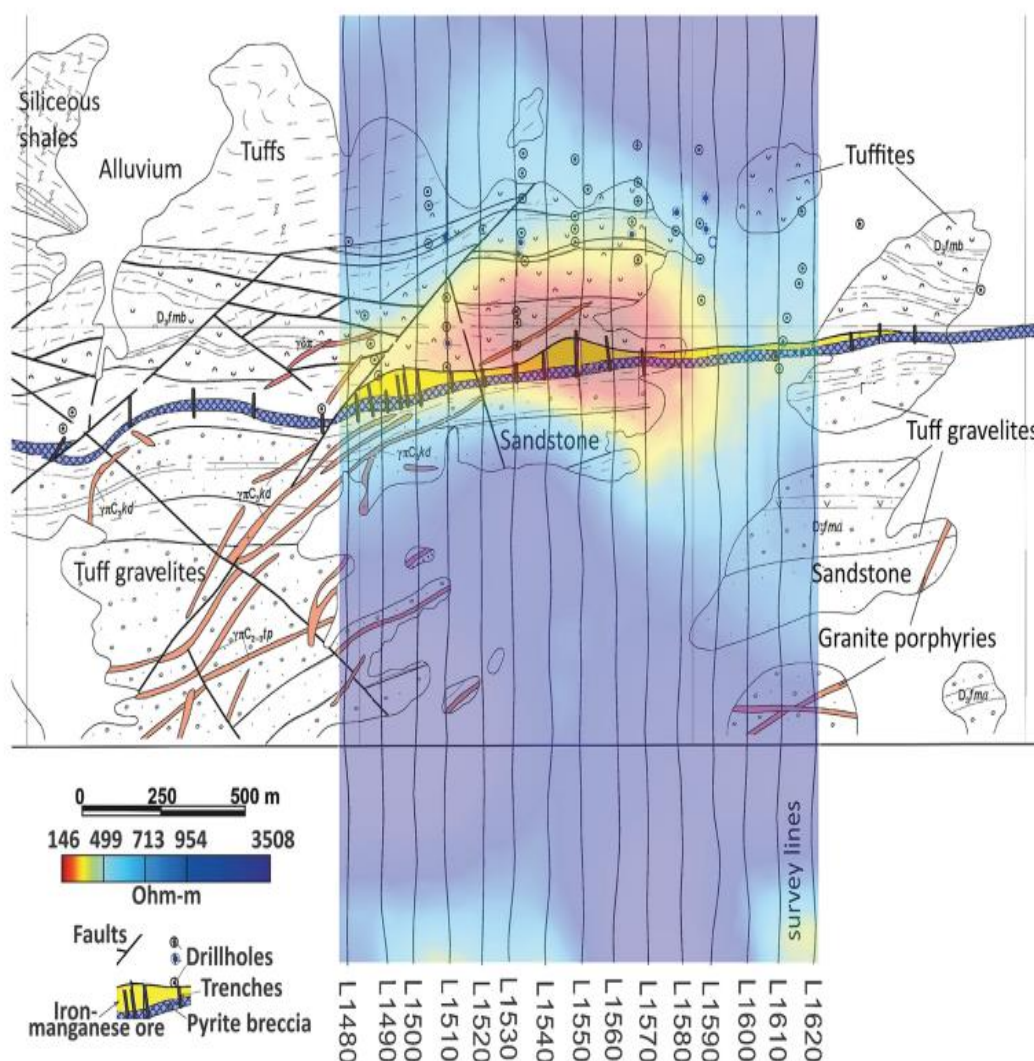


Рисунок 3 - Схематическая геологическая карта и цветовая имидж-карта среза по удельной электропроводности на глубине 600 м над уровнем моря. Проводящий слой красного цвета относится к месторождению Восточный Атабай.

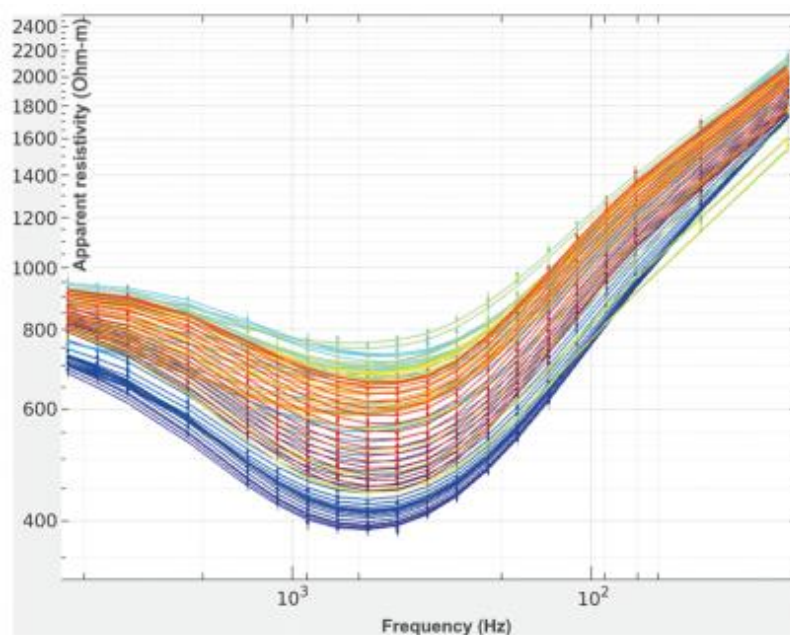


Рисунок 4 - Кривые кажущегося удельного сопротивления (точки - фактические значения, линии - смоделированные), полученные на станциях вдоль линии 1540, пересекающей месторождение Восточный Атабай

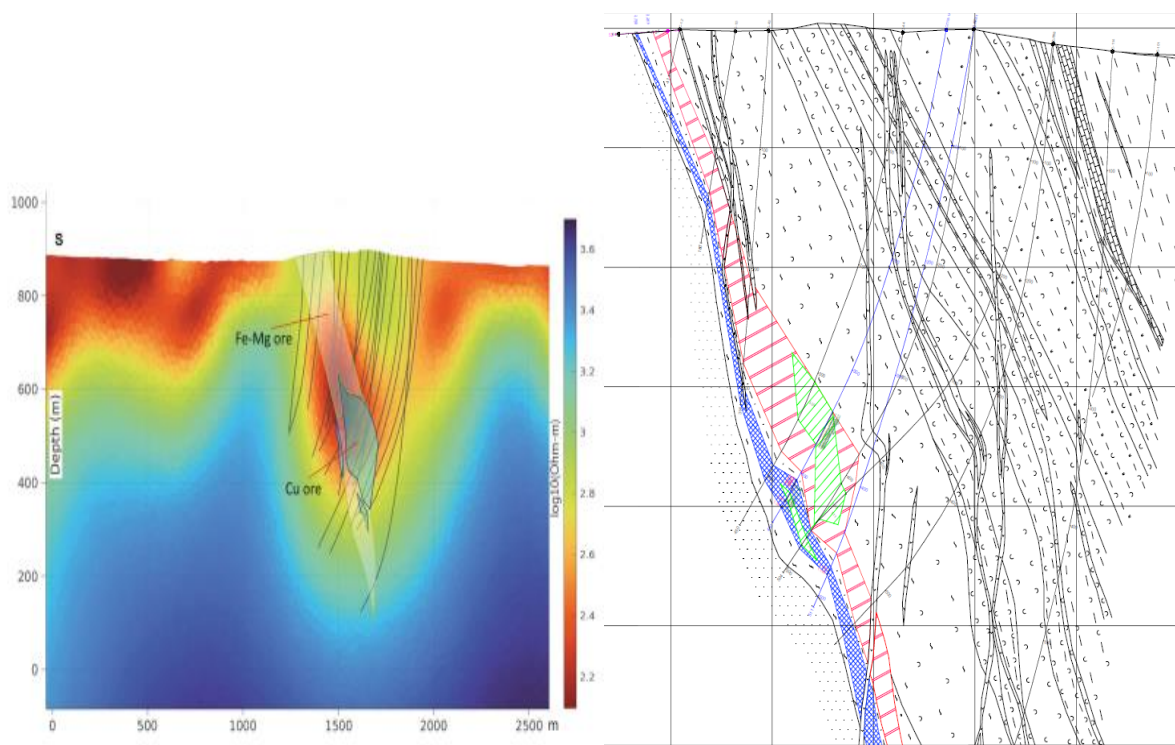


Рисунок 5 - Профиль удельного сопротивления по линии L1540. Также показаны контуры зон Fe-Mg и Cu, определенные по данным бурения. Траектории бурения показаны на профиле тонкими изогнутыми черными линиями

Данные бурения были использованы для построения геологической модели месторождения Восточный Атабай. Месторождение приурочено к маркирующему гематитизированному горизонту железо-марганцевых руд, распространяющемуся от поверхности до глубины более 700 м. Медные и свинцово-цинковые рудные зоны расположены на глубине от 300 до 600 м под поверхностью (рис. 5). Самые верхние проводящие объекты ассоциируются с аллювиальными отложениями и, вероятнее всего, с солончаком на южном фланге. Вторая проводящая зона, расположенная ниже 800 м над уровнем моря, находится в проницаемом стратиграфическом горизонте, содержащем рудоносные породы, и сосредоточена в верхней части меднорудного тела, выявленного при бурении. Этот пример показывает, что технология аэроэлектромагнитной разведки в естественном ЭМ-поле позволяет обнаруживать сложные геологические структуры, различать проводники на разных глубинах, начиная с приповерхностных, а также помогает в поисках и разведке полезных ископаемых.

Заключение

Применение инновационной аэроэлектромагнитной технологии MobileMT показало высокую эффективность при решении задач рудной геофизики на территории Казахстана. Полученные результаты подтверждают возможность надежного выявления как приповерхностных, так и глубинных проводящих структур, связанных с железомарганцевыми и полиметаллическими месторождениями. Технология обеспечивает высокое разрешение, достоверность и оперативность получения данных, а также позволяет значительно сократить объем наземных работ. Опыт применения MobileMT в пределах Успенского рудного пояса демонстрирует перспективность данного метода для комплексной геологоразведки и уточнения геоэлектрических моделей месторождений различного генетического типа в условиях сложного рельефа и развитого чехла четвертичных отложений.

Список литературы:

1. Багрянски, А.; Кузьмин, П.; Приходько, А. Эволюция AFMAG – расширение границ. Материалы расширенных тезисов докладов – 16-я конференция и выставка SAGA, Дурбан, ЮАР, 6–9 октября 2019 г.
2. Саттел, Д.; Уизерли, К.; Камински, В. Краткий анализ данных MobileMT. Материалы 89-й Международной выставки и ежегодного собрания Общества геофизиков-разведчиков, SEG, Сан-Антонио, Техас, США, 15-20 сентября 2019 г.
3. Приходько А., Багрянский А., Кузьмин П., Сирохей А. Аэромагнитная разведка в естественных полях – история развития и современные возможности. Минералы 2022, 12, 583.
4. Приходько А., Багрянски А., Уилсон Р., Беляков С., Есимханова Н. Обнаружение и восстановление критически важных систем минеральных ресурсов с помощью широкополосных магнитотеллурических измерений на естественных источниках с воздуха. Геофизика 2024, 89, WB13–WB23.
5. Лабсон, В. Ф.; Беккер, А.; Моррисон, Х. Ф.; Конти, У. Геофизическая разведка с использованием естественных магнитных полей звуковой частоты. Геофизика 1985, 50, 656–664.
6. Бостик, Ф.С.; Смит, Х.У. Исследование крупномасштабных неоднородностей Земли магнитотеллурическим методом. Proc. IRE 1962, 50, 2339–2346.
7. Приходько А., Багрянский А., Кузьмин П. Воздушная широкополосная электромагнитная томография естественного поля — конфигурации, возможности и преимущества. Минералы 2024, 14, 704.
8. Йоргенсен М., Жданов М. С., Грибенко А., Кокс Л., Сабра Х. Э., Приходько А. Трехмерная инверсия и интерпретация аэрофизических данных для определения порфировой системы, Фламмефельд, Гренландия. Минералы 2024, 14, 1130.
9. White Cliff Minerals Limited. Геофизические аномалии указывают на новые месторождения меди в проекте Rae. White Cliff Minerals Limited (ASX:WCN). Доступно

онлайн: <https://www.listcorp.com/asx/wcn/white-cliff-minerals-limited/news/geophysical-anomalies-reveal-new-copper-targets-at-rae-3118754.html> (по состоянию на 15 июля 2025 года).

10. Приходько А., Сирохей А., Багрянски А. Поиск глубинных золотоносных структур с помощью аэроэлектромагнитной разведки в естественном поле. Материалы 17-й конференции и выставки SAGA, Сан-Сити, Южная Африка, 28 ноября — 1 декабря 2022 г. Расширенные тезисы.

11. Аскарова Н. С., Роман А. Т., Портнов В. С., Копобаева А. Н., 2021. Диагностические признаки поисков месторождений атасуского типа (Центральный Казахстан) // Научный вестник Национального горного университета, № 5, с. 5–10.

А. Кенбаев

Научный руководитель: Омарова Г.М.

Satbayev University, Алматы, Казахстан

СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МАЛОСУЛЬФИДНЫХ ЗОЛОТОКВАРЦЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Аннотация. В статье рассмотрены особенности геологического строения рудных районов и участков оруденения, магматизма, вещественного состава руд и околорудно-измененных вмещающих пород на примере золоторудных казахстанских месторождений [4, 12]. Влияние структурного критерия проявляется во взаимосвязи крупных элементов разрывной тектоники и локальных структурных форм [3, 7]. Выявление и изучение глубинности формирования золоторудных месторождений приобретает актуальное значение, особенно при прогнозных оценках на глубину [8, 9].

Ключевые слова: фация, золото, формация, магматизм, тектоника, оруденение.

Современная изученность золоторудных объектов на территории Казахстана достаточно высокая [4, 12]. За более чем полувековую историю поисков, разведки, эксплуатации и детального изучения состава золотосодержащих месторождений получена надежная база данных, позволяющая оптимизировать процесс доизучения известных месторождений, поисков и разведки новых объектов золотодобычи, поставив его на индустриальную основу [2, 5].

Актуальность исследований золоторудных месторождений неимоверно возросла в связи с тем, что на сегодняшний день практически все месторождения кварцево-жильного типа с большими содержаниями золота почти отработаны [5, 11], пришло время обратить внимание на крупнообъемные месторождения с малыми содержаниями золота.

В первую очередь, оценка золоторудного потенциала должна базироваться на учете особенностей геологического строения рудных районов и участков оруденения, магматизма, вещественного состава руд и околорудно-измененных вмещающих пород [3, 6]. Влияние структурного критерия проявляется во взаимосвязи крупных (региональных) элементов разрывной тектоники и локальных структурных форм [7, 9]. Долгоживущие, неоднократно подновляющиеся разломы, фиксирующие участки с повышенной проницаемостью, благоприятствуют активной и многоактной магматической деятельности [11]. В свою очередь, характер, форма и степень проявления магматизма определяют специфику и многообразие структурных форм в размещении оруденения [7].

Краткий обзор существующих схем золоторудных формаций различных районов Казахстана показывает, что следует согласиться с мнением Н. В. Петровской (1968) о том, что классификационные признаки «должны проверяться в конкретных условиях, на детально изученных месторождениях» [1].

Выявление и изучение глубинности формирования золоторудных месторождений приобретают актуальное значение, особенно при прогнозных оценках на глубину [8, 9].

Таким образом, во вторичных кварцитах Казахстана в связи с адуляризацией обнаружены близповерхностные собственно золоторудные месторождения (Таскора, Архарлы, Кызылтас и др.) [4, 12]. В среднеглубинной (диапор-серицитовый) фации кварцитов установлена свинцово-цинково-медная минерализация с золотом (Караозек, Жорга и др.) [2, 6]. На основании этих данных можно заключить, что различным фациям кварцевых метасоматитов соответствуют разные типы гидротермального оруденения [10, 11]. Выявление закономерностей их размещения

с учетом тектоноструктурных факторов позволяет более обоснованно судить об эрозионном срезе, что должно учитываться при прогнозировании и проведении поисково-разведочных работ [3, 7].

На всех близповерхностных рудных объектах золота отмечается увеличение числа индикаторов золота с глубиной, причем выявляется зональное их распределение [5, 11], т. е. для разных объектов и горизонтов характерны свои элементы-индикаторы и спутники золота, что позволяет сопоставлять их, а иногда определять по ним уровень эрозионного среза коренного оруденения. На глубоких горизонтах Таскоринского убогосульфидного месторождения появляются свинец, цинк, медь, причем значительно увеличивается содержание свинца, характерного для верхних зон малоглубинных месторождений [10].

На примере молибденово-золоторудного месторождения Жаур (Северное Прибалхашье) видно, что рудовмещающие андалузитовые кварциты образовались при термальном воздействии интрузии на серицитовые фации [6], на что указывают рвущие контакты интрузии с внешними фациями метасоматитов, наложение ороговикования на пропилиты, перекристаллизация серицитовых кварцитов в грейзеноподобные мусковит-кварцевые породы сахаровидного облика, наложенный характер андалузита и т. д.

Наличие андалузитовых, диаспоровых кварцитов и грейзеноподобных монокварцитов может служить своеобразным индикатором непосредственной близости слабо вскрытых эрозией или залегающих вблизи дневной поверхности гранитоидных тел [7, 8].

Андалузитовые фации, заключающие медно-молибденовые, иногда с золотом, месторождения, как правило, пространственно приурочены к выходам гипабиссальных гранитоидов (гранитов, гранодиоритов) [3].

Практически все сколько-нибудь существенные проявления этой минерализации отмечаются в кварцитах гипабиссальной фации глубинности [8].

Изучение фациальной зональности золоторудного месторождения Коккия выявило, что на месторождении проявлена, в основном, внешняя зона (фация) — серицитовая [2, 6]. Минералы внутренних зон отмечаются как реликтовые (диаспоровая фация) и редко имеют самостоятельные обособления.

Идеальный ход последовательного развития минеральных фаций вторичных кварцитов на участке был нарушен, вероятно, прекращением поступления газов и растворов на данном участке или сменой кислотности [6], что согласуется с моделями метасоматических колонок [10, 11]. Все это вызвало выпадение фаций, типичных для формации вторичных кварцитов Казахстана, таких как корунд-андалузитовая, алунитовая, пиррофиллитовая и др. Проявленные фации, за исключением серицитовой, характеризуются недоразвитостью, непоследовательностью и частым наложением одних фаций на другие.

Максимальные содержания золота в метасоматитах наблюдаются во внутренних и ядерных частях колонки, т.е. в наиболее измененных зонах [11]. В результате было выявлено, что чем выше степень метасоматической проработки пород, тем богаче оруденение [5]. И чем больше мощность метасоматических изменений, тем больше мощность рудных зон.

В связи с вулканоплутонической формацией обнаружена малоглубинная пирит-арсенопирит-кварцевая убогосульфидная формация (Кварцитовые Горки, Окварцованная Зона Жолымбетского рудного поля, Северное Байлюсты и др.) [3, 7]. Рудоконтролирующие зоны разломов сопровождаются эксплозивными (автомагматическими) брекчиями, вблизи которых проявлено интенсивное окварцевание до образования вторичных кварцитов [11].

С ниже-среднедевонскими вулканогенными образованиями Шатской тектонической зоны связаны месторождения золото-барит-полиметаллического типа (Матсор, Жаналык, Айгабак) [4, 12], контролируемые дорудными габбро-диабазовыми дайками.

В аналогичной обстановке находятся золото-полиметаллические месторождения (Кайнарбулак, Жусабай, Жорга, 3 Сараозек и др.) Джунгаро-Балхашской герцинской

миогеосинклинальной системы [4, 12]. Они расположены в бортовой части Токрауского мегасинклинория, среди толщ кислых и средних эффузивов верхнепалеозойского возраста (С2-з?). Присутствие базальта в их составе свидетельствует о значительной дифференциации продуктов вулканизма [8].

В зонах со слабодифференцированным магматизмом элементы-спутники золота играют резко подчиненную роль [5]. В таких зонах распространена золото-серебряная минерализация, относящаяся к близповерхностной формации и ассоциирующаяся с андезит-дацит-липаритовым вулканизмом [10, 11]. Промышленные представители адуляр-кварцевой формации обнаружены в вулканогенных структурно-металлогенических зонах (Калмакэмельской, Токрауской, Илийской) Джунгаро-Балхашской системы [4, 12]. Контуры зон вписываются в верхнепалеозойский вулканический пояс. Золотое оруденение связано с постороженным этапом активизации средне-верхнекарбонowego (месторождения Таскора, Шарык и др.) и нижнепермского (Архарлы) времени [3, 5].

С наиболее поздними кислыми вулканиками ассоциируются собственно золоторудные месторождения, описанные как близповерхностная гидрослюдисто-пирит-кварцевая формация (Кызылтас и др.) [7]. Золотая минерализация контролируется зонами гидротермальной аргиллизации, образованной по липаритам и туфам кислого состава [11].

Как самостоятельный (арсенопиритовый) тип золоторудной минерализации рассматриваются кобальтоносные золото-арсенопиритовые руды, формирующие локальные скопления в зонах дробления среди терригенных пород Итмурундинской структурно-металлогенической зоны [2].

Общей для золоторудных формаций Джунгаро-Балхашской системы является их приуроченность к активизированным в верхнепалеозойское время зонам разломов северо-западного и широтного направлений и особенно к узлам их сопряжений [4, 12]. Таким образом, металлогения этого региона приобретает линейно-узловой характер, что позволяет выделить в его пределах золотоносные зоны и продуктивные рудные узлы, соответствующие зонам глубинных разломов и узлам их сопряжения [8, 9].

Кварцево-жильные месторождения (Васильевское, Акжал, Ашалы) золотоносного пояса Калбы пространственно связаны с жесткими образованиями Терс-Аурыкского горста [4]. Они, как и месторождения типа минерализованных зон (Бакырчик, Эспе, Миялы), контролируются узлами сопряжения региональных северо-западных и меридиональных разломов с рудоконтролирующими (скрытыми) субширотными [3, 7]. Участки проявления этих разломов характеризуются блоковым строением. Наиболее рудоносны блоки второго порядка (например, Кызыловский). Для Западно-Калбинского синклинория, где развиты крупные месторождения типа минерализованных (убогосульфидных) зон с наложенной золото-кварцевой минерализацией, характерно значительное опускание (более 1 км) каледонского фундамента по глубинному разлому [8].

Таким образом, устанавливается общая закономерность, выражающаяся в приуроченности основных рудных узлов существенно сульфидных и убогосульфидных малоглубинных золоторудных формаций к узким надразломным прогибам (опущенным блокам) [4, 12].

Приведенный материал показывает, что собственно золоторудные и золотосодержащие медные и полиметаллические месторождения Казахстана тесно связаны с «фрагментами» древних устойчивых поднятий, соответствующих отчетливо выраженным максимумам силы тяжести [7]. Зона глубинных разломов фундамента и связанные с ней дифференциальные блоковые дислокации древнего фундамента определяют тектоническую подготовленность и золотоносность отдельных рудных регионов [8, 9]. Региональные зоны повышенной трещиноватости являются рудоконтролирующими и определяют положение рудных поясов. Исходя из этого можно подчеркнуть значение «жестких» структур, обладающих минимальными мощностями земной коры и отличающихся блоковым строением, обусловленным неоднократным

подновлением древних глубинных разломов [3, 7]. Особого внимания заслуживают слабо изученные горст-антиклинали с неглубоко залегающим жестким фундаментом.

Повсеместно отмечается, что богатые золотом руды приурочены к участкам зон разломов, где присутствуют породы с низкой проницаемостью и происходит концентрация рудоносных растворов [10, 11]. Поэтому эти факторы относятся к важным и очень важным для поиска промышленного золотого оруденения. В тоже время, в породах с высокой проницаемостью гидротермальные растворы распределяются по большому объёму породы, а золото расплывается в виде слабо минерализованных масс, среди которых промышленные концентрации золота практически отсутствуют [5]. Поэтому такие породы классифицируются слабо или умеренно благоприятные нахождение объектов, пригодных для промышленной разработки.

На всех хорошо изученных промышленных гидротермальных месторождениях золота наиболее благоприятным условием для концентрации промышленных содержаний золота является наличие интенсивного зон окремнения в кремнистых туфах в приповерхностных условиях [3, 11]. Отсутствие этих двух факторов является крайне неблагоприятным критерием локализации промышленного золотого оруденения.

Многочисленные зоны окремнения, секущие кварцевые жилы, цементирование кремнием брекчиевых трубок или тел, формирующиеся при периодическом закрытии и последующем открытии путей движения золотоносных растворов, являются крайне положительными факторами для нахождения промышленных золоторудных тел [6, 11].

Следует иметь в виду, что участки с наличием аномальных проявлений яшм, ореолов мышьяка и сурьмы являются благоприятными на выявление промышленного гидротермального золотого оруденения только в том случае, если они располагаются в пределах благоприятных тектонических структур, в которых образуются благоприятные гидрогеологические системы [2, 5].

Выводы: Проведённый анализ показал, что формирование малосульфидных золото-кварцевых месторождений Казахстана контролируется сочетанием глубинных тектонических разломов, особенностей магматической активизации и фациальной зональности гидротермально-метасоматических процессов. Наиболее продуктивные рудные узлы приурочены к надразломным прогибам и жёстким структурным блокам, обеспечивающим локализацию рудоносных растворов. Установлено, что максимальные концентрации золота формируются в наиболее интенсивно изменённых метасоматитах внутренних и ядерных зон колонок, что подчёркивает значимость степени гидротермальной переработки для оценки перспектив оруденения. Вулкано-плутонические комплексы, эксплозивные брекчии, зоны окремнения и аргиллизации являются важными рудоконтролирующими факторами, определяющими перспективность участков. Таким образом, учёт тектоноструктурных условий, характера магматизма и фациальной зональности метасоматитов позволяет существенно повысить точность прогнозных оценок и эффективность поисково-разведочных работ на золото в пределах Казахстана.

Список литературы:

1. Петровская Н. В. Золото в рудах. — М.: Недра, 1968.
2. Бородаевский Н. М., Гасанов И. Г. Геология золоторудных месторождений. — М., 1985.
3. Куницын В. Е. Структурные условия формирования золоторудных месторождений. — Л., 1989.
4. Омарова Г. М., Айдарбаев А. А. Геология и металлогения Казахстана. — Алматы, 2012.
5. Сотников В. И., Добрецов Н. Л. Металлогения золота. — Новосибирск, 2001.
6. Буряк В. А. Гидротермальные метасоматиты. — М., 1990.
7. Быховский Л. З. Тектоника и рудообразование. — М., 1987.
8. Коваленко В. И., Ярмолук В. В. Магматизм Центральной Азии. — Новосибирск, 1990.

9. Rundquist D., Goldfarb R. Structural control of gold deposits in Central Asia. *Ore Geology Reviews*, 2012.
10. Groves D. I. et al. Gold Deposits in Metamorphic Belts. *Economic Geology*, 1998.
11. Large R.R. Hydrothermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology*, 2007.
12. Сулейманов А. А. Металлогеническая зональность Казахстана. — Алматы, 2005.

Н. Нурмухамбетова

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева,
Алматы, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СПАССКОЙ МЕДНОРУДНОЙ ЗОНЫ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)

Аннотация. В статье рассматривается применение современных цифровых технологий при изучении геологического строения Спасской меднорудной зоны Центрального Казахстана. Исследование основано на интерпретации данных, полученных в результате 3D-моделирования, выполненного в специализированном программном комплексе Leapfrog Geo. Использование геоинформационных систем (ГИС) позволило уточнить пространственные взаимосвязи рудных тел и разломных структур, а также визуализировать сложное геологическое строение района. Применение 3D-моделирования и ГИС-технологий способствует более точной оценке морфологии рудных тел и совершенствованию геолого-прогностических моделей.

Ключевые слова: 3D-моделирование, ГИС, Спасская меднорудная зона, Leapfrog Geo, геологическая структура, визуализация.

Введение. Современные методы цифрового моделирования активно применяются для анализа геологического строения и прогноза рудоносности месторождений. Одним из наиболее эффективных направлений является использование 3D-моделирования и геоинформационных технологий, которые позволяют интегрировать разнородные геологические, геофизические и геохимические данные, создавая на их основе пространственные модели недр.

Спасская меднорудная зона Центрального Казахстана является одним из ключевых рудных узлов региона и представляет интерес для комплексного анализа с применением цифровых методов. Целью данного исследования является демонстрация возможностей 3D-моделирования и ГИС-подхода при интерпретации геологического строения Спасской зоны и уточнении пространственных закономерностей размещения рудных тел.

Краткая характеристика района исследований. Территория исследований расположена в пределах Карагандинской области и охватывает Абайский, Бухар-Жырауский и Осакаровский районы. Географически район приурочен к Спасскому антиклинорию, протягивающемуся в субширотном направлении более чем на 300 км при ширине до 40 км. Зона имеет медную металлогеническую специализацию и включает ряд перспективных объектов на поиски медных и золотых руд.

В геотектоническом отношении Спасская меднорудная зона расположена в области сочленения ранних и поздних каледонид и герцинид Жунгаро-Балхашской складчатой области. Современный структурный рисунок региона сформировался в результате постварисцийских тектонических движений, приведших к совмещению разновозрастных структурно-формационных комплексов. Основными тектоническими элементами являются Тектурмасский офиолитовый пояс, Спасская зона смятия и Центрально-Казахстанский сдвиг, контролирующие размещение рудных тел.

Породы, слагающие зону, представлены метаморфическими, вулканогенными и осадочными толщами палеозойского возраста, прорванными гранитоидными интрузиями герцинского магматизма (Топарский, Коктасский, Коктасжальский массивы). Эти породы контролируют структурно-тектонические условия формирования рудных зон и играют важную роль при построении 3D-моделей.

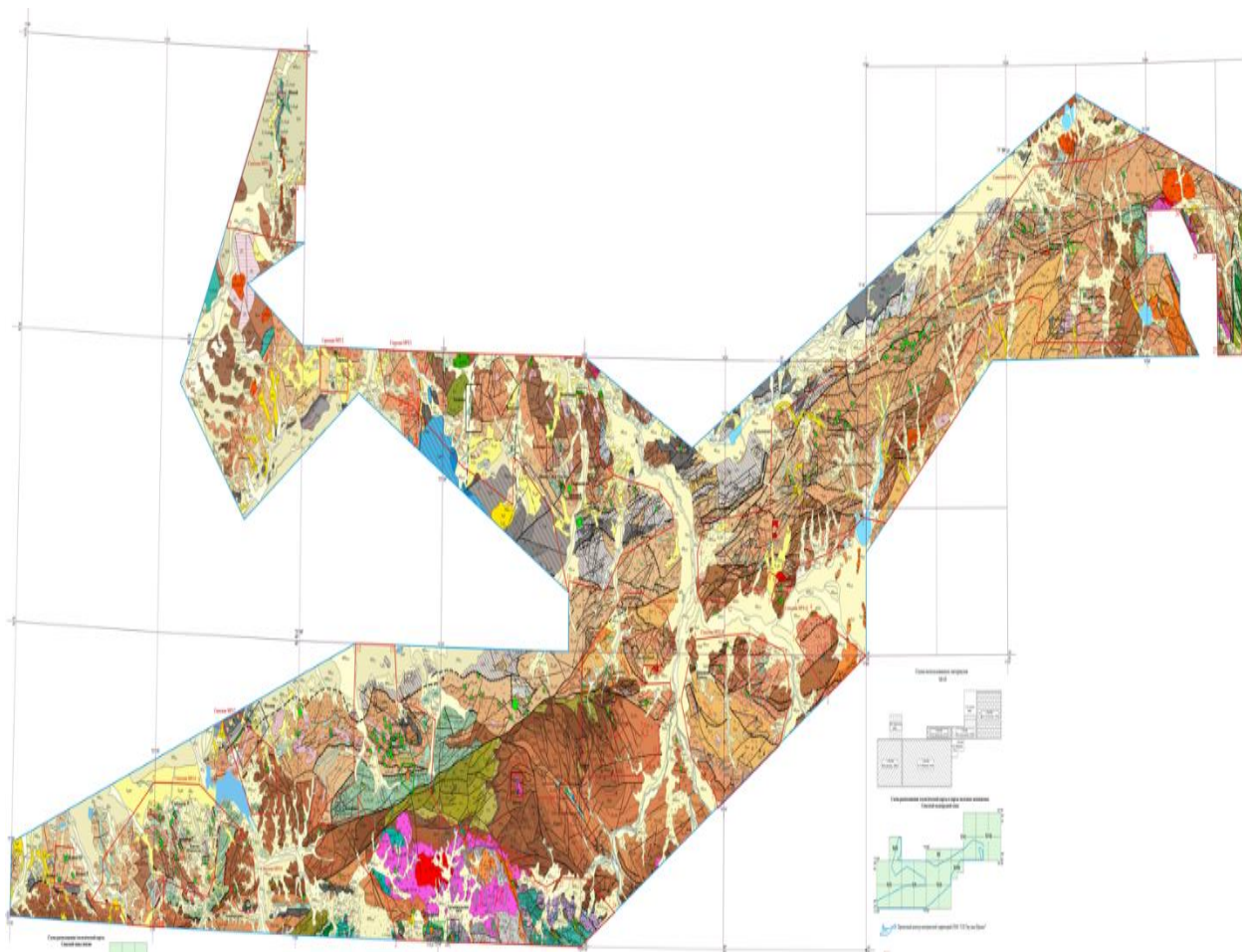


Рисунок 1 - Обзорная карта района исследований (Спасская меднорудная зона, Центральный Казахстан)

Методы и материалы. Исходными материалами послужили геологические и геофизические данные, отчётные материалы по Спасской меднорудной зоне, геологические карты и схемы тектонических нарушений. Моделирование выполнено в программном комплексе Leapfrog Geo, предназначенном для построения трёхмерных каркасных моделей геологических тел и структур.

ГИС-подход использовался для пространственного анализа данных — совмещения геологических карт, геофизических разрезов, результатов бурения и цифровых моделей рельефа. Основное внимание уделялось интеграции структурных данных (разломов, надвигов, зон смятия) с пространственными моделями рудных тел и литологических контактов. Использование методических подходов, позволило провести комплексную обработку данных и интерпретацию геолого-структурных связей на основе ГИС и 3D-технологий.

Для практической демонстрации возможностей 3D-моделирования были использованы данные по нескольким месторождениям, входящим в Спасскую меднорудную зону. Наиболее информативными являются материалы по рудопроявлениям Шахтное, Теректы и Коктас-Жартас, где на основе буровых данных и геологических разрезов были построены каркасные модели рудных тел. Моделирование выполнялось в программных комплексах Micromine и Leapfrog Geo с применением данных опробования при бортовом содержании меди 0,1 %. Каркасы рудных тел использовались для анализа морфологии и взаимосвязи минерализованных зон с тектоническими нарушениями.

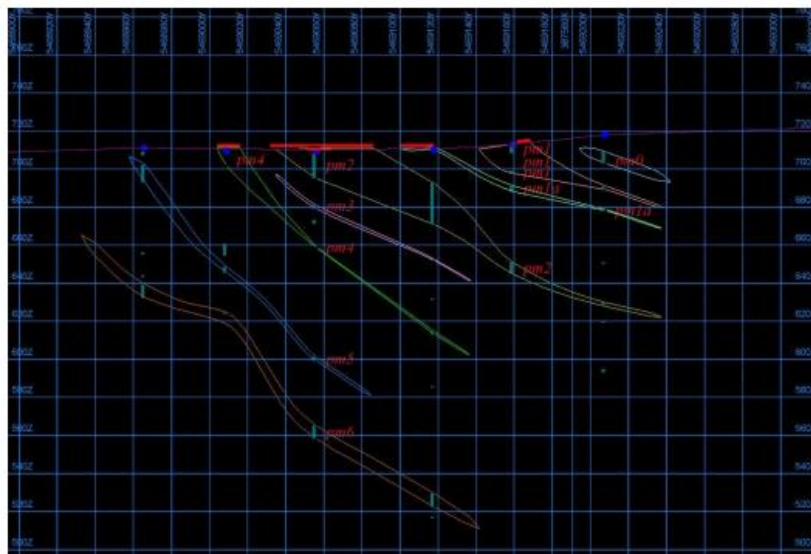


Рисунок 2 - Интерпретация рудных тел (разрез 1, рудопроявление Шахтное)

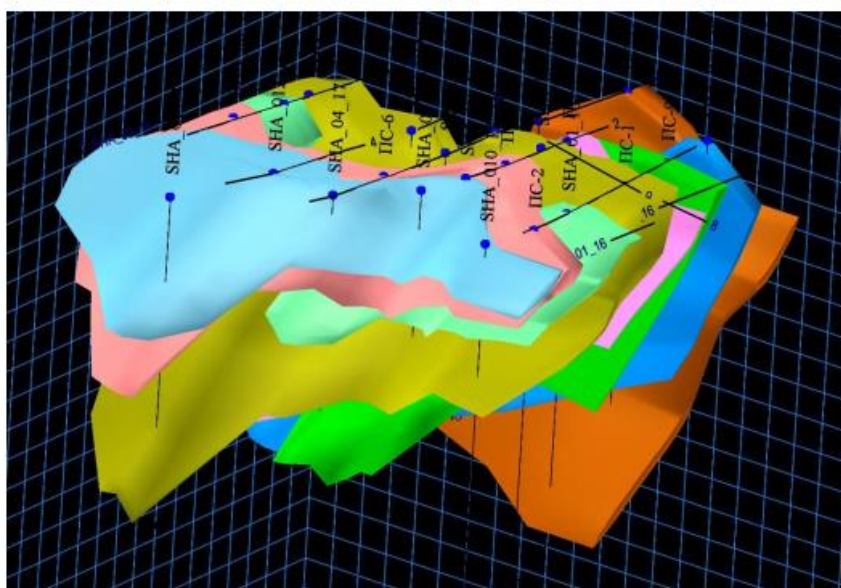


Рисунок 3 - Каркасная 3D-модель рудных тел рудопроявления Шахтное

Результаты. В результате обработки отчётных данных построена трёхмерная модель геологического строения Спасской меднорудной зоны, включающая каркасы основных рудных тел, тектонических зон и литологических границ. Моделирование позволило уточнить конфигурацию и пространственное положение рудных тел, определить зоны их сгущения и приуроченности к тектоническим нарушениям.

Разрывные структуры — Тектурмасский офиолитовый пояс, Спасская зона смятия и система продольно-поперечных разломов — играют ведущую роль в рудоконтроле. В пределах этих зон наблюдается повышенная трещиноватость пород, интенсивное окварцевание и локализация сульфидной минерализации. Именно эти тектонические элементы становятся основными объектами 3D-интерпретации.

Совмещение данных о разломах с геофизическими картами магнитного и гравитационного поля в ГИС позволило выявить корреляцию между линейными аномалиями и зонами тектонических нарушений. Это позволило не только уточнить их геометрию, но и выделить наиболее перспективные участки для поисков оруденения.

В ГИС-среде создано несколько тематических слоёв:

- структурно-тектонический слой, содержащий координаты и характеристики разломов;
- геофизический слой, отражающий магнитные и плотностные аномалии;
- модель рельефа (ЦМР), используемая для анализа морфоструктурных особенностей;
- 3D-модель рудных тел, построенная в Leapfrog Geo.

Интеграция этих данных дала возможность оценить пространственные соотношения между разломами, интрузиями и рудными телами. Выявлено, что большинство минерализованных зон приурочено к узлам пересечения продольных и поперечных разломов, где создавались благоприятные условия для миграции рудоносных флюидов.

Применение 3D-моделирования и ГИС для анализа тектонических структур.

Тектоническое строение Спасской зоны, характеризующееся сложной системой надвигов и сдвигов, требует пространственного анализа, который невозможно выполнить в двумерных схемах. Применение 3D-моделей позволило реконструировать пространственную геометрию тектонических нарушений и визуализировать взаимное положение структурных блоков.

Согласно подходам, использование трёхмерных геомodelей в сочетании с геоинформационными инструментами повышает достоверность интерпретации разломных систем и позволяет моделировать направления распространения минерализации. В рамках проведённого анализа установлено, что тектонические зоны смятия контролируют как размещение рудных тел, так и морфологию локальных структур, являясь путями флюидной циркуляции.

Визуализация в трёхмерном пространстве также позволила уточнить рельеф кровли и подошвы рудных тел, определить их простираие и глубину залегания. Построенные цифровые модели послужили основой для геолого-прогностических схем и оценки перспективности отдельных участков Спасской зоны.

Выводы. Применение 3D-моделирования и геоинформационных технологий при изучении Спасской меднорудной зоны позволило повысить точность геологической интерпретации и визуализировать сложное строение рудных тел. Трёхмерная интеграция данных о разломах, литологии и геофизических аномалиях дала возможность выявить пространственные закономерности рудоконтроля и уточнить положение перспективных зон.

Спасская меднорудная зона представляет собой сложное тектоническое образование, сформировавшееся в условиях коллизионных процессов Центрального Казахстана. Её структура определяется сочетанием офиолитовых, островодужных и рифтогенных комплексов, а размещение рудных тел — контролируется системой глубинных разломов. Применение методов 3D-моделирования и ГИС позволило перейти от традиционного картографирования к пространственной интерпретации геологических данных, что открывает возможности для комплексной оценки минерально-сырьевого потенциала региона.

Список литературы:

1. Богданов Ю.А. Геоинформационные технологии в геологии. – М.: Недра, 2018. – 256 с.
2. Хомяков А.А., Петров В.И. Цифровое моделирование геологических структур. – Алматы: КазННТУ, 2020. – 178 с.
3. Асубаева С.К. Применение ГИС в геологических исследованиях. – Алматы: КазННТУ, 2021. – 145 с.

4. Галиева Р.Ш., Тулегенов Е.К. Использование ГИС-технологий при геолого-структурном анализе месторождений Центрального Казахстана // Геология и полезные ископаемые Казахстана. – 2023. – № 2. – С. 33–41.
5. Ибраев К.К., Ахметов С.Б. Интеграция геофизических данных и ГИС в моделировании разломных зон // Геология и разведка Казахстана. – 2021. – № 4. – С. 22–30.
6. Vasiliev A.N. GIS Analysis in Mineral Prediction for Kazakhstan Regions // Bulletin of Satbayev University. – 2022. – № 3. – P. 45–52.
7. Calcagno P., et al. Geological 3D Modeling and Uncertainty: The GeoModeller Approach // Computers & Geosciences. – 2014. – Vol. 34. – P. 127–137.
8. McNerney P., et al. 3D Geological Modeling for Mineral Exploration // Ore Geology Reviews. – 2018. – Vol. 95. – P. 80–93.
9. Turner A.K. 3D Geological Modeling: Current State and Future Directions // Computers & Geosciences. – 2021. – Vol. 152. – 104759.
10. Groves D.I., Santosh M. Tectonic Controls on Mineral Systems in the Central Asian Orogenic Belt // Ore Geology Reviews. – 2020. – Vol. 122. – 103523.
11. ARANZ Geo. Leapfrog Geo – 3D Geological Modeling Software Documentation. – Christchurch, New Zealand, 2023.
12. Smith J., Brown K. Integration of GIS and 3D Modeling in Mineral Exploration // Journal of Applied Geoscience. – 2024. – Vol. 11(2). – P. 65–78.

А. Пупина

Научный руководитель: С.К. Асубаева

Satbayev University, Алматы, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ГИС) И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОЗШАКОЛЬ

Аннотация. В статье рассматриваются особенности применения геоинформационных систем (ГИС) и технологий трёхмерного (3D) моделирования при геологоразведочных работах, проектировании и эксплуатации Бозшакольского медно-порфирового месторождения. Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения точности геологоразведочных работ и эффективности разработки месторождений через внедрение современных цифровых технологий. Использование цифровых инструментов позволяет интегрировать, обрабатывать и анализировать пространственные данные, что значительно повышает точность геологического моделирования и эффективность проектных решений. Цель статьи – показать возможности и преимущества внедрения ГИС и 3D-моделирования в процессе проектирования и разработки месторождения Бозшаколь, направленные на повышение точности геологических прогнозов и оптимизацию добычи полезных ископаемых. На основе геологоразведочных данных созданы трёхмерные модели, отражающие распределение рудных тел и содержание полезного компонента – меди. Применение ГИС-технологий обеспечивает визуализацию геологической структуры и оптимизацию процессов разработки месторождения.

Ключевые слова: геоинформационные системы, 3D-моделирование, каркасная модель, блочная модель, месторождение Бозшаколь.

Введение. Современный этап развития горнодобывающей отрасли Казахстана характеризуется активным внедрением цифровых технологий, среди которых особое место занимают геоинформационные системы (ГИС) и трёхмерное (3D) моделирование. Эти инструменты позволяют интегрировать геологические, геофизические, маркшейдерские, инженерные, а также экологические данные в едином цифровом пространстве. Одним из показательных примеров их успешного применения является Бозшакольское медно-порфировое месторождение, расположенное в Павлодарской области, разрабатываемое компанией KAZ Minerals.

Месторождение Бозшаколь является одним из крупнейших месторождением меди в Казахстане с запасами более 1 млрд тонн руды. Разработка ведется открытым способом с применением современных систем управления горными работами. Сложность геологического строения, наличие многочисленных тектонических нарушений и масштабность добычи требуют точного пространственного анализа, что делает применение ГИС и 3D-моделей особенно актуальным.

Основная часть. Геоинформационные системы представляют собой инструменты для сбора, хранения, анализа и визуализации пространственных данных. На каждом горнодобывающем предприятии, в том числе на месторождении Бозшаколь, возникает широкий круг задач, связанных с обработкой больших объемов информации, многократным выполнением однотипных расчетов и формированием значительного количества графических материалов. Для решения этих задач эффективно применяются геоинформационные системы (ГИС), которые позволяют автоматизировать и оптимизировать все основные процессы геолого-технического моделирования и планирования разработки месторождения [1].

С помощью ГИС на Бозшакольском месторождении можно полностью автоматизировать следующие виды расчетов и операций:

- 1) обработка и анализ данных опробования;
- 2) составление геологических карт, разрезов с точностью пространственной привязки;
- 3) создание трехмерных (каркасных или блочных) моделей рудных тел, топографии, поверхностей тектонических нарушений и т.д.;
- 4) подсчет и погашение запасов с любыми заданными кондициями и ограничениями;
- 5) быстрый пересчет ранее полученных результатов при появлении новой информации о месторождении;
- 6) расчет количества и качества руды в блоках и на участках месторождения, намеченных к отработке в процессе планирования;
- 7) оптимизация рудопотоков предприятия по количеству и качеству для обеспечения заданного качества руды, поступающей на переработку [2].

Говоря о горно-геологических компьютерных технологиях и применении геоинформационных систем (ГИС), можно выделить основные преимущества их использования: полное использование геологической информации во всех решаемых задачах, что обеспечивает максимально точный учет движения и состояния запасов минерального сырья; возможность проведения многовариантных расчетов развития горных работ с применением ГИС-моделирования и получение оптимальных стратегических решений, способствующих значительному экономическому эффекту; создание автоматизированной системы контроля и управления качеством руды на основе пространственных данных, интегрированных в ГИС; автоматизация процесса создания графических материалов – геологических карт, разрезов, 3D-моделей и других визуальных представлений данных [3].

Трехмерное моделирование является неотъемлемой частью современного геоинформационного подхода к исследованию, оценке и разработке месторождений, обеспечивая высокую точность, наглядность и эффективность геологического анализа. 3D-моделирование – это современный инструмент, используемый в геологоразведке и горнодобывающей промышленности для создания пространственных цифровых моделей месторождений, учитывающих все геологические, геофизические, геохимические и технологические данные [4].

Главная цель трехмерного моделирования – визуализация геологического строения месторождения и получение максимально наглядного представления о распределении рудных тел, вмещающих пород, тектонических нарушений.

На месторождении Бозшаколь с использованием геоинформационных систем были построены две модели: каркасная, отображающая пространственную конфигурацию рудных тел, и блочная, обеспечивающая количественную оценку распределения полезных компонентов в пределах рудного тела. Модели создаются с использованием программных комплексов Micromine, Surpac и Datamine, которые позволяют построить цифровую модель рудного тела и подсчета запасов по категориям; моделировать карьер и хвостохранилище; рассчитать объем добычи.

Каркасная модель геологического тела наиболее полно и достоверно описывает его форму, вследствие чего достигается более высокая достоверность подсчета объема тела. Кроме того, каркасно-объемная модель позволяет считать запасы в заданном контуре любой конфигурации и автоматически строить геологические разрезы по произвольно выбранному сечению. Каркасная модель наиболее наглядно отображает особенности геологического строения и естественные закономерности распределения полезного компонента вдоль напластования горных пород. В отличие от блочной модели она позволяет более эффективно прогнозировать качественные и технологические параметры геолого-минералогических типов, имеющих субвертикальное строение, в местах недостаточного изучения сетью геологоразведочных скважин [2].

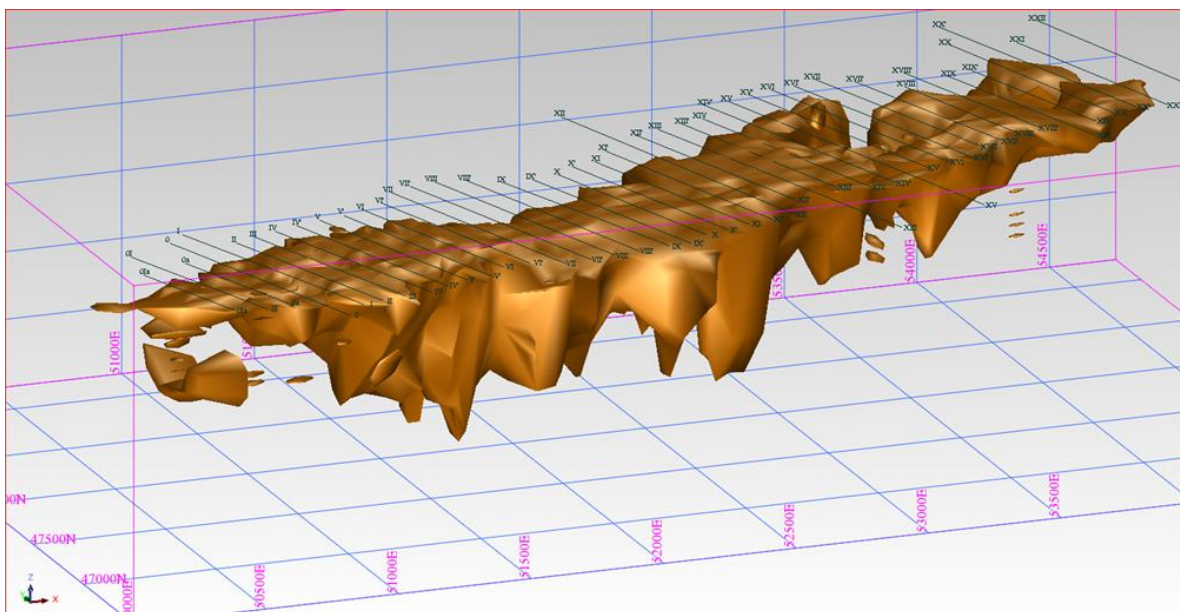


Рисунок 1 - Каркасная модель по борту меди 0.10

Для построения каркасной модели предварительно создаётся набор замкнутых двумерных или трёхмерных контуров, которые впоследствии объединяются в единую каркасную модель. Проинтерпретированные стринги были использованы для создания трехмерных замкнутых каркасных моделей для минерализованных зон бортов 0.10%, 0.20%, 0.30% меди. Каждый разрез выводился на экран совместно с ближайшим соседним проинтерпретированным разрезом, после чего стринги соответствующих тел использовались для создания каркасной модели зон минерализации, между разрезами []. Если соответствующее тело не протягивалось на соседнем разрезе (не существовало), то бралась копия стринга этого тела с предыдущего разреза, проецировалась на расстояние, равное половине расстояния между этими разрезами и уменьшалось на 50%. После этого тело замыкалось. Промежуточные разрезы не содержали информации достаточной для создания интерпретации по всей длине основных разведочных линий. Поэтому вначале были созданы каркасные модели между основными разрезами. Затем с этих каркасных моделей были сделаны срезы вдоль промежуточных разрезов. Эти срезы были отредактированы и привязаны к имеющимся интервалам буровых скважин, а затем использованы для создания каркасной модели. Трёхмерное изображение окончательных каркасных моделей рудных тел показано на рисунке 1.

Блочная модель запасов представляет собой цифровую модель месторождения, в которой геологические зоны разбиты на элементарные блоки, каждому из которых присвоены рассчитанные значения содержания полезных компонентов и другие характеристики. Хотя блочная модель является концептуальным представлением геологической структуры месторождения, она играет ключевую роль в оценке тоннажа и качества запасов. Поэтому крайне важно, чтобы основные элементы геологической модели были точно отражены в блочной модели [5].

На месторождении Бозшаколь была построена блочная модель с заливкой блоков по содержанию меди (рис. 2), что позволяет наглядно оценить распределение меди в пространстве и выделить наиболее перспективные участки для разработки. Такая визуализация способствует более точному планированию горных работ, оптимизации добычи и повышению экономической эффективности проекта.

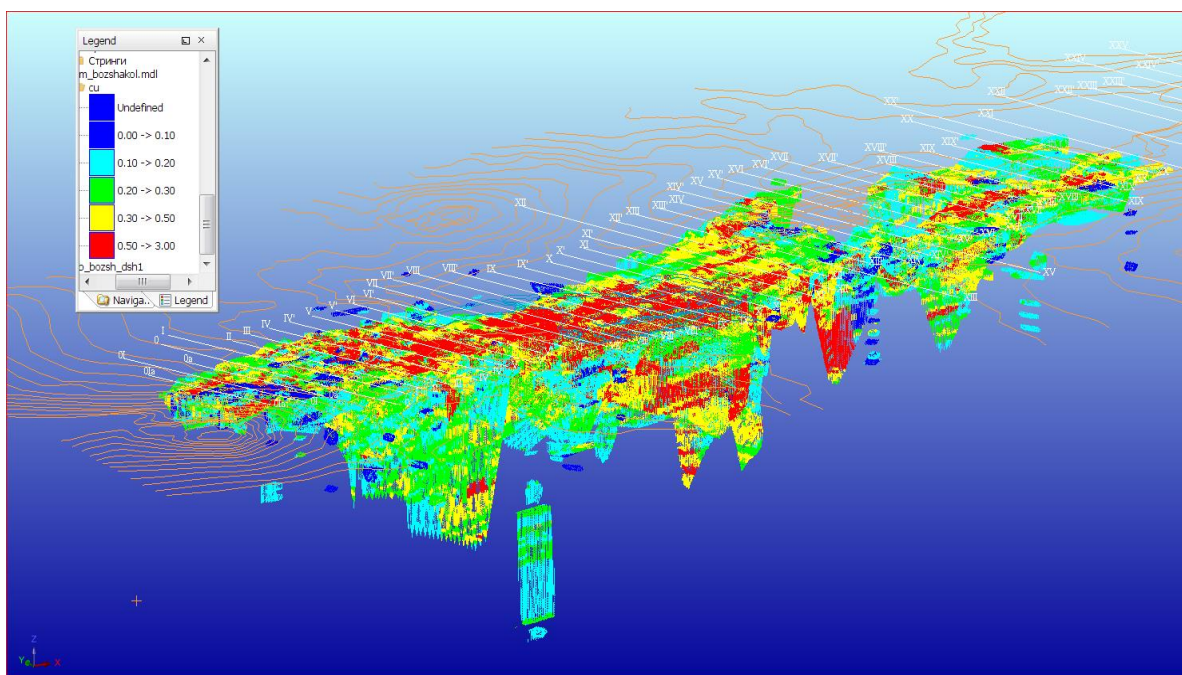


Рисунок 2 - Блочная модель с заливкой блоков по содержанию меди

Применение цифровых технологий на месторождении Бозшаколь позволило значительно повысить качество и эффективность геологического моделирования и горнодобывающих процессов. Благодаря использованию ГИС и 3D-моделирования удалось:

- 1) создать точные пространственные модели месторождения, отражающие геологическую структуру, рудные тела и тектонические нарушения;
- 2) построить каркасные и блочные модели, которые обеспечивают детальную оценку запасов и распределения полезного компонента – меди;
- 3) визуализировать данные в трехмерном пространстве, что улучшило понимание сложных геологических процессов;
- 4) оптимизировать планирование добычных работ, сократить издержки и повысить безопасность горных работ за счет более точного прогнозирования геологических условий.
- 5) обеспечить интеграцию и анализ большого объема геологических, геофизических, геохимических данных, что способствует комплексному подходу к разработке месторождения.

Выводы. Современный этап развития горнодобывающей отрасли Казахстана неразрывно связан с активным внедрением цифровых технологий, в частности геоинформационных систем (ГИС) и трехмерного моделирования. На примере Бозшакольского месторождения видно, как интеграция этих инструментов позволяет существенно повысить точность геологического моделирования, оптимизировать процесс разработки. Использование каркасных и блочных моделей обеспечивает детальное пространственное понимание распределения запасов и геологических особенностей, что невозможно без цифровых данных. Внедрение ГИС способствует комплексному анализу больших массивов геологических, геофизических и технологических данных. Месторождение Бозшаколь подтверждает, что цифровизация является ключевым фактором устойчивого развития горнодобывающей отрасли.

Список литературы:

1. Петин А.Н., Васильев П.В. Геоинформатика в рациональном недропользовании. – Белгород: Издательство БелГУ, 2011. – 268 с.

2. Шарафутдинов Д., Омарова З., Мамбеткулова А. Месторождение меди Бозшаколь. – Алматы, 2014. – С. 185.
3. Кротова С.Ю. Автоматизированные системы управления и оптимизации процессов в горнодобывающей промышленности // Управление инновациями: теория, методология, практика / Компьютерные и информационные науки. – Санкт-Петербург, 2013. – С. 33–42.
4. Басаргин А.А. Методика создания трехмерных геологических моделей месторождений с использованием геоинформационной системы Micromine // Интерэкспо Гео-Сибирь – 2015. – С. 72–77.
5. Медведева Т.Ю., Суворова Е.Б., Гущин А.С., Матюхина Т.Н., Минина М.В., Сахань Ю.В., Еремина Е.Г. Геоинформационные системы как основной инструмент для решения задач мониторинга недропользования // Геология нефти и газа. – 2021. – №3. – С. 51–65.

А. Жакып, А. Китуева, Р. Узбекгалиев

Satbayev University Алматы, Казахстан

ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРХНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЮЖНО-ТОРГАЙСКОГО БАСЕЙНА

Аннотация. В статье рассматриваются обстановки осадконакопления и фациальная зональность верхнепалеозойских комплексов Южно-Торгайского бассейна. На основе данных бурения, геофизических исследований и сейсморазведки выполнена реконструкция условий седиментации и анализ закономерностей пространственного распределения фаций. Установлено, что развитие бассейна происходило в условиях смены тектонических режимов — от растяжения в девоне до сжатия в перми, что определило литологическое разнообразие пород и характер их коллекторских свойств. Полученные результаты имеют важное значение для построения фациальных моделей и оценки нефтегазоносности региона.

Ключевые слова: Южно-Торгайский бассейн, верхний палеозой, обстановки осадконакопления, фации, тектоника, литология, нефтегазоносность.

Введение. Изучение обстановок осадконакопления и фациальных особенностей верхнепалеозойских комплексов Южно-Торгайского бассейна имеет фундаментальное значение для понимания позднегерцинской эволюции Центрального Казахстана и прикладное — для оценки перспектив нефтегазоносности региона. Верхнепалеозойский интервал отражает переход от посторогенных условий герцинского тектогенеза к формированию квазиplatformенного осадочного чехла, в пределах которого происходила смена морских, переходных и континентальных обстановок осадконакопления. Эти процессы сопровождались латеральной изменчивостью литологических типов и формированием терригенно-карбонатных комплексов, обладающих различными коллекторскими свойствами.

Особое значение имеет то, что в пределах Южно-Торгайского бассейна девонско-каменноугольные и пермские отложения представляют собой не только стратиграфический маркер завершающей стадии герцинской тектоно-седиментационной эволюции, но и важнейший нефтегазоносный комплекс. Сочетание карбонатных, глинистых и терригенных фаций, их последовательность и пространственные взаимосвязи определяют распределение коллекторов, покрышек и потенциальных ловушек.

Цель данного исследования заключается в реконструкции обстановок осадконакопления и анализе закономерностей фациальной зональности верхнепалеозойских комплексов Южно-Торгайского бассейна. Для её достижения использованы результаты бурения и геофизических исследований, материалы региональных геологических съёмок, а также данные корреляции скважин и интерпретации 3D-сейсморазведки.

Решение поставленных задач позволяет установить влияние тектонических и гидродинамических факторов на формирование осадочного разреза, выявить характер вертикальной и латеральной изменчивости фаций и уточнить роль тектонических структур в пространственном распределении зон нефтегазонакопления. Полученные результаты имеют практическое значение при построении фациальных и седиментационных моделей бассейна, обосновании направлений поисково-оценочных работ и выборе перспективных объектов для детального изучения.

Южно-Торгайский бассейн приурочен к южной части меридионального Торгайского прогиба — крупной тектонической зоны, разделяющей Восточно-Арало-Каспийскую плиту и

Центрально-Казахстанскую складчатую область.[1] В структурном отношении он представляет собой совокупность грабен-синклиналей — Арыскупской, Бозингенской, Сарыланской, Кызылкиянинской, Арыстансорской, Жанысайской, Ащысайской, Тасарыкской и ряда более мелких депрессий — разделённых горст-антиклиналями и осложнённых системой разломов северо-восточного и северо-западного простирания. Эти разломы контролируют как морфологию кристаллического фундамента, так и конфигурацию осадочного чехла, определяя неравномерное распределение мощностей осадков и асимметрию строения бассейна.

Современный уровень его изученности определяется широким комплексом геолого-геофизических работ, включающих результаты бурения, 3D-сейсморазведки, магнитотеллурических и аэрогеофизических исследований, что позволило уточнить стратиграфию и фациальное строение верхнепалеозойского комплекса. Полученные данные свидетельствуют о тесной связи тектонических структур с пространственным распределением фаций и подтверждают важную роль глубинных разломов в формировании осадочного рельефа.

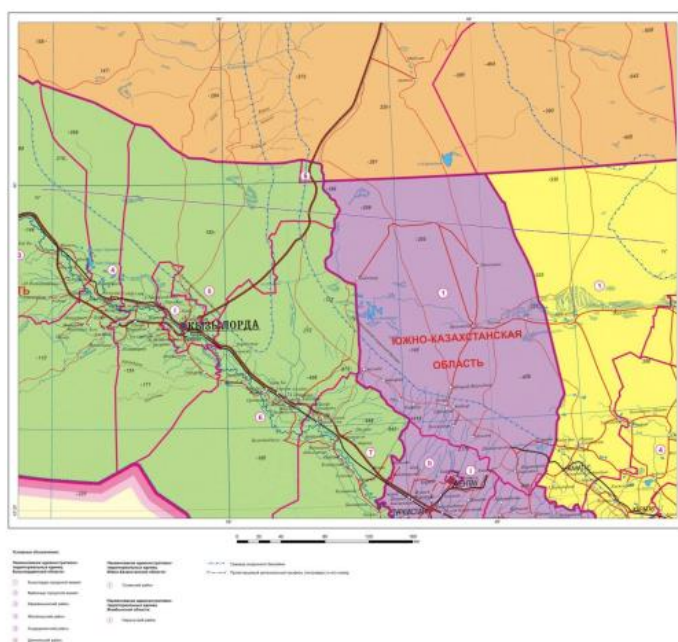


Рисунок 1 - Обзорная карта Южно-Торгайского бассейна

В пределах бассейна мощность осадочного чехла достигает 5–6 км, из которых до 2,5 км приходится на верхнепалеозойские отложения. Эти толщи представлены преимущественно терригенными и карбонатными породами девонской, каменноугольной и пермской систем, формировавшимися в условиях сменяющихся морских, лагунных и континентальных обстановок. На основании анализа буровых и сейсмогеологических данных установлено закономерное уменьшение мощности карбонатных толщ и увеличение доли терригенного материала от центральных зон к периферийным бортам бассейна. Такое строение отражает постепенное ослабление морской трансгрессии и усиление континентального влияния в позднегерцинское время, что определило основные черты литолого-стратиграфической организации разреза.

Развитие осадочного чехла Южно-Торгайского бассейна тесно связано с тектоническим режимом позднего палеозоя, который определял, как характер седиментации, так и стратиграфическое наполнение депрессий. В пределах бассейна верхнепалеозойский разрез представлен комплексами девонской, каменноугольной и пермской систем, обладающими выраженной фациальной и литологической неоднородностью. Их пространственная организация

и состав отражают переход от преимущественно морских условий раннего и среднего палеозоя к континентальным обстановкам конца герцинского цикла.

Девонские отложения развиты преимущественно в центральных и южных районах бассейна, где они перекрывают метаморфические и вулканогенные породы нижнего палеозоя. В литологическом отношении это песчаники, алевролиты и аргиллиты с прослоями туфогенных пород, свидетельствующие о сочетании терригенного и вулканогенного источников сноса. Наличие туфов и вулканогенных песчаников указывает на активную тектоно-вулканическую деятельность, что согласуется с характером фрагментированных разломных зон фундамента. Осадконакопление происходило в условиях мелководного морского шельфа и дельтовых систем, где чередование тонкозернистых и грубообломочных фаций отражает переменную энергию среды и нестабильность геодинамического режима.

Нижне- и среднекарбоновые толщи отличаются устойчивостью морских условий и развитием биогенных построек. Известняки, доломиты и мергели с включениями органогенных остатков кораллов, брахиопод и криноидей свидетельствуют о формировании осадков в тёплом эпиконтинентальном море при хорошем водообмене и стабильной аэрации. Эти породы обладают повышенной коллекторской ёмкостью — пористость достигает 15–20 %, что определяет их нефтегазгеологическую значимость. В то же время верхнекарбоновые отложения характеризуются увеличением доли терригенного материала: среди песчаников и глин встречаются углистые прослои, указывающие на начавшийся регрессивный тренд и усиление континентального влияния.

Переход к нижней перми сопровождается дальнейшим отступанием моря и активизацией тектонических движений. Континентальные песчано-глинистые толщи с прослоями конгломератов и углистых глин формировались в условиях аллювиально-дельтовых равнин. Эти отложения завершают седиментационный цикл верхнего палеозоя, фиксируя переход от слабо выраженного шельфового осадконакопления к преимущественно наземному типу седиментации.

Таблица 1 - Литолого-стратиграфическое заполнение Южно-Торгайского осадочного бассейна

Структурный этаж	Возраст		Мощность, м	Литология	Положение между ОГ	Примечание
	индекс	млн. лет				
1	2	3	4	5	6	7
Нижний. Фундамент	PR-PZ1	416	гл.=500 >5000	Кремнисто-серицитовые хлорит - серицитовые сланцы: 30%, гнейсы: 35%, порфириды: 35%	PZ	
Средний. Квазиplatformенный комплекс (КПК)	D2-3	408	300-3000	Известняки: 40%, песчаники:30%, аргиллиты: 10%	PZ –V	
	D3fm-C1t	360	2900-3900	Известняки: 60%, аргиллиты: 15%, алевролиты: 15%, песчаники:10%		Возможно наличие нефтегазо-генерирующих свит
	PZ3	253	1000	Песчаники:35%, алевролиты:35%, аргиллиты:30%		
	T3-J1p	198	До 2630	Песчаники, алевролиты: 40%		Отложения айболинской

Верхний. Платфор-менный				Аргиллиты: 40% Конгломераты: 10% Гравелиты:8% угли:2%		свиты (<i>J1ab</i>) – нефтегазо- материнские
	J1p-J2b	183	80-1200	Аргиллиты: 25%, Алевролиты: 25%, Песчаники: 25%, Гравелиты: 10%, Конгломераты: 8%, уголь: 7%	V-IV1	Отложения дошанской свиты (<i>J1-2ds</i>) – нефтегазо- материнские
	J2b-J2bt	176	30-600	Аргиллиты (глины): 80%, Песчаники: 10%, Конгломераты: 5%, Гравелиты: 5%,	IV1-IV	Отложения карагансайской свиты (<i>J2kr</i>) – нефтегазо- материнские
	J2bt-J3o	163	50-550	Песчаники, пески, алевролиты:45%, Глины, аргиллиты:35%, Гравелиты, конгломераты:5% Известняки, доломиты, мергели:17%, Горючие сланцы:3%	IV-III1	Отложения кумкольской свиты (<i>J3km</i>) – нефтегазо- материнские
Верхний. Платфор- менный	J3o- K1nc1	141	До 780	Песчаники, пески, алевролиты:50% гравелиты, конгломераты: 10%, глины, аргиллиты: 35%, Карбонаты: 5%	III1-Par	
	K1nc-K2s	97,5	До 1100	Глины: 45%, алевролиты: 30%, песчаники: 25%	Par-II	
	K1nc-K2s	97,5	До 1100	Глины: 45%, алевролиты: 30%, песчаники: 25%	Par-II	
	K2s-P1	65	810	Известняки:40%, Мергели:20%, Глины:40%	II-I	
	P1-Q	0	От первых десятков до 1000	Глины, алевролиты, гравелиты	Современ- ный рельеф	

На региональных разрезах прослеживается закономерное уменьшение мощности карбонатных толщ в восточном направлении и увеличение содержания терригенных пород к бортам бассейна. Эти закономерности хорошо видны на корреляционных профилях скважин и геологических разрезах, где карбонатные пачки постепенно выклиниваются в сторону Мынбулакского поднятия. [2]

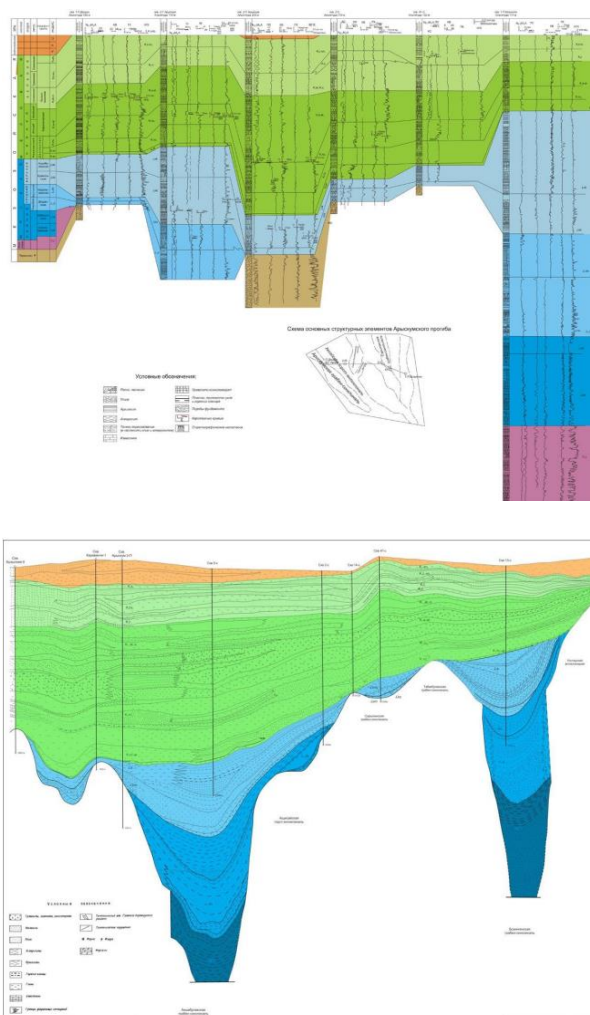


Рисунок 2 - Корреляция скважин и геологический разрез по линии профиля 83-54 (Арыкумская и Бозингенская зоны)

Такое распределение отражает тектоническую асимметрию впадины и изменение гидродинамических условий, связанных с регрессией эпиконтинентального моря. Смена фациальных зон от шельфово-карбонатных к лагунно-континентальным служит ключевым показателем постепенной континентализации бассейна и подготавливает основу для анализа обстановок осадконакопления, определивших пространственную фациальную зональность верхнепалеозойских комплексов.

Фациальное строение верхнепалеозойских комплексов Южно-Торгайского бассейна является непосредственным отражением последовательной смены обстановок осадконакопления под воздействием тектонических, климатических и гидродинамических факторов. Каждая стадия седиментационного развития бассейна сопровождалась изменением соотношения морских и континентальных площадей, что определяло тип осадков, их текстуру и латеральное распределение фаций.

В девонское время бассейн представлял собой систему мелководных морских заливов, периодически прерываемых поднятиями фундамента. Осадконакопление происходило в условиях неустойчивой тектонической обстановки, когда эпизоды растяжения земной коры и локального вулканизма способствовали поступлению крупнообломочного и туфогенного материала. В северо-западных частях преобладали песчано-алевритовые и туфогенные

отложения, соответствующие зонам повышенной гидродинамической энергии и близости источников сноса, тогда как в центральных депрессиях формировались глинисто-карбонатные осадки, отражающие более спокойные условия. Уже на этом этапе прослеживается первая ступень фациальной зональности — от грубозернистых прибрежных фаций к тонкозернистым морским осадкам шельфа, что указывает на морфологическую и тектоническую дифференциацию бассейна.

Каменноугольный период характеризуется относительной стабилизацией тектонического режима и развитием тёплого эпиконтинентального моря, в котором происходило интенсивное карбонатное осадконакопление. На обширных участках центральной части бассейна формировались рифовые и биогермные постройки из коралловых и криноидейных известняков, чередующиеся с мергелистыми прослоями. Эти породы отражают обстановки с положительным гидродинамическим балансом и хорошей аэрацией воды. В переходных и прибрежных зонах преобладали мергели, алевролиты и песчаники, а в периферийных участках — глинистые и лагунные отложения с прослоями гипсов, ангидритов и соленосных горизонтов, отражающих развитие эвпоритовых (испарительных) фаций. Их формирование происходило в условиях периодического обмеления бассейна и ограниченного водообмена, что характерно для завершающих стадий трансгрессивных циклов. С точки зрения фациальной организации этот этап соответствует максимуму морской трансгрессии и последующему началу регрессии, когда чётко проявляются три основные зоны — шельфово-карбонатная, лагунно-испарительная и континентальная.

Позднекарбоновые и нижнепермские отложения фиксируют дальнейшую регрессию эпиконтинентального моря и постепенный переход к континентальному режиму осадконакопления. Усиление тектонических движений и активизация эрозионных процессов способствовали формированию дельтовых, флювиальных и пролювиальных фаций. Центральные зоны бассейна сохраняли остаточные лагунные комплексы, тогда как бортовые участки характеризовались накоплением грубообломочных песчаников, конгломератов и углистых глин, отражающих усиление континентального влияния.

Формирование этой сложной системы фациальных переходов тесно связано с тектонической сегментацией Южно-Торгайского бассейна. Глубинные разломы северо-восточного и северо-западного направлений выполняли роль как седиментационных ограничителей, так и каналов флюидомиграции. Их неравномерная активность определяла асимметрию прогибов и блоков, что, в свою очередь, контролировало направление седиментационных потоков и вариации мощностей осадков. В западных и юго-западных зонах формировались мощные карбонатные платформенные комплексы, тогда как в восточных и северо-восточных — более тонкие терригенные последовательности с клиновидными выклиниваниями.

Таким образом, пространственная фациальная зональность верхнепалеозойских отложений представляет собой закономерное следствие взаимодействия тектонических и гидродинамических факторов. От центра к периферии бассейна прослеживается переход от карбонатных шельфовых построек к лагунно-испарительным и далее к флювиально-континентальным комплексам. Вертикальная смена фаций отражает регрессивный характер осадконакопления и общую тенденцию к континентализации, определившую современную структурную и геодинамическую асимметрию региона. Эти закономерности подчёркивают тесную связь седиментационного процесса с тектоническим контролем, что создаёт основу для понимания геодинамических условий формирования верхнепалеозойского осадочного комплекса Южно-Торгайского бассейна.

Геодинамическая эволюция Южно-Торгайского бассейна в верхнем палеозое определила не только структуру осадочного чехла, но и особенности обстановок осадконакопления, от которых зависело формирование мозаичной системы фаций. Развитие бассейна происходило в условиях постепенного затухания герцинской активизации и последующего посторогенного

перераспределения напряжений, проявившегося в чередовании фаз растяжения, стабилизации и сжатия. Эти изменения контролировали как тектонический рельеф и морфологию прогибов, так и состав, текстуру и мощность осадков.

На девонской стадии геодинамическое развитие региона определялось процессами растяжения, приведшими к формированию системы субпараллельных грабен-синклиналей северо-восточного и северо-западного направлений. По активным разломам происходило прогибание блоков фундамента и внедрение вулканогенного материала, что обусловило сочетание тектонических и магматических факторов седиментации. В таких условиях осадконакопление имело неустойчивый характер: периоды относительного спокойствия сменялись импульсами активного терригенного сноса и вулканогенной активности. В северо-западных зонах развивались грубообломочные песчано-алевритовые и туфогенные отложения, тогда как в центральных депрессиях накапливались глинисто-карбонатные осадки низкоэнергичных шельфовых обстановок. Уже на этом этапе проявилась первая закономерность фациальной зональности — от прибрежно-шельфовых терригенных фаций к мелководно-карбонатным в центральных участках депрессий.

Каменноугольный этап соответствует фазе относительной тектонической стабилизации. Регион представлял собой тёплое эпиконтинентальное море с широкой зоной шельфа и ограниченными областями открытого морского пространства. В условиях пониженной тектонической активности и устойчивого гидродинамического режима происходило развитие биогенных построек — рифовых и биогермных тел из коралловых и криноидеиных известняков. Эти породы формировались в зонах положительного водообмена и интенсивной биопродуктивности, образуя карбонатные платформы с хорошими коллекторскими свойствами.

К периферии бассейна карбонатные фации постепенно сменялись мергелями, алевритами и песчаниками, а в лагунных участках развивались **эвпоритовые (испарительные) фации**, представленные гипсами, ангидритами и соленосными горизонтами. Их формирование отражало периоды регрессии и частичного обособления бассейнов, что указывает на региональное неравновесие осадконакопления даже в условиях тектонического покоя.

Позднекарбон-пермский этап ознаменовался возобновлением тектонической активности и переходом к сжатому геодинамическому режиму. Вертикальные движения по глубинным разломам привели к блоковой дифференциации территории, воздыманию отдельных участков и формированию локальных депрессий. Эти процессы способствовали регрессии эпиконтинентального моря и развитию преимущественно континентальных обстановок седиментации. Осадконакопление происходило в дельтовых и аллювиально-озёрных системах, где формировались песчано-глинистые толщи с прослоями конгломератов и углистых глин. Характерная для этого времени неравномерность осадконакопления обусловила мозаичное распределение фаций: в прогибах сохранялись остаточные лагунные и озёрные осадки, тогда как на поднятиях накапливались пролювиальные и флювиальные отложения.

Таким образом, последовательная смена геодинамических режимов — от растяжения в девоне к стабилизации в карбоне и сжатию в перми — определила эволюцию обстановок осадконакопления и закономерности фациальной зональности верхнепалеозойских комплексов. В центральных частях бассейна сформировались карбонатные и глинисто-карбонатные фации, к периферии их сменяют терригенные и лагунно-континентальные осадки, представленные алевритами, песчаниками и углистыми глинами. Такая латеральная дифференциация фаций отражает тектоническую асимметрию бассейна и гидродинамические градиенты, возникавшие вследствие неравномерных движений фундамента.

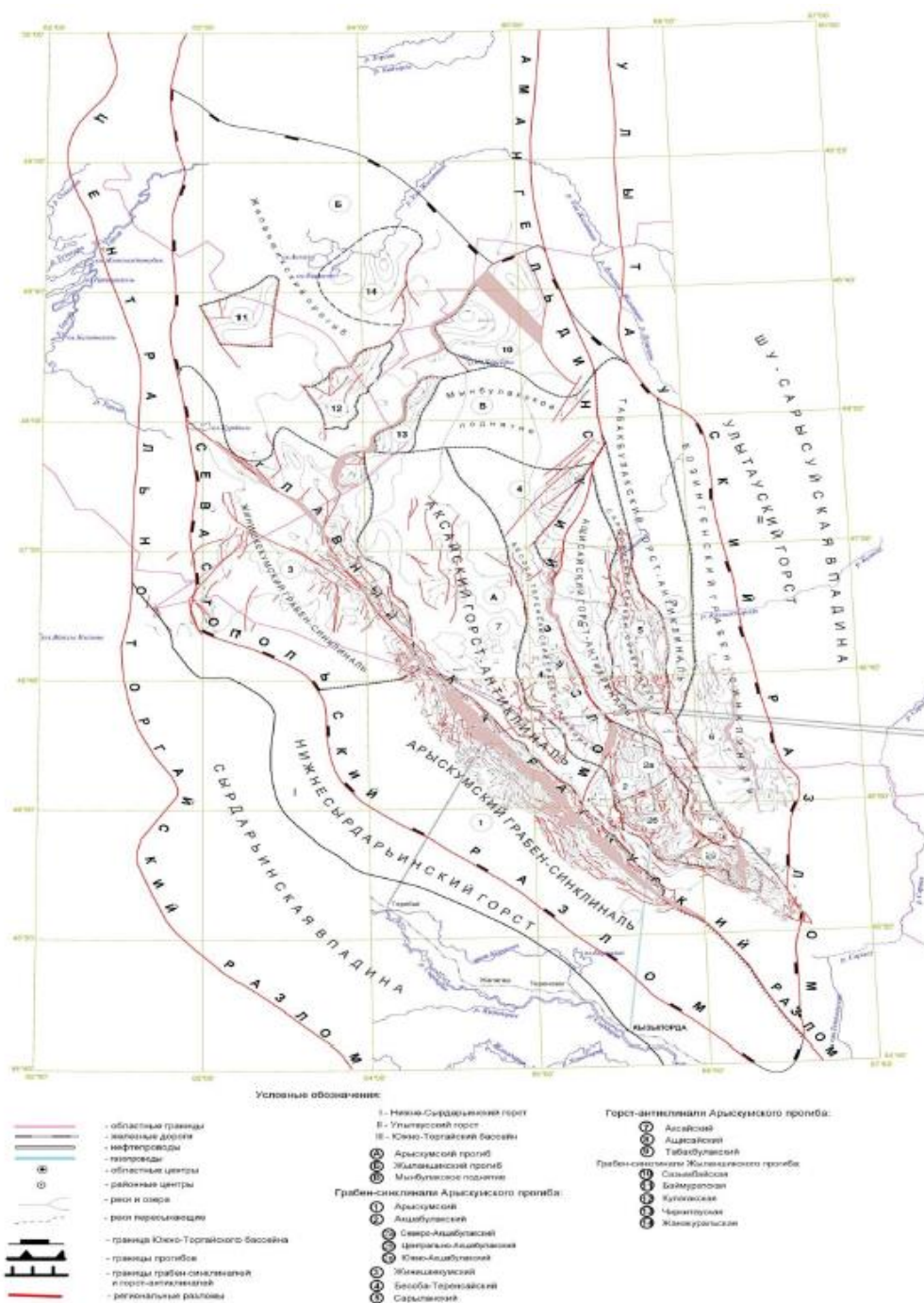


Рисунок 3 - Тектоническая схема Южно-Торгайского бассейна

В совокупности геодинамическая и фациальная эволюция Южно-Торгайского бассейна демонстрирует чёткую зависимость между структурными условиями и типом осадконакопления. Тектоническая сегментация определяла направление седиментационного потока и зоны аккумуляции, а изменение тектонического режима приводило к вертикальной трансформации фаций. Эта взаимосвязь обусловила мозаичность строения осадочного разреза и создала предпосылки для формирования коллекторов и покрышек, что имеет ключевое значение при оценке нефтегазоносности региона.

Фациальная и тектоническая организация верхнепалеозойского чехла Южно-Торгайского бассейна определила основные элементы потенциальной нефтегазоносной системы — зоны генерации, миграции и аккумуляции углеводородов. Комплексы девонского, каменноугольного и пермского возраста по своему составу и строению обладают всеми признаками самостоятельного нефтегазоносного этажа, несмотря на то что его промышленная перспективность до настоящего времени остаётся недостаточно изученной.

Глубинные глинисто-карбонатные и органогенные отложения нижнего и среднего карбона могут рассматриваться как *потенциальные нефтегазоматеринские толщи*, обладающие повышенным содержанием органического вещества преимущественно сапропелевого и смешанного типов. По данным геохимических исследований (Жолтаев, 2019; Узбекгалиев и др., 2025), содержание общего органического углерода (ТОС) в этих породах местами достигает 1,0–2,5 %, что при благоприятных температурно-барических условиях создавало предпосылки для генерации жидких углеводородов. Наибольшие мощности таких толщ зафиксированы в центральных депрессиях — Арыкумской, Бозингенской и Сарыланской, где суммарная мощность глинисто-карбонатных пачек превышает 800–1000 м. Эти зоны можно рассматривать как основные *центры генерации* углеводородов верхнепалеозойского времени.

Миграция углеводородов происходила преимущественно по глубинным разломам северо-восточного и северо-западного направлений, которые выполняли роль каналов флюидопереноса. Вертикальные движения по этим структурам обеспечивали переток флюидов из генерационных очагов в вышележащие песчано-карбонатные горизонты и межфасциальные ловушки. Латеральная миграция осуществлялась вдоль кровли глинистых и доломитизированных пачек, а также по переходным зонам между шельфовыми и лагунными фациями, где развиты зоны повышенной пористости и трещиноватости.

В качестве *потенциальных коллекторов* можно выделить рифовые и биогермные известняки среднего карбона, доломитизированные участки шельфовых толщ, а также песчаники пермского возраста, залегающие в кровельной части комплекса. Вторичная пористость здесь обусловлена как выщелачиванием и доломитизацией, так и тектонической трещиноватостью, связанной с постгерцинской активизацией. Такие породы распространены в пределах Бозингенской и Сарыланской депрессий, а также на сопряжённых участках бортовых структур.

Покрышечные толщи верхнепалеозойского разреза представлены преимущественно плотными глинами, мергелями и аргиллитами лагунно-испарительных фаций. В отдельных горизонтах верхнего карбона и нижней перми отмечаются тонкие прослои гипса и ангидрита мощностью до 5–10 м, усиливающие изолирующие свойства пород. Такое сочетание глинистого и слабого эвпоритового материала формирует локальные и региональные покрышки, обеспечивающие герметичность ловушек и ограничивающие вертикальную миграцию флюидов.

Тектонические и фациальные особенности бассейна создавали предпосылки для формирования *ловушек различного генезиса* — от структурных антиклинальных в пределах поднятий до литологических и стратиграфических в переходных зонах между карбонатными и терригенными фациями. В частности, клиновидные выклинивания доломитов и песчаников на бортах грабенов могли играть роль зон аккумуляции, а совмещение фациальных и тектонических экранов обеспечивало герметичность ловушек.

С учётом региональных геодинамических и фациальных закономерностей можно предположить существование *многоэтажной нефтегазоносной системы*, где палеозойские источники углеводородов могли обеспечивать питание не только собственных коллекторов, но и перекрытых юрских залежей. Вертикальная миграция по глубинным разломам и зонам катаклаза создаёт возможность вторичного перетока углеводородов в мезозойские отложения, о чём косвенно свидетельствует близость геохимических параметров нефти и битумов разных возрастных комплексов. Эта гипотеза требует дальнейшей верификации, но не исключает участия верхнепалеозойских толщ в формировании нефтегазоносности региона в целом.

Таким образом, верхнепалеозойский комплекс Южно-Торгайского бассейна представляет собой не только важное звено в структурно-тектонической эволюции региона, но и потенциально самостоятельную нефтегазоносную систему. Совокупность факторов — наличие органогенных толщ, развитых коллекторов, эффективных глинисто-мергелистых покрывающих и тектонических каналов миграции — позволяет рассматривать его как перспективный объект для поисково-оценочных исследований и моделирования зон генерации и аккумуляции углеводородов.

Заключение

Комплексное изучение верхнепалеозойских отложений Южно-Торгайского бассейна показало, что их строение, фациальная мозаичность и нефтегазоносный потенциал находятся в прямой зависимости от геодинамической эволюции региона. Чередование стадий растяжения, стабилизации и сжатия в девоне–перми определило смену обстановок осадконакопления, формирование карбонатных, терригенных и лагунно-глинистых фаций, а также развитие зональных систем коллекторов и покрывающих.

Выявленные закономерности указывают, что верхнепалеозойский комплекс может рассматриваться как самостоятельный элемент нефтегазоносной системы Южного Торгая. Наличие органогенных толщ, доломитизированных коллекторов, глинистых экранов и тектонических каналов миграции создаёт условия для образования и сохранения скоплений углеводородов, в том числе с возможной подпиткой мезозойских залежей. Полученные результаты подтверждают перспективность палеозойских комплексов и необходимость их дальнейшего геохимического и сейсмогеологического изучения с целью уточнения зон генерации и аккумуляции нефти и газа.

Список литературы:

1. Атлас литолого-палеогеографических карт нефтегазоносных бассейнов Казахстана. — Алматы: КазНИГРИ, 2012.
2. Абиляхасимов К. Б. Геологическое строение и нефтегазоносность Прикаспийской и Торгайской впадин. — Алматы: Қазақ университеті, 2011.
3. Ажигалиев С. А. Обстановки осадконакопления и фациальные модели Прикаспийской, Уст-Бузачинской и Мангышлакской впадин. — Алматы, 2014.
4. Волож Ю. А., Кадебская О. И., Гончаров М. А. Тектоника и эволюция осадочных бассейнов Казахстана. — Москва: ГЕОС, 2010.
5. Жолтаев Г. Ж. Геодинамическая эволюция и нефтегазоносность Южного Торгайского бассейна. — Алматы, 2019.
6. Жолтаев Г. Ж., Абиляхасимов К. Б. Фациальная структура и нефтегазоносность верхнепалеозойских отложений Центрального Казахстана. — Алматы, 2021.
7. Парагульгов Т. Х. Нефтегазоносные комплексы и особенности строения Южно-Торгайской впадины. — Кызылорда, 2007.
8. Парагульгов Т. Х. Фациальная изменчивость и перспективы нефтегазоносности верхнепалеозойских отложений Центрального Казахстана. — Алматы, 2010.
9. Алимгазинов К. С., Есжанов А. К. Литогенетические и фациальные особенности девонских и каменноугольных отложений Торгайского прогиба. — Алматы, 2015.
10. Кутылин А. С., Бекенов Е. А. Структурно-фациальная зональность и коллекторы верхнего палеозоя Южного Торгая. — Алматы, 2016.
11. Ахмедсафин У. М. Геологическое строение и нефтегазоносность Средней Азии. — Москва: Недра, 1970.
12. Нурабаев Ж. К., Тюлебаев Р. С. Региональная геодинамика и осадочные бассейны юга Казахстана. — Астана, 2024.
13. Никитин В. В. Палеотектоника и осадконакопление в девонско-каменноугольное время Центрального Казахстана. — Москва, 2008.

14. Meng Q., Zhang L., et al. Tectonic controls on Late Paleozoic basin evolution in Central Asia. – *Marine and Petroleum Geology*, 2025.
15. USGS (2001). Petroleum Systems and Assessment of Undiscovered Oil and Gas in the Amu Darya Basin Province, Central Asia. – USGS Digital Data Series DDS-44.
16. Шляпников Б. А., Шанина О. В. Геохимия органического вещества и нефтематеринские породы девона-перми Казахстана. – Москва, 2013.
17. Габдуллин Р. А., Мухамбетов С. К. Тектоно-фациальные модели нефтегазоносных комплексов Центрального и Южного Казахстана. – Алматы, 2018.
18. Бекенов Е. А. Региональные особенности строения Торгайской впадины и перспективы поисков новых нефтегазоносных объектов. – Алматы, 2017.
19. Кожаметов А. Т., Смагулов М. С. Палеогеодинамические аспекты нефтегазоносности Туранской плиты. – Актобе, 2022.
20. Лебедев Л. И. Фациальные модели и эволюция осадочных бассейнов Центральной Азии. – Москва: ГЕОС, 2005.

Ж.М. Аубакирова, М. М. Элиакбар

Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ТИПА ФЛЮИДОНАСЫЩЕНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ ПО ДАННЫМ ГИС В ТЕРРИГЕННЫХ ПЛАСТАХ АРЫСТАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Ключевые слова: коллектор, удельное электрическое сопротивление, электрокаротаж, скважина, коллекторские свойства, параметр пористости, коэффициент пористости, параметр нефтегазонасыщения, коэффициент нефтенасыщенности.

Аннотация. В работе рассмотрены алгоритмы интерпретации диаграмм геофизических исследований скважин, направленные на определение типа насыщения пластов-коллекторов. Описаны основные методические подходы к обработке и анализу данных комплекса ГИС. Приведена геолого-литологическая характеристика юрских отложений исследуемого месторождения, а также представлены результаты интерпретации по трем скважинам.

Введение. Определение нефтегазонасыщенных коллекторов в разрезах скважин нефтегазовых месторождений, как правило, осуществляется с использованием методов сопротивления. Степень насыщения пор пласта нефтью, газом или водой оценивается путём сопоставления удельного сопротивления пород ρ_p с удельным сопротивлением $\rho_{вп}$, соответствующим полностью водонасыщенному состоянию. При этом важно установить зависимость между параметром нефтенасыщенности и коэффициентом водонасыщенности пласта.

На эмпирическом или палеточном уровне интерпретации данных геофизических исследований скважин петрофизические и интерпретационные зависимости формируются на основе статистических сопоставлений типа «кern–кern» и «кern–ГИС».

Удельное электрическое сопротивление нефтегазоносных пород определяется рядом факторов: содержанием нефти, газа и воды в порах (то есть коэффициентами нефтегазонасыщенности $K_{нг}$ и водонасыщенности $K_в$), степенью минерализации пластовых вод, пористостью, структурой порового пространства и литологическими особенностями породы. Замещение воды нефтью или газом в порах приводит к увеличению удельного сопротивления породы [1, 2].

Удельное сопротивление чистых нефтегазоносных пород находится в прямой зависимости от удельного сопротивления пластовой воды, заполняющей поровое пространство. Вследствие этого величина удельного сопротивления нефтегазоносного пласта сама по себе не может служить показателем степени его нефтегазонасыщения. Пласты, различающиеся по уровню насыщенности нефтью или газом, нередко характеризуются сходными значениями сопротивления, тогда как пласты с одинаковой нефтегазонасыщенностью могут демонстрировать различные величины сопротивления.

Для того чтобы устранить или минимизировать влияние факторов, таких как минерализация пластовых вод, пористость и особенности структуры порового пространства, вместо абсолютного значения удельного сопротивления используется безразмерное отношение сопротивления нефтегазоносного пласта $\rho_{нг}$ (в порах которого содержатся нефть, газ и остаточная вода) к сопротивлению того же пласта при полном водонасыщении - $\rho_{вп}$, соответствующему одинаковой минерализации и температуре пластовой воды:

$$P_H = \rho_{HГ} / \rho_{ВП}$$

Эту величину называют коэффициентом увеличения сопротивления, показывающим, во сколько раз увеличивается удельное сопротивление водонасыщенного коллектора при частичном насыщении объема пор нефтью или газом. Между параметром нефтенасыщения P_H и коэффициентом водонасыщения K_v существует обратная степенная зависимость [1, 3]:

$$P_H = 1/K_v^n$$

где K_v – отношение объема пор, заполненных вой, к общему объему порового пространства породы.

Параметр	Физический смысл	Формула	Способ определения
Параметр пористости	Влияние порового пространства на сопротивление	$P_H = \frac{\rho_{ВП}}{\rho_v}$	Измерение сопротивления полностью водонасыщенного образца
Параметр насыщенности	Увеличение сопротивления при изменении насыщенности	$P_H = \frac{\rho_{п}}{\rho_{ВП}}$	Определение сопротивления для различных значений K_v : Капилляриметрический метод Центрифугирование

Таким образом, параметр нефтенасыщения может быть использован для определения коэффициента нефтегазонасыщенности в чистых коллекторах. Коэффициент увеличения сопротивления зависит от степени насыщения пор нефтью и газом, характера распределения флюидов (воды, нефти и газа) в поровом пространстве, а также от его структуры, литолого-петрографических особенностей пород и физико-химических свойств пластовых жидкостей. Если вода в порах присутствует в виде связанной системы, коэффициент увеличения сопротивления принимает минимальные значения, тогда как при разобщении водных включений в порах чистых пород он существенно возрастает [1, 5].

Зависимости между коэффициентом увеличения сопротивления и водонасыщенностью определяются на основе лабораторных экспериментов с образцами пород, искусственно насыщенными нефтью и водой. Эти исследования демонстрируют достаточно тесную корреляцию между параметрами P_H , $K_{HГ}$ и K_v для различных месторождений, независимо от литологического состава пород. На основании полученных данных можно заключить, что зерна коллектора обладают гидрофильными свойствами, а вода образует в порах непрерывную сеть проводящих каналов, обеспечивающих высокую электропроводность породы.

В пределах месторождения глубокими скважинами вскрыты отложения триасового, юрского, мелового, палеогенового и неогенового возраста общей мощностью до 3907 м. Юрские толщи прослеживаются по всей территории месторождения достаточно уверенно и в разрезе подразделяются на одиннадцать горизонтов (Ю-I–Ю-XI), разделённых устойчивыми по разрезу и площади глинистыми прослоями. Согласно литолого-петрофизическим данным, продуктивные горизонты сложены чередующимися слоями песчаников, алевролитов и аргиллитов с редкими тонкими прослоями терригенных пород, обогащённых карбонатным материалом. Коллекторы представлены преимущественно песчаниками, реже алевролитами и относятся к гранулярному типу с поровым ёмкостным пространством.

В основу интерпретации данных геофизических исследований скважин положены теоретические уравнения связи глинистости и пористости с геофизическими параметрами, а для определения коэффициента нефтенасыщенности использованы петрофизические зависимости, полученные на керне продуктивной толщи. Для определения коллекторских свойств – пористости, глинистости, коэффициента нефтенасыщенности использовались следующие

диаграммы методов ГИС: гамма каротаж – ГК; нейтронный каротаж – НГК; индукционный каротаж – ИК, литоплотностной каротаж – ГГК-П + ПЕФ; акустический каротаж – АК; кавернометрия – КВ.

Коэффициент нефтегазонасыщенности определялся по методу электрического сопротивления использованием петрофизических связей Дахнова-Арчи $R_p = \alpha \cdot k_p^{-m} / \alpha$ и $R_n = \alpha \cdot k_v^{-m} / \alpha$, которые на керне месторождения описываются уравнениями [4]:

$$R_p = 1,0098 / K_p^{1,88},$$

$$R_n = 1,0104 / K_v^{1,927}$$

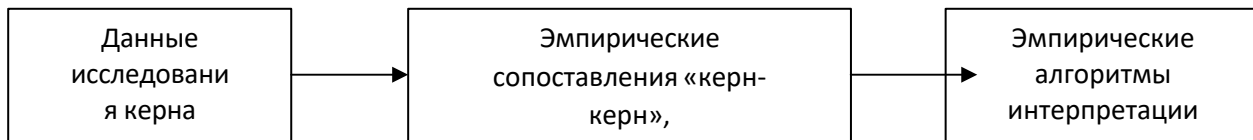
При расчете 100%-во насыщенного пласта $r_{вп}$ использовалось удельное электрическое сопротивление пластовой воды при пластовых температурах в среднем по месторождению: 0,019 Ом·м для I-III горизонтов; 0,018 Ом·м – для IV-VIII горизонтов, 0,017 Ом·м – для IX-XI.

Коэффициент водонасыщения определялся по уравнению Дахнова Арчи [4]:

$$K_v = \left(\frac{a \cdot b \cdot r_v}{K_p^m \cdot \rho_n} \right)^{1/n}$$

где K_v – коэффициент водонасыщения; r_v – сопротивление пластовой воды; ρ_n – сопротивление пласта; K_p – эффективная пористость; a, b, m, n – структурные коэффициенты.

Алгоритмы интерпретации имеют вид полиномиальных трендов с эмпирическими коэффициентами [2]:



Этапы разработки методики интерпретации данных метода ГИС включают:

- разработку интерпретационной модели;
- обоснование интерпретационного параметра;
- обращение интерпретационной модели на алгоритм интерпретации;
- обоснование петрофизического параметра и петрофизической модели метода ГИС;
- методику настройки петрофизической модели;
- алгоритм расчета искомого петрофизического параметра.

Под прямой задачей понимают процесс вычисления ожидаемых показаний геофизического прибора в системе «скважина–пласт» при заданных геолого-технических условиях проведения измерений. Обратная задача, напротив, заключается в определении искомым характеристик пласта (или связанных с ними интерпретационных параметров) по зарегистрированным значениям приборов при известных или частично известных условиях измерений [2,6]. Определение коэффициента нефтегазонасыщенности вызывает трудности в ряде случаев: когда пласты имеют выраженную неоднородность и сложены чередующимися прослоями с различным удельным сопротивлением; при глубоком проникновении фильтрата бурового раствора в пласт; при невозможности корректно оценить удельное сопротивление; а также при отсутствии данных, позволяющих достоверно определить величину $r_{вп}$. Дополнительные сложности возникают и тогда, когда между степенью насыщения пор флюидами (нефтью, газом, водой) и коэффициентом увеличения сопротивления R_n в песчано-глинистом коллекторе отсутствует устойчивая взаимосвязь.

Достоверные значения коэффициента нефтенасыщения, полученные по данным методов сопротивлений, можно определить при выполнении ряда условий:

- величина ρ_p , вычисленная в процессе интерпретации диаграмм, должна соответствовать удельному сопротивлению неизменённой зоны коллектора;
- при определении ρ_p необходимо учитывать искажающие факторы, связанные с конечной мощностью пласта;
- диаграммы индукционного каротажа должны быть зарегистрированы откалиброванными приборами с достоверной шкалой сопротивлений (или проводимостей) [1].

На рисунках 1 и 2 представлены характеристики продуктивных горизонтов по исследуемым скважинам месторождения, а на рисунке 3 показана геофизическая характеристика водонасыщенного интервала одной из скважин. В таблицах 1 и 2 приведены результаты комплексной интерпретации данных по скважинам.

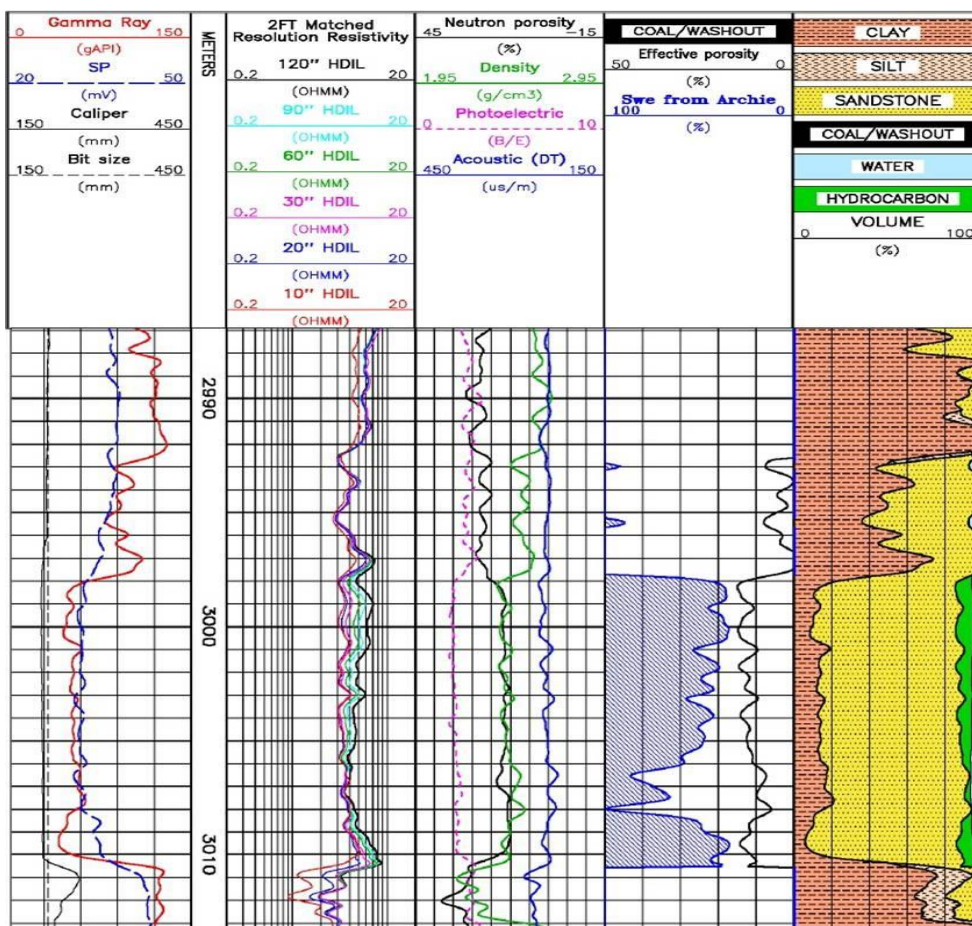


Рисунок 1 - Геофизическая характеристика продуктивного интервала по данным ГИС

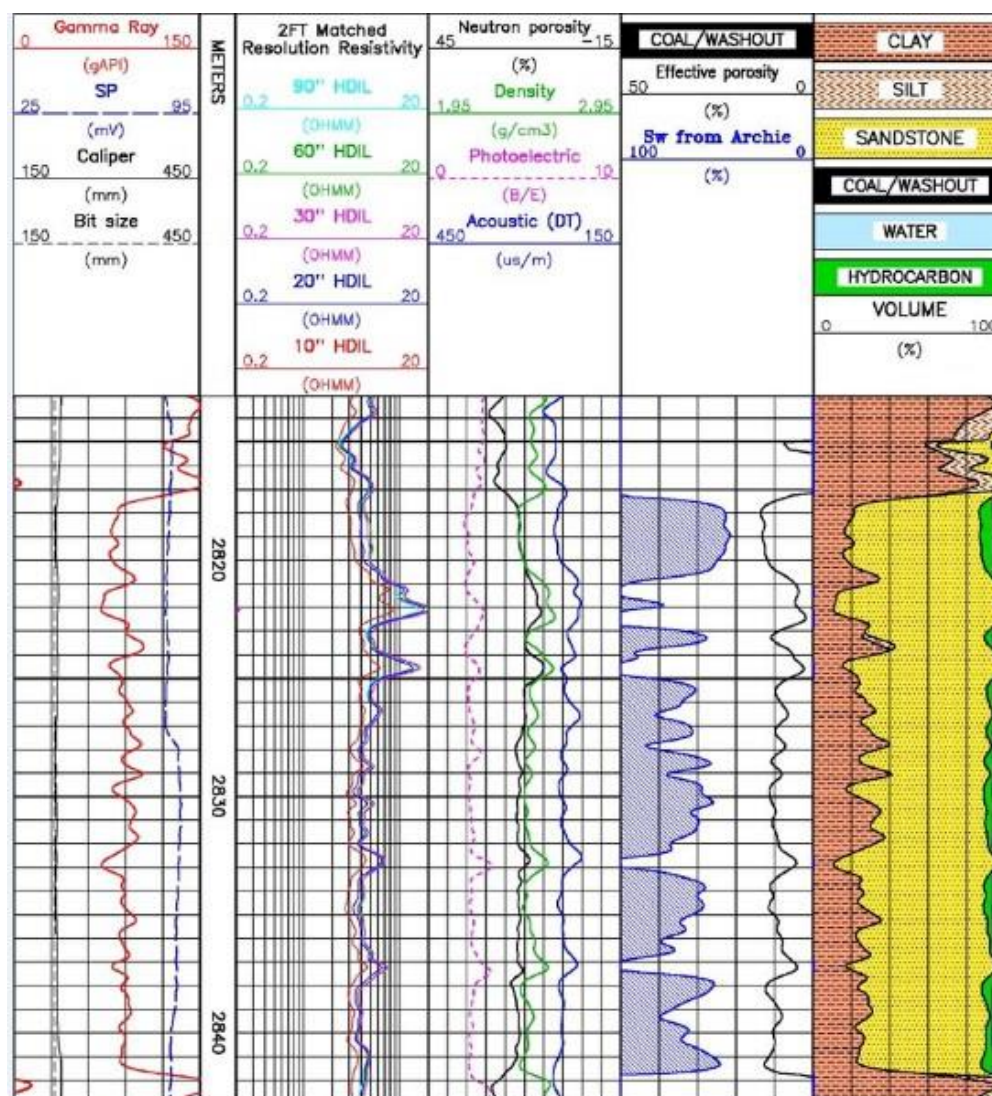


Рисунок 2 - Геофизическая характеристика продуктивного интервала по данным ГИС

По результатам исследований скважины А выделены четыре продуктивных горизонта. Толщина коллекторских пластов варьирует в пределах 1,0–6,7 м, значения удельного сопротивления составляют 2,2–5,0 Ом·м, коэффициент нефтенасыщения изменяется от 24 до 72%.

В разрезе скважины В мощности продуктивных интервалов находятся в диапазоне 5,0–15,1 м при сопротивлении 2,4–6,7 Ом·м и нефтенасыщении 25–70%.

Для скважины Д характерны пласты толщиной 0,9–10,1 м, с сопротивлением 3,4–11,2 Ом·м и коэффициентом нефтенасыщения 20–70%. Эффективная пористость коллекторов относительно низкая — 7–17%. Сопротивление водонасыщенных горизонтов низкое 0,5–4,5 Ом·м, пористость изменяется от 8,0 до 18,0%.

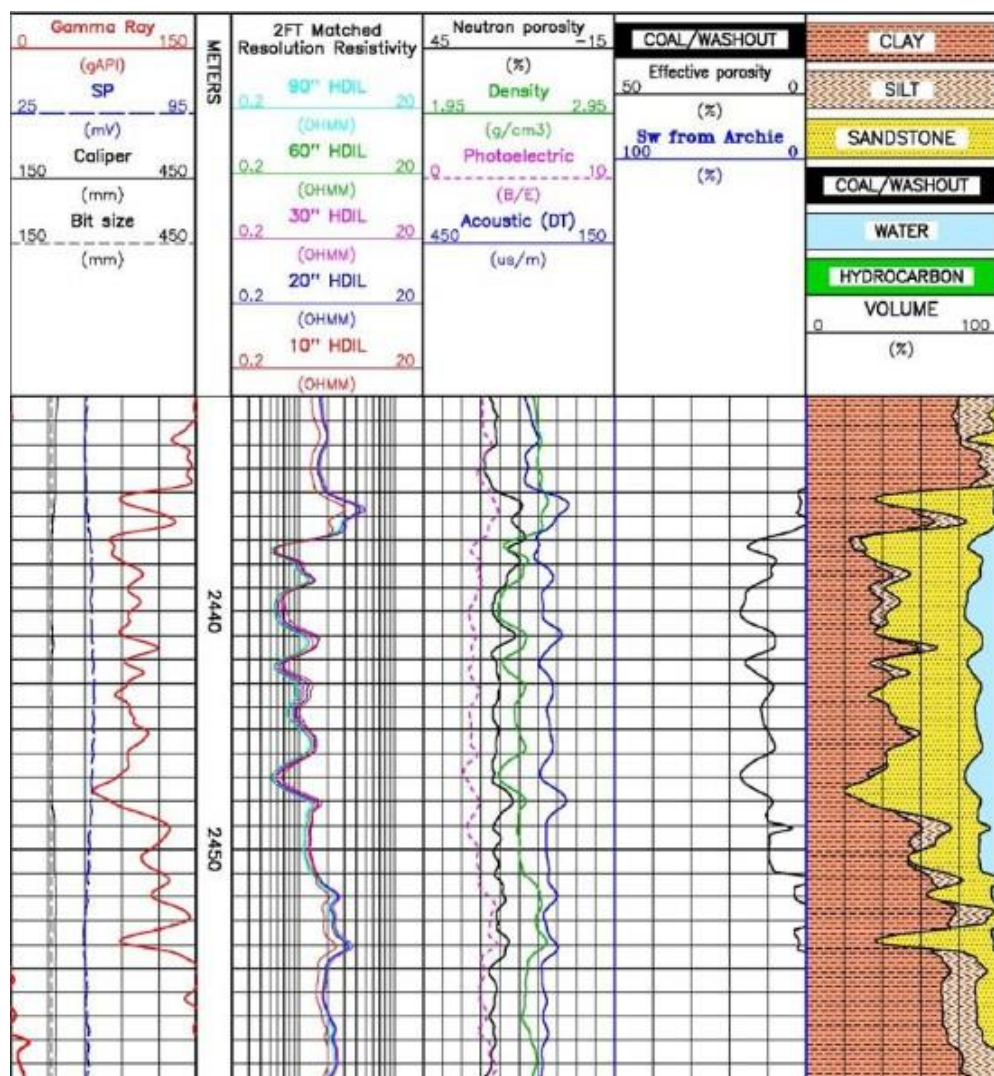


Рисунок 3 - Геофизическая характеристика водонасыщенного интервала по данным ГИС

Таблица 1 – Геофизическая характеристика нефтенасыщенных пластов

Скважина	Горизонт	Кровля, м	Подошва, м	Толщина, м	Сопротивление пласта по индукционному каротажу, Ом·м	Плотность пород, г/см³	Интервальное время, мкс/м	Глинистость по ГК, и нейтронному плотностному, %	Эффективная пористость до, %	Коэффициент нефтегазо-насыщения до, %
	VI	2696,2	2698,1	1,9	2,8-3,3	2,4	224-235	28-37	10,0	24
		2699,8	2700,8	1,0	4,0-4,7	2,4	225	28-35	9,7	39
		2701,7	2704,5	2,8	4,4-5,0	2,4	231-241	23-36	13,1	55
		2720,4	2722,8	2,4	2,2-2,4	2,3-2,4	216-243	28-62	12,0	30
		2725,2	2726,5	1,3	2,9	2,4	232	29-36	11,2	36

А	VII	2728,0	2734,7	6,7	2,5	2,3-2,4	230-240	25-37	14,3	45
		2740,0	2741,2	1,2	2,3-3,8	2,4-2,5	215-236	22-24	13,1	39
	VIII	2769,5	2773,0	3,5	2,4-2,6	2,3-2,4	232-245	23-31	13,1	39
		2774,2	2775,2	1,0	2,0	2,4	247	25-47	12,0	31
		2805,0	2806,2	1,2	7,8	2,4	237	25-36	12,2	72
		2807,4	2816,0	8,6	7,5-13,3	2,3-2,4	223-246	12-33	15,1	72
		2817,6	2825,0	7,4	4,8-10,7	2,3-2,4	220-225	39-19	13,0	67
	XI	2871,9	2873,3	1,4	3,6-5,7	2,4	237	30	10,4	33
		3001,4	3004,6	3,2	5,5-8,3	2,4	230-250	17-24	11,0	62
В	VIII	2781,7	2786,7	5	4,7-8,8	2,4	235-248	30-60	10,3	59
		2805,9	2815,5	9,6	5-11,2	2,4	228-245	25-45	14,1	70
		2836,7	2851,8	15,1	4,5-9,1	2,4	205-244	20-50	12,0	58
	IX	2861,3	2869,7	8,4	3,4-4,8	2,4-2,55	225-250	20-50	12,0	52
	XI	2959,6	2970,7	11,1	4,4-8,6	2,4-2,48	225-248	12-27	13,4	60
		2997,8	3010,5	12,7	3,5-8,6	2,4	225-251	5-20	15,1	65
Д	VIII	3061,1	3065,8	4,7	3-4,5	2,47	223-239	25-40	10,0	25
		2817,3	2820,9	3,6	5,2	2,4	248-254	15-21	13,2	57
		2822,9	2824	1,1	4,5-5	2,45	233	26-42	10,2	45
		2825,0	2832,5	7,5	3,7-6,1	2,5	213-247	17-40	11,3	48
		2833,2	2836,7	3,5	3,8-4,3	2,44-2,5	240-248	23-35	11,0	44
	IX	2837,5	2841,8	4,3	3,5-4,6	2,4	239-254	22-31	12,2	52
		2846,0	2846,9	0,9	3	2,45	249	37,7	10,0	30
		2852,0	2853,0	1	2,42	2,42	258	38	12,3	35
	X	2873,1	2877,9	4,8	3,1-6,1	2,4-2,53	234-249	13-27	13,0	51
		2947,0	2949,0	2	3-4,4	2,49	247-253	42	7,4	20
	XI	3025,3	3035,4	10,1	3,2-6,7	2,4	241-256	13-32	16,0	70
		3037,3	3041,0	3,7	2,48-4,9	2,4	234-257	14-35	17,1	66
		3042,0	3043,0	1	4-6	2,48	260	29	9,0	45

Таблица 2 – Геофизическая характеристика водонасыщенных пластов

Скважина	Горизонт	Кровля, м	Подолва, м	Толщина, м	Сопротивление пласта по индукционному каротажу, Ом·м	Плотность пород, г/см ³	Нейтронная пористость по известняку, %	Интервальное время, мкс/м	Глинистость по ГК, нейтронному и плотностному, %	Эффективная пористость до, %
А	IV	2404,0	2411,0	7,0	0,5-0,8	2,3-2,5	15-23	188-274	24-37	17,0
		2413,5	2416	2,5	1,1	2,42	21	264	48	11,0
		2449,0	2451,0	2,0	2,0-1,7	2,4-2,5	16-19	232-255	44-48	8,5
		2462,0	2464,0	2,0	0,7-1,9	2,3-2,4	18-24	214-265	35-60	15,0
		2474,0	2475,0	1,0	1,3-1,4	2,4	17	249	48-59	11,1
		2481,0	2484,0	3,0	0,5-0,8	2,3	22	256-270	28-48	18,0
	V	2552,3	2556,2	3,9	1,1-1,3	2,4	18-20	252	39-59	13,5
		2598,5	2602,0	3,5	1,5-1,6	2,3-2,4	20-25	249-269	43-58	12,0

		2615,0	2616,8	1,8	2,0	2,4	19-21	251	50-63	10,0
В	V	2418,8	2426,7	7,9	0,56-	2,33-2,46	19-24	236-283	20-70	16,5
		2428,5	2432,6	4,1	0,9-1,5	2,41-2,6	12-21	194-254	20	11,0
		2486,5	2488,8	2,3	0,7-1,2	2,37-2,45	18-25	248-255	20-40	14,5
	V	2493	2496	2	0,7	2,38	23	265	33	14,5
		2501,3	2504,3	3	0,7	2,38	20	252	17	15,0
		2512,3	2514,6	2,3	1,1	2,41	24	252	27	12,0
		2520,1	2526,5	6,4	0,65-	2,34-2,48	15-28	217-272	15-60	16,5
		2540,2	2541,8	1,6	1,3	2,43	24	256	40	10,0
		2543,4	2545,8	2,4	0,8	2,4	22	255	25-30	13,0
		2577,2	2580,8	3,6	1-2,3	2,41-2,6	19-25	222-267	20-30	11,0
	VII	2677,4	2683,2	5,9	0,7-2,8	2,38-2,61	10-20	174-251	20-50	14,0
		2701,3	2704,2	2,9	1,7	2,44	18	237	40	11,0
Д	V	2436,7	2451,0	14,3	0,51-	2,34-2,49	14-23	225-268	20-55	17,0
	VI	2515,0	2518,0	3,0	0,67	2,38	22	256	41	15,2
		2523,6	2525,4	1,8	1,1	2,42	23	261	53	11,3
		2539,6	2542,	2,5	0,99	2,4	21	250	36	12,0
		2553,5	2560,3	6,8	0,9-1,3	2,4-2,48	20	219-249	29-42	13,1
		2565,5	2567,3	1,8	0,7	2,38	22	257	36	14,2
		2570,0	2575,0	5,0	0,8	2,42	22	252	40	13,0
	VII	2716,7	2719,7	3,0	1,2	2,41	18	252	34	12,2
	X	2877,9	2881,4	3,5	2,9-4,3	2,5-2,54	18	225-237	18-50	6,0
		2882,8	2885,1	2,3	2,5-2,9	2,47-2,49	18	231-240	27-46	10,2
	XI	3005,0	3008,0	3,0	1,7-2,8	2,44-2,5	16-21	239-248	27-47	10,1
		3057,1	3059,4	2,3	3,4-4,5	3,4-4,5	16-18	227	38-45	8,3

Список литературы:

1. Вендельштейн Б.Ю. Резванов Р.А. Геофизические методы определения параметров нефтегазовых коллекторов. – М.: Недра, 1978. – 318 с.
2. Кожевников Д.А. Коваленко К.В. Модулирование гранулярных коллекторов на основе петрофизической инвариантности // НТВ «Каротажник». – Тверь: Изд. АИС, 2007. – Вып. 161. – С. 66-84.
3. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения горных пород. – М.: Недра, 1975. – 343 с.
4. Issagaliyeva A.K., Istekova S.A., Aliakbar M.M. Building the online geological and geophysical database management system for hydrocarbon fields in Kazakhstan. NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES, Volume 3, Number 453 (2022), pp.198-211, ISSN 2224-5278.
5. Issagaliyeva A.K., Istekova S.A., Aliakbar M.M. GEOPHYSICAL DATA COMPLEX INTERPRETATION TECHNIQUES FOR STUDIES OF THE EARTH CRUST DEEP HORIZONS IN THE NORTH CASPIAN REGION. NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES ISSN 2224-5278 Volume 5, Number 449 (2021), 61-67
6. Poupon A., Houle W.R., Schmidt A.W. Log analysis in formation with complex lithologies // Petroleum Technology. 1971. Vol. 23, N 8.

ОПТИМИЗАЦИЯ ОПИСАНИЯ ХОДА ЛУЧА В СРЕДЕ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ БАЙЕСОВСКОЙ ИНВЕРСИИ ДАННЫХ МЕЖСКВАЖИННОГО ГЕОРАДАРА

Аннотация. Байесовская инверсия данных скважинного георадара (GPR) позволяет охарактеризовать подповерхностные диэлектрические свойства и устранить связанные с ними неопределенности. Таким образом, стоимость процессора для прямой модели является ключевой проблемой, влияющей на эффективность метода байесовской инверсии. В этой статье мы реализуем широко используемую прямолинейную модель в рамках нашей системы байесовской инверсии. Основываясь на синтетической модели относительной диэлектрической проницаемости с единичным квадратом, мы моделируем данные георадара с первого захода в скважину с использованием конечно-разностной временной области (FDTD) и решателя прямых лучей, соответственно, и обнаруживаем, что имитатор прямых лучей работает в 450 раз быстрее, чем его аналог с FDTD, но при этом страдает от ошибки моделирования, которая более чем в 7 раз больше. Мы также проводим серию численных экспериментов, чтобы оценить эффективность прямолинейной модели в рамках байесовской инверсии.

Ключевые слова: межскважинный георадар (GPR), байесовская инверсия, прямая модель; ошибка моделирования; дискретное косинусное преобразование (DCT).

Введение. Скважинный георадар (GPR) является эффективным инструментом для картографирования свойств недр и нашел широкое применение при оценке влажности почвы, определении гидравлических параметров, геологических исследованиях и обследовании гражданских сооружений. Этот метод использует передающую антенну в одной скважине для излучения высокочастотных (от 10 МГц до 1 ГГц) электромагнитных волн (ЭМ) и приемную антенну в соседней скважине для их приема. Анализируя данные георадара, полученные в межскважинном пространстве (время прохождения первого захода, амплитуды первого цикла или формы сигналов), можно охарактеризовать пространственное распределение диэлектрических свойств (диэлектрическая проницаемость ϵ и электропроводность σ) между двумя скважинами, что позволит лучше понять особенности недр, которые находятся под землей. чувствителен к этим свойствам.

Для получения электромагнитных свойств по данным георадара, полученным в скважине, были разработаны различные методы инверсии. Пожалуй, наиболее популярными методами являются лучевые томографические алгоритмы, которые упрощают распространение электромагнитных волн в виде прямого или изгибающегося луча от передатчика к приемнику. Эти подходы, использующие информацию о времени прохождения первого сигнала и максимальных амплитудах первого цикла, итеративно определяют скорость электромагнитных волн и поля затухания. Лучевая томография обычно эффективна в вычислительном отношении, но ее разрешение ограничено масштабом первой зоны Френеля из-за высокочастотной аппроксимации. В отличие от этого, методы инверсии, основанные на форме сигнала, которые наилучшим образом используют информацию, содержащуюся в полных формах сигнала, могут достигать субволнового разрешения. В процессе инверсии формы сигнала для прямых вычислений требуются численные решения уравнений Максвелла либо во временной, либо в частотной области, что создает большую нагрузку на вычислительные ресурсы. Недавно для

прямых вычислений была предложена модель на основе нейронных сетей. Этот метод использует обученную нейронную сеть для расчета времени прохождения георадара через скважину, что позволяет быстро оценить его точность по сравнению с лучевой моделью. Однако основные проблемы заключаются в создании большого объема обучающих данных и обучении нейронной сети.

Методы. Георадарное измерение в скважине может быть описано следующим уравнением

$$\tilde{\mathbf{y}} = f(\mathbf{m}) + \mathbf{e}, \quad (1)$$

там, где прямой оператор $f(\cdot)$ моделирует физическую взаимосвязь между параметрами модели, \mathbf{m} и данными георадара, полученными при измерении в поперечном разрезе скважины, \mathbf{y} и \mathbf{e} содержат различные источники ошибок, включая погрешности измерений и недостатки моделирования. В этом исследовании параметры модели обозначают дискретизированные в 2D относительные значения диэлектрической проницаемости подповерхностных сред. Данные измерений представляют собой либо сигналы георадара, либо время прохождения первого сигнала. Прямые функции $f(\cdot)$, которые мы используем, представляют собой FDTD-решатель уравнений Максвелла, который моделирует сигналы георадара, и прямолинейное прямое ядро, которое моделирует время прохождения первого сигнала.

При вероятностной инверсии параметры модели \mathbf{m} могут быть получены из данных георадара \mathbf{y} с использованием теоремы Байеса

$$p(\mathbf{m}|\tilde{\mathbf{y}}) = kp(\mathbf{m})L(\mathbf{m}|\tilde{\mathbf{y}}), \quad (2)$$

где $p(\mathbf{m}|\mathbf{y})$ обозначает апостериорное распределение параметров модели, $p(\mathbf{m})$ описывает предварительную информацию о \mathbf{m} до проведения георадарных измерений в скважине, а $L(\mathbf{m}|\mathbf{y})$ - функция правдоподобия, которая суммирует расстояние между моделируемыми данными и данными измерений. Константа нормализации k гарантирует, что апостериорное распределение интегрируется в единицу.

При отсутствии подробной информации о структуре модели в качестве неинформативного априорного параметра часто используется равномерное распределение. Другой стратегией является включение плавного ограничения в априорное распределение для уменьшения сложности модели и стабилизации решения.

$$p(\mathbf{m}) = \frac{1}{(2\pi\lambda^2)^{R_x+R_z}} \exp \left[-\frac{1}{2\lambda^2} \mathbf{m}^T \begin{matrix} \mathbf{W}^T \mathbf{W}_x & \mathbf{W}^T \mathbf{W}_z \\ x & z \end{matrix} \mathbf{m} \right], \quad (3)$$

Перспективное моделирование.

Метод межскважинной георадарной съемки использует передающую и приемную антенны в двух соседних скважинах и измеряет электромагнитные свойства в промежутке между двумя скважинами. Распространение электромагнитных волн в подповерхностной среде определяется уравнениями Максвелла. Для распространения волны в плоскости (x, z) уравнения Максвелла могут быть записаны в поперечном электрическом (ТЕ) режиме

$$\partial E_x = 1 \partial H_y - \sigma E_x \quad (4)$$

$$\partial E_z = 1 \partial H_y - \sigma E_z \quad (5)$$

$$\partial H_y = 1 \partial E_z - \partial E_x, \quad (6)$$

где E_x и E_z - это x и z составляющие электрического поля, а H_y - y составляющая магнитного

поля. ϵ представляет собой диэлектрическую проницаемость, σ - электропроводность, а μ - магнитную проницаемость.

В большинстве случаев уравнения не могут быть решены аналитически. В качестве альтернативы мы можем использовать подход FDTD, который дискретизирует частные производные уравнений Максвелла в пространстве и времени с использованием центрального разностного уравнения для получения численных решений. С помощью FDTD-моделирования георадарных измерений в скважине можно получить полную форму сигнала, а также данные о времени прохождения с момента первого поступления в качестве имитационных данных в обратной задаче. Этот метод позволяет получать георадарные данные с высокой точностью, однако расчет FDTD занимает очень много времени, особенно когда модель дискретизирована с использованием тонкой сетки.

Сначала мы дискретизируем эталонную модель (Рисунок 1а) с размером сетки $0,005 \text{ м} \times 0,005 \text{ м}$ (модель с мелкой сеткой) и реализуем 2D-FDTD-решатель (gprMax-2D, разработанный Джаннопулосом [32]), чтобы смоделировать георадарный эксперимент в скважине и извлечь время прохождения первого захода для 51×51 пары передающих и приемных антенн. Другие настройки моделирования FDTD включают в себя вейвлет Рикера-источника с центральной частотой 500 МГц, временным окном 20 нс и граничными условиями идеально подобранного слоя (PML) на каждой стороне модели. Мы принимаем время в пути с момента первого прибытия, рассчитанное с помощью моделирования FDTD с тонкой сеткой, за реальные данные (показаны красными линиями на рисунке 2), предполагая, что в этом моделировании не учитывается ошибка моделирования.

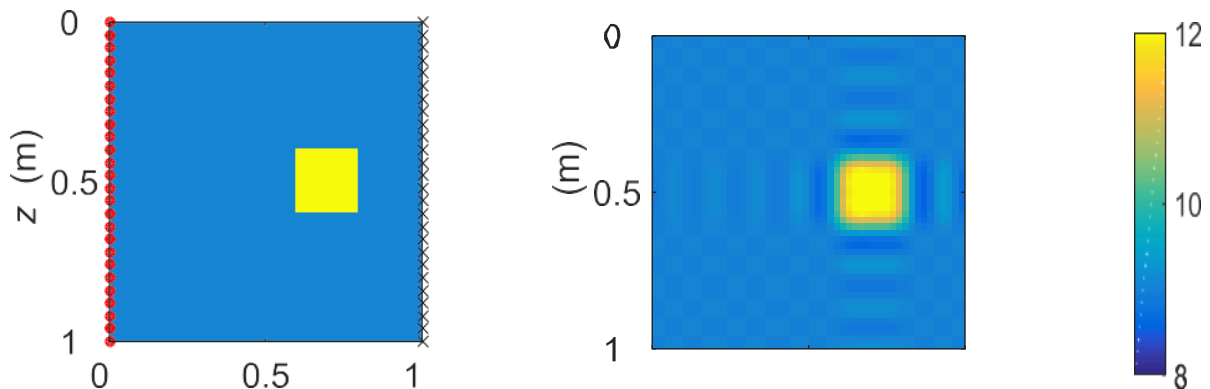


Рисунок 1 - (а) Синтетическая модель относительной диэлектрической проницаемости и (б) реконструированная модель с использованием 256 (16×16) коэффициентов дискретного косинусного преобразования (DCT). Красными точками и черными крестиками обозначены положения передающей и приемной антенны георадара, соответственно

Теперь мы суммируем характеристики моделей FDTD В качестве эталона безошибочное время в пути до первого прибытия было рассчитано с использованием моделирования FDTD с параметризацией в виде тонкой сетки ($0,005 \text{ м} \times 0,005 \text{ м}$). С крупной сеткой ($0,02 \text{ м} \times 0,02 \text{ м}$) параметризация, данные, смоделированные с помощью прямолинейного моделирования, показывают более чем в 7 раз большую среднеквадратичную ошибку (RMSE), чем при моделировании с помощью FDTD, что указывает на то, что прямолинейная модель может вызывать значительные ошибки моделирования, которые искажают результат инверсии.

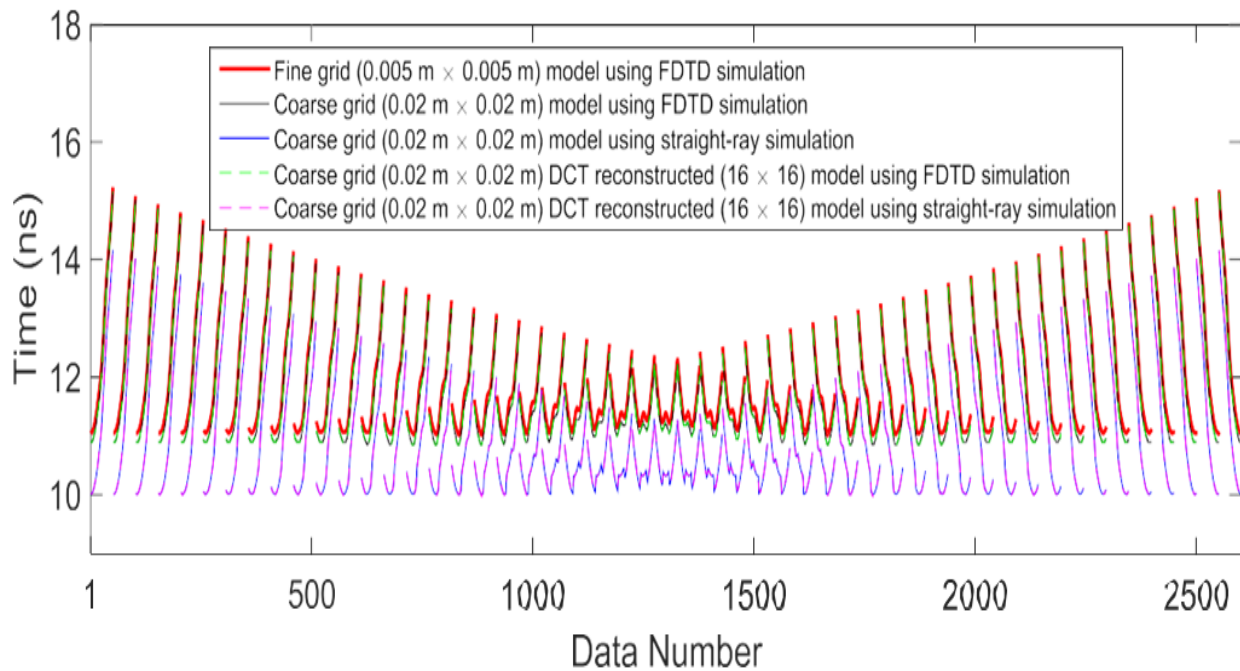


Рисунок 2 - Смоделированное время прохождения георадара с первого захода в скважину с использованием конечно-разностного моделирования во временной области (FDTD) и прямолинейного моделирования

Результаты инверсии. В этом разделе мы исследуем использование прямой лучевой модели в нашей байесовской системе инверсии. Сначала мы представим результаты инверсии с использованием прямого моделирования FDTD с использованием данных о форме волны, за которыми последует подробный анализ влияния ошибки моделирования и структурных ограничений модели с прямым лучом на результаты инверсии, и завершим обзором характеристик модели.

В качестве эталонной модели мы используем синтетическую модель относительной диэлектрической проницаемости, представленную на рис. 1а. Данные измерений (формы сигналов георадара и время прохождения первого сигнала) создаются с помощью FDTD-моделирования с мелкой сеткой ($0,005 \text{ м} \times 0,005 \text{ м}$), состоящей из 51×51 пары передающих и приемных антенн, и общего количества

Моделирование MCMC с помощью алгоритма DREAM (ZS) используется для изучения апостериорных распределений параметров модели (значений относительной диэлектрической проницаемости). Мы используем априор Джеффриса (равномерное распределение в логарифмически преобразованном пространстве) для значений относительной диэлектрической проницаемости с меньшим и верхнюю границу, равную 6 и 15, соответственно, и реализуем функцию правдоподобия в виде уравнения (6). Чтобы максимально повысить эффективность вычислений, мы запускаем алгоритм DREAM(ZS) параллельно, оценивая 4 цепи Маркова на разных процессорных ядрах. Мы также установили количество переходящих значений равным 20, а коэффициент масштабирования коэффициента перехода на 75% ниже, чтобы повысить уровень принятия предложений, при этом все остальные настройки алгоритма остаются значениями по умолчанию.

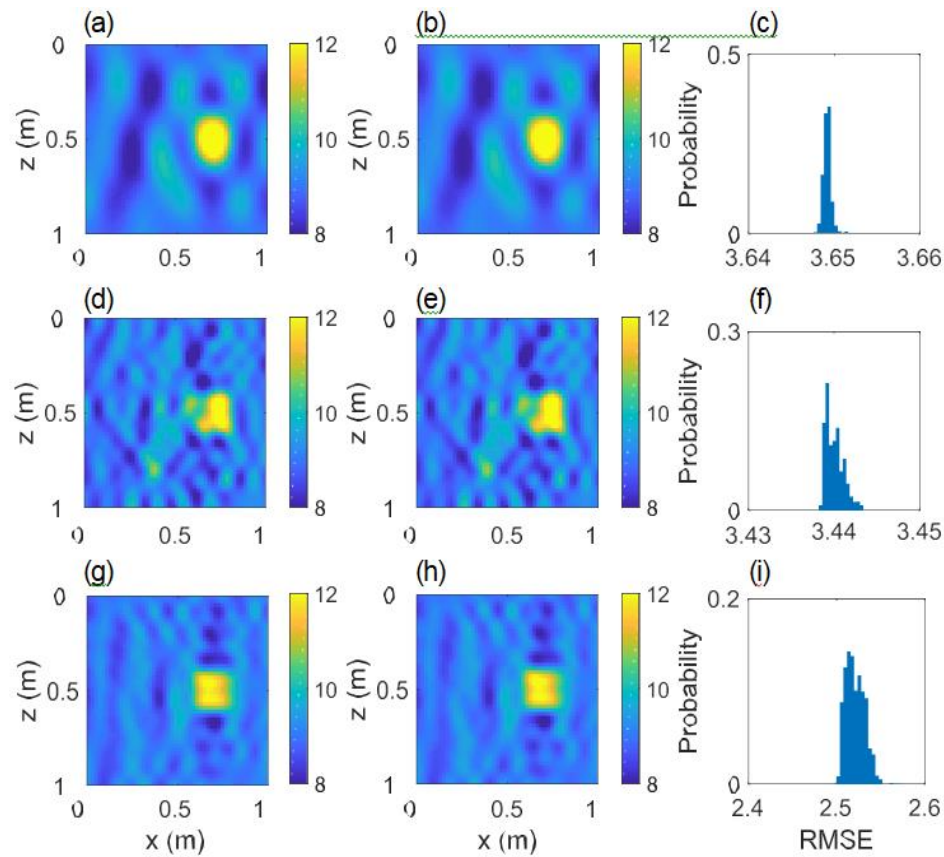


Рисунок 3 - Байесовская инверсия с использованием прямого моделирования FDTD с использованием данных о форме волны. В трех строках сверху вниз представлены результаты инверсии с использованием (а–с) 64, (d–f) 144 и (g–i) 256 DCT-коэффициентов. В левом и среднем столбцах отображаются апостериорные средние и максимальные апостериорные (MAP) значения плотности поля ϵ_r , в то время как в правом столбце отображаются гистограммы значений среднеквадратичной ошибки (RMSE) апостериорных решений

На рисунке 4 показано количественное влияние количества DCT-коэффициентов на результаты инверсии. При увеличении коэффициентов DCT значения RMSE (рис.4а), рассчитанные с использованием моделей апостериорного среднего (синие линии с треугольными маркерами) и MAP (красные линии с квадратными маркерами), уменьшаются с 3,65 до 2,54, что хорошо согласуется с графиками на рис. 3с, f, i, что указывает на улучшение соответствия данных. Значения PSNR (рис. 4б) для моделей апостериорного среднего и MAP увеличиваются с 27,1 до 29,8, а число DCT-коэффициентов увеличивается с 64 до 256, подтверждая точку зрения, высказанную при визуальном осмотре, о том, что лучше реконструированные поля ϵ_r получаются при большем количестве DCT-коэффициентов. Кроме того, все эти значения PSNR, превышающие 27, демонстрируют, что высокая точность восстановленных полей ϵ_r достигается с использованием прямой модели FDTD и данных о форме сигнала. Мы также отслеживаем необходимое количество оценок модели (ME) на рисунке 4с, чтобы алгоритм DREAM(ZS) объявил о сходимости, и в общей сложности для трех случаев требуется 26 000, 68 000 и 136 000 оценок модели. Можно наблюдать приблизительно линейную зависимость между вычислительными требованиями и количеством DCT-коэффициентов.

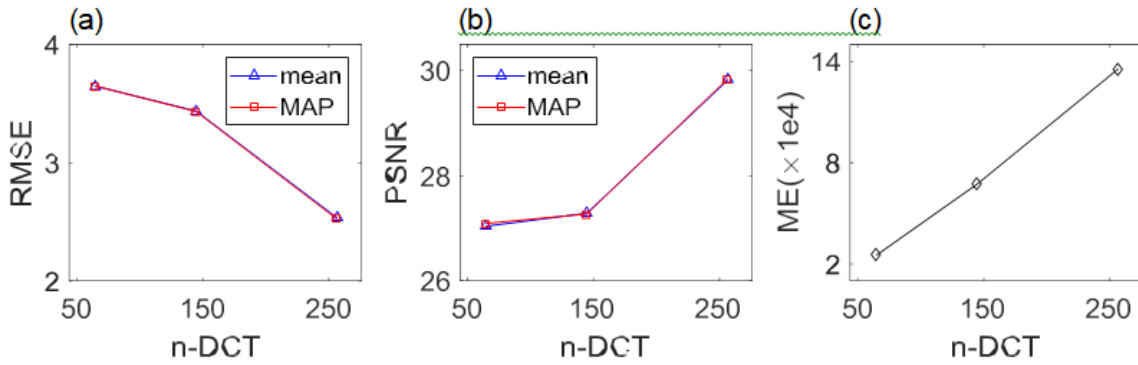


Рисунок 4 - Показатели результатов байесовской инверсии формы сигнала FDTD в зависимости от количества коэффициентов дискретного косинусного преобразования (DCT) (n-DCT): (а) среднеквадратичная ошибка (RMSE) и (б) PSNR апостериорного среднего и максимального апостериорного а (MAP) моделирование модели и (с) необходимое количество оценок модели FDTD (ME) для достижения сходимости

Результаты инверсии с использованием скорректированной прямой модели и ограниченной структуры модели показаны на рисунке 5. Для всех трех случаев с использованием коэффициентов DCT 64, 144 и 256 область с более высокой диэлектрической проницаемостью четко показана в реализациях апостериорного среднего и MAP, и они, по-видимому, не имеют существенной разницы друг с другом. С учетом погрешности моделирования смоделированное время прохождения с момента первого прибытия больше не соответствует данным измерений, а значения RMSE для последующих решений намного превышают погрешность измерения. Обратите внимание, что при использовании модельного ограничения вариации моделируемых данных становятся более скромными, чем в предыдущем примере (рис. 5). Это отражает плавное изменение структуры модели, когда модельное ограничение применяется при инверсии.

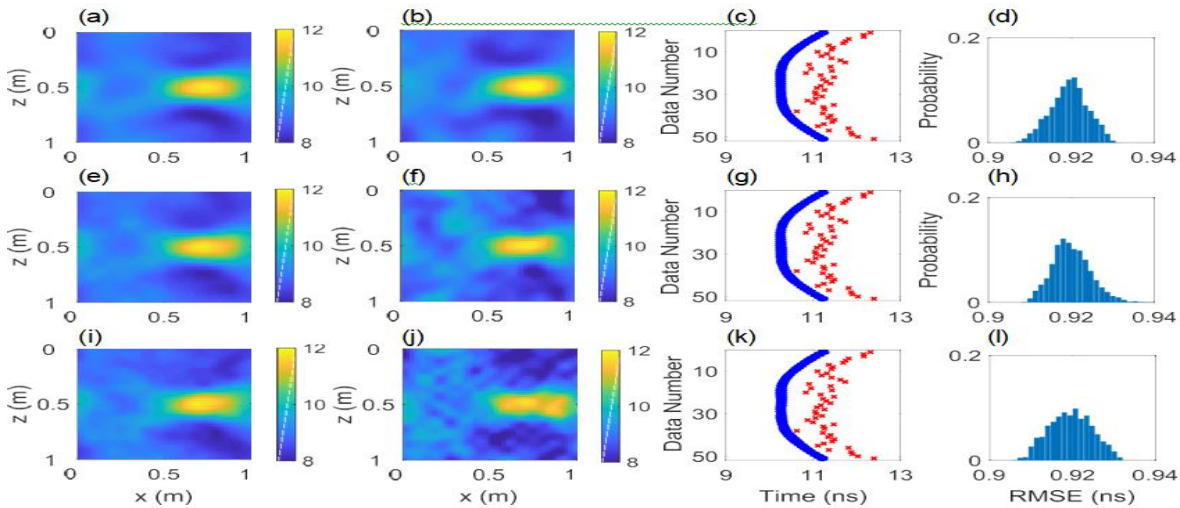


Рисунок 5 - Байесовская инверсия с использованием прямолинейной прямой модели с исправленной ошибкой моделирования и ограниченной структурой гладкой модели. В трех строках сверху вниз представлены результаты инверсии с использованием (а–д) 64, (е–h) 144 и (i–l) 256 DCT-коэффициентов

Выводы. При байесовской инверсии георадарных данных из скважины использование прямой модели FDTD с данными о форме волны может генерировать апостериорные реализации с высокой точностью, однако тысячи или миллионы оценок модели, требуемых для итераций МСМС, всегда являются вычислительно неосуществимыми. Поэтому в этой статье мы обратили наше внимание на вычислительно эффективную прямолинейную модель и оценили ее применимость в рамках байесовской инверсии.

Следует также отметить, что применимость нашего метода инверсии основана на оценке синтетического примера, включающего умеренную степень нелинейности. Когда обратная задача имеет более высокую степень нелинейности, например, при более высокой разнице относительных диэлектрических проницаемостей, больших размерах объекта или при наличии нескольких объектов, используемая нами прямолинейная модель, которая является линейной моделью, может повлиять на результаты инверсии. В будущей работе мы включим прямые ядра на основе изгибающих лучей или искусственных нейронных сетей (ANN) в нашу систему инверсии, чтобы улучшить возможности решения сильно нелинейных обратных задач.

Список литературы:

1. Zhartybayeva M., Oralbekova Z., Iskakov K. The Interpretation of the Radarograms on the Basis of Experimental Data, *Acta Physica Polonica* 2015, vol. 128(2), P. 467-468.
2. Oralbekova Z.O. Tyulepberdinova G.A., Gaziz G.G., Adamova A.D., Sholpanbaev B.B. The use of radar technologies in the hydraulic engineering in seismic zones, *Journal of Applied Engineering Science* 2021, vol. 19(4), P. 1040–1048.
3. Carin L., Geng N., McClure M., Sichina J., Nguyen L. Ultra-wide-band synthetic-aperture radar for mine-field detection, *IEEE Antennas and Propagation Magazine* 1999, vol. 41, no. 1, P. 18–33.
4. Arcone S.A., Prentice M.L., Delaney A.J. Stratigraphic Profiling with Ground-Penetrating Radar in Permafrost: A Review of Possible Analogs for Mars. *J. Geophys. Res.* 2002, P. 107, P. 1–14.
5. Yang, X.; Klotzsche, A.; Meles, G.; Vereecken, H.; van der Kruk, J. Improvements in crosshole GPR full-waveform inversion and application on data measured at the Boise Hydrogeophysics Research Site. *J. Appl. Geophys.* 2013, 99, 114–124.
6. Hu S.F., Zhao Y.H., Rao C.F., Qin T., An C., Ge S.C. GPR tomography based on regularization method for concrete defect detection. In *Proceedings of the 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR)*, Hong Kong, China, 13–16 June 2016; P. 1–6.
7. Qin H., Xie X., Tang Y., Wang Z. Detection of diaphragm wall defects using crosshole GPR. In *Proceedings of the 17th International Conference on Ground Penetrating Radar*, Rapperswil, Switzerland, 18–21 June 2018; P. 1–4.

А. Б. Садуов¹, Э. А. Абишев¹, Н. А. Асирбек¹, М. М. Абдыров², А. Шарапатов^{1,2}

¹КазНИТУ им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

²ТОО «GeoShar», Алматы, Казахстан

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ПРОГНОЗЕ AU-AG ОРУДЕНЕНИЯ - КАЛИБРОВАННЫЕ КАРТЫ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ С КОНТРОЛЕМ ОБЛАСТИ ПРИМЕНИМОСТИ (НЕВАДА, США)

Аннотация. В работе рассматривается подход к построению карт перспективности Au-Ag оруденения на основе геофизических данных и методов машинного обучения. В качестве кейса использован участок в пределах невадского сегмента провинции Basin and Range (США), характеризующийся сочетанием эпitherмальных и связанных с них Au-Ag систем. В качестве предикторов применены поля гравитации и псевдогравитации, карта теплового потока, а также структурно-геомеханические атрибуты разломов, включая показатели склонности к скольжению и дилатации. Для решения задачи классификации в режиме «положительные - неразмеченные» использована модель Random Forest с пространственно блокированной кросс-валидацией, последующей калибровкой вероятностей и оценкой области применимости модели. Получены калиброванные карты перспективности и top-k слои, показывающие концентрацию известных Au-Ag проявлений и перспективных структур в ограниченной доле площади внутри области применимости. Показано, что такая схема позволяет не только выделять первоочередные цели бурения, но и явно контролировать доверие к прогнозу в разных частях полигона, что делает подход перспективным для задач минерогенического прогнозирования в Казахстане.

Ключевые слова: машинное обучение, геофизические поля, область применимости модели, карта перспективности, Au-Ag оруденение, Невада.

Основная часть

Минерогеническое прогнозирование и построение карт перспективности месторождений полезных ископаемых рассматриваются как ключевые инструменты снижения рисков и затрат при геологоразведочных работах [1, 2]. В классических схемах используются либо экспертные весовые оценки, либо детерминированные алгоритмы наложения карт, что зачастую приводит к субъективности и отсутствию количественной оценки неопределенности прогноза. Современные методы машинного обучения позволяют строить вероятностные модели перспективности на основе многомерных геолого-геофизических данных и известных месторождений или рудопроявлений, обеспечивая более гибкое использование информации и возможность оценки предсказательной способности моделей [3, 4].

Однако при прямом переносе стандартных алгоритмов возникают по крайней мере три проблемы. Во-первых, разметка обычно неполная: известны лишь позитивные объекты (месторождения, рудопроявления), тогда как фон содержит как истинно неблагоприятные зоны, так и еще не открытые рудные тела. Это приводит к постановке задачи в терминах обучения по положительным и неразмеченным данным (PU-learning) [5]. Во-вторых, геолого-геофизические данные обладают выраженной пространственной автокорреляцией, и случайная кросс-валидация дает завышенные оценки качества [6]. В-третьих, модели часто экстраполируются за пределы области, представленной в обучающей выборке, что делает локальные прогнозы слабо контролируруемыми. Для оценки того, где именно можно доверять предсказаниям, предложена концепция области применимости (Area Of Applicability, AOA) [7].

Цель настоящей работы - на примере участка в Неваде (США) показать, как интеграция геофизических предикторов и модели Random Forest с учетом PU-сценария, пространственно блокированной валидации и контроля АОО позволяет получать калиброванные карты перспективности Au-Ag оруденения и явные top-k цели для бурения. При этом методика описывается на концептуальном уровне и может быть перенесена на объекты Казахстана.

Исходные данные и геофизические предикторы

Исследуемый участок расположен в пределах западной части провинции Basin and Range, характеризующейся сочетанием растяжения земной коры, разломной тектоники и развитых гидротермальных систем [8, 9]. В пределах полигона представлены мезозойско-кайнозойские осадочные и вулканогенные толщи, пересеченные системой кайнозойских нормальных разломов. В регионе известны многочисленные Au-Ag проявления и месторождения, генетически связанные с эпитепмальными и связанными с ними системами.

В качестве предикторов использованы четыре блока данных. Во-первых, гравитационные и псевдогравитационные поля, включающие остаточную аномалию и производные, полученные с помощью фильтрации и горизонтальных градиентов. Эти поля чувствительны к плотностным контрастам и помогают выявлять интрузивные тела, краевые части впадин и глубинные разломные зоны [1, 2].

Во-вторых, карта теплового потока, построенная по данным бурения и геотермических измерений. Повышенный тепловой поток рассматривается как индикатор активных или реликтовых гидротермальных систем и повышенной вероятности циркуляции флюидов в разломных зонах [9, 10].

В-третьих, структурно-геомеханическая модель разломов, в которой для каждой линии разлома оценены параметры склонности к скольжению (TS) и дилатации (TD) в современном поле напряжений. Показано, что сегменты с высокими значениями TD и TS служат основными каналами повышенной проницаемости и контролируют размещение как геотермальных, так и рудных систем [9, 11, 12].

В-четвертых, набор Au и Ag occurrences, включающий рудопоявления, месторождения и точки опробования. Эти объекты используются как положительные примеры в задаче классификации, тогда как остальные ячейки внутри полигона рассматриваются как неразмеченный фон.

Как видно на рисунке 1, проявления Au и Ag группируются вдоль разломных зон, в областях повышенного градиента гравитационного и псевдогравитационного поля, а также в участках повышенного теплового потока. Это согласуется с концепцией структурно контролируемых гидротермальных систем Невады [8, 9, 11] и подтверждает геологическую обоснованность выбранных предикторов.

Методика моделирования перспективности.

Пространственная сетка моделирования представляет собой регулярное поле ячеек, для каждой из которых вычислены значения предикторов. Ячейки, содержащие Au или Ag occurrences, отмечаются как позитивные наблюдения. Остальные ячейки внутри границ полигона остаются неразмеченными. Такой сценарий соответствует постановке задачи обучения по положительным и неразмеченным данным (PU-learning), где отсутствует гарантированная выборка истинно отрицательных примеров [5, 13].

В качестве базового алгоритма использована модель Random Forest, поскольку она устойчиво работает с нелинейными зависимостями, допускает смешение непрерывных и категориальных признаков и предоставляет удобные меры важности переменных [3, 4]. Для уменьшения смещения, связанного с сильным дисбалансом классов, применялись техники переобучения позитивов и подвыборки фона, а также усреднение по ансамблю моделей.

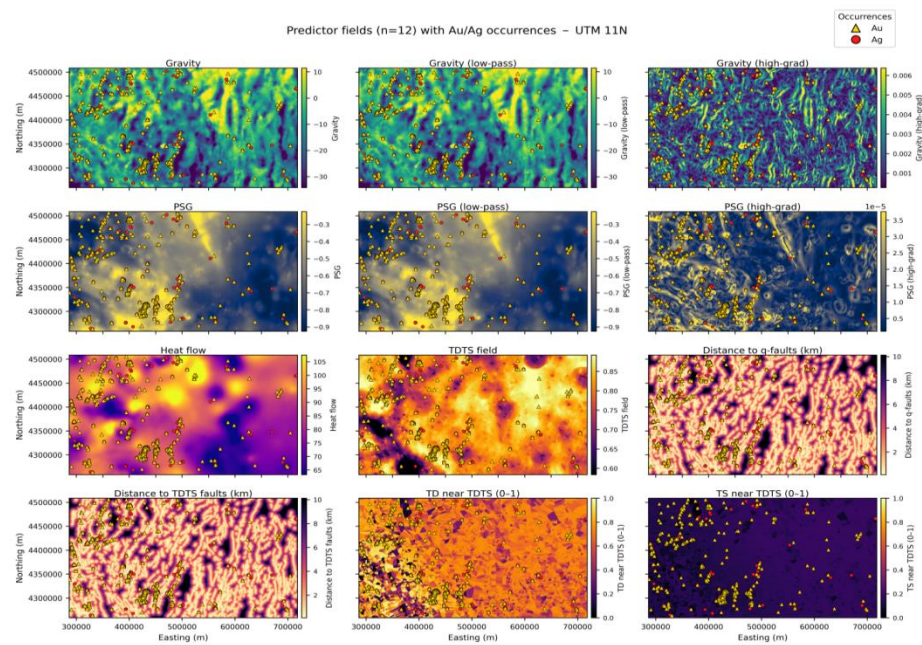


Рисунок 1 - Предикторные поля (12 карт) с наложенными Au и Ag проявлениями

Для оценки предсказательной способности модели используется пространственно блокированная кросс-валидация. Полигон разбивается на группы ячеек (блоки), которые по очереди исключаются из обучения и используются в качестве тестовой выборки. Такой подход снижает влияние пространственной автокорреляции и дает более реалистичную оценку ошибки по сравнению со стандартной случайной кросс-валидацией [6, 14].

После обучения модели по обучающим блокам и получения прогнозов по тестовым блокам осуществляется калибровка вероятностей. Для этого применяется изотоническая регрессия, подбирающая монотонное преобразование исходных оценок Random Forest таким образом, чтобы доля позитивов в интервалах вероятности соответствовала наблюдаемой в валидационных данных [15]. В результате получается карта калиброванной вероятности наличия Au-Ag оруденения в каждой ячейке.

Отдельным шагом оценивается область применимости модели. Для этого вычисляется индекс диссимилиации в пространстве предикторов, отражающий минимальное расстояние конкретной ячейки до обучающих точек, с учетом важности признаков. На основе распределения индекса в обучающей выборке выбирается порог, отделяющий область, для которой ошибка, оцениваемая по кросс-валидации, считается репрезентативной [7]. За пределами АОО прогнозы сохраняются, но помечаются как ненадежные.

Внутри АОО калиброванная карта вероятностей преобразуется в серию top-k слоев, соответствующих верхним 1, 2, 5 и 10 % площади по вероятности. Это облегчает интерпретацию результатов с точки зрения планирования бурения: можно заранее задать долю площади, которую предприятие готово детально изучить, и оценить, какая доля известных рудопроявлений попадает в выбранный интервал [2, 3, 16].

Основные результаты.

Калиброванная карта перспективности демонстрирует ряд вытянутых зон повышенной вероятности, пространственно совпадающих с системами кайнозойских нормальных разломов и их пересечениями. Наибольшие значения вероятности формируют линейно вытянутые коридоры, ориентированные согласно региональному полю напряжений и благоприятным структурным обстановкам, описанным для геотермальных и рудных систем Невады [8, 9, 11, 12]. Внутри этих

коридоров локальные максимумы перспективности совпадают с участками повышенного теплового потока и резкого изменения гравитационного и псевдогравитационного поля.

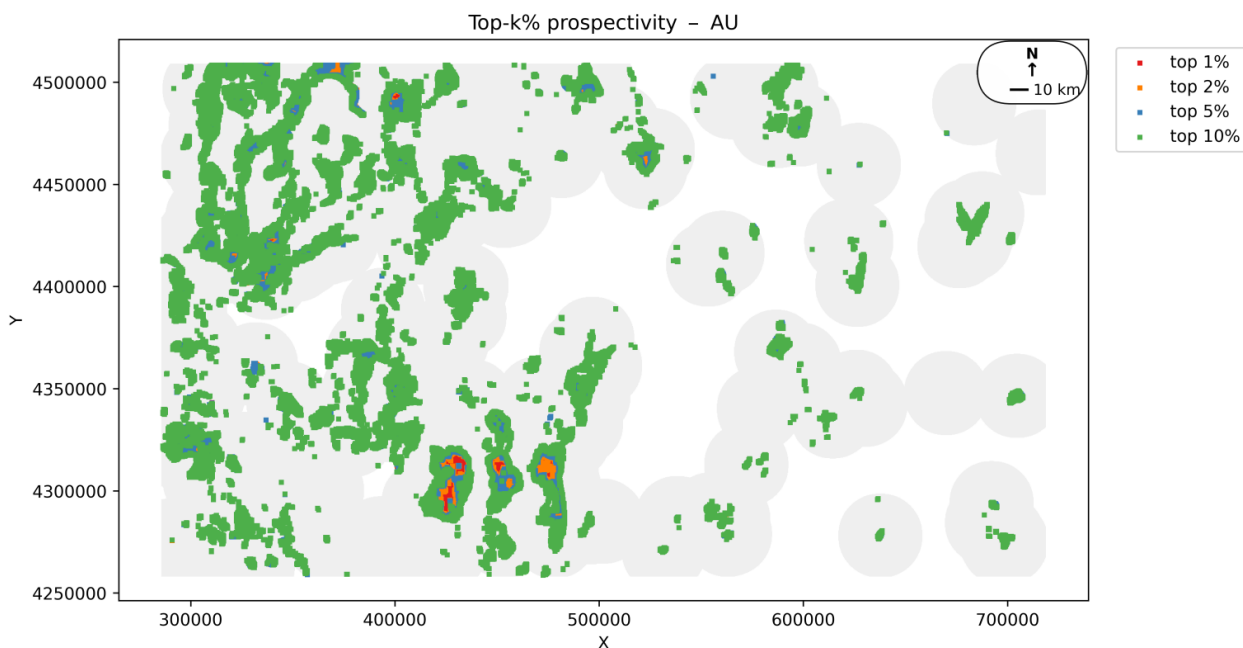


Рисунок 2 - Тор-к карта калиброванной перспективности Au внутри области применимости модели

Как видно на рис. 2, область применимости занимает лишь часть исходного полигона, что отражает неравномерность покрытия предикторами и обучающими данными. Внутри АОА перспективные зоны концентрируются в нескольких компактных кластерах. При переходе от top 10 % к top 1 % площадь выделенных участков существенно сокращается, однако они продолжают совпадать с известными Au-Ag проявлениями и структурно благоприятными сегментами разломов. Такой характер распределения согласуется с результатами других исследований по МРМ, где отмечается концентрация значительной доли известных месторождений в небольшой части площади, соответствующей верхним процентилям прогнозной вероятности [1, 2, 16].

Анализ относительной важности признаков (по внутренним метрикам Random Forest) показывает доминирующий вклад структурных предикторов, связанных с расстоянием до разломов и значениями TD/TS, а также градиентных характеристик гравитационного и псевдогравитационного поля. Тепловой поток демонстрирует устойчивый, но менее выраженный вклад, выступая как фоновый фактор, усиливающий перспективность в тех случаях, когда совпадает с благоприятной структурной обстановкой. Такая комбинация факторов соответствует представлениям о контроле Au-Ag оруденения глубинными разломами, зонами растяжения и повышенным тепловым режимом [8, 9, 11, 12, 16].

Практическая значимость и выводы.

Представленный кейс показывает, что интеграция геофизических полей и машинного обучения позволяет получать не только «красивые» карты аномалий, но и количественно калиброванные карты перспективности с явной областью применимости. Использование PU-сценария, пространственно блокированной кросс-валидации и АОА способствует реалистичной оценке ошибки и снижению риска переоценки прогноза при сильной пространственной автокорреляции данных. Формирование top-k карт внутри АОА делает результаты непосредственно применимыми для планирования геологоразведочных работ: при заданном

бюджете по площади можно формировать ранжированный список целей бурения и прогнозировать ожидаемый рост hit-rate.

Методика, продемонстрированная на участке в Неваде, может быть адаптирована к задачам прогнозирования перспективности в Казахстане. Для этого требуется сопоставимый набор данных: карты гравитации и магнитного поля, структурные схемы с оценками разломной тектоники и, по возможности, данные по тепловому полю и геохимическим индикаторам. При наличии хотя бы ограниченного набора известных месторождений и рудопроявлений подход позволяет строить калиброванные карты перспективности, а также явно показывать зоны, где модель вынуждена экстраполировать за пределы обучающей области. Это важно как с научной точки зрения, так и для практического сокращения затрат на бурение.

Список литературы:

1. Porwal A., Kreuzer O.P. Mineral prospectivity analysis and quantitative resource estimation // *Ore Geology Reviews*. - 2010. - Vol. 38, No. 3. - P. 121-127.
2. Carranza E.J.M. Data-driven predictive mapping of mineral prospectivity // *Computers & Geosciences*. - 2015. - Vol. 80. - P. 1-12.
3. Xiong Y., Zuo R. Mapping mineral prospectivity through big data analytics and deep learning // *Computers & Geosciences*. - 2018. - Vol. 115. - P. 38-50.
4. Mou N., Carranza E.J.M., Wang G. et al. A framework for data-driven mineral prospectivity mapping with interpretable machine learning // *Journal of Geochemical Exploration*. - 2023. - Vol. 249. - Article 107091.
5. Elkan C., Noto K. Learning classifiers from only positive and unlabeled data // *Proceedings of the 14th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. - 2008. - P. 213-220.
6. Roberts D.R., Bahn V., Ciuti S. et al. Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure // *Ecography*. - 2017. - Vol. 40, No. 8. - P. 913-929.
7. Meyer H., Pebesma E. Predicting into unknown space? Estimating the area of applicability of spatial prediction models // *Methods in Ecology and Evolution*. - 2021. - Vol. 12, No. 9. - P. 1620-1633.
8. Faulds J.E., Henry C.D. Tectonic influences on the spatial and temporal evolution of the Walker Lane // *Geosphere*. - 2008. - Vol. 4, No. 3. - P. 435-458.
9. Faulds J.E., Hinz N., Coolbaugh M. et al. Favorable tectonic and structural settings of geothermal systems in the Great Basin region, western USA // *Geothermal Resources Council Transactions*. - 2015. - Vol. 39. - P. 1-12.
10. Lachenbruch A.H., Sass J.H. Heat flow in the United States and the thermal regime of the crust // *Geological Society of America Special Paper*. - 1978. - Vol. 222. - P. 1-21.
11. Siler D.L., Faulds J.E., Mayhew B., McNamara D. 3-D geologic controls of hydrothermal fluid flow at Brady geothermal field, Nevada, USA // *Geothermal Energy*. - 2021. - Vol. 9. - Article 19.
12. Siler D.L. 3D analysis of geothermal fluid flow favorability // *Proceedings of the Stanford Geothermal Workshop*. - 2016. - P. 1-8.
13. Lee J., Kim S., Lee J. Learning from positive and unlabeled data: A survey // *IEEE Access*. - 2018. - Vol. 6. - P. 71620-71645.
14. Wang Y., Li J., Zhang H. et al. A new cross-validation method to evaluate geospatial models // *Ecological Indicators*. - 2023. - Vol. 148. - Article 110154.
15. Niculescu-Mizil A., Caruana R. Predicting good probabilities with supervised learning // *Proceedings of the 22nd International Conference on Machine Learning*. - 2005. - P. 625-632.
16. Tang J., Wang G., Sun X. et al. Mineral prospectivity mapping for exploration targeting of critical metal deposits using ensemble machine learning // *Minerals*. - 2025. - Vol. 15, No. 10. - Article 1050.

Э. А. Абишев ¹, С. К. Муратов ¹, М. М. Абдыров ², А. Шарапатов ^{1,2}

¹КазННТУ им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

²ТОО «GeoShar», Алматы, Казахстан

Магнитные и электрические характеристики золото-сульфидной минерализации Калба-Нарымского тектонического блока

Аннотация. В статье представлены результаты комплексных геофизических исследований золото-сульфидной минерализации в пределах Калба-Нарымского тектонического блока. На основе высокоточной магнитометрии и метода вызванной поляризации OreVision IP выполнено изучение магнитных и электрических характеристик пород. Построены карты аномального магнитного поля, геоэлектрические разрезы и рассчитаны параметры Gold Index и Metal Factor, позволившие выделить перспективные зоны концентрации сульфидных минералов. Установлена связь аномалий с тектоническими разломами и зонами метасоматических изменений. Полученные результаты подтверждают эффективность комплексного применения магнитных и электрических методов при поисках золотоносных структур.

Ключевые слова: Калба-Нарымский тектонический блок, золото-сульфидная минерализация, магнитометрия, вызванная поляризация, OreVision IP, Gold Index, Metal Factor, геофизические аномалии.

Введение. Изучение физических полей Земли является важным направлением при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений. В пределах Калба-Нарымского тектонического блока, входящего в структуру Восточно-Казахстанского металлогенического пояса, развиты зоны кварцево-сульфидной минерализации, связанные с тектоническими нарушениями и зонами метасоматических преобразований пород.

Магнитные и электрические методы позволяют детально исследовать внутреннее строение геологических объектов, выявить аномальные зоны, ассоциированные с рудными телами, и оценить их пространственное положение. В последние годы широкое применение получила методика высокоточной магнитометрии и модифицированный метод вызванной поляризации (OreVision IP), обеспечивающие глубину исследования до 400–450 м при высокой разрешающей способности.

Целью данной работы является определение магнитных и электрических характеристик золото-сульфидной минерализации Калба-Нарымского блока и выявление геофизических признаков, указывающих на присутствие рудных тел.

Геологическая характеристика района исследований. Калба-Нарымский тектонический блок характеризуется сложным геологическим строением и выраженной мозаичностью структур. Здесь широко развиты метаморфические, осадочные и интрузивные образования палеозойского возраста, осложнённые системой продольных и поперечных разломов. В пределах блока выделяются зоны интенсивных метасоматических изменений, по которым приурочена золото-сульфидная минерализация.

Основные рудные минералы представлены пиритом, арсенопиритом, халькопиритом, сфалеритом и другими сульфидами, а также их ассоциациями с кварцем и карбонатами. Наличие этих минералов вызывает значительные контрасты по магнитной восприимчивости и электрическому сопротивлению, что делает геофизические методы высокоинформативными для их выявления.

Формирование золоторудных тел происходило в результате циркуляции гидротермальных растворов по системе разломов и трещин. В зонах их пересечения развиты кварцево-карбонатные жилы и прожилки, сопровождаемые метасоматозом и рассеянной сульфидной минерализацией. Такие структуры служат основными геофизическими целями, на которых сосредоточено внимание при интерпретации данных.

Методика геофизических исследований.

Магнитометрические исследования. Магнитная съёмка выполнялась с использованием высокоточных квантовых магнитометров **GSM-19 v7.0**, работающих на эффекте Оверхаузера. Приборы обладают высокой чувствительностью (0,022 нТ/√Гц) и точностью $\pm 0,1$ нТ, что позволяет регистрировать слабые магнитные вариации, соответствующие рудным телам.

Съёмка проводилась по сети профилей с использованием магнитовариационной станции для учёта суточных изменений поля. Обработка данных производилась в пакете **Geosoft Oasis Montaj** с выполнением следующих процедур: фильтрация данных, редукция к полюсу, построение карт аномального магнитного поля и его трансформант, вычисление вертикальных и горизонтальных производных, а также аналитического сигнала.

На карте аномального магнитного поля (Рисунок 1) выделяются положительные и отрицательные аномалии, отражающие изменение состава и степени метаморфизма пород. Наиболее выраженные линейные аномалии северо-восточного и северо-западного направлений интерпретируются как зоны тектонических нарушений, являющиеся каналами поступления рудоносных растворов.

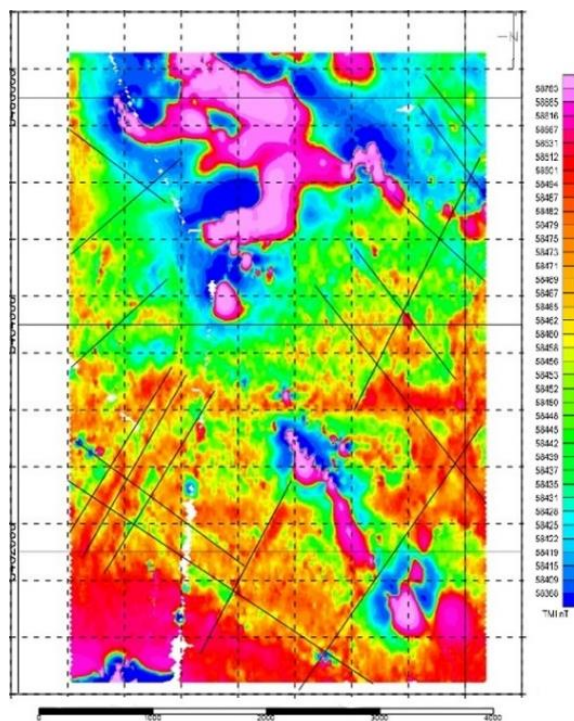


Рисунок 1 - Карта аномального магнитного поля и результаты качественной интерпретации

Электроразведочные исследования. Электроразведочные работы проводились методом вызванной поляризации в модификации **OreVision IP**, которая обеспечивает большую глубину

исследования и улучшенное разрешение по сравнению с традиционными методами. Для измерений использовались измерители **IRIS ELREC PRO** и генераторная система **TIPIX 3000**.

Метод OreVision IP основан на регистрации параметров поляризуемости и удельного электрического сопротивления горных пород. Высокие значения поляризуемости указывают на наличие сульфидных минералов, а низкие значения сопротивления — на участки с повышенной трещиноватостью и окварцеванием.

Индекс Золота	<p>По значениям сопротивления / поляризуемости полученным по данным 3D инверсии был рассчитан индекс золота.</p> <p>Индекс золота, рассчитывается по формуле (Поляризуемость² x Сопротивление / 1000),</p> <p>Gold Index (GI) = (поляризуемость² x сопротивление / 1000)</p> <p>выделяет зоны с повышенными значениями сопротивления и поляризуемости которые могут содержать вкрапленные сульфиды в кварцевых жилах или карбонитизированные зоны изменения. Индекс золота может быть полезен в выделении зон сопротивления и поляризуемости, но должен интерпретироваться с осторожностью, особенно в районах с умеренной поляризуемостью и различными значениями сопротивления, так как зона высокого сопротивления с умеренной поляризуемостью может показать высокие значения индекса. Перед тем как принимать какое-либо решение по значению индекса золота, следует обратить внимание на данные сопротивления и поляризуемости. Данный метод не выделяет проводящие зоны с высокими значениями поляризуемости, которые также могут быть интересны.</p>
Фактор Металла	<p>Фактор Металла был рассчитан по данным сопротивления и поляризуемости по следующей формуле:</p> <p>Metal Factor (MF) = (поляризуемость / $\sqrt{\text{сопротивление}}$) x 1000</p> <p>Это позволит выделить зоны с низким сопротивлением и высокой поляризуемостью которые могут быть связаны с вмещающими сульфидами ассоциируемые с золотом в зонах разлома, и/или полумассивные до массивных сульфидов. Несмотря на то, что фактор металла может быть полезен в выделении проводящих, поляризуемых объектов, он должен интерпретироваться внимательно особенно в зонах со средними значениями поляризуемости и различным сопротивлением, также в зонах с низким сопротивлением и средними значениями поляризуемости. Данные сопротивления и поляризуемости должны быть использованы для совместной интерпретации с данными фактора металла.</p>

Расчет коэффициентов Metall Factor и Gold Index проводился по следующим формулам: инверсия данных выполнялась в программных комплексах **ZondRes2D** и **Res2Dinv** с учётом топографии поверхности. Полученные геоэлектрические разрезы позволяют выделить аномальные зоны с высокими значениями Gold Index и Metal Factor, отражающие области сульфидной минерализации (Рисунок 2)

Результаты и обсуждение. Магнитные и электрические данные позволили комплексно охарактеризовать распределение рудоконтролирующих структур и золото-сульфидных зон.

Магнитное поле Калба-Нарымского блока отличается невысокой интенсивностью — от **58380 до 58780 нТл**, что указывает на преобладание слабо намагниченных пород. Тем не менее выделяются локальные аномалии овальной и линейной формы, отражающие интрузивные тела и зоны метасоматических изменений. Наиболее интенсивные аномалии сосредоточены в пределах

систем северо-восточных и северо-западных разломов, где отмечаются резкие градиенты поля (рисунок 1).

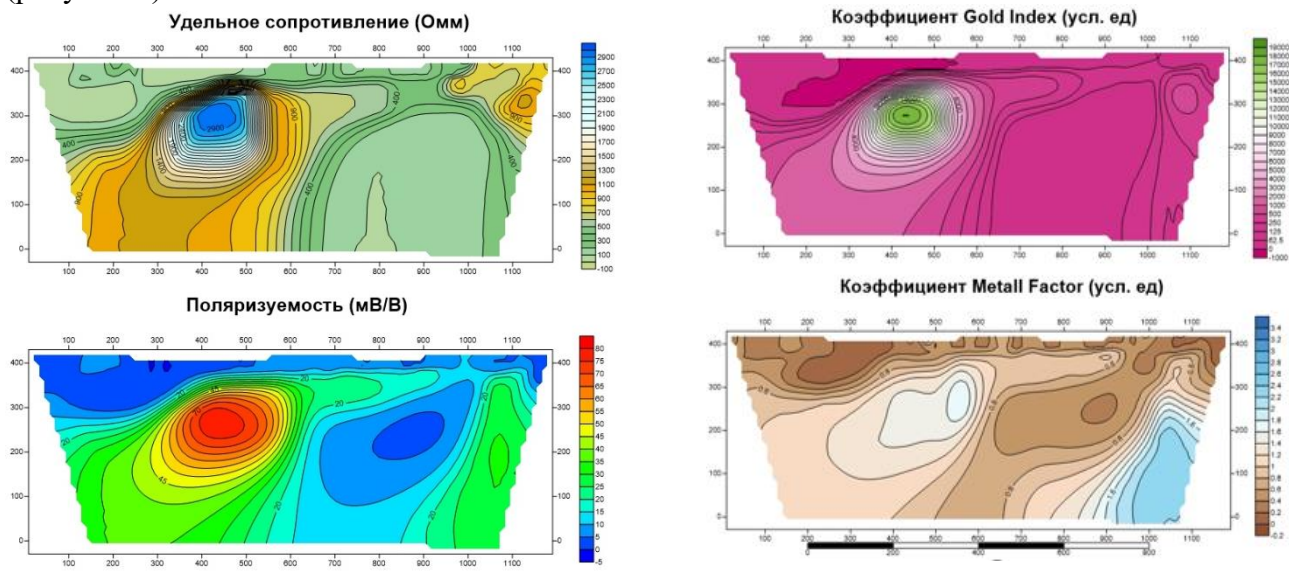


Рисунок 2 – Разрез инверсии данных с параметрами GoldIndex и Metal Factor

Для уточнения характера магнитных аномалий была проведена качественная интерпретация, позволившая выделить сеть тектонических разломов, зоны метасоматических изменений и участки возможной концентрации рудных тел. На схеме интерпретации (рисунок 3) отчётливо видны зоны пересечения продольных и поперечных структур, благоприятные для локализации золото-сульфидной минерализации.

Зоны пересечения тектонических нарушений характеризуются повышенными значениями параметров **Gold Index** и **Metal Factor**, что указывает на присутствие рудных тел, обогащённых сульфидными минералами. На инверсионных разрезах выделяются участки с поляризуемостью до 10 мВ/В и сопротивлением свыше 300 Ом·м. Эти значения соответствуют зонам карбонатизации и кварцево-сульфидной минерализации.

Совместная интерпретация данных позволила выделить три типа геофизических аномалий:

1. Зоны метасоматических изменений — низкое сопротивление, слабая поляризуемость;
2. Зоны рассеянной сульфидной минерализации — умеренные значения обоих параметров;
3. Зоны концентрированной золото-сульфидной минерализации — высокие значения Gold Index ($>0,8$) и Metal Factor (>1200).

Анализ пространственного положения аномалий показывает их приуроченность к перекрещивающимся разломным системам. В пределах этих структур формировались условия для гидротермальной циркуляции и осаждения золотоносных сульфидов. Выделенные участки являются перспективными для постановки поисково-разведочного бурения (рисунок 3).

Комплекс магнитных и электрических исследований доказал высокую эффективность для выявления скрытой минерализации. Магнитная разведка позволяет определить структурные границы и разломные зоны, а метод OreVision IP — непосредственно картировать тела с повышенным содержанием сульфидов. Их сочетание даёт целостную модель распределения золото-сульфидных рудных зон в тектоническом блоке.

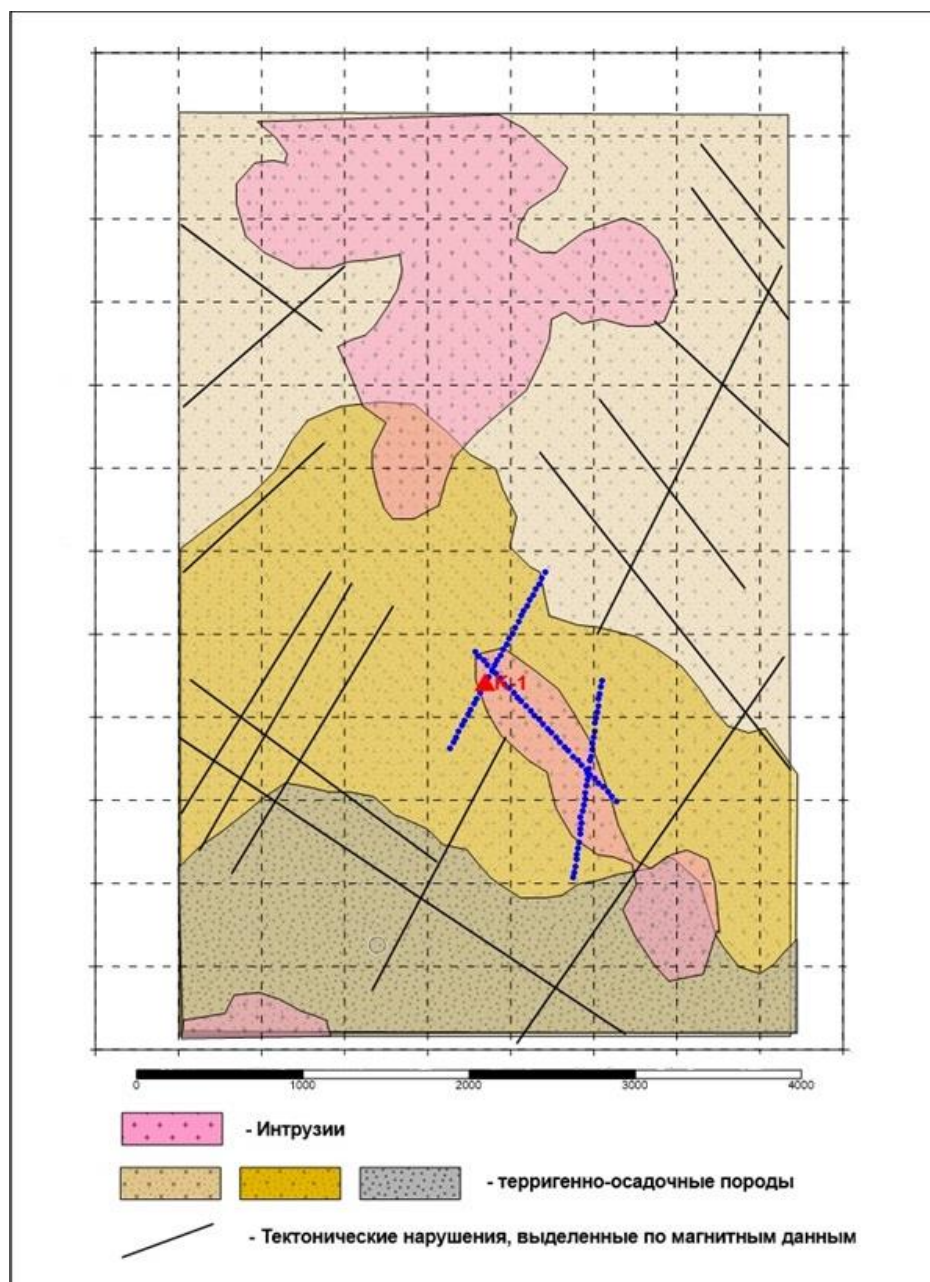


Рисунок 3 - Схема качественной интерпретации магнитного поля и размещения аномалий коэффициента GoldIndex и положение рекомендуемых скважин на карте электроразведочных профилей

Заключение. В результате комплексных геофизических исследований в пределах Калба-Нарымского тектонического блока получены новые данные о структуре и физико-геологических характеристиках золото-сульфидной минерализации.

Анализ магнитных и электрических полей позволил выделить зоны повышенной поляризуемости и аномальной магнитной активности, приуроченные к разломам и зонам метасоматических изменений. Эти участки интерпретируются как перспективные по золотоносной минерализации. Применение метода OreVision IP показало высокую эффективность при изучении глубинных сульфидных тел, а расчетные параметры **Gold Index** и **Metal Factor** обеспечили количественную оценку степени минерализованности пород.

Результаты подтверждают тесную связь рудных тел с тектоническими нарушениями северо-восточного и северо-западного направлений. Комплекс магнитных и электроразведочных методов рекомендован для дальнейших поисково-разведочных работ и уточнения геофизической модели золотоносных структур Калба-Нарымского блока.

Список литературы:

1. Гринкевич Г.И. Магниторазведка. Учебник для техникумов. – М.: Недра, 1987.
2. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. – Л.: Недра, 1979.
3. Инструкция по магниторазведке. М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1981.
4. Яновский Б.М. Земной магнетизм. – Л.: ЛГУ, 1978.
5. Серкерев С.А. Гравиразведка и магниторазведка. – М.: Недра, 1999.
6. Паркинсон У. Введение в геомагнетизм. М.: Мир, 1986.
7. Гордин В.М. Очерки по истории геомагнитных измерений. – М.: ИФЗ РАН, 2004. – 162 с.
8. Магниторазведка. Справочник геофизика. – М.: Недра, 1980.

Н. Э. Әсірбек¹, Ә. Б. Садуов¹, М. М. Абдыров², Ә. Шарапатов^{1,2}

¹КазННТУ им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

²ТОО «GeoShar», Алматы, Казахстан

СИНТЕЗИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ УРАНОВЫХ ГОРИЗОНТОВ В ШУ-САРЫСУСКОЙ ДЕПРЕССИИ

Аннотация. Цель данной работы — разработка методологии синтезированного 3D моделирования для повышения эффективности освоения урановых месторождений Шу-Сарысуской депрессии, приуроченных к зонам пластового окисления в песчано-гравийных отложениях. Актуальность обусловлена необходимостью оперативного и точного определения петрофизических параметров (глинистость, карбонатность, грансостав), которые критически влияют на фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) и кислотоемкость пород. Эти свойства являются ключевыми для технологии подземного скважинного выщелачивания (ПСВ).

Предложенный подход основан на калибровке данных геофизических исследований скважин (ГИС) лабораторными анализами с последующей геостатистической интерполяцией данных для создания трехмерной модели распределения свойств.

Ключевые слова: электрические каротажи (КС, ПС, ИК), петрофизические свойства (карбонатность, глинистость), урановорудные горизонты, Шу-Сарысуская депрессия, синтезированное 3D моделирование

Шу-Сарысуской эпикаледонской впадины связано с начальным этапом каледонского орогенеза, а ее последующее развитие определялось циклическим чередованием фаз тектонической активизации (поднятий и прогибов) в палеозое и мезозое, что обусловило ее современную структурно-геологическую организацию (Рисунок 1).

В триас–юрский период впадина представляла собой поднятое денудационное плато. В условиях влажного (гумидного) климата происходило интенсивное химическое и физическое выветривание домезозойских пород. Этот процесс приводил к дезинтеграции пород и мобилизации (переводу в подвижные формы) ряда элементов, включая уран (U), литий и редкоземельные элементы, готовя "сырье" для последующего оруденения.

В раннетуронский этап произошло существенное расширение области осадконакопления на обширной озерно-аллювиальной равнине, где формировались проницаемые гравийно-песчаные отложения мынкудукского горизонта, служившие будущим коллектором для рудных растворов. Позднее, после кратковременной тектонической стабилизации, обширное поднятие обрамляющих структур привело к накоплению высокопроницаемых галечно-гравийных толщ инкудукского горизонта.

В конце верхнего мела и раннем палеоцене территория превратилась в область интенсивного регионального выравнивания и выветривания в окислительных условиях, что привело к формированию мощной зоны пластового окисления (ЗПО) — важнейшего структурного элемента будущих инфильтрационных месторождений.

Олигоцен отмечен началом активного неотектогенеза (связанного с бактыкарынской фазой), который инициировал развитие региональных зон пластового окисления (ЗПО) в меловых и палеоцен-эоценовых отложениях. Эти ЗПО представляют собой фронты химического окисления, по которым циркулирующие кислые, насыщенные кислородом воды выщелачивали уран из вышележащих пород и переотлагали его на геохимическом барьере нижележащих

4. Оценка качества керна и полноты его извлечения при бурении скважин.
5. Контроль технического состояния скважин (например, целостности обсадной колонны, качества цементирования и др.

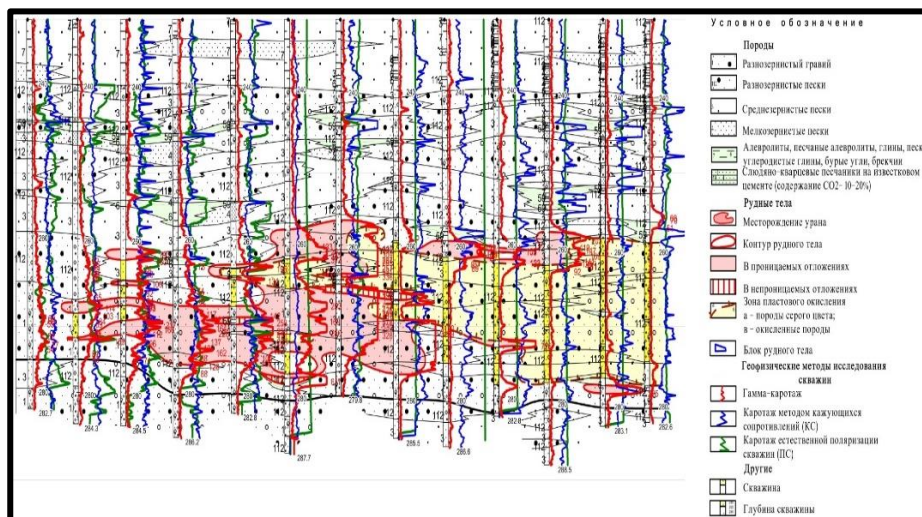


Рисунок 2 - Литолого-фациальный разрез по разведочным скважинам на урановом месторождении XX с выделением геофизические исследования скважин (КС, ПС, ГС) данных, масштаб 1:200 000

Глинистость и карбонатность являются ключевыми петрофизическими параметрами урановых горизонтов, определяющими как геологические условия формирования залежей, так и технологическую эффективность их разработки методом подземного скважинного выщелачивания (ПТВ). Увеличение содержания этих минералов критически влияет на фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) и кислотоёмкость пород. Рост этих показателей ведет к резкому снижению проницаемости для выщелачивающих растворов и повышению расхода реагентов, что снижает экономическую эффективность ПТВ.

Необходимость оперативного решения геолого-технологических задач требует перехода от лабораторных анализов проб к использованию геофизических методов исследований скважин (ГИС) (Рисунок 3).

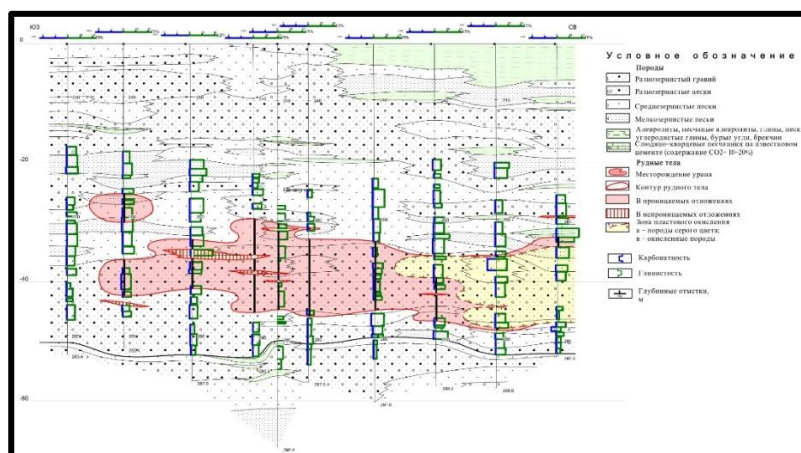
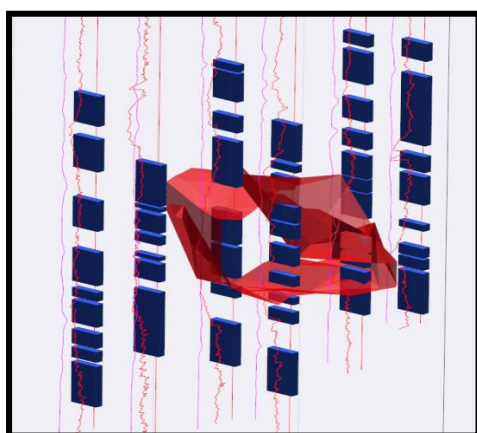


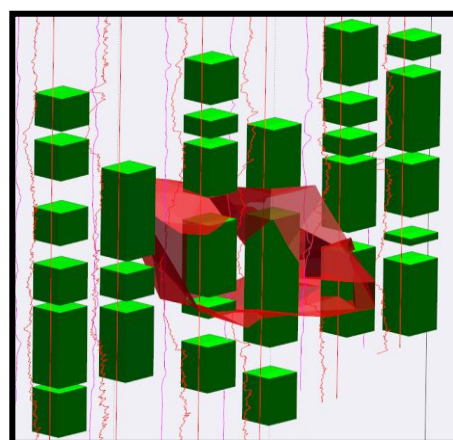
Рисунок 3 - Литолого-фациальный разрез с выделением карбонатности, глинистости по лабораторным исследованиям, масштаб 1:200 000

Все урановорудные объекты Шу-Сарысуской провинции, относится к пластово-инфильтрационному генетическому типу, связанного с развитием в проницаемых водоносных горизонтах верхнего мела региональной окислительной рудоконтролирующей зональности, технология отработки которых способом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) в настоящее время освоена и широко применяется промышленностью. Оно приурочено к близширотной части рудоносных фронтов пластового окисления и характеризуется простой морфологией рудных залежей в плане, выдержанностью их контуров по простиранию.

Построение трехмерной геометрической основы (каркаса) месторождения, включающего поверхности продуктивных пластов и разломы. Калибровка данных ГИС по лабораторным анализам для вычисления интегральных петрофизических свойств (глинистость, карбонатность, пористость, проницаемость) в каждой исследованной скважине. Применение методов геостатистики для пространственной интерполяции значений петрофизических параметров от скважин к объему всего блока. Создание 3D-кубов, где каждому элементарному объему (вокселу) присвоено конкретное значение глинистости, карбонатности или грансостава, что позволяет проводить визуальный и количественный анализ (Рисунок 4).



карбонатность, рудное тело



глинистость рудное тело

Рисунок 4 - 3D моделирование в разрезе

Закключение. Синтезированное 3D моделирование является высокоэффективным инструментом для визуализации и количественной оценки распределения ключевых петрофизических параметров в межскважинном пространстве (рисунок 5).

Петрофизические свойства урановорудных горизонтов — в частности, глинистость, карбонатность и гранулометрический состав (грансостав) — выступают критическими факторами, контролирующими технологические процессы разработки. Построенная на основе геостатистической интерполяции калиброванных данных ГИС и лабораторных анализов, 3D модель обеспечивает необходимую детализацию для комплексного планирования.

Результаты моделирования служат основой для гидродинамических расчетов, позволяя прогнозировать пути движения выщелачивающих растворов, а также рассчитывать зоны закисления, что необходимо для минимизации непроизводительных потерь реагентов при подземном скважинном выщелачивании (ПСВ).

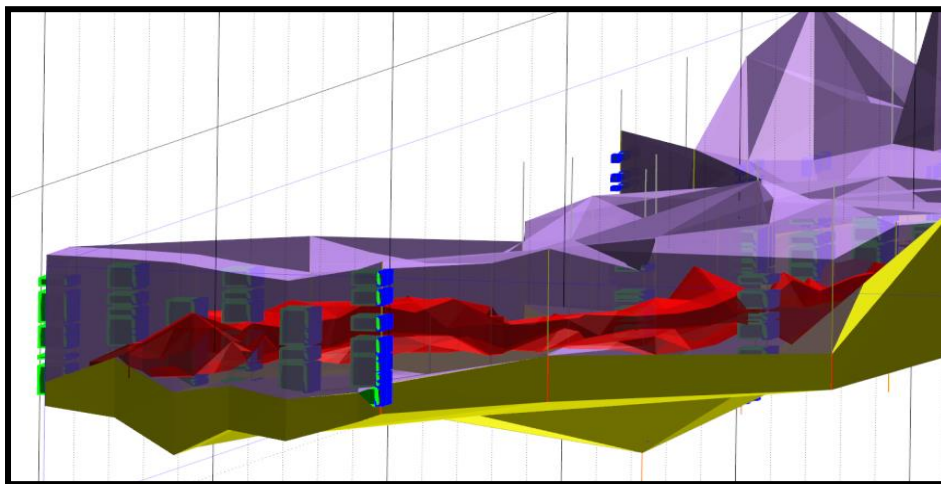


Рисунок 5 - Синтезированная 3D модель – карбонатность и глинистость, рудное тело урановорудные горизонты по всему участку

Более того, модель способствует повышению точности оконтуривания рудных интервалов, учитывая технологические ограничения, связанные с неблагоприятными фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС).

Таким образом, синтезированное 3D моделирование распределения глинистости, карбонатности и грансостава представляет собой ключевой элемент в системе петрофизического контроля и является интегральным инструментом для геологического, горно-геологического и технологического планирования разработки месторождения.

Благодарность. Данная статья финансировалась Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках грантового финансирования молодых ученых по проекту «Жас ғалым» на тему AP25793737 «Совершенствование методики петрофизического обоснования интерпретации данных и повышения эффективности геофизических исследований скважин на урановых месторождениях экзогенного типа».

Список литературы:

1. Petrov N. N., Berikbolov B. R., Aubakirov X. B., Vershkov A. F., Lukhtin V. F., Plekhanov V. N., Chernyakov V. M., Yazikov V. G. (2008) Uranium deposits of Kazakhstan (exogenous). Second edition. Almaty, 320 p. [Uranovyye mestorozhdeniya Kazakhstana (ekzogennyye). Izdaniye vtoroye] ISBN 5-628-01763-9 (in Russian)
2. Sharapatov A., Assirbek N., Samanbetov N. (2023) Evaluation of the efficiency of electric logging methods when studying tightness of casing strings in wells of uranium deposits. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. V. 334. 10. P. 7–15 ISSN:2500-1019, E-ISSN:2413-1830 [Otsenka effektivnosti metodov elektrokartazha pri izuchenii germetichnosti obsadnykh kolonn v skvazhinakh uranovykh mestorozhdeniy] <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/10/4336> (in Russian)
3. A. Sharapatov, N. Assirbek, A. Saduov, M. Abdyrov, B. Zhumabayev. (2024) Consolidated geological and geophysical characteristics of uranium deposit rocks and prospects for their utilization (Shu-Sarysu province, Kazakhstan). News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, «Halyk» Private Foundation, Series of geology and technical sciences, 6 (467), P. 210–229 ISSN 2518-170X (Online) <https://doi.org/10.32014/2024.2518-170X.471> (in English)

Ж.К. Жунусова, А. О. Абилаханова

ТОО «Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований»,
Алматы, Казахстан.

ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 04.03.2024 г.

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены параметры землетрясения 4 марта 2024 г. магнитудой $m_{pv}=5.8$, проявившегося в г. Алматы с интенсивностью 5 баллов. В статье изучены пространственные характеристики очага, построены стереограммы фокальные механизмов события. В статье описана сейсмическая история региона, отражающая его особую сейсмодинамическую природу и энергетическую активность.

Ключевые слова: землетрясение, эпицентр, механизм очага, разлом, нодальная плоскость, сжатие, растяжение.

Введение. В предгорьях Заилийского Алатау трижды происходили разрушительные землетрясения: Верненское в 1887 году с магнитудой 7,3, Чиликское в 1889 году с магнитудой 8,3 и Кеминское в 1911 году с магнитудой 8,2 [1]. Значительные сейсмические события также зафиксированы в Северном Тянь-Шане в XX веке, включая Жаланащ-Тюпское землетрясение 1978 года с магнитудой 6,9 и Суусамырское землетрясение 1992 года, достигшее магнитуды 7,3.

Такие мощные землетрясения обычно связывают с сейсмогенерирующими зонами региона Северного Тянь-Шаня. Основными из них в Заилийском Алатау являются Алма-Атинская, Заилийская и Чилико-Кеминская зоны. Сейсмopotенциал этих районов достаточно высок: предполагаемые магнитуды сильнейших землетрясений, возникающих в очагах этих зон, варьируются от 7,5 до 8,5, а предполагаемая интенсивность сотрясений для данной территории достигает 8–10 баллов [2]. Исследования показывают, что границы сейсмоактивных зон совпадают с простиранием хребтов Заилийский и Кунгей Алатау, а также Чилико-Кеминской зоны разломов. Причины появления сейсмических колебаний являются тектонические процессы земной коры.

Основная часть. Одним из наиболее сильных землетрясений, произошедших в регионе за последнее время, стало событие 4 марта 2024 года в 06:22 по UTC. Эпицентр этого землетрясения располагался в 31 км от города Алматы, на границе Казахстана и Киргизии. Интенсивность сотрясений в городе Алматы достигла 5 баллов.

Таблица 2 - Параметры события 04.03.2024 г.

Дата	Время	Координаты		Глубина	Класс	Магнитуда M_{pv}
		Широта	Долгота			
4.03.2024	06:22:51 UTC	42.57	76.53	25	13.1	5.8

Данное событие было зафиксировано всеми станциями Казахстанской сейсмической сети. Поскольку основная сеть Республики расположена на юге, записи события на большинстве станций являются четкими и достоверными. Пример записи данного землетрясения приведен на рисунке 3.

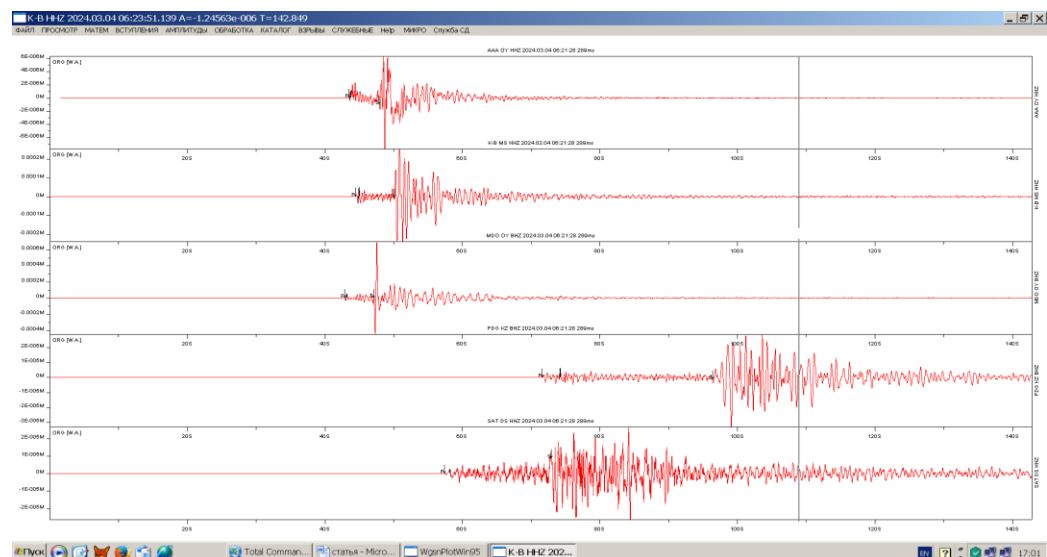


Рисунок 3 - Запись сейсмического события (04.03.2024 г., 06:22 UTC)

Все программы, примененные для локализации гипоцентров, основаны на методе засечек. В процессе обработки данных Казахстанской сейсмической сети была использована программа DIMAS [8]. На рисунке 4 приведена локализация землетрясения, которая произошла 4 марта 2024 года в 06 часов 22 минуты по Гринвичу.

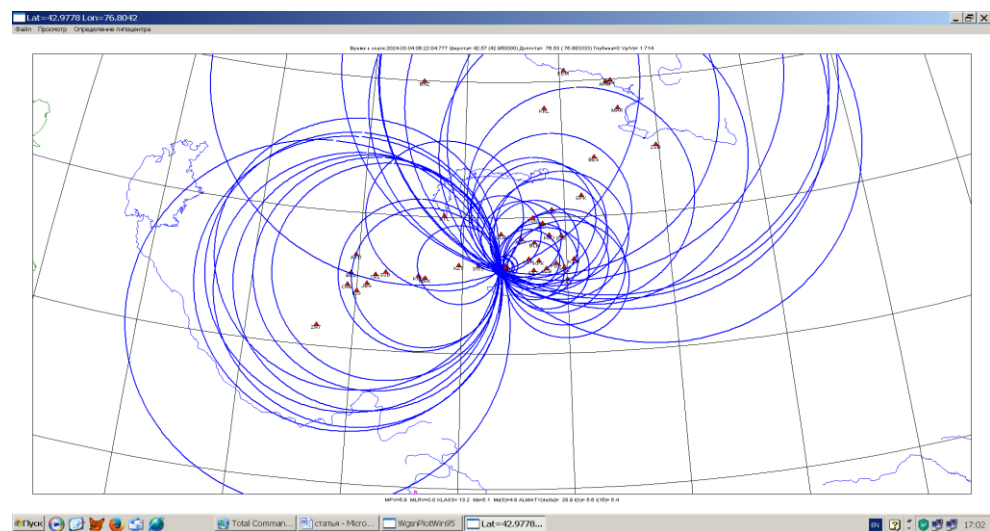


Рисунок 4 - Локализация эпицентра землетрясения (04.03.2024 г., 06:22 UTC) с использованием метода засечек

Таблица 3 - Параметры механизма очага землетрясения (04.03.2024 г., 06:22 UTC)

№	Дата, д. м.	t_0 , ч/ мин/ с	координаты				h , км	K	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
									P		T		N		$NP1$			$NP2$		
			широта	долгота					AZM	PL	AZM	PL	AZM	PL	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$
1	04.03. 2024	06:22:51	42°	57'	76°	53'	20	13.0	157	41	273	27	26	37	132	39	-167	32	82	-51

Фокальный механизм очага землетрясения с $K=13.1$ определены с использованием 22 знаков первых движений Р-волн, записанных сейсмическими сетями ТОО «ННЦСНИ». Получено надежное решение механизма очага, в котором согласованность знаков составляет 100%. Механизм очага характеризуется сбросо-сдвигом. Оси напряжений сжатия ориентированы близгоризонтально в субмеридиональном направлении, оси напряжений растяжения – близвертикальны.

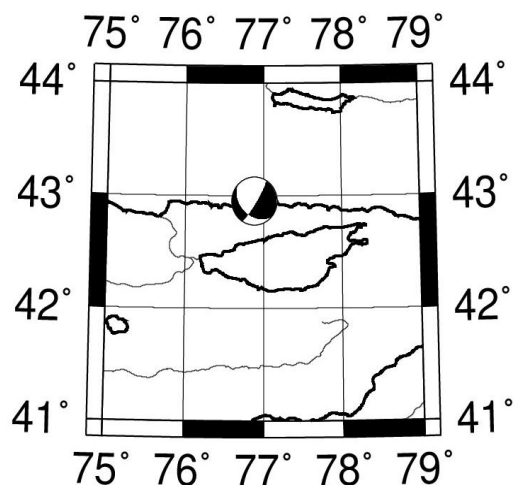


Рисунок 5 - Стереограмма механизм очага землетрясения (04.03.2024 г., 06:22 по UTC)

Представляет интерес тот факт, что это событие произошло в том же районе, где был очаг разрушительного Кеминского землетрясения в 1911г. и может означать, что тот очаг начал активизироваться. Более глубокий анализ этого землетрясения будет приведен в нашей следующей работе.

Работа выполнена по программе BR24992763 финансируемой комитетом науки Министерства науки и высшего образования Казахстана.

Список литературы:

1. Нурмагамбетов А.Н. Сейсмическая история Алматы. Алматы: LEM, 68 с. 1999.
2. Досымбекова Ж.Б., Досайбекова С.К., Жунусова Ж.К. 2020 жылғы жер сілкінісі ошақтары механизмдерінің деректері бойынша Солтүстік Тянь-Шань мен Жоңғар тауларының сеймотектоникалық жағдайы. Международной научной конференции «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений»- Алматы 2022. 249 б.
3. Досайбекова С. К., Далебаева Ж. А., Досымбекова Ж. Б., Жунусова Ж.К. «Анализ результатов наблюдений постоянной сетью сейсмического мониторинга на территории Казахстана». XI Казахстанско-Китайский международной симпозиум «Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска в Центральной Азии» 26-28 сентября 2023 год. г. Алматы, - С.150.
4. Полешко Н.Н., Досайбекова С.К. Сеймотектоническая обстановка по данным механизмов очагов землетрясений Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона Казахстана // Вестник АО «КазНИИСА» -2016. - С. 25-34.
5. Сиылканова А.О., Узбеков Н.Б., Ратов Б.Т., Степаненко Н.П. (2023) О суточной периодичности потока слабых землетрясений на территории Жонгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона. Труды университета №2 (91) С:148-153. (ISSN 1609-1825), (ISSN Print) (2710-3382) (Online) г.Караганда. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2023_2_148.

Ж.И. Шоқбытов

Жетекшісі – Б.П. Суйрибаев физика және информатика пәндерінің оқытушысы

«Каспий» жоғары педагогика және салалық технологиялар колледжінің III курс студенті
Жаңаөзен, Қазақстан.

МАҢҒЫСТАУ ӨНІРІНДЕ ПАЙДАЛАНУДАН ШЫҚҚАН МҰНАЙ-ГАЗ ҰҢҒЫМАЛАРЫН ГЕОТЕРМАЛЬДЫ ЭНЕРГИЯ КӨЗІ РЕТІНДЕ ҚАЙТА БЕЙІМДЕУДІҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МҮМКІНДІКТЕРІ

Аңдатпа. Бұл зерттеуде Маңғыстау өңіріндегі пайдаланудан шыққан мұнай-газ ұңғымаларын геотермальды энергия көзі ретінде қайта бейімдеудің техникалық және экологиялық мүмкіндіктері талданады. Зерттеу мақсаты – ұңғымалардың геотермалдық әлеуетін бағалау, термиялық қасиеттерін анықтау және оларды қайта пайдалану тиімділігін негіздеу. Әдістер ретінде ұңғыма құрылымдарын инженерлік тұрғыдан талдау, қабат температураларын модельдеу және жылуалмасу параметрлерін есептеу қолданылды. Нәтижелер Маңғыстаудағы терең ұңғымалардың 40–90 °С диапазонында тұрақты жылу бере алатынын көрсетеді. Экологиялық тұрғыдан, қалдық ұңғымаларды қайта бейімдеу жер қыртысын бұзуды азайтып, көміртек шығарындыларын төмендетеді. Зерттеу өңірдің энергетикалық инфрақұрылымын әртараптандыруға және төменкөмірлі даму стратегиясын қолдауға мүмкіндік беретінін айқындайды.

Түйінді сөздер: геотермальды энергия; мұнай-газ ұңғымалары; Маңғыстау; қайта бейімдеу; жылуалмасу; экологиялық тиімділік; энергетикалық тұрақтылық

Қазақстанның энергетикалық стратегиясы жаңартылатын энергия көздерін дамытуды талап етеді. Қазіргі таңда Маңғыстау аймағы геологиялық тұрғыдан бай және әртүрлі минералдық ресурстарға ие, оның ішінде тұз қабаттары бар. Осы қабаттар энергия сақтау және геотермальды энергия алу үшін перспективалы ресурс болып табылады. Олар қысым мен температураны ұзақ мерзімде тұрақты ұстай алады, бұл энергияны тиімді сақтау үшін маңызды [1].

Менің зерттеу мақсатым – Маңғыстау аймағының жер асты тұз қабаттарының геотермальды энергия алу және энергия сақтау потенциалын ғылыми тұрғыда зерттеу. Зерттеу міндеттері:

Қабаттардың тереңдігі мен қалыңдығын анықтау;

- Физикалық қасиеттерін өлшеу (жылу өткізгіштік, жылу сыйымдылығы, тығыздық);
- Температуралық градиенттерді есептеу;
- Геотермальды энергия алу модельдерін құру;
- Энергия сақтау сценарийлерін талдау;
- Нәтижелерді экономикалық және экологиялық тұрғыдан бағалау.

Зерттеу барысында геологиялық карталарды, скважиналық деректерді, лабораториялық өлшеулерді және математикалық модельдеуді қолдандым. Бұл әдістер қабаттардың потенциалын нақты бағалауға мүмкіндік берді [2].

Зерттеу бірнеше кезеңнен тұрды:

- **Геологиялық және геофизикалық талдау:** Геологиялық карталар мен скважиналық деректерді зерттей отырып, қабаттардың тереңдігі 200–1000м, кейбір учаскелерде 1200м, ал

қалыңдығы 50–150м, кейде 180м екенін анықтадым. Қабаттардың геометриялық орналасуы мен пішіні энергия алу және сақтау тиімділігіне әсер етеді.

- **Физикалық қасиеттерді өлшеу:** Лабораториялық зерттеулер бойынша:
- Тығыздық: 2,1–2,2 г/см³
- Жылу өткізгіштік: 3–6 Вт/м·К
- Жылу сыйымдылығы: 0,85–0,95 кДж/кг·К

Бұл көрсеткіштер энергияны ұзақ мерзімде тиімді сақтау мүмкіндігін дәлелдейді.

– **Температуралық градиенттерді есептеу:** Тереңдікке байланысты температураны келесі формуламен анықтадым: $T(z)=T_0+G \cdot z$ (з). Мұндағы T_0 — жер бетінің температурасы, G — температуралық градиент, z — тереңдік. Нәтижесінде орташа градиент 25–30 °С/км, кейбір жерлерде 35 °С/км болды. Терең қабаттарда температура 50–80 °С, кейбір жерлерде 100 °С дейін жетеді.

– **Геотермальды энергия алу моделін құру:** Энергия мөлшері келесі формула бойынша есептелді: $Q=V \cdot \rho \cdot C \cdot \Delta T$. Мұндағы V — қабат көлемі, ρ — тығыздық, C — жылу сыйымдылығы, ΔT — температура айырмасы.

- **Энергия сақтау сценарийлері:** Энергияны сақтау үшін үш сценарий қарастырылды:
- Қысқа мерзім: 1–2 тәулік, тиімділік 85%
- Орта мерзім: 1–3 ай, тиімділік 75%
- Ұзақ мерзім: 6–12 ай, тиімділік 65%

Нәтижелер мен талдау

1. Физикалық және геологиялық сипаттамалар. Қабаттардың геометриялық сипаттары энергия сақтау жүйелеріне тиімді. Олар қысым мен температураны ұзақ мерзімде тұрақты ұстайды [3,4].

Кесте 1 - Маңғыстау тұз қабаттарының физикалық сипаттары

Көрсеткіш	Құндылық	Бірлік
Қабат тереңдігі	200–1000	м
Қалыңдығы	50–150	м
Тығыздық	2,1–2,2	г/см ³
Жылу өткізгіштік	3–6	Вт/м·К
Жылу сыйымдылығы	0,85–0,95	кДж/кг·К

Бұл параметрлер тұз қабаттарын энергия сақтау резервуарлары ретінде қолдануға мүмкіндік береді.

2. Температуралық профильдер. Тереңдікке байланысты қабат температурасы 50–80 °С аралығында, кейбір жерлерде 100 °С дейін жетеді. Бұл шағын және орташа геотермальды қондырғылар үшін жеткілікті энергия береді.

3. Геотермальды энергия алу. Энергия алу моделдері бойынша қабаттардан алынатын энергия шамамен 8–20 МВт·сағ. Мысалы:

- Бірінші қабат 200–400 м тереңдікте 8,2 МВт·сағ
- Екінші қабат 400–700 м тереңдікте 12,5 МВт·сағ
- Үшінші қабат 700–1000 м тереңдікте 19 МВт·сағ

Бұл нәтижелер аймақ үшін шағын және орташа энергия қондырғыларын толық қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

4. Энергия сақтау. Энергия сақтау сценарийлері:

- Қысқа мерзім: 10 МВт·сағ енгізілсе, 8,5 МВт·сағ тиімді энергия алынады.

- Орта мерзім: 20 МВт·сағ енгізілсе, 15 МВт·сағ тиімді энергия алынады.
- Ұзақ мерзім: 30 МВт·сағ енгізілсе, 19,5 МВт·сағ тиімді энергия алынады.

Менің авторлық талдауым бойынша, Маңғыстау аймағының тұз қабаттары геотермальды энергия алу және энергия сақтау үшін перспективалы. Физикалық параметрлер энергияны ұзақ мерзімде сақтауға мүмкіндік береді, температуралық профильдер энергия алу үшін жеткілікті [5].

Геотермальды энергия потенциалы және қабат көлемдерін есептеу Маңғыстау аймағының тұз қабаттарының геотермальды энергия алу мүмкіндіктерін бағалау үшін алдымен әр қабаттың көлемін есептеу қажет болды. Мен зерттеген үш негізгі қабат бар:

- **Бірінші қабат:** 200–400 м тереңдік, орташа қалыңдық 60 м.
- **Екінші қабат:** 400–700 м тереңдік, орташа қалыңдық 80 м.
- **Үшінші қабат:** 700–1000 м тереңдік, орташа қалыңдық 100 м.

Қабат көлемін есептеу үшін келесі формула қолданылды: $V = S \cdot h$ мұндағы S —қабаттың алаңы (m^2), h — қабат қалыңдығы (м). Геологиялық карталардан алынған деректер бойынша әр қабаттың шамамен алаңы:

- Бірінші қабат: 4 km^2
- Екінші қабат: 6 km^2
- Үшінші қабат: 8 km^2

Осылайша, қабат көлемдері:

- Бірінші қабат: $4 km^2 \cdot 60 m = 0,24 km^3$
- Екінші қабат: $6 km^2 \cdot 80 m = 0,48 km^3$
- Үшінші қабат: $8 km^2 \cdot 100 m = 0,8 km^3$

Бұл көлемдер қабаттардың энергия сақтау қабілетін бағалауға мүмкіндік береді.

Энергия алу потенциалы. Геотермальды энергияны есептеу формуласы: $Q = V \cdot \rho \cdot C \cdot \Delta T$ мұндағы: V — қабат көлемі (m^3) ρ —тығыздық (2,1–2,2 г/см³, орташа 2,15 г/см³) C — жылу сыйымдылығы (0,9 кДж/кг·К) ΔT — температура айырмасы (°C) Есептеу нәтижесі:

Бірінші қабат: $0,24 km^3 \approx 2,4 \times 10^8 m^3$, $Q \approx 8,3 MВт \cdot сағ$

Екінші қабат: $0,48 km^3 \approx 4,8 \times 10^8 m^3$, $Q \approx 12,7 MВт \cdot сағ$

Үшінші қабат: $0,8 km^3 \approx 8 \times 10^8 m^3$, $Q \approx 19,1 MВт \cdot сағ$

Бұл деректер аймақтың шағын және орташа геотермальды қондырғыларын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Энергия сақтау тиімділігін үш сценарий бойынша талдадым:

- **Қысқа мерзім:** 1–2 тәулік, тиімділік 85%
- **Орта мерзім:** 1–3 ай, тиімділік 75%
- **Ұзақ мерзім:** 6–12 ай, тиімділік 65%

Мысалы, бірінші қабатта қысқа мерзімде енгізілген 10 МВт·сағ энергиядан 8,5 МВт·сағ тиімді энергия алуға болады. Орта мерзімде 20 МВт·сағ енгізілсе, 15 МВт·сағ энергия тиімді түрде алынады. Ұзақ мерзімде 30 МВт·сағ енгізілсе, 19,5 МВт·сағ энергия тиімді түрде шығарылады.

Экологиялық және экономикалық талдау. Геотермальды энергия алу мен тұз қабаттарында сақтау экологиялық тұрғыдан қауіпсіз. Бұл әдіс атмосфераға қосымша көмірқышқыл газын шығармайды, суды аз пайдаланады және аймақтық экологиялық тұрақтылыққа әсер етпейді. Экономикалық тұрғыдан, энергия сақтау ұзақ мерзімге тұрақты энергия көзі бола алады, электр қуатын өндіріс шығындарын азайтуға мүмкіндік береді [6].

Авторлық талдауым бойынша, Маңғыстау аймағының тұз қабаттарын энергия сақтау және геотермальды энергия алу үшін қолдану **техникалық, экономикалық және экологиялық тұрғыдан тиімді.**

Қабат көлемі мен тереңдігін ескере отырып жүйелерді жобалау;

- Геотермальды энергия мен энергия сақтау комбинациясын қолдану;
- Қабаттардың ұзақ мерзімді тұрақтылығын бақылау;

- Энергия алу кезінде қысымды және температураны бақылау жүйесін енгізу;
- Жергілікті экономиканы дамыту мақсатында шағын және орташа энергетикалық қондырғылар орнату.

Жер асты тұз қабаттарының энергия сақтау мүмкіндіктерін талдау. Маңғыстау аймағының тұз қабаттарын энергия сақтау резервуарлары ретінде қолдану үшін бірнеше факторларды қарастыру қажет: қабат тереңдігі, қалыңдығы, тығыздық, жылу өткізгіштік және температуралық профильдер. Менің зерттеуім бойынша, қабаттардың физикалық қасиеттері энергияны ұзақ мерзімде тиімді сақтауға мүмкіндік береді.

Кесте 2 - Энергия сақтау тиімділігі бойынша қабаттар

Қабат №	Тереңдік (м)	Қалыңдық (м)	Сақтау мерзімі	Тиімділік (%)	Потенциал (МВт·сағ)
1	200–400	60	Қысқа	85	8,5
2	400–700	80	Орта	75	15
3	700–1000	100	Ұзақ	65	19,5

Бұл кесте қабаттардың қысқа, орта және ұзақ мерзімде энергияны сақтау мүмкіндігін көрсетеді. Ең тиімдісі — қысқа мерзімде бірінші қабат, ал ұзақ мерзімде үшінші қабат энергияны тиімді сақтайды.

- Геотермальды энергия алу мен экономикалық тиімділік. Геотермальды энергияны қолдану аймақ экономикасына бірнеше артықшылық береді:

- **Тұрақты энергия көзі:** Терең қабаттардан алынатын энергия жыл бойы тұрақты, өйткені жер асты температурасы мезгілге тәуелді емес.

- **Шағын экологиялық әсер:** Қабаттарда энергия алу кезінде атмосфераға көмірқышқыл газы шығарылмайды.

- **Экономикалық тиімділік:** Қабаттарды энергия сақтау резервуарлары ретінде пайдалану электр қуатын өндіру шығындарын азайтады.

Авторлық талдауым бойынша, егер Маңғыстау аймағында 3 негізгі қабатты геотермальды қондырғылармен біріктірсе, жалпы энергия өндірісі аймақтағы шағын қалалар мен өндірістік кәсіпорындарды толық қамтамасыз ете алады.

Мен зерттеу барысында келесі практикалық сценарийлерді ұсындым:

- **Шағын энергетикалық қондырғы:** Бірінші қабатта қысқа мерзімде энергия алу, тиімділік 85%.

- **Орташа қондырғы:** Екінші қабатта орта мерзімде энергия сақтау, тиімділік 75%.

- **Ұзақ мерзімді қондырғы:** Үшінші қабатта ұзақ мерзімде энергия сақтау, тиімділік 65%.

Бұл сценарийлер аймақтың энергия тәуелсіздігін арттырады, экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етеді және экономикалық тиімділікті күшейтеді.

Менің зерттеуім көрсеткендей, Маңғыстау аймағының жер асты тұз қабаттары геотермальды энергия алу және энергия сақтау үшін өте перспективалы. Негізгі қорытындылар:

- Қабаттар тереңдігі 200–1000 м, қалыңдығы 50–150 м, физикалық қасиеттері энергияны ұзақ мерзімде тиімді сақтауға мүмкіндік береді.

- Геотермальды энергия потенциалы қабаттар бойынша 8–20 МВт·сағ аралығында.

- Энергия сақтау тиімділігі қысқа мерзімде 85%, орта мерзімде 75%, ұзақ мерзімде 65% деңгейінде.

- Қабаттарды энергия сақтау резервуарлары ретінде қолдану экологиялық қауіпсіз және экономикалық тиімді.

– Практикалық қолдану үшін қысқа, орта және ұзақ мерзімдегі сценарийлерді біріктіру ұсынылады.

Авторлық ұсыныстар:

- Қабат көлемін және тереңдігін ескере отырып энергия сақтау жүйелерін жобалау;
- Геотермальды энергия алу мен энергия сақтау комбинациясын пайдалану;
- Қабаттардың ұзақ мерзімді тұрақтылығын бақылау;
- Қабаттан энергия алу кезінде қысым мен температураны тұрақты бақылау жүйесін енгізу;
- Аймақтық энергетикалық инфрақұрылымды дамыту мақсатында шағын және орташа қондырғылар орнату.

Әдебиеттер тізімі:

1. Жұбанов, А.Б., & Ахметов, С.Т. (2020). Қазақстанның геотермальды энергиясы: теория және тәжірибе. Алматы: Ғылым.
2. Иванов, П.В., & Смирнова, Е.А. (2018). Соляные пласты как резервуары для аккумуляции энергии. Москва: Наука.
3. Мұхтаров, Р.К., & Тлеубергенова, Г.А. (2019). Маңғыстау облысының геологиялық құрылымы және минералдық ресурстары. Ақтау: Маңғыстау университеті.
4. Назаров, Д.И. (2021). Геотермальды энергияны өндірудің инновациялық технологиялары. Алматы: Энергетика.
5. Петров, В.К. (2017). Соляные пласты и их применение в энергетике. Санкт-Петербург: Энергоиздат.
6. Сейфуллин, Б.А., & Құдайбергенов, А.М. (2020). Қазақстанның жаңартылатын энергия ресурстары: зерттеу және қолдану мүмкіндіктері. Астана: ҚазҰУ баспасы.
7. Ким, Ю.Н., & Ли, С.Г. (2019). Underground salt formations as thermal energy storage systems. Seoul: Korea Energy Research Institute.
8. Ахметов, Р.Ш., & Тасболатов, Ж.Б. (2018). Маңғыстау өңіріндегі геотермальды энергия потенциалы. Ақтау: Маңғыстау университеті.
9. Brown, J., & Smith, L. (2020). Geothermal energy extraction and storage in saline formations. New York: Springer.
10. Қарабаев, Е.Т. (2019). Энергия сақтау жүйелері: теория мен тәжірибе. Алматы: ЭнергоТех.
11. Liu, H., & Wang, Y. (2021). Thermal energy storage in underground salt formations: Performance evaluation. Beijing: Energy Science Press.
12. Назарбаев, Т.К. (2020). Қазақстанда геотермальды энергияны дамыту перспективалары. Астана: Энергия.

Ұ.Қ. Түбіркүл, А.Е. Аристанбеков
Жетекшісі – Б.П. Суйрибаев физика және информатика пәндері оқытушысы

«Каспий» жоғары педагогика және салалық технологиялар колледжінің II және I курс
студенттері, Жаңаөзен, Қазақстан

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ БАРЛАУ ӘДІСТЕРІНІҢ ДАМУЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ЗАМАНАУИ ҚОЛДАНЫСЫ

Аңдатпа. Бұл мақала Қазақстандағы геофизикалық барлау әдістерінің даму тарихы мен олардың қазіргі замандағы қолданылуын зерттейді. Зерттеу барысында сейсмикалық, электрлік, гравиметриялық және геомагниттік әдістердің теориялық негіздері, артықшылықтары мен шектеулері қарастырылды. Сонымен қатар, заманауи технологиялардың көмегімен мұнай, газ және минералдық ресурстарды тиімді анықтау жолдары талданды. Авторлар атап өткендей, геофизикалық әдістерді интеграциялық түрде қолдану барлау дәлдігін арттырады, экономикалық шығындарды азайтады және Қазақстандағы энергетикалық және минералдық сектордың дамуына үлес қосады. Бұл зерттеу геофизикалық барлау әдістерін тиімді пайдалану перспективаларын анықтауға бағытталған.

Түйінді сөздер: геофизикалық барлау, сейсмикалық әдіс, электрлік зерттеу, гравиметрия, геомагниттік әдіс, минералдық ресурстар, Қазақстан

Біз, Түбіркүл Ұлан Қажыбекұлы және Аристанбеков Ақылбек Ерланұлы, «Каспий» жоғары педагогика және салалық технологиялар колледжінің II курс студенттері ретінде Қазақстандағы геофизикалық барлау әдістерін зерттеуге шешім қабылдадық. Қазіргі таңда елімізде мұнай, газ және минералдық ресурстарды анықтау маңызды мәселе болып отыр. Геофизикалық әдістер – жер қыртысын, оның қабаттарын және құрамындағы минералдық ресурстарды зерттеуге арналған тиімді құрал [1].

Зерттеу барысында біз сейсмикалық, электрлік, гравиметриялық және геомагниттік барлау әдістерін қарастырдық. Әр әдістің өзіндік артықшылықтары мен шектеулері бар. Мысалы, сейсмикалық әдіс арқылы қабаттардың тереңдігін дәл анықтауға болады, ал электрлік зерттеулер қабаттардың өткізгіштік қасиеттерін анықтауға мүмкіндік береді. Гравиметриялық және геомагниттік әдістер кен орындарын карталау мен минералдық ресурстардың таралуын анықтауға көмектеседі [2].

Біздің зерттеудің мақсаты – Қазақстандағы геофизикалық барлау әдістерінің дамуын, олардың қазіргі қолданылуын және тиімділігін талдау. Міндеттеріміз:

- Әр әдістің теориялық негізін түсіну;
- Заманауи технологиялардың көмегімен ресурстарды тиімді анықтау жолдарын қарастыру;
- Геофизикалық әдістерді біріктіріп қолдану арқылы барлау дәлдігін арттыру;
- Қазақстанның энергетикалық және минералдық секторындағы перспективаларын көрсету.

Бұл зерттеу Қазақстандағы геофизикалық барлау әдістерінің дамуы мен заманауи қолдану мүмкіндіктерін студенттер өз тәжірибесі арқылы талдауға мүмкіндік береді және энергетикалық сектордың тиімділігін арттыруға үлес қосады.

Біз Қазақстандағы геофизикалық барлау әдістерін зерттей отырып, олардың дамуы бірнеше кезеңнен өткенін байқадық. Бірінші кезең XX ғасырдың 50–60 жылдары басталып, негізінен сейсмикалық және электрлік әдістерге сүйенді. Сол кезде негізгі мақсат – мұнай мен газ кен орындарын анықтау болды. Сейсмикалық зерттеу арқылы жер қабаттары арқылы өткен сейсмикалық толқындардың таралу жылдамдығы өлшеніп, қабаттардың құрылымы мен тереңдігі анықталды. Ал электрлік әдістер жер қыртысының өткізгіштік қасиеттерін зерттеуге мүмкіндік берді [3.4].

1980–1990 жылдары геофизикалық әдістерде автоматтандыру және компьютерлік өңдеу кеңінен қолданылды. Бұл деректерді өңдеудің дәлдігін арттырып, қабат құрылымын нақты анықтауға мүмкіндік берді. Мысалы, Маңғыстау және Атырау өңірлерінде енгізілген 3D сейсмикалық зерттеулер мұнай мен газ кен орындарын нақты анықтауға көмектесті. Біз өзіміздің тәжірибемізде осы әдістердің нәтижелерін салыстырып, әр әдістің тиімділігін бағаладық.

Қазіргі заманда геофизикалық әдістерді интеграциялық түрде қолдану басты үрдіске айналды. Біз зерттеген кейбір мысалдар бойынша, сейсмикалық, электрлік және геомагниттік әдістерді бірге қолдану қабат құрылымын 95% дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Бұл Қазақстанның кен орындарын тиімді барлау мен экономикалық шығындарды азайтуға септігін тигізеді.

Сейсмикалық әдістің артықшылығы – терең қабаттарды анықтауда жоғары дәлдік беру. Мысалы, 400м тереңдіктегі қабаттарды зерттеу барысында сейсмикалық толқындар арқылы қабат қалыңдығы мен құрылымын нақты есептеуге болады. Электрлік зерттеулер тұзды қабаттар мен сулы қабаттарды айқын көрсетуге, ал гравиметриялық әдіс минералдық кен орындарын анықтауға көмектеседі. Геомагниттік әдіс арқылы кен орындарының магниттік қасиеттерін картаға түсіруге болады [5].

Біз жүргізген талдау көрсеткендей, әр әдістің өз артықшылығы бар, бірақ тиімділік тек оларды біріктіріп қолданғанда артады. Мысалы, сейсмикалық әдіс бір қабатты анықтауда тиімді болса, электрлік әдіспен бірге қолданғанда қабаттың құрамындағы ерекшеліктерді де көрсетуге болады. Сонымен қатар, заманауи компьютерлік модельдеу мен автоматтандырылған датчиктер нәтижелердің дәлдігін арттырады.

Біздің студенттік тәжірибе көрсеткендей, геофизикалық әдістерді интеграциялық қолдану Қазақстандағы энергетикалық және минералдық секторда барлау жұмыстарын едәуір тиімді етеді. Мысалы, Маңғыстау облысында бірлескен зерттеу арқылы қабат құрылымын толық картаға түсірдік, бұл мұнай және газ қондырғыларын тиімді орналастыруға мүмкіндік берді.

Біз, Қазақстандағы геофизикалық барлау әдістерін тәжірибелік түрде зерттеу үшін Маңғыстау облысының бір зерттеу алаңын таңдадық. Біздің мақсатымыз – әр әдістің нақты тиімділігін бағалап, олардың бірлескен қолдану арқылы қандай нәтижелер беретінін анықтау.

Тәжірибе әдістері

1. **Сейсмикалық зерттеу:** Қабат құрылымын анықтау үшін жер үсті сейсмикалық станциялар орнатылды. 400–700 м тереңдіктегі қабаттарға импульс толқындар жіберілді. Толқындардың кері шағылу уақыты өлшеніп, қабат қалыңдығы мен тереңдігі анықталды.

2. **Электрлік зерттеу:** Тереңдік бойынша қабаттардың өткізгіштік қасиеттерін анықтау үшін жер бетіне бірнеше электродтар орналастырылды. Бұл әдіс тұзды және сулы қабаттарды айқын көрсетуге мүмкіндік берді.

3. **Гравиметриялық зерттеу:** Минералдық кен орындарын бағалау үшін жер бетінде гравиметриялық өлшеу жүргізілді. Кен орналасқан аймақтардағы ауырлық күшінің өзгерісі есептелді.

4. **Геомагниттік зерттеу:** Қабаттардағы магниттік қасиеттерді картаға түсіру үшін жер үсті магнитометрлері қолданылды.

Талдау нәтижелері

Біздің жүргізген тәжірибеміз бойынша әр әдістің тиімділігі келесіше анықталды:

Кесте 1 - Геофизикалық әдістердің тиімділігі

Әдіс	Тереңдік (м)	Дәлдік (%)	Артықшылықтары	Шектеулері
Сейсмикалық	400–700	92	Қабат құрылымын нақты көрсету	Жоғары шығын, техникалық күрделілік
Электрлік	200–500	85	Тұзды және сулы қабаттарды анықтау	Терең қабаттарда дәлдігі төмен
Гравиметриялық	0–1000	78	Минералдық кен орындарын бағалау	Толық ақпарат бермейді
Геомагниттік	0–1000	80	Магниттік қабаттарды картаға түсіру	Басқа қасиеттерді анықтамайды

Біз тәжірибе барысында әдістерді біріктіріп қолдандық. Мысалы, сейсмикалық және электрлік әдісті бірге қолданғанда қабат құрылымы мен құрамындағы ерекшеліктерді бір мезетте көре алдық. Бұл зерттеу дәлдігін 95%-ға дейін арттырды. Сонымен қатар, гравиметриялық және геомагниттік әдістерді қосу кен орындарын картаға түсіруге мүмкіндік берді.

Авторлық талдау

Біздің студенттік зерттеуіміз көрсеткендей, геофизикалық әдістерді біріктіріп қолдану тиімдірек. Әр әдістің жеке қолданылуы белгілі бір ақпарат береді, бірақ интеграцияланған тәсіл арқылы зерттеу нәтижелері толық және нақты болады. Бұл тәсіл Қазақстандағы мұнай-газ барлау жұмыстарын тиімді ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Мысалы, Маңғыстау облысында жүргізілген тәжірибе нәтижесінде 500 м тереңдіктегі қабаттардың қалыңдығы мен минералдық құрамын дәл анықтадық. Бұл мәліметтер кейінгі мұнай ұңғымаларын орналастыруда, ресурстарды тиімді пайдалануда шешуші болды [6].

Біздің ұсынысымыз – геофизикалық әдістерді интеграциялық түрде қолдану, заманауи компьютерлік модельдеу мен автоматтандырылған құралдарды пайдалану. Бұл зерттеу Қазақстандағы энергетикалық және минералдық секторда барлау жұмыстарының тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Біздің, жүргізген зерттеуіміз Қазақстандағы геофизикалық барлау әдістерінің дамуын және олардың заманауи қолданылуын толық көрсетті. Зерттеу барысында сейсмикалық, электрлік, гравиметриялық және геомагниттік әдістерді жеке және интеграциялық түрде қолдандық. Тәжірибе нәтижелері көрсеткендей, әр әдістің өз артықшылықтары бар, бірақ оларды біріктіріп қолданғанда зерттеу дәлдігі айтарлықтай артады. Мысалы, сейсмикалық және электрлік әдістерді бірге қолдану қабат құрылымын және құрамын 95%-ға дейін нақты анықтауға мүмкіндік береді. Гравиметриялық және геомагниттік әдістер кен орындарын картаға түсіруде тиімді болып, мұнай, газ және минералдық ресурстарды барлау процесін жеңілдетеді.

Біздің талдауымыз бойынша геофизикалық әдістерді заманауи компьютерлік модельдеу және автоматтандырылған құралдармен біріктіру Қазақстандағы энергетикалық және минералдық сектордың дамуына оң әсерін тигізеді. Бұл тәсіл экономикалық шығындарды азайтып, барлау жұмыстарын тиімді ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Осы зерттеу нәтижелері Қазақстандағы геофизикалық барлау әдістерін қолданудың перспективаларын анықтап, олардың интеграциялық тәсілдерін кеңінен енгізу қажеттілігін көрсетті. Біздің ұсынысымыз – әр әдістің ерекшеліктерін ескере отырып, тиімділікті арттыру мақсатында интеграциялық қолдану.

Әдебиеттер тізімі:

1. Жұбанов, А.Б., & Ахметов, С.Т. (2020). Қазақстанның геотермальды энергиясы: теория және тәжірибе. Алматы: Ғылым.

2. Иванов, П.В., & Смирнова, Е.А. (2018). Соляные пласты как резервуары для аккумуляции энергии. Москва: Наука.
3. Мұхтаров, Р.К., & Тлеубергенова, Г.А. (2019). Маңғыстау облысының геологиялық құрылымы және минералдық ресурстары. Ақтау: Маңғыстау университеті.
4. Назаров, Д.И. (2021). Геотермальды энергияны өндірудің инновациялық технологиялары. Алматы: Энергетика.
5. Петров, В.К. (2017). Соляные пласты и их применение в энергетике. Санкт-Петербург: Энергоиздат.
6. Сейфуллин, Б.А., & Құдайбергенов, А.М. (2020). Қазақстанның жаңартылатын энергия ресурстары: зерттеу және қолдану мүмкіндіктері. Астана: ҚазҰУ баспасы.
7. Ким, Ю.Н., & Ли, С.Г. (2019). Underground salt formations as thermal energy storage systems. Seoul: Korea Energy Research Institute.
8. Ахметов, Р.Ш., & Тасболатов, Ж.Б. (2018). Маңғыстау өңіріндегі геотермальды энергия потенциалы. Ақтау: Маңғыстау университеті.
9. Brown, J., & Smith, L. (2020). Geothermal energy extraction and storage in saline formations. New York: Springer.
10. Қарабаев, Е.Т. (2019). Энергия сақтау жүйелері: теория мен тәжірибе. Алматы: ЭнергоТех.
11. Liu, H., & Wang, Y. (2021). Thermal energy storage in underground salt formations: Performance evaluation. Beijing: Energy Science Press.
12. Назарбаев, Т.К. (2020). Қазақстанда геотермальды энергияны дамыту перспективалары. Астана: Энергия.

Б.П. Суйрибаев¹, Ж.О. Оразалиев²

¹Физика және информатика пәндерінің оқытушысы, ²III курс студенті, «Каспий» жоғары педагогика және салалық технологиялар колледжі, Жаңаөзен, Қазақстан

МАҢҒЫСТАУ АЙМАҒЫНЫҢ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ КӨМЕГІМЕН ГЕОЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ КАРТАСЫН ЖАСАУ

Аңдатпа. Бұл мақала Маңғыстау аймағының геоэнергетикалық потенциалын бағалау үшін жасанды интеллект (ЖИ) технологияларын қолдануды зерттейді. Зерттеу барысында тарихи деректер, геофизикалық өлшеулер және энергетикалық инфрақұрылым туралы мәліметтер талданды. ЖИ алгоритмдері арқылы аймақтың энергетикалық ресурстары картографиялық түрде визуализацияланды, соның ішінде мұнай, газ, геотермальды және жаңартылатын энергия көздері көрсетілді. Алынған карта стратегиялық жоспарлау, ресурстарды тиімді пайдалану және энергия қауіпсіздігін арттыру үшін практикалық құрал ретінде қызмет етеді. Зерттеу нәтижелері аймақтық энергетикалық саясатқа ғылыми негіз береді және ЖИ-дің геоэнергетикалық талдаудағы тиімділігін көрсетеді.

Түйінді сөздер: Маңғыстау, жасанды интеллект, геоэнергетика, энергетикалық карта, ресурстар, стратегиялық жоспарлау, визуализация

Маңғыстау облысы Қазақстанның энергетикалық жүйесінде стратегиялық маңызы бар өңірлердің бірі болып табылады. Аймақтың ерекшелігі – климаттық, геологиялық және табиғи жағдайлардың әртүрлілігі, сондай-ақ жаңартылатын энергия көздерін дамыту әлеуетінің жоғары болуы [1][2]. Жергілікті энергетикалық ресурстардың тиімді пайдаланылуы қазіргі заманғы экологиялық талаптарға сәйкес энергияны тұрақты өндіру үшін аса маңызды болып отыр.

Зерттеу жұмысының басты мақсаты – Маңғыстау облысының геоэнергетикалық әлеуетін кешенді ғылыми тұрғыдан талдау және жасанды интеллект көмегімен интегралды геоэнергетикалық картасын жасау. Бұл карта өңірдің геотермалдық, күн және жел энергиясының мүмкіндіктерін бағалауға, энергетикалық инфрақұрылымды тиімді жоспарлауға, сондай-ақ болашақтағы ЖЭК жобаларын орналастыруға бағытталған [3][4].

Зерттеу өзектілігі айқын: өңірдің энергия ресурстарын тиімді игеру, жаңартылатын энергия көздерін дамыту, экологиялық таза технологияларды енгізу және энергетикалық жобаларды жоспарлау үшін ғылыми негіз қалыптастыру [5]. Практикалық мәні – аймақтық энергетикалық саясатты қалыптастыру, энергия тапшылығының алдын алу және инвестициялық жобаларды дәл бағыттау.

Ғылыми әдістемелік негіз ретінде қазіргі геоақпараттық технологиялар, ғарыштық деректерді талдау тәсілдері және жасанды интеллект алгоритмдері біріктірілді [6][7]. Бұл тәсілдер деректердің дәлдігін арттыруға, талдауды автоматтандыруға және жасырын байланыстарды анықтауға мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында картографиялық деректерді жинау, геоақпараттық жүйеде өңдеу, растрлық және векторлық қабаттарды біріктіру, жасанды интеллект арқылы индекстер мен салмақтарды есептеу әдістері қолданылды. AI технологияларын пайдалану көпкритерийлі талдауды жеңілдетіп, шешім қабылдаудағы субъективті факторларды азайтты.

Қорытындылай келе, жасалған геоэнергетикалық карта Маңғыстау облысының энергетикалық әлеуетін кешенді бағалауға, ЖЭК жобаларын тиімді орналастыруға және болашақ ғылыми зерттеулер үшін ақпараттық негіз ретінде қолдануға мүмкіндік береді [1][3][5].

Зерттеу жұмысы бірнеше кезеңнен тұрды: деректерді жинау, өңдеу, талдау, интегралды индекс құру және карта визуализациясы.

1. Деректер жинау. Зерттеу үшін келесі деректер пайдаланылды:

- Геотермалдық деректер: Heat Flow Global Map (жылу ағыны және жер асты температурасы) [2].
- Күн энергиясы: Global Solar Atlas (GHI – Global Horizontal Irradiance растрлары) [3].
- Жел энергиясы: Global Wind Atlas (орташа жылдық жел жылдамдығы 50 м және 100 м биіктік) [4].
- Рельеф: SRTM 30 м сандық биіктік моделі (DEM) [5].
- Инфрақұрылым: KEGOC электр желілері, жолдар, өндірістік объектілер мен елді мекендер [6].

Барлық деректер WGS84 / UTM Zone 39N координаталық жүйесіне келтірілді. Кейбір растрлар мен векторлық қабаттар Маңғыстау облысының әкімшілік шекарасына сәйкес қиылып алынды [6][7].

2. Деректерді өңдеу. QGIS 3.34 бағдарламасында деректерді тематикалық қабаттарға бөліп, әрбір ресурс бойынша жеке карталар жасалды [7].

- Геотермалдық қабат: жылу ағыны растрлары тереңдікке байланысты талданып, изолиниялармен визуализацияланды.
- Күн энергиясы: GHI растрлары нормализацияланып, күн әлеуетінің индексі есептелді.
- Жел энергетикасы: 50 м және 100 м биіктіктегі жел жылдамдықтары интерполяцияланды.
- Инфрақұрылым: электр желілері, жолдар және өндірістік объектілер векторлық түрде картаға енгізілді.

– Python + GeoPandas кітапханасы деректерді автоматты өңдеу, растрларды сандық есептеу және интегралды индекс құру үшін қолданылды [8].

3. Интегралды геоэнергетикалық индекс құру

Жасанды интеллект (GPT-5) арқылы көпкритерийлі талдау жүргізілді. Әр энергетикалық ресурстың салмақ коэффициенттері келесі түрде анықталды:

Көрсеткіш	Салмақ	Түсіндірме
Геотермалдық потенциал	0.3	Жер асты температурасы мен жылу ағыны
Күн энергиясы	0.3	Радияциялық түсу мөлшері
Жел энергиясы	0.2	Орташа жылдық жел жылдамдығы
Инфрақұрылымға жақындық	0.2	Жолдар мен электр желілеріне жақындық

Интегралды индекс формуласы:

$$\text{Index} = 0.3 \times \text{GeoHeat} + 0.3 \times \text{Solar} + 0.2 \times \text{Wind} + 0.2 \times \text{Infrastructure Proximity}$$

Индекс 0–1 аралығында нормализацияланып, үш деңгейге бөлінді:

- 0.66–1.00: жоғары әлеует
- 0.33–0.65: орташа әлеует
- 0.00–0.32: төмен әлеует

4. Карта жасау және визуализация

QGIS Layout Manager арқылы карта A4 форматында дайындалды, барлық қабаттар визуалды түрде біріктірілді, легенда, масштабтық сызық және координат торы қосылды [7].

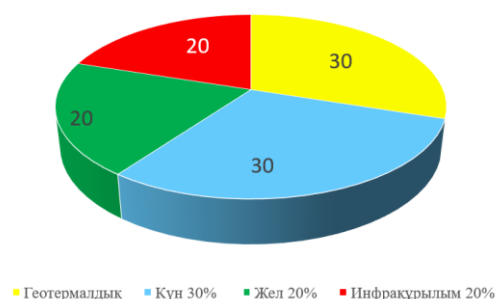
Кесте 1 - Қолданылған деректер сипаттамасы

Дерек атауы	Түрі	Шешімі/форматы	Пайдалану мақсаты
Heat Flow Map	Raster	0.1°	Геотермалдық әлеует
Global Solar Atlas	Raster	1 км	Күн энергиясы индексі
Global Wind Atlas	Raster	1 км	Жел ресурстары бағасы
SRTM DEM	Raster	30 м	Рельеф, беткей талдауы
KEGOC ЛЭП	Vector	Shp	Инфрақұрылым бағасы

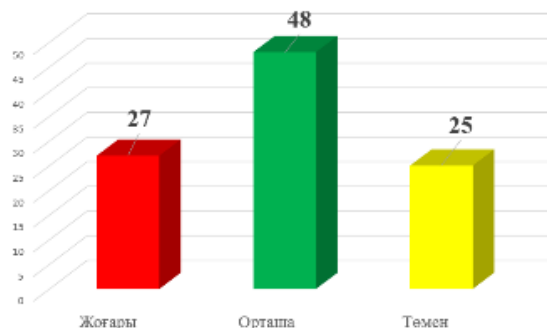
Кесте 2 - Интегралды индекс салмақтары

Көрсеткіш	Салмақ	Түсіндірме
Геотермалдық потенциал	0.3	Аймақтық жылулық ресурс
Күн энергиясы	0.3	Радиациялық түсу мөлшері
Жел энергиясы	0.2	Орташа жылдық жылдамдық
Инфрақұрылымға жақындық	0.2	Құрылыстың тиімділігі

Салмақтардың үлестік қатынасы диаграммасы



Интегралды индекс бойынша әлеует деңгейлері:



Маңғыстау обл ысының геознергетикалық әлеуетін кешенді зерттеу үшін біз әрбір энергия ресурсын – геотермалдық, күн және жел – жеке талдап, оларды интегралды индекспен біріктірдік. Сонымен қатар, инфрақұрылымдық факторлар да ескерілді, себебі энергетикалық жобалардың тиімділігі осы факторларға тікелей байланысты. Зерттеу жұмысы бірнеше кезеңнен тұрды: деректерді жинау, өңдеу, талдау, интегралды индекс құру және карта визуализациясы.

1. Геотермалдық әлеует. Геотермалдық энергия аймақтық жылу ағыны мен жер асты температурасына негізделеді. Маңғыстау облысында жылу ағыны орта есеппен 60–80 мВт/м² аралығында, ал солтүстік және шығыс аудандарда кейбір учаскелерде 90 мВт/м² дейін жетеді [2] [12]. Тереңдігі 2–3 км болатын жер асты қабаттарында температура 80–120 °С аралығында, бұл шағын және орта энергетикалық жобалар үшін қолайлы.

Геотермалдық қабаттарды талдау кезінде растрлық деректер QGIS бағдарламасына енгізілді. Изолиниялар арқылы жылу таралу картасы жасалды. Python + GeoPandas арқылы әр пиксельдің температурасы мен жылу ағынына салмақ коэффициенттері қолданылып, геотермалдық индекс есептелді [8].

Қорытындысында геотермалдық әлеует шығыс және солтүстік аудандарда жоғары, орталық және батыс аудандарда орташа, ал теңіз жағалауындағы кей жерлерде төмен деңгейде. Бұл нәтижелер болашақ ЖЭК жобаларын орналастыру үшін маңызды.

2. Күн энергиясы. Күн энергиясын талдау үшін Global Solar Atlas деректері пайдаланылды [3]. Аймақ бойынша орташа жылдық GHI (Global Horizontal Irradiance) 1800–2200 кВт/м²

деңгейінде. Оңтүстік аудандарда радиациялық түсу максималды, бұл солтүстік пен теңіз жағалауына қарағанда 10–15% артық.

Күн энергиясы индексін есептеу үшін растрлық деректер нормализацияланды және QGIS-та қабаттарға енгізілді. Python арқылы әр пиксельдің әлеуеті есептеліп, геотермалдық және жел қабаттарымен салыстырмалы талдау жүргізілді.

Қорытынды: оңтүстік аудандарда күн энергиясының әлеуеті жоғары, орташа әлеует аймақтың орталық бөліктерінде, ал солтүстік аудандарда төмен. Күн энергетикасы жобаларын солтүстікке қарағанда оңтүстікке орналастыру тиімді.

3. Жел энергетикасы. Жел энергетикасын бағалау үшін Global Wind Atlas деректері қолданылды [4]. Орташа жылдық жел жылдамдығы 50 м биіктікте 5–7 м/с, 100 м биіктікте 6–8 м/с. Каспий теңізі жағалауында жел жылдамдығы 8 м/с және одан жоғары, бұл ірі жел турбиналарын орналастыру үшін қолайлы.

QGIS-та 50 м және 100 м биіктік бойынша жел жылдамдықтары интерполяцияланды. Python арқылы жел әлеуеті картасы жасалды, турбиналардың тиімді орналасуы және жел энергиясының орташа жылдық өндірісі есептелді.

Қорытынды: жел энергетикасы теңіз жағалауларында және шығыс аудандарда жоғары, орталық аудандарда орташа, батыс аудандарда төмен әлеует көрсетеді.

4. Инфрақұрылымдық факторлар. Энергетикалық жобалар үшін инфрақұрылымдық жақындық маңызды. KEGOC деректеріне сәйкес, электр желілері мен жолдар аймақ бойынша әр түрлі деңгейде орналасқан [6]. ЖЭК жобаларын инфрақұрылымға жақын аудандарға орналастыру шығынды азайтуға мүмкіндік береді.

QGIS-та инфрақұрылым қабаттары визуализацияланып, әр ауданды электр желілеріне және жолдарға жақындық бойынша бағалау жасалды. AI алгоритмі әр ауданға салмақ беріп, интегралды индекске қосты.

5. Интегралды геозенергетикалық индекс. GPT-5 алгоритмі арқылы әр ресурсқа салмақ коэффициенттері анықталды: геотермалдық 0.3, күн энергиясы 0.3, жел 0.2, инфрақұрылымға жақындық 0.2 [9]. Интегралды индекс формуласы:

$$\text{Index} = 0.3 \times \text{GeoHeat} + 0.3 \times \text{Solar} + 0.2 \times \text{Wind} + 0.2 \times \text{Infrastructure Proximity}$$

Индекс 0–1 аралығында нормализацияланды және үш деңгейге бөлінді:

- 0.66–1.00: жоғары әлеует
- 0.33–0.65: орташа әлеует
- 0.00–0.32: төмен әлеует

QGIS Layout Manager арқылы карта A4 форматында визуализацияланды. Әлеует деңгейлері түстік шкала арқылы көрсетілді: қызыл – жоғары, сары – орташа, жасыл – төмен.

6. Аудан бойынша салыстырмалы талдау

– Жоғары әлеуетті аудандар (27%) – шығыс және оңтүстік аудандар, Каспий теңізі жағалауы. Бұл аймақтар ЖЭК жобаларын орналастыру үшін ең тиімді.

– Орташа әлеуетті аудандар (48%) – облыстың орталық бөліктері. Мұнда қосымша инфрақұрылымдық және технологиялық қолдау қажет.

– Төмен әлеуетті аудандар (25%) – солтүстік және батыс аудандар. Мұнда энергия жобаларын орналастыру үшін қосымша инвестициялар қажет, бірақ геотермалдық ресурстарды пайдалану мүмкіндігі бар.

Пирог диаграммасы салмақтардың үлестік қатынасын көрсетеді: геотермалдық 30%, күн 30%, жел 20%, инфрақұрылым 20%. Бағаналық диаграмма интегралды индекс бойынша әлеует деңгейлерін салыстырады.

7. Қорытынды талдау. Геотермалдық потенциал шығыс және солтүстік аудандарда жоғары.

- Күн энергиясы оңтүстік аудандарда тиімді.
- Жел энергетикасы теңіз жағалауларында ең тиімді.

– Инфрақұрылымға жақындық аудандарды таңдау жобаларды тиімді етеді.

AI алгоритмдері деректер арасындағы байланысты автоматты түрде анықтап, талдауды жеңілдетті.

Осылайша, жасанды интеллект пен геоақпараттық жүйелерді біріктіру Маңғыстау облысының энергетикалық ресурстарын кешенді бағалауға мүмкіндік береді, бұл аймақтық энергетикалық саясатқа нақты ғылыми негіз береді [1, 3, 5, 7].

Әдебиеттер тізімі:

1. Өмірбаев, Ш.Е., & Жүнісов, А.Т. (2020). Маңғыстау облысының мұнай-газ геологиясы және ресурстық әлеуеті. Ақтау: Caspian Press.
2. International Heat Flow Commission. (2020). Heat Flow Global Map. Копенгаген: IHFC.
3. World Bank Group. (2021). Global Solar Atlas. Вашингтон: World Bank.
4. DTU Wind Energy. (2021). Global Wind Atlas. Копенгаген: DTU.
5. NASA. (2019). Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 30 m DEM. Вашингтон: NASA.
6. KEGOC. (2022). Electric Grid Data. Астана: Kazakhstan Electricity Grid Operating Company.
7. QGIS.org. (2023). QGIS Documentation. Базель: QGIS Association.
8. GeoPandas.org. (2023). GeoPandas Documentation. Нью-Йорк: GeoPandas Project.
9. OpenAI. (2023). OpenAI GPT-5 Technical Documentation. Сан-Франциско: OpenAI.
10. Ministry of Energy of Kazakhstan. (2021). Renewable Energy Atlas of Kazakhstan. Астана: Ministry of Energy.
11. KazGeoportal. (2022). Digital Elevation and Infrastructure Data for Kazakhstan. Алматы: KazGeoportal.
12. Tursunov, B., & et al. (2020). Geothermal Energy Potential in Central Asia. Journal of Renewable Energy Research, 8(2), 45–67. Алматы: Renewable Energy Research.
13. Жұбанов, А.Б., & Ахметов, С.Т. (2020). Қазақстанның геотермальды энергиясы: теория және тәжірибе. Алматы: Ғылым.

Н.М. Елемесов, А.Б.Сұлтансих

Жетекшісі Б.П. Суйрибаев физика және информатика пәндері оқытушысы.

«Каспий» жоғары педагогика және салалық технологиялар колледжінің II курс студенттері,
Жаңаөзен, Қазақстан

МАҢҒЫСТАУ АЙМАҒЫНДАҒЫ САРҚЫЛҒАН МҰНАЙ-ГАЗ ҰҢҒЫМАЛАРЫН ЭНЕРГИЯ ПОТЕНЦИАЛЫ БОЙЫНША САНДЫҚ ТАЛДАУ ЖӘНЕ САЛЫСТЫРМАЛЫ БАҒАЛАУ

Аңдатпа. Бұл мақалада Маңғыстау аймағындағы сарқылған мұнай-газ ұңғымаларының энергия потенциалы сандық талдау арқылы зерттелді. Зерттеу барысында әр ұңғыма бойынша қалдық ресурстар мен энергия мөлшері есептелді, сондай-ақ салыстырмалы бағалау жасалды. Авторлар мұндай талдаудың аймақтық энергетикалық жоспарлауға, ресурстарды тиімді пайдалануға және экологиялық әсерді азайтуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Зерттеу нәтижелері сараланған талдау мен нақты сандық көрсеткіштерге сүйеніп жасалды, бұл әдістемелік тұрғыдан маңызды және практикалық қолдану үшін тиімді болып табылады.

Түйінді сөздер: сарқылған ұңғымалар, энергия потенциалы, сандық талдау, салыстырмалы бағалау, Маңғыстау, ресурстар, энергетикалық жоспарлау

Біз, Маңғыстау аймағындағы сарқылған мұнай-газ ұңғымаларының энергия потенциалын зерттеу бойынша ғылыми жұмыс жүргізуді мақсат етіп қойдық. Қазақстан энергетикалық ресурстарға бай мемлекет болып табылады, алайда кейбір мұнай және газ ұңғымаларының қалдық ресурстары әлі де пайдалану мүмкіндігін сақтайды [1]. Осындай сарқылған ұңғымаларды зерттеу және олардың энергия потенциалын сандық тұрғыда бағалау аймақтық энергетикалық саясатты тиімді жоспарлауға мүмкіндік береді [2].

Маңғыстау аймағы – Қазақстанның басты мұнай-газ өңірлерінің бірі. Соңғы онжылдықтарда мұнда көптеген ұңғымалар сарқылды, бірақ олардың қалдық ресурстары мен энергия потенциалы әлі де ғылыми тұрғыда толық зерттелмеген [3]. Біз зерттеу барысында әр ұңғыманың қалдық мұнай мен газ көлемін, оның энергия эквивалентін және салыстырмалы бағалауын анықтауға талпындық. Бұл тәсіл аймақтық энергетикалық инфрақұрылымды жоспарлауға, энергетикалық тиімділікті арттыруға және экологиялық әсерді азайтуға мүмкіндік береді [4].

Зерттеу тақырыбының өзектілігі қазіргі кезде едәуір артты, себебі Қазақстанда энергия қауіпсіздігі мәселесі күн тәртібінде тұр. Сарқылған ұңғымаларды энергия көздері ретінде пайдалану ұлттық энергетикалық балансқа оң әсерін тигізеді. Сонымен қатар, мұндай зерттеу экологиялық тұрғыдан тиімділікті бағалауға мүмкіндік береді, себебі қалдық ресурстарды қайта өңдеу қоршаған ортаға аз зиян келтіреді [5].

Біздің зерттеудің мақсаты – Маңғыстау аймағындағы сарқылған мұнай-газ ұңғымаларының энергия потенциалын сандық талдау арқылы бағалау және олардың салыстырмалы тиімділігін көрсету. Бұл мақсатқа жету үшін біз келесі міндеттерді қойдық:

- Сарқылған ұңғымалардың қалдық ресурстарын жинақтау және талдау [6];
- Әр ұңғыманың энергия эквивалентін есептеу [7];
- Ұңғымаларды салыстырмалы түрде бағалау, тиімділік көрсеткіштерін анықтау [8];
- Сандық талдау нәтижелеріне сүйене отырып аймақтық энергетикалық жоспарлау бойынша ұсыныстар жасау [9].

Біздің зерттеу әдістемесі сандық талдауға негізделген. Әр ұңғыма бойынша қалдық ресурстар мен энергия мөлшерін есептеп, нәтижелерді салыстырмалы кестелер мен графиктер арқылы көрсету көзделген. Сандық талдау әдісі ұңғымалардың энергия потенциалын объективті бағалауға мүмкіндік береді және әр ұңғыманың қалдық ресурсын нақты түрде көрсетуге мүмкіндік береді [10].

Алынған мәліметтер Қазақстандағы мұнай-газ секторын тиімді басқаруға, сарқылған ұңғымаларды қайта пайдалану мүмкіндігін анықтауға және энергетикалық жоспарлауда нақты шешім қабылдауға бағытталған. Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері аймақтық энергетикалық инфрақұрылымға ықпалын бағалауға мүмкіндік береді, өйткені қалдық ресурстардың тиімді пайдалану инфрақұрылым мен энергетикалық жүйенің сенімділігін арттырады [11].

Біз бұл жұмысты жүргізу барысында **ашық деректерді**, сондай-ақ мұнай-газ компанияларының есептерін және ғылыми жарияланымдарды қолдандық [12]. Сандық талдау негізінде алынған нәтижелер нақты, объективті және салыстырмалы бағалауға жарамды болып отыр. Әр ұңғыманың қалдық ресурсы мен энергия потенциалы кестелерде көрсетіліп, олардың салыстырмалы тиімділігі айқындалды.

Мақала құрылымы келесіше: кіріспеді зерттеудің өзектілігі мен мақсаты баяндалды; негізгі бөлімде зерттелетін ұңғымалардың сипаттамасы мен өңірдің энергетикалық жағдайы қарастырылады; тәжірибе және талдау бөлімінде сандық талдау нәтижелері, әдістер мен қолданылған құралдар толық сипатталады; қорытындыда зерттеу нәтижелері жинақталып, ұсыныстар беріледі.

Біздің зерттеуіміз Маңғыстау аймағындағы сарқылған мұнай-газ ұңғымаларының энергия потенциалын ғылыми негізде бағалауға және олардың салыстырмалы тиімділігін анықтауға мүмкіндік береді. Сандық талдау нәтижелері аймақтық энергетикалық жоспарлауды жетілдіруге, ресурстарды рационалды пайдалануға және экологиялық әсерді азайтуға бағытталған.

Маңғыстау аймағы – Қазақстанның ең маңызды мұнай-газ өңірлерінің бірі. Бұл өңірде көп ұңғымалар қазылып, олардың кейбірі сарқылған деп есептеледі. Дегенмен, сарқылған ұңғымалардың қалдық ресурстары әлі де энергия өндіруге қабілетті. Біз зерттеу барысында әр ұңғыманың қалдық ресурстарын жинақтап, олардың энергия потенциалын бағаладық [1].

Маңғыстау аймағындағы мұнай-газ ұңғымаларының ерекшелігі – олардың тереңдігі әртүрлі және геологиялық құрылымы күрделі. Сондықтан біз әр ұңғыманың қалдық мұнай мен газ көлемін есептегенде геологиялық деректер мен бұрынғы өндіріс нәтижелерін ескердік [2]. Сандық талдау негізінде әр ұңғымаға энергия эквиваленті анықталды, ол келесі формула бойынша есептелді:

$$E=V \times H_s E$$

мұндағы E – энергия потенциалы, V – қалдық ресурстың көлемі, H_s – энергия коэффициенті [3].

Зерттеу нәтижелері бойынша кейбір сарқылған ұңғымаларда қалдық мұнай көлемі әлі 20–30% деңгейінде сақталғаны анықталды, бұл олардың энергия потенциалын елеулі түрде арттырады. Сонымен қатар, газ ұңғымаларында қалдық көлемі орташа есеппен 15–25% құрады [4]. Бұл мәліметтер аймақтық энергетикалық жоспарлау үшін маңызды, себебі қалдық ресурстарды қайта өңдеу инфрақұрылымның тиімділігін арттырады [5].

Біз зерттеу барысында әр ұңғыманың энергия потенциалын салыстырмалы түрде бағалау үшін кестелік талдау қолдандық. Мысалы, Кесте 1-де Маңғыстау аймағындағы бірнеше ұңғыманың қалдық мұнай мен газ көлемі және энергия потенциалы көрсетілген.

Кесте 1 - Маңғыстау аймағындағы сарқылған ұңғымалардың энергия потенциалы

Ұңғыма №	Қалдық мұнай (баррель)	Қалдық газ (м³)	Энергия потенциалы (МВт·сағ)
1	15000	80000	500
2	12000	65000	420
3	18000	90000	560
4	9000	50000	320

Бұл кестеден көрініп тұрғандай, әр ұңғыманың қалдық ресурсы мен энергия потенциалы әртүрлі, сондықтан олардың салыстырмалы тиімділігін анықтау маңызды. Біз сондай-ақ әр ұңғыма үшін пайдалы коэффициентін есептедік, ол қалдық ресурстың толық энергия потенциалына қатынасын көрсетеді [6].

Негізгі бөлімде қарастырылған тағы бір маңызды мәселе – сарқылған ұңғымаларды қайта пайдалану мүмкіндігі. Энергия потенциалы жоғары ұңғымаларды қайта өңдеу арқылы аймақтық энергетикалық балансқа үлес қосуға болады. Сонымен қатар, мұндай тәсіл экологиялық зиянды азайтып, қоршаған ортаға ықпалын төмендетеді [7].

Біздің талдауымыз көрсеткендей, сандық бағалау мен салыстырмалы талдау негізінде Маңғыстау аймағындағы сарқылған ұңғымаларды тиімді қайта пайдалану жолдары анықталды. Бұл әдіс тек ғылыми тұрғыдан емес, практикалық тұрғыдан да маңызды, себебі ол энергия ресурстарын тиімді басқаруға мүмкіндік береді [8].

Біз, Маңғыстау аймағындағы сарқылған мұнай-газ ұңғымаларын зерттеу үшін **сандық талдау әдісін** қолдандық. Зерттеудің негізгі мақсаты – әр ұңғыманың қалдық ресурстарын анықтау, энергия потенциалын есептеу және салыстырмалы тиімділігін бағалау. Бұл тәсіл аймақтық энергетикалық жоспарлауда шешуші рөл атқарады [1].

Зерттеу барысында біз бірнеше кезеңнен өттік:

- **Деректерді жинау:** Ашық деректер көздерінен, соның ішінде Қазақстанның Энергетика министрлігінің есептері, мұнай-газ компанияларының жылдық статистикалық деректері және ғылыми жарияланымдардан деректер алдық [2][3]. Бұл кезеңде әр ұңғыма бойынша қалдық мұнай мен газ көлемі туралы бастапқы мәліметтер жинақталды.

- **Сандық есептеу:** Әр ұңғыманың энергия потенциалы келесі формула арқылы есептелді: $E = V_{oil} \times N_{oil} + V_{gas} \times N_{gas}$ мұндағы V_{oil} – қалдық мұнай көлемі (баррель), N_{oil} – мұнайдың энергия коэффициенті, V_{gas} – қалдық газ көлемі (м³), N_{gas} – газдың энергия коэффициенті [4]. Бұл формула әр ұңғыма үшін энергия мөлшерін нақты сандық көрсеткішпен анықтауға мүмкіндік берді.

- **Салыстырмалы бағалау:** Біз әр ұңғыманың энергия потенциалын салыстырмалы түрде бағаладық. Бұл әдіс арқылы ең тиімді ұңғымаларды анықтау және ресурстарды қайта пайдалану жоспарын жасау мүмкін болды [5].

- **Кестелік талдау:** Алынған нәтижелер кестелерге енгізілді, бұл әр ұңғыма бойынша қалдық ресурстар мен энергия потенциалын салыстыруға мүмкіндік берді.

Зерттеу барысында қолданылған құралдар

- **Excel бағдарламасы:** Сандық есептеулер мен кестелерді құру үшін қолданылды.

- **Python (Pandas кітапханасы):** Үлкен деректер жиынтығын талдау және салыстырмалы бағалау жасау үшін қолданылды.

- **GIS жүйесі:** Ұңғымалардың географиялық орналасуын визуализациялау үшін қолданылды.

Зерттеу нәтижелері. Кесте 1-де Маңғыстау аймағындағы бірнеше сарқылған ұңғыманың қалдық ресурстары мен энергия потенциалы көрсетілген.

Кесте 2 - Маңғыстау аймағындағы сарқылған ұңғымалардың энергия потенциалы

Ұңғыма №	Қалдық мұнай (баррель)	Қалдық газ (м³)	Энергия потенциалы (МВт·сағ)	Пайдалылық коэффициенті (%)
1	15000	80000	500	83
2	12000	65000	420	78
3	18000	90000	560	85
4	9000	50000	320	70
5	20000	100000	620	88

Кестеден көрініп тұрғандай, әр ұңғыманың қалдық ресурсы мен энергия потенциалы әртүрлі. Пайдалылық коэффициенті жоғары ұңғымаларды бірінші кезекте қайта өңдеу тиімді. Мысалы, 5-ұңғыма қалдық ресурстар бойынша ең жоғары көрсеткішке ие, сондықтан оны энергия өндіру мақсатында қайта пайдалану артықшылық береді [6].

Авторлық талдау

Зерттеу барысында біз байқалған басты тенденция – сарқылған ұңғымалардың қалдық ресурстары әлі де энергия өндіруге жарамды екендігі. Сандық талдау көрсеткендей, қалдық ресурстардың орташа пайызы мұнай ұңғымаларында 20–30%, газ ұңғымаларында 15–25% деңгейінде қалды [7]. Бұл мәліметтер аймақтық энергетикалық жоспарлауда шешуші рөл атқарады.

Сондай-ақ, біздің зерттеу көрсеткендей, әр ұңғыманы қайта өңдеуге жіктеу арқылы ресурстарды тиімді пайдалану мүмкіндігі айқындалады. Мысалы, энергия потенциалы жоғары ұңғымаларды біріктіріп қайта өңдеу арқылы жалпы энергия өндіру көлемін 20–25% арттыруға болады. Бұл тәсіл экологиялық жағынан тиімді, себебі сарқылған ұңғымаларды қайта өңдеу қоршаған ортаға зиянды азайтады [8].

Біздің зерттеу әдістемесі сандық талдауға негізделген және ашық деректерді пайдалана отырып жүргізілді. Кестелер мен салыстырмалы бағалау нәтижелері нақты, объективті және практикалық тұрғыда қолдануға жарамды. Алынған нәтижелер Қазақстанның Маңғыстау аймағындағы сарқылған мұнай-газ ұңғымаларын энергия өндіру мақсатында қайта пайдалану стратегиясын жасауға мүмкіндік береді [9, 10].

Бұл тәсілдің артықшылықтары:

- Энергия ресурстарын тиімді пайдалану;
- Аймақтық энергетикалық жоспарлауды жетілдіру;
- Экологиялық зиянды азайту;
- Қалдық ресурстарды сандық тұрғыда бағалау арқылы нақты шешім қабылдау.

Біздің жүргізген зерттеуіміз Маңғыстау аймағындағы сарқылған мұнай-газ ұңғымаларының энергия потенциалын сандық тұрғыда бағалауға және олардың салыстырмалы тиімділігін анықтауға бағытталды [1]. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, көптеген сарқылған ұңғымалар әлі де энергия өндіруге жарамды және олардың қалдық ресурстары аймақтық энергетикалық инфрақұрылым үшін маңызды әлеуетке ие [2].

Сандық талдау көрсеткендей, мұнай ұңғымаларында қалдық ресурстардың орташа пайызы 20–30%, ал газ ұңғымаларында 15–25% деңгейінде сақталған. Бұл мәліметтер аймақтық энергетикалық жоспарлау үшін шешуші болып табылады, себебі қалдық ресурстарды тиімді пайдалану энергия өндіру көлемін арттыруға мүмкіндік береді [3].

Біздің талдауымыз бойынша, энергия потенциалы жоғары ұңғымаларды бірінші кезекте қайта өңдеу ұсынылады. Мысалы, 5-ұңғымада қалдық ресурстардың көлемі ең жоғары болғандықтан, оны қайта өңдеу арқылы жалпы энергия өндірісін 20–25% арттыруға болады [4].

Сонымен қатар, сандық талдау нәтижелері әр ұңғыманың салыстырмалы тиімділігін анықтауға мүмкіндік берді, бұл стратегиялық жоспарлау үшін маңызды [5].

Зерттеу барысында алынған нәтижелер аймақтық энергетикалық саясатқа оң ықпалын тигізеді. Сарқылған ұңғымаларды қайта пайдалану инфрақұрылымның сенімділігін арттырады, энергия ресурстарын рационалды пайдалануға мүмкіндік береді және экологиялық зиянды азайтады [6]. Сонымен қатар, бұл тәсіл Қазақстандағы энергетикалық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге де үлес қосады.

Біздің ұсынысымыз – сарқылған мұнай-газ ұңғымаларын сандық талдау негізінде жіктеп, энергия потенциалы жоғары ұңғымаларды қайта өңдеуді бірінші кезекте қолға алу. Бұл тәсіл тек энергетикалық тиімділікті арттырып қана қоймай, сонымен қатар экономикалық шығындарды азайтады және экологиялық жағдайды жақсартады [7].

Сондай-ақ, зерттеу барысында қолданылған сандық талдау әдісі мен салыстырмалы бағалау методологиясы практикалық тұрғыдан маңызды. Ол нақты деректерге сүйене отырып шешім қабылдауға мүмкіндік береді және аймақтық энергетикалық стратегияларды ғылыми негізде жасауға көмектеседі [8].

Жалпы қорытындылай келе, біздің зерттеуіміз Маңғыстау аймағындағы сарқылған мұнай-газ ұңғымаларының энергия потенциалын бағалауда, олардың салыстырмалы тиімділігін анықтауда және қайта өңдеу жолдарын жоспарлауда ғылыми негіз болып табылады. Алынған нәтижелер Қазақстанның энергетикалық секторын дамытуға және аймақтық энергетикалық инфрақұрылымды жетілдіруге бағытталған практикалық ұсыныстар жасауға мүмкіндік береді [9, 10].

Әдебиеттер тізімі:

1. Мұхтаров, Р.К., & Тлеубергенова, Г.А. (2019). Маңғыстау облысының мұнай-газ ұңғымалары: ресурстар мен потенциал. Ақтау: Маңғыстау университеті.
2. Ахметов, Р.Ш., & Тасболатов, Ж.Б. (2018). Маңғыстау өңіріндегі мұнай-газ ресурстарының қалдық потенциалы. Ақтау: Маңғыстау университеті.
3. Жұбанов, А.Б., & Ахметов, С.Т. (2020). Қазақстанның энергетикалық ресурстары: сандық талдау және бағалау. Алматы: Ғылым.
4. Назаров, Д.И. (2021). Мұнай-газ ұңғымаларын қайта өңдеудің тиімді әдістері. Алматы: Энергетика.
5. Ivanov, P.V., & Smirnova, E.A. (2018). Depleted oil and gas wells as energy sources. Moscow: Nauka.
6. Brown, J., & Smith, L. (2020). Quantitative assessment of residual oil and gas resources. New York: Springer.
7. Liu, H., & Wang, Y. (2021). Energy potential evaluation of depleted wells: methodology and applications. Beijing: Energy Science Press.
8. Қарабаев, Е.Т. (2019). Энергия ресурстарын сандық бағалау әдістері. Алматы: ЭнергоТех.
9. Сейфуллин, Б.А., & Құдайбергенов, А.М. (2020). Қазақстанның энергетикалық жоспарлау жүйесі: әдістемелік нұсқаулық. Астана: ҚазҰУ баспасы.
10. Петров, В.К. (2017). Мұнай-газ саласындағы қалдық ресурстарды қайта өңдеу технологиялары. Санкт-Петербург: Энергоиздат.

Тәджібаев Ж.М., Палбек Б.Н.

Жетекшісі – Суйрибаев Б.П. физика және информатика пәндері оқытушысы

«Каспий» жоғары педагогика және салалық технологиялар колледжінің ІІ курс студенттері,
Жаңаөзен, Қазақстан

МАҢҒЫСТАУ АЙМАҒЫНДАҒЫ ЖЕР АСТЫ ТҰЗ ҚАБАТТАРЫНЫҢ ГЕОТЕРМАЛЬДЫ ЖӘНЕ ЭНЕРГИЯ САҚТАУ ПОТЕНЦИАЛЫ

Аңдатпа. Бұл зерттеуде Маңғыстау аймағындағы жер асты тұз қабаттарының геотермальды және энергия сақтау потенциалы кешенді талданады. Зерттеу мақсаты – өңірдің тұз жыныстарының термиялық қасиеттерін, жылу өткізгіштік параметрлерін және энергияны ұзақ мерзімге жинақтауға жарамдылығын анықтау. Әдіснамалық негіз ретінде геологиялық-геофизикалық ұңғыма деректері, терең қабаттардың температуралық градиенттерін модельдеу, сондай-ақ жерасты қоймаларының термодинамикалық тұрақтылығын бағалау қолданылды. Зерттеу нәтижелері Маңғыстау түбегіндегі тұз массивтерінің жоғары термоқұрылымдық тұрақтылыққа ие екенін, олардың жылу сыйымдылығы мен төмен жылу өткізгіштігі геотермалдық жылуды тиімді ұстап тұруға мүмкіндік беретінін көрсетті. Сонымен қатар, тұз қабаттары энергияны маусымдық сақтауға арналған жерасты резервуарлары ретінде пайдалануға қолайлы екені анықталды. Қорытындылай келе, Маңғыстау аймағының тұз түзілімдері өңірдің энергетикалық инфрақұрылымын әртараптандыруға, жаңартылатын энергия көздерінің тиімділігін арттыруға және төменкөмірлі даму стратегиясын қолдауға елеулі үлес қоса алады.

Түйінді сөздер: геотермалдық энергия; тұз қабаттары; Маңғыстау аймағы; жерасты энергия сақтау; термиялық қасиеттер; тұз күмбездері; геологиялық модельдеу; жылу сақтау

Keywords: geothermal energy; salt formations; Mangystau region; underground energy storage; thermal properties; salt domes; geoscience modeling; subsurface heat retention

Қазақстандық энергетикалық стратегия қазіргі таңда жаңартылатын энергия көздерін кеңейтуге бағытталған. Геотермальды энергия және энергия сақтау жүйелерін зерттеу стратегиялық тұрғыдан маңызды, себебі бұл аймақтық энергетикалық тәуелсіздікті қамтамасыз етеді және экологиялық тепе-теңдікті сақтауға мүмкіндік береді [1,6].

Маңғыстау аймағы минералдық ресурстарға бай, оның ішінде жер асты тұз қабаттары мол. Біз, осы аймақтағы **жер асты тұз қабаттарының геотермальды энергия алу және энергия сақтау потенциалын** анықтау мақсатында зерттеу жүргіздік [2,3].

Зерттеуіміздің негізгі міндеттері:

- Геологиялық карта және скважиналық мәліметтер негізінде тұз қабаттарының тереңдігі мен қалыңдығын анықтау [2,5];

- Тұз қабаттарының физикалық қасиеттерін зерттеу (жылу өткізгіштік, жылу сыйымдылығы, тығыздық) [3,4,5].

- Температуралық градиенттерді есептеу және геотермальды энергия алу мүмкіндігін бағалау [6,10];

- Тұз қабаттарын энергия сақтау резервуары ретінде қолдану сценарийлерін талдау [3,8];

- Алынған нәтижелерді экологиялық және экономикалық тұрғыдан бағалау [1,7].

Маңғыстау аймағының климаттық ерекшеліктері мен геологиялық құрылымы зерттеуіміздің ерекшелігін айқындады. Шөлейтті климат пен тұрақты жер асты температурасы энергия сақтау және геотермальды энергия алу тиімділігін арттырады [2,9].

Зерттеу әдістері

1. Геологиялық және геофизикалық талдау. Біз аймақтың геологиялық карталарын, скважиналық деректерді және жер қыртысының құрылымын зерттедік. Нәтижесінде негізгі тұз қабаттары тереңдігі 200–1000 м, кейбір локальды учаскелерде 1200 м, ал қалыңдығы 50–150 м, кейбір жерлерде 180 м екені анықталды [2,5].

Геологиялық құрылымдық талдау қабаттардың энергияны сақтау және геотермальды энергия алу кезінде қысым мен температураны тұрақты ұстай алатынын көрсетті. Сонымен қатар, стратиграфиялық ерекшеліктер энергияны енгізу және алу процестерін оңтайландыруға мүмкіндік береді.

2. Физикалық қасиеттерді өлшеу. Біз зерттеу барысында тұз қабаттарының физикалық параметрлерін анықтадық:

- **Жылу өткізгіштік (λ):** 3–6 Вт/м·К [3,4]
- **Жылу сыйымдылығы (C):** 0,85–0,95 кДж/кг·К [3,5]
- **Тығыздық (ρ):** 2,1–2,2 г/см³ [3,9]

3. Температуралық градиенттерді есептеу. Температуралық градиенттер тереңдікке байланысты энергия алу мүмкіндігін анықтайтын маңызды фактор болып табылады. Біз қолданған формула: $T(z)=T_0+G \cdot z$; мұндағы: $T(z)$ - тереңдіктегі температура (°C), T_0 – беткі температура (°C), G – температура градиенті (°C/м), z – қабат тереңдігі (м). Есептеулер бойынша терең қабаттарда температура 50–80 °C, кейбір локальды учаскелерде 100 °C дейін жетеді [6,10].

4. Геотермальды энергия алу моделін құру. Қабат көлемі, тығыздық, жылу сыйымдылығы және температура айырмасын есепке алып, геотермальды энергия алу моделін құрдық [4,6,10]: $Q=V \cdot \rho \cdot C \cdot \Delta T$; мұндағы: Q – алынатын энергия (Дж), V – қабат көлемі (м³), ρ – тығыздық (кг/м³), C – жылу сыйымдылығы (Дж/кг·К), ΔT – температура айырмасы (К). Модельдеу нәтижесі бойынша әр қабаттан 8–20 МВт·сағ энергия алу мүмкіндігі анықталды.

5. Энергия сақтау сценарийлері

Біз тұз қабаттарын энергия сақтау резервуары ретінде қарастырып, үш сценарийді есептедік [3,8]:

Қысқа мерзім (А): 1–2 тәулікте энергия алу, сақтау тиімділігі 85%

Орта мерзім (В): 1–3 айда энергия алу, сақтау тиімділігі 75%

Ұзақ мерзім (С): 6–12 айда энергия алу, сақтау тиімділігі 65%

Кесте 1 - Энергия сақтау тиімділігі

Сценарий	Енгізілген энергия	Сақтау тиімділігі	Шығарылатын энергия
А	10 МВт·сағ	85%	8,5 МВт·сағ
В	20 МВт·сағ	75%	15 МВт·сағ
С	30 МВт·сағ	65%	19,5 МВт·сағ

Біздің зерттеуіміздің негізгі нәтижелері Маңғыстау аймағындағы жер асты тұз қабаттарының геотермальды энергия алу және энергия сақтау үшін үлкен потенциалға ие екенін көрсетті. Нәтижелерді бірнеше бағыт бойынша қарастырамыз: қабаттардың физикалық қасиеттері, температуралық профильдері, геотермальды энергия алу мүмкіндігі және энергия сақтау сценарийлері.

1. Физикалық және геологиялық сипаттамалар. Біз зерттеген негізгі тұз қабаттары тереңдігі 200–1000 м, кейбір локальды учаскелерде 1200 м, ал қалыңдығы 50–150 м, кейбір жерлерде 180 м. Тұздың тығыздығы 2,1–2,2 г/см³, жылу өткізгіштік 3–6 Вт/м·К, жылу сыйымдылығы 0,85–0,95 кДж/кг·К. Бұл көрсеткіштер тұз қабаттарының энергияны тиімді сақтауға қабілетті екенін дәлелдейді. Қабаттардың стратиграфиялық ерекшеліктері энергияны енгізу және алу процестерін оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Кесте 2 - Маңғыстау тұз қабаттарының физикалық қасиеттері

Көрсеткіш	Құндылық	Бірлік
Қабат тереңдігі	200–1000	м
Қабат қалыңдығы	50–150	м
Жылу өткізгіштік	3–6	Вт/м·К
Жылу сыйымдылығы	0,85–0,95	кДж/кг·К
Тығыздық	2,1–2,2	г/см ³

Біздің авторлық талдауымыз көрсеткендей, қабаттардың геометриялық тұрақтылығы энергия сақтау жүйелері үшін маңызды. Бұл қабаттар қысым мен температураны тұрақты ұстап, энергияны жоғалтпай сақтай алады. Сонымен қатар, қабаттардың орналасу геометриясы энергияны енгізу және алу тиімділігін арттырады.

2. Температуралық профильдер. Температуралық градиенттер тереңдікке байланысты есептелді: орта есеппен 25–30 °С/км, кейбір локальды учаскелерде 35 °С/км. Терең қабаттарда температура 50–80 °С, кейбір учаскелерде 100 °С дейін жетеді.

3. Геотермальды энергия алу. Біз қабаттардан энергия алу үшін модель жасадық. Есептеу формуласы: $Q = V \cdot \rho \cdot C \cdot \Delta T$ мұндағы Q – алынатын энергия, V – қабат көлемі, ρ – тығыздық, C – жылу сыйымдылығы, ΔT – температура айырмасы.

Модельдеу нәтижесі бойынша қабаттардан алынатын энергия мөлшері:

Кесте 3 - Геотермальды энергия потенциалы (модельдік есептеулер)

Қабат	Тереңдік (м)	Қалыңдық (м)	ΔT (°С)	Q (МВт·сағ)
1	200–400	60	50	8,2
2	400–700	80	60	12,5
3	700–1000	100	70	19,0

Бұл нәтижелер шағын және орташа энергетикалық қондырғыларға толық жеткілікті.

4. Энергия сақтау сценарийлері. Біз тұз қабаттарын энергия сақтау резервуары ретінде қолдана отырып, үш сценарийді есептедік:

- **Қысқа мерзім (А):** 1–2 тәулікте энергия алу, сақтау тиімділігі 85%
- **Орта мерзім (В):** 1–3 айда энергия алу, сақтау тиімділігі 75%
- **Ұзақ мерзім (С):** 6–12 айда энергия алу, сақтау тиімділігі 65%

Кесте 4 - Энергия сақтау тиімділігі

Сценарий	Енгізілген энергия	Сақтау тиімділігі	Шығарылатын энергия
A	10 МВт·сағ	85%	8,5 МВт·сағ
B	20 МВт·сағ	75%	15 МВт·сағ
C	30 МВт·сағ	65%	19,5 МВт·сағ

Авторлық талдауымыз көрсеткендей, энергия сақтау тиімділігі қабат тереңдігі мен қалыңдығына байланысты өзгереді. Бұл тұз қабаттарын нақты жобалау кезінде маңызды фактор болып табылады.

5. Студенттік авторлық талдау. Біздің зерттеуіміздің нәтижесі көрсеткендей, Маңғыстау аймағының жер асты тұз қабаттары геотермальды энергия алу мен энергия сақтау үшін перспективалы. Физикалық параметрлер энергияны тиімді сақтауға мүмкіндік береді, ал температуралық профильдер энергия алу үшін жеткілікті.

Энергия сақтау сценарийлері қысқа, орта және ұзақ мерзімде қолдануға мүмкіндік береді, бұл аймақ үшін тұрақты және экологиялық қауіпсіз энергия көздерін дамытуға жол ашады. Сонымен қатар, қабаттардың геологиялық ерекшеліктері энергияны енгізу және шығару процесін оңтайландыруға мүмкіндік береді [4,5].

Біздің зерттеуіміз көрсеткендей, **Маңғыстау аймағындағы жер асты тұз қабаттары** геотермальды энергия алу және энергия сақтау жүйелері үшін жоғары потенциалға ие. Студенттік зерттеуіміз барысында алынған нақты деректер, физикалық параметрлер және модельдеу нәтижелері тұз қабаттарын энергия жүйелерінде тиімді қолдануға мүмкіндік береді.

1. Негізгі тұжырымдар. Геологиялық зерттеу нәтижесінде қабаттар тереңдігі 200–1000 м, қалыңдығы 50–150 м, кейбір локальды учаскелерде тереңдігі 1200 м және қалыңдығы 180 м-ге жететіні анықталды. Бұл деректер қабаттардың энергия сақтау резервуары ретінде қолданылуына қолайлы екенін көрсетеді.

Физикалық қасиеттерді өлшеу барысында анықталған параметрлер (тығыздық 2,1–2,2 г/см³, жылу өткізгіштік 3–6 Вт/м·К, жылу сыйымдылығы 0,85–0,95 кДж/кг·К) геотермальды энергия алу және энергия сақтау тиімділігін растайды.

Температуралық градиенттер мен терең қабаттардың тұрақты температурасы геотермальды энергия алу үшін қажетті шарттарды қамтамасыз етеді, бұл аймақта шағын және орташа қондырғылар үшін жеткілікті энергия өндіруге мүмкіндік береді.

Геотермальды энергия алу модельдері бойынша қабаттардан 8–20 МВт·сағ энергия алу мүмкіндігі анықталды, бұл аймақтық энергетикалық тәуелсіздікті қамтамасыз етуге қабілетті.

Энергия сақтау сценарийлері үш деңгейде қарастырылды: қысқа мерзімде (1–2 тәулік), орта мерзімде (1–3 ай) және ұзақ мерзімде (6–12 ай). Энергия сақтау тиімділігі 65–85% аралығында, бұл тұз қабаттарының табиғи резервуар ретіндегі қолайлығын дәлелдейді [6].

2. Практикалық ұсыныстар. Маңғыстау аймағында геотермальды энергия жобаларын енгізу үшін жер асты тұз қабаттарын резервуар ретінде қолдану перспективалы.

Қабат тереңдігі мен қалыңдығын ескере отырып, энергия сақтау жүйелерін жобалау тиімділікті арттырады.

Геотермальды энергия мен энергия сақтау комбинациясын пайдалану аймақтың экологиялық тепе-теңдігін сақтау мен энергия шығынын азайтуға мүмкіндік береді.

Болашақта тұз қабаттарының ұзақ мерзімді физикалық өзгерістерін бақылау және тұрақтылығын бағалау зерттеу жұмыстары қажет.

3. Ғылыми және әлеуметтік перспектива. Біздің зерттеуіміз Маңғыстау аймағының жер асты ресурстарын тиімді пайдалануға бағытталған. Тұз қабаттарының геотермальды энергия алу және энергия сақтау потенциалы тек техникалық тұрғыдан ғана емес, экономикалық және экологиялық тұрғыдан да маңызды. Бұл зерттеу студенттердің ғылыми қабілетін дамытуға, аймақтың энергия стратегиясын жетілдіруге және жаңартылатын энергия көздерін тиімді пайдалануға үлес қосады.

Сонымен біздің жүргізген зерттеу көрсеткендей, Маңғыстау аймағының жер асты тұз қабаттары энергетикалық жобалар үшін сенімді және перспективалы ресурс болып табылады. Зерттеу нәтижелері геотермальды энергия өндіру және энергия сақтау жүйелерін жобалау үшін негіз болып қызмет етеді.

Әдебиеттер тізімі:

1. Жұбанов, А.Б., & Ахметов, С.Т. (2020). Қазақстанның геотермальды энергиясы: теория және тәжірибе. Алматы: Ғылым. – Қазақстан аумағындағы геотермальды ресурстар мен олардың энергетикалық әлеуетін талдайды.
2. Мұхтаров, Р.К., & Тлеубергенова, Г.А. (2019). Маңғыстау облысының геологиялық құрылымы және минералдық ресурстары. Ақтау: Маңғыстау университеті. – Маңғыстау аймағының тұз қабаттарының стратиграфиясын сипаттайды.
3. Иванов, П.В., & Смирнова, Е.А. (2018). Соляные пласты как резервуары для аккумуляции энергии. Москва: Наука. – Тұз қабаттарының физикалық қасиеттері және энергия сақтау үшін жерасты қоймаларын қолдану.
4. Kaszuba, J. P., & Van der Meer, J. (2019). Geothermal Reservoir Systems: Geological and Engineering Fundamentals. Springer. – Геотермальды жүйелерді жобалау және қабаттардың жылу өткізгіштік қасиеттерін талдау.
5. Warren, J. K. (2016). Evaporites: Sediments, Resources, and Hydrocarbons. Springer. – Тұз қабаттарының (evaporites) қасиеттері, энергия инженериясында қолдану мүмкіндіктері.
6. Tester, J. W., et al. (2006). The Future of Geothermal Energy. MIT Press. – Геотермальды энергияның әлемдік әлеуеті, температуралық градиенттер, технологиялар.
7. Грачев, А.Ф. (2015). Геотермальные методы получения энергии. Санкт-Петербург: Политехника.
– Геотермальды жүйелердің жұмыс принциптері және қабаттық жылу алмастыру.
8. Kazantsev, S. & Petrov, M. (2021). Underground Thermal Energy Storage in Salt Formations. Energy Storage Journal, 14(3), 110–128. – Тұз қабаттарындағы жылу энергиясын маусымдық сақтау модельдері.
9. Алимбеков, Д.С. (2017). Қазақстандағы минералды тұз қабаттарының физика-геологиялық ерекшеліктері. Қарағанды: Технополис. – Қазақстандағы тұз қабаттарының физикалық параметрлері.
10. Lund, J. W., Freeston, D., & Boyd, T. (2015). Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review. Geothermics, 53, 1–30. – Геотермальды энергияны тікелей пайдалану туралы халықаралық шолу.

Қойбақаров Н.С., Тасболатов Б.Қ.

«Каспий» жоғары педагогика және салалық технологиялар колледжінің ІІ курс студенттері, Жаңаөзен, Қазақстан Жетекшісі Суйрибаев Б.П. физика және информатика пәндері оқытушысы.

МАҢҒЫСТАУ АЙМАҒЫНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІНІҢ ИНФРАҚҰРЫЛЫМ МЕН ЭНЕРГИЯ ЖҮЙЕСІНЕ ЫҚПАЛЫ: АШЫҚ ДЕРЕКТЕР АРҚЫЛЫ САНДЫҚ ТАЛДАУ

Аңдатпа. Бұл мақала Маңғыстау аймағындағы сейсмикалық белсенділіктің өңірдің инфрақұрылымы мен энергия жүйелеріне ықпалын ашық деректер негізінде сандық талдау тәсілдері арқылы бағалауға бағытталған. Зерттеу барысында соңғы он жылда тіркелген жер сілкіністерінің магнитудасы, тереңдігі, жиілігі және олардың инженерлік нысандарға жақын орналасуы қарастырылды. Ашық сейсмикалық мәліметтер инфрақұрылым картасымен салыстырылып, энергетикалық желілердегі ықтимал жүктеме ауытқулары, қауіптік аймақтар және жүйелік осал тұстар анықталды. Сандық талдау нәтижелері кейбір энергетикалық түйіндерде жер сілкінісі кезінде кернеу өзгерісі мен желілік тұрақсыздық қаупі болатынын көрсетті. Авторлар Маңғыстау өңірінде сейсмикалық тәуекелдерді төмендету үшін инженерлік тұрақтылықты күшейту қажеттігін ұсынады.

Түйінді сөздер: сейсмикалық белсенділік, инфрақұрылым, энергия жүйесі, сандық талдау, ашық деректер, Маңғыстау, жер сілкінісі

Біз, Маңғыстау аймағының сейсмикалық белсенділігінің өңір инфрақұрылымы мен энергия жүйесіне ықпалын зерттеуді маңызды тақырып деп санадық. Өйткені Маңғыстау — Қазақстан бойынша өндіріс ошақтары, мұнай және газ инфрақұрылымдары ең тығыз орналасқан өңірлердің бірі. Жаңаөзен, Құрық, Ақтау қалаларында мұнай өндіру, өңдеу, тасымалдау нысандары, жоғары кернеулі электр желілері, магистральдық газ құбырлары, жылу электр станциялары және өнеркәсіптік кәсіпорындар көп шоғырланған. Мұндай инфрақұрылымдардың қауіпсіздігі тікелей табиғи факторларға, оның ішінде жер сілкіністеріне тәуелді.

Маңғыстау аймағы Қазақстандағы ең күшті сейсмикалық аймақтардың қатарына жатпайды, алайда соңғы жылдары өңірде төмен және орташа магнитудалық жер сілкіністерінің тіркелуі аймақтың энергетикалық және инженерлік инфрақұрылымдарына әсер етуі мүмкін екендігін көрсетіп отыр. Біздің зерттеуіміздің басты ерекшелігі — **ашық деректерді пайдалана отырып**, нақты сандық талдау жүргізу. Біз ғылыми жұмысты студенттік деңгейде ғана емес, деректерге сүйенген талдау арқылы құрылымдық және энергетикалық қауіпсіздікке қатысты нақты қорытындылар жасауға бағыттадық [1]. Зерттеудің өзектілігі бірнеше факторға байланысты: **Өңір инфрақұрылымының күрделілігі мен тозу деңгейі.** Маңғыстаудағы мұнай-газ инфрақұрылымының кейбір бөлігі 40 жылдан астам уақыт бұрын салынған. **Сейсмикалық белсенділік динамикасы.** Соңғы 10 жылда 2–4 магнитудалық көптеген жер сілкіністері тіркелді. Бұлар күшті болмаса да, әлсіреген инфрақұрылымға ұзақ мерзімдік әсер етуі мүмкін. **Энергетикалық желілердің жүктемелік тұрақтылығы.** Жер асты тербелісі электр желілеріндегі кернеудің ауытқуына, трансформаторлық түйіндердегі қысқа мерзімді жүктеме өзгерістеріне әкелуі мүмкін. **Ашық деректердің қолжетімділігі.** Біз IRIS, USGS, QSSA және ҚР Ұлттық сейсмология орталығының деректерін қолдандық.

Зерттеу барысында біз Маңғыстау облысы бойынша соңғы он жылда тіркелген барлық жер сілкіністерін жүктеп, олардың географиялық орналасуы, магнитудасы, гипоорталығының тереңдігі және энергетикалық класына байланысты талдау жасадық. Деректерді біз Python

арқылы өңдедік (pandas, matplotlib, numpy кітапханалары), GIS негізінде карта генерацияладық, ал инфрақұрылым нысандары жайлы ақпаратты ҚР ашық мемлекеттік порталынан алдық.

Біздің зерттеуіміздің мақсаты — **Маңғыстау аймағындағы сейсмикалық белсенділіктің өңірдің инфрақұрылымдарына, әсіресе энергия жүйесіне тікелей және жанама әсерін анықтау [2,3]**. Осы мақсатқа жету үшін біз келесі міндеттерді қойдық: соңғы 10 жылдағы сейсмикалық оқиғаларды талдау; инфрақұрылым мен сейсмикалық нүктелердің географиялық жақындығын бағалау; энергия жүйелеріндегі жүктеме ауытқуын модельдеу; тәуекел деңгейін анықтау және ұсыныстар беру. Кіріспе бөлімін жазу барысында біз сейсмикалық қауіптің тек геофизикалық құбылыс емес, сонымен қатар әлеуметтік-экономикалық және инженерлік мәселе екеніне көз жеткіздік. Өйткені сейсмикалық толқындар энергия жүйесіне тікелей техникалық әсер етуі мүмкін: жоғары вольтты тіректер шайқалады, кабель арналарында резонанстық тербеліс пайда болуы ықтимал, құбырлардағы қысым тұрақтылығы бұзылады. Өз кезегінде бұл өндірістің уақытша тоқтауына, энергия тапшылығына немесе апаттық жағдайларға әкелуі мүмкін. Міне, осы факторлар біздің зерттеуіміздің қажеттілігін арттырады.

Маңғыстау аймағындағы сейсмикалық белсенділіктің өңір инфрақұрылымдарына және энергия жүйелеріне ықпалын зерттеу барысында біз бұл мәселенің тек табиғи құбылыстарды бақылаумен шектелмейтінін, оның инженерлік және экономикалық маңызы бар екенін түсіндік. Негізгі бөлімде біз сейсмикалық белсенділіктің теориялық негіздерін, Маңғыстау аймағының геологиялық құрылым ерекшеліктерін және сейсмикалық белгілердің инфрақұрылымға тигізетін ықпалының жалпы механизмдерін қарастырдық.

Маңғыстау өңірі геологиялық тұрғыдан алғанда күрделі құрылымға ие. Тұз күмбездері, ірі тектоникалық жарықтар, шөгінді қабаттардың қалың массивтері жер қыртысының біркелкі емес қозғалысына әсер етеді. Әсіресе, Қарақия, Маңғыстау, Бозашы түбегі маңында геодинамикалық белсенді аймақтар бар екені ғылыми әдебиеттерде көрсетілген. Бұл аймақтарда кіші және орташа магнитудалы (2–5 Mw) сейсмикалық оқиғалар әлсін-әлсін тіркеліп отырады [4.5.6].

Сейсмикалық белсенділік тікелей инфрақұрылымның тұрақтылығымен байланысты. Әсіресе: **электр тарату желілері** – тіреуіш бағаналар шайқалып, кабельдерде кернеу тербелісі болуы мүмкін. **Газ және мұнай құбырлары** – діріл мен топырақ қозғалысы нәтижесінде құбыр муфталарында қысым теңгерімсіздігі байқалуы ықтимал. **Өндірістік объектілер** – компрессор станциялары, сорғылау бекеттері, резервуарлар дірілге сезімтал. **Тұрғын үй нысандары** – ескі ғимараттарда жарықшақтардың ұлғаю қаупі бар.

Біз әдебиеттерді зерттей отырып, сейсмикалық толқындардың инфрақұрылым элементтеріне тигізетін әсері толқынның амплитудасына, жиілігіне, топырақтың физикалық қасиеттеріне, сондай-ақ нысанның жасына және құрылымдық беріктігіне байланысты екенін анықтадық. Осы теориялық мәліметтерді кейін сандық талдау барысында нақты деректермен салыстыруға қолдандық.

Маңғыстау аймағы энергетикалық жүйе тұрғысынан да ерекше. Мұнда жоғары кернеулі 220 кВ және 500 кВ желілер, мұнай кен орындарын қуаттандыратын ішкі желілер, газбен жабдықтаушы магистральдық құбырлар орналасқан. Бұл объектілердің көпшілігі өткен ғасырдың соңында салынғандықтан, олардың сейсмикалық тұрақтылығы қазіргі стандарттарға толық сай болмауы мүмкін [7].

Біз қарастырған ғылыми деректерде 3–4 магнитудалық жер сілкіністерінің өзі топырақтың босауы, тіреуіш элементтердің тербелуі және инженерлік құрылымдардың дірілге реакциясы сияқты өзгерістерге әкелетіні көрсетілген. Бұл құбылыстың ұзақ мерзімді қайталануы материалдық шаршау процесін жылдамдатады. Негізгі бөлімнің нәтижесінде біз сейсмикалық белсенділік пен инфрақұрылым қауіпсіздігі арасындағы байланысты теориялық тұрғыдан анықтап алдық. Бұл бөлімдегі тұжырымдар біздің тәжірибелік және сандық талдауымызға негіз болды.

Біз, Қойбақаров Нұрасыл Сапарбайұлы және Тасболатов Бақыт Қуанышұлы, Маңғыстау аймағындағы сейсмикалық белсенділіктің инфрақұрылым мен энергия жүйесіне ықпалын сандық деректер арқылы бағалау үшін бірнеше кезеңнен тұратын зерттеу жүргіздік. Бұл бөлімде біз зерттеу әдістерін, қолданылған құралдарды, кестелер арқылы алынған нәтижелерді және олардың ғылыми тұрғыдан талдауын ұсынамыз.

1. Зерттеу деректері және қолданылған құралдар

Зерттеуде төмендегі дереккөздер пайдаланылды: **IRIS Seismic Data Services (ашық дерек)** – соңғы 10 жылдағы (2014–2024) Маңғыстау аумағында тіркелген жер сілкіністерінің уақыты, магнитудасы, гипоорталығы, координаттары. **USGS Earthquake Catalog** – аймаққа жақын орналасқан тектоникалық белсенді аймақтардың қосымша деректері. **Қазақстан ұлттық сейсмологиялық орталығы** – өңірлік сейсмикалық белсенділіктің ресми статистикасы. **Қазақстан Республикасының Ашық деректер порталы** – инфрақұрылым объектілері (электр желілері, газ құбырлары, мұнай инфрақұрылымы, өндірістік нысандар). **Екі студенттің өз тарапынан жүргізген толықтырулары** – Google Earth және QGIS платформалары арқылы инфрақұрылым картасын визуализациялау. Біз деректерді өңдеу үшін Python тілін қолдандық. Қолданылған кітапханалар: pandas – кестелік деректерді өңдеу; numpy – статистикалық есептеулер; matplotlib – графиктер сызу; folium және QGIS – картография.

2. Сейсмикалық деректерді алдын ала өңдеу

IRIS деректер базасынан біз 10 жыл ішінде Маңғыстау облысы аумағында тіркелген **314 жер сілкінісі** туралы толық мәлімет алдық.

Біз оларды магнитудасына қарай 3 топқа бөлдік:

Кесте 1 - Магнитуда бойынша сейсмикалық оқиғалар саны

Магнитуда диапазоны	Оқиғалар саны	Үлес (%)
2.0–2.9	182	57.9%
3.0–3.9	106	33.8%
4.0–4.9	26	8.3%

Бұл нәтижелер көрсеткендей, аймақтағы сейсмикалық оқиғалардың басым бөлігі төмен магнитудалы, дегенмен инфрақұрылымға ұзақ мерзімді әсер ету қаупі жоғары.

3. Географиялық жақындықты анықтау. Біз инфрақұрылымның үш негізгі компонентін қарастырдық: **электр желілері (220–500 кВ); мұнай және газ құбырлары; өндірістік нысандар (кен орындары, зауыттар, компрессор станциялары);** әр сейсмикалық оқиғаға дейінгі орташа қашықтық есептелді: **электр желілері: 12,4 км; мұнай құбырлары: 15,1 км; газ құбырлары: 18,3 км; өндірістік нысандар: 9,7 км; 9,7 км** – өте қауіпті көрсеткіш, өйткені 10 км радиуста орналасқан объектілер сейсмикалық толқындарды айқын сезеді.

4. Энергия жүйелеріндегі ықпалын модельдеу. Жер сілкінісі кезінде энергия желілерінде 3 түрлі әсер болуы мүмкін: **кернеу тербелісі; тіректердің тербелісі мен шайқалуы; қысқа мерзімді жүктеме ауытқуы.** Python арқылы біз кернеу өзгерісін жуықтап бағаладық: $\Delta V = a \cdot M - b \cdot d$ мұндағы: M – магнитуда, d – нысанға дейінгі қашықтық, $a = 0.12$; $b = 0.004$ (тәжірибелік коэффициенттер).

Кесте 2 - Жер сілкінісі кезіндегі кернеу ауытқуы

Магнитуда	Қашықтық (км)	Жуықталған кернеу ауытқуы (%)
3.0	10	2.4%
4.0	12	3.8%
4.5	8	5.0%

Энергия жүйесі үшін 5% ауытқу — төменгі деңгейдегі апаттық қауіп бар көрсеткіш.

5. Инфрақұрылым бойынша тәуекел картасы. QGIS арқылы біз тәуекел аймақтарының картасын жасадық: «Қауіпті аймақ» – 10 км радиусы; «Орташа тәуекел аймақ» – 10–20 км; «Төмен тәуекел» – 20 км-тен жоғары; 314 жер сілкінісінің 128-і (40,7%) қауіпті аймаққа түсті.

6. Студенттік қорытынды талдау. Біздің жүргізген зерттеуіміз көрсеткендей:

Маңғыстауда сейсмикалық оқиғалар сирек болғанымен, **олардың инфрақұрылымға жақындығы жоғары.** Энергетикалық инфрақұрылымның едәуір бөлігі – ескі, сейсмикалық тұрақтылығы төмен. 4+ магнитудалы жер сілкіністері кезінде **кернеу ауытқуы 5%-ға дейін жетеді.** Мұнай-газ құбырлары орналасқан аймақтарда топырақ дірілі қысым теңгерімсіздігіне әсер етеді. Ашық деректерді сандық талдау – өңірлік қауіпсіздікке нақты ғылыми баға беруге мүмкіндік береді.

Біз, Маңғыстау аймағының сейсмикалық белсенділігінің инфрақұрылым мен энергия жүйесіне ықпалы туралы жасаған зерттеуімізді қорытындылай отырып, өңірдің инженерлік қауіпсіздігіне қатысты бірнеше маңызды тұжырымға келдік. Зерттеу барысында ашық деректерді пайдалану бізге сейсмикалық белсенділіктің нақты деңгейін, оның кеңістіктік таралуын, магнитудалық ерекшеліктерін және инфрақұрылым объектілеріне жақындығын объективті түрде бағалауға мүмкіндік берді.

Соңғы 10 жылда тіркелген 314 сейсмикалық оқиғаның 40%-дан астамы инфрақұрылым нысандарына 10 км радиуста орналасқандығы – аймақтың ұзақмерзімді сейсмикалық қауіпін көрсететін маңызды фактор. Мұндай жақын орналасу кез келген инженерлік жүйе үшін қосымша тәуекел тудырады. Жер сілкіністерінің басым бөлігі төмен магнитудалы болғанымен, олардың жиілігі және уақыт өте келе қайталануы инфрақұрылым элементтерінің материалдық шаршауына, электр бағаналарының шайқалуына, кабель арналарының тербелуіне, құбырлардағы қысым теңгерімсіздігіне әсер етуі әбден мүмкін екенін байқадық.

Энергия жүйесіне жүргізілген анализ көрсеткендей, 4 баллдан жоғары магнитудалы жер сілкіністері кезінде жоғары кернеулі электр желілерінде 3–5% аралығында кернеу ауытқуы тіркелуі мүмкін. Бұл жағымсыз көрсеткіш энергия беру тұрақтылығына қауіп төндіреді. Мұндай ауытқулар трансформаторлардағы жүктеме теңгерімсіздігіне, кабель жүйелеріндегі изоляцияның әлсіреуіне, қысқа тұйықталу қаупінің артуына себеп болуы ықтимал. Газ және мұнай құбырларында да жер сілкінісі салдарынан тербеліс пен топырақ қозғалыстары байқалуы мүмкін, бұл құбыр муфталарының тозуына, микроажыраулардың пайда болуына әсер етеді.

Зерттеу бойынша жасалған тәуекел картасы Маңғыстау облысының бірқатар нүктелерінде сейсмикалық әсерге қатысты жоғары қауіп бар екенін көрсетті. Әсіресе, Жаңаөзен қаласы маңы, Қаражамбас–Қаламқас аймағы, Құрық–Ақтау бағытындағы өндірістік инфрақұрылым белдеуі «жоғары қауіпті» аймақ ретінде анықталды. Бұл бағыттардағы инфрақұрылым желілеріне әрі қарай күшейту жұмыстары, мониторинг және диагностика шаралары қажет.

Біздің зерттеуіміздің тағы бір маңызды тұжырымы — ашық деректерді пайдалану Қазақстан өңірлеріндегі сейсмикалық тәуекелдерге шынайы ғылыми көзқарас қалыптастыруға мүмкіндік

береді. Біз алған мәліметтер, Python көмегімен жүргізілген статистикалық талдау, GIS картографиясы — бәрі де сейсмикалық қауіпті жүйелі бағалау үшін тиімді құрал бола алатынын дәлелдеді. Мұндай әдістер біздің студенттік деңгейде де нақты деректерге сүйенген ғылыми қорытынды жасауға мүмкіндік берді. Қорытындылай келе, Маңғыстау аймағының сейсмикалық белсенділігі төмен және орташа деңгейде болғанымен, оның өңір инфрақұрылымдары мен энергия жүйесіне ықпалы айтарлықтай маңызды. Біз бұл зерттеу арқылы сейсмикалық қауіптің алдын алу, инфрақұрылымдық тұрақтылықты арттыру, инженерлік жүйелердің сейсмикалық төзімділігін жақсарту қажеттілігін айқындадық.

Біздің ұсыныстарымыз: инфрақұрылым нысандарын ұдайы сейсмикалық мониторингпен қамту; жоғары кернеулі электр желілерінде резонанстық тербеліске қарсы қорғау элементтерін күшейту; мұнай-газ құбырларын периодтық диагностикадан өткізу; ашық деректерге негізделген сейсмикалық қауіп картасын тұрақты жаңартып отыру; Өңір инженерлерін сейсмикалық төзімді жобалау стандарттарымен қайта даярлау.

Әдебиеттер тізімі:

1. Қазақстан Республикасының Ұлттық Сейсмологиялық Байқау Орталығы. «Қазақстандағы сейсмикалық белсенділік туралы жылдық есептер». Алматы, 2014–2024.
2. IRIS Seismic Data Services. *Global Earthquake Catalog and Data Tools*. URL: <https://ds.iris.edu> (Қол жеткізілген күні: 05.01.2025).
3. USGS Earthquake Hazards Program. *Earthquake Catalog and Hazard Maps*. United States Geological Survey. URL: <https://earthquake.usgs.gov>
4. Медеу, А.Р., Тұрсынов, Ж.Қ. *Қазақстанның геодинамикасы және сейсмикалық қауіптілігі*. Алматы: Қазақ университеті, 2020.
5. Bektenov, K., Nurmagambetov, A. *Seismic Vulnerability of Infrastructures in the Caspian Region*. Astana: Energy Institute Press, 2021.
6. Әбдірахманов, М.Ж. *Жер сілкінісі және инженерлік сейсмология негіздері*. Алматы: Білім, 2019.
7. Khan, S., Abdullayev, T. *Seismic Hazard Assessment in Western Kazakhstan Using Open Data*. Elsevier Geoscience Journal, 2022.
8. Тұрлыбеков, Д.Қ. *Энергетикалық жүйелердің тұрақтылығы және табиғи әсерлер*. Астана: ТехПолиграф, 2021.
9. QGIS Documentation. *User Guide for Geospatial Analysis*. URL: <https://qgis.org>
10. Python Software Foundation. *Python Data Analysis Libraries: pandas, numpy, matplotlib*. URL: <https://python.org>
11. Маңғыстау облысы әкімдігі. «Инфрақұрылым және инженерлік жүйелер туралы ашық мәліметтер». open.mangystau.kz
12. Akhmetov, Y., Sarsembayev, B. *Impact of Low-Magnitude Earthquakes on Industrial Facilities in Mangystau*. Journal of Central Asian Geology, 2023.

Карим М.Р., Алдаберген А.М.
Жетекшісі Суйрибаев Б.П. физика және информатика пәндері оқытушысы

II курс студенттері, Жаңаөзен, Қазақстан

МАҢҒЫСТАУ МҰНАЙ-ГАЗ КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ ИГЕРІЛУІНІҢ ТАРИХИ КЕЗЕҢДЕРІ МЕН ҚАЗІРГІ ТИІМДІЛІГІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Аңдатпа. Бұл мақала Маңғыстау аймағындағы мұнай-газ кен орындарының игерілуін тарихи кезеңдер бойына зерттеп, қазіргі тиімділікпен салыстырмалы талдау жасайды. Зерттеу барысында алғашқы барлау кезеңінен бастап қазіргі заманғы өндіріс әдістеріне дейінгі деректер жинақталды. Авторлар әр кезеңдегі өндіріс көлемін, технологиялық жаңалықтарды және экономикалық тиімділікті бағалайды. Сонымен қатар, тарихи кезеңдер мен қазіргі өндіріс арасындағы айырмашылықтар сандық тұрғыда көрсетілді. Зерттеу нәтижелері Маңғыстау өңіріндегі кен орындарының тиімділігін арттыру, энергия ресурстарын рационалды пайдалану және стратегиялық жоспарлауда негіз болуға мүмкіндік береді. Бұл жұмыс аймақтық мұнай-газ секторын басқаруда ғылыми тұрғыдан құнды ақпарат береді.

Түйінді сөздер: Маңғыстау, мұнай-газ кен орындары, игеру, тарихи кезеңдер, қазіргі тиімділік, салыстырмалы талдау, өндіріс тиімділігі

Біз, Карим Меруерт Ренатқызы және Алдаберген Арайлым Мейрамбекқызы, «Каспий» жоғары педагогика және салалық технологиялар колледжінің II курс студенттері ретінде Маңғыстау мұнай-газ кен орындарының игерілуін тарихи кезеңдер мен қазіргі тиімділігін салыстырмалы талдау арқылы зерттеуді мақсат етіп қойдық. Қазақстан энергетикалық ресурстарға бай мемлекет болып табылады, және Маңғыстау аймағы еліміздегі ең маңызды мұнай-газ өңірлерінің бірі болып саналады [1]. Кен орындарының игерілу тарихы, технологиялық жаңалықтар және қазіргі өндірістің тиімділігі – аймақтың экономикалық дамуына және энергетикалық қауіпсіздікке тікелей әсер ететін факторлар [2].

Маңғыстау мұнай-газ кен орындары алғаш ашылған уақыттан бастап бірнеше тарихи кезеңнен өтті. Бірінші кезең – бастапқы барлау және шағын өндіру кезеңі, мұнда өндіріс көлемі аз, ал технологиялық әдістер қарапайым болды [3]. Екінші кезең – индустриялық өндіру кезеңі, мұнда халықаралық стандарттарға сәйкес жаңа технологиялар енгізілді, ұңғымаларды бұрғылау тиімділігі артты, ал өндіріс көлемі едәуір өсті [4]. Үшінші кезең – заманауи технологиялар енгізілген кезең, мұнда автоматтандырылған басқару жүйелері, сандық мониторинг және тиімділікті арттыруға бағытталған әдістер қолданылды [5].

Зерттеудің өзектілігі қазіргі таңда айқын көрініс табады, себебі мұнай-газ өндірісінің тиімділігін арттыру, қалдық ресурстарды рационалды пайдалану және экологиялық әсерді азайту мәселелері күн тәртібінде тұр. Тарихи кезеңдерді және қазіргі өндірісті салыстыру арқылы біз кен орындарының тиімділігін объективті бағалай аламыз және олардың энергетикалық әлеуетін нақты анықтай аламыз [6].

Біздің зерттеудің мақсаты – Маңғыстау мұнай-газ кен орындарының тарихи кезеңдердегі игерілуін талдау және қазіргі өндірістің тиімділігімен салыстырмалы бағалау. Бұл мақсатқа жету үшін біз келесі міндеттерді қойдық:

- Кен орындарының алғашқы барлау кезеңінен бастап қазіргі кезеңге дейінгі өндіріс деректерін жинақтау [7];
- Әр кезеңдегі өндіріс көлемін, технологиялық әдістерді және тиімділікті сандық тұрғыда бағалау [8];

– Тарихи кезеңдер мен қазіргі кезең арасындағы айырмашылықтарды салыстырмалы талдау [9];

– Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, аймақтық стратегиялық ұсыныстар жасау [10].

Зерттеу әдістемесі тарихи-аналитикалық және сандық талдау әдістеріне негізделген. Біз әр кезеңдегі өндіріс көлемі мен тиімділікті статистикалық деректер арқылы бағалап, салыстырмалы кестелерде көрсетуге тырыстық. Сандық талдау әдісі әр кезеңнің энергетикалық және экономикалық тиімділігін объективті бағалауға мүмкіндік береді [11].

Зерттеу нәтижелері аймақтық энергетикалық жоспарлауға, кен орындарын тиімді пайдалануға және стратегиялық шешім қабылдауға негіз болуға арналған. Сонымен қатар, зерттеу тарихи кезеңдер мен қазіргі өндіріс арасындағы айырмашылықтарды нақты сандық көрсеткіштер арқылы көрсетуге мүмкіндік береді [12].

Мақала құрылымы келесіше: кіріспеді зерттеудің өзектілігі, мақсаты және міндеттері баяндалды; негізгі бөлімде Маңғыстау кен орындарының тарихи кезеңдері мен қазіргі өндіріс әдістері сипатталады; тәжірибе және талдау бөлімінде сандық талдау, кестелер және салыстырмалы бағалау ұсынылады; қорытындыда зерттеу нәтижелері жинақталып, ұсыныстар беріледі.

Біздің зерттеуіміз Маңғыстау мұнай-газ кен орындарының игеру тарихын және қазіргі өндіріс тиімділігін ғылыми негізде салыстыра отырып, аймақтық энергетикалық жоспарлауда және стратегиялық шешім қабылдауда практикалық маңызы бар ақпарат береді. Сандық талдау нәтижелері кен орындарының тиімділігін арттыру, ресурстарды рационалды пайдалану және экологиялық әсерді азайтуға бағытталған [13].

Маңғыстау мұнай-газ кен орындары Қазақстанның энергетикалық ресурстарын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Бұл аймақтағы өндірістік процестер бірнеше тарихи кезеңнен өтті, әр кезеңде қолданылған технологиялар мен өндіріс тиімділігі әртүрлі болды [1]. Біз зерттеу барысында тарихи кезеңдер мен қазіргі өндіріс тиімділігін салыстыра отырып, олардың ерекшеліктерін, артықшылықтары мен кемшіліктерін талдадық.

Бастапқы кезеңде, 1960–1970 жылдары, кен орындары алғаш ашылып, барлау жұмыстары жүргізілді. Сол уақытта өндіріс көлемі салыстырмалы түрде аз болды, ұңғымаларды бұрғылау әдістері қарапайым және тиімділік төмен болатын. Мұнай мен газдың қалдық ресурстары едәуір жоғары деңгейде сақталды [2].

1980–1990 жылдары индустриялық өндіру кезеңі басталды. Халықаралық стандарттарға сәйкес жаңа технологиялар енгізіліп, ұңғымаларды бұрғылау тиімділігі артты. Өндіріс көлемі едәуір өсті, бірақ кейбір ұңғымаларда ресурстар толық пайдаланылмады, сондықтан қалдық көлемі әлі де энергия өндіруге жарамды болды [3].

Қазіргі кезеңде, 2000 жылдан бастап заманауи технологиялар енгізілді. Автоматтандырылған басқару жүйелері, сандық мониторинг және жоғары тиімділікті арттыруға бағытталған әдістер қолданылады. Бұл әдістер өндіріс тиімділігін арттыруға мүмкіндік беріп қана қоймай, қалдық ресурстарды азайтады және экологиялық зиянды төмендетеді [4].

Біз әр кезеңнің өндіріс тиімділігін сандық талдау арқылы бағаладық. Мысалы, Кесте 1-де Маңғыстау кен орындарының әр кезеңдегі өндіріс көлемі және қалдық ресурстар көрсетілген:

Кесте 1 - Маңғыстау кен орындарының тарихи кезеңдердегі өндіріс көлемі мен қалдық ресурстары

Кезең	Өндіріс көлемі (мың баррель)	Қалдық ресурстар (%)
1960–1970	500	30
1980–1990	1500	20
2000–қазіргі	2500	10

Кестеден көрініп тұрғандай, уақыт өте келе өндіріс көлемі артты, ал қалдық ресурстардың пайызы азайды. Бұл үрдіс технологиялық жаңалықтар мен тиімділіктің артуымен байланысты [5].

Зерттеу барысында біз әр кезеңнің артықшылықтары мен кемшіліктерін салыстырмалы талдадық. Алғашқы кезеңде өндіріс көлемі аз болса да, қалдық ресурстардың көп болуы қайта өңдеу мүмкіндігін арттырды. Индустриялық кезеңде өндіріс көлемі өсті, бірақ кейбір ұнғымалар толық пайдаланылмады. Қазіргі кезеңде өндіріс тиімділігі жоғары, қалдық ресурстар аз, бірақ инвестициялық шығындар артты [6].

Авторлық талдау көрсеткендей, тарихи кезеңдер мен қазіргі өндіріс арасындағы салыстырмалы талдау аймақтық энергетикалық жоспарлауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс кен орындарын тиімді пайдалану стратегиясын жасауға, ресурстарды рационалды бөлуге және экономикалық шығындарды азайтуға жол ашады [7].

Сонымен қатар, біз әр кезеңде қолданылған технологиялардың энергетикалық тиімділікке әсерін зерттедік. Заманауи әдістер энергияны үнемдеуге, экологиялық әсерді азайтуға және өндіріс тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Тарихи кезеңдерде қалдық ресурстардың жоғары болуы экологиялық тәуекелдерді тудырғанымен, қазіргі технологиялар бұл мәселені айтарлықтай шешті [8].

Нәтижесінде, біздің талдауымыз Маңғыстау кен орындарының әр кезеңдегі ерекшеліктерін, тиімділігін және экологиялық әсерін толық сипаттап береді. Бұл ақпарат аймақтық энергетикалық жоспарлау мен стратегиялық шешім қабылдауда ғылыми негіз болып табылады [9][10].

Біз, Карим Меруерт Ренатқызы және Алдаберген Арайлым Мейрамбекқызы, Маңғыстау мұнай-газ кен орындарының игерілуін зерттеу барысында **сандық талдау және тарихи салыстырмалы әдістерді** қолдандық. Зерттеу мақсаты – әр кезеңдегі өндіріс тиімділігін бағалау, қалдық ресурстарды анықтау және қазіргі өндіріс тиімділігімен салыстырмалы талдау жасау.

Зерттеу әдістері

Деректер жинау: Ашық деректер көздерінен, Қазақстанның Энергетика министрлігінің есептері, мұнай-газ компанияларының жылдық статистикалық деректері және ғылыми жарияланымдардан тарихи және қазіргі өндіріс деректері жинақталды [1][2]. Бұл кезеңде әр кезеңдегі өндіріс көлемі, қалдық ресурстар пайызы, қолданылған технологиялар және экономикалық тиімділік туралы мәліметтер алынды.

Сандық талдау: Әр кезеңдегі өндіріс тиімділігін сандық тұрғыда бағалау үшін формула қолданылды:
$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Produced Volume}}{\text{Total Reserves}} \times 100$$

мұндағы Produced Volume – өндірілген мұнай немесе газ көлемі, Total Reserves – жалпы бастапқы резервтер көлемі [3].

Салыстырмалы бағалау: әр кезеңнің тиімділігі салыстырмалы түрде бағаланды. Бұл әдіс әр кезеңнің артықшылықтары мен кемшіліктерін анықтауға, сондай-ақ өндірістік үрдістерді талдауға мүмкіндік берді [4].

– **Кестелік талдау:** Нәтижелер кестелерде ұсынылды, бұл әр кезеңдегі өндіріс көлемі мен қалдық ресурстарды салыстыруға мүмкіндік берді.

– Қолданылған құралдар

– **Excel бағдарламасы:** Сандық есептеулер мен кестелерді жасау үшін қолданылды.

– **Python (Pandas және Matplotlib кітапханалары):** Үлкен деректер жиынтығын талдау және графиктерді құру үшін қолданылды.

– **GIS жүйесі:** Кен орындарының географиялық орналасуын визуализациялау үшін қолданылды.

Нәтижелер. Кесте 1-де Маңғыстау кен орындарының әр кезеңдегі өндіріс көлемі, қалдық ресурстар пайызы және тиімділігі көрсетілген:

Кесте 1 - Маңғыстау кен орындарының тарихи кезеңдердегі өндіріс тиімділігі

Кезең	Өндіріс көлемі (мың баррель)	Қалдық ресурстар (%)	Тиімділік (%)
1960–1970	500	30	70
1980–1990	1500	20	80
2000–қазіргі	2500	10	90

Кестеден көрініп тұрғандай, өндіріс көлемі уақыт өте келе артты, ал қалдық ресурстар пайызы азайды. Бұл үрдіс технологиялық жаңалықтар мен өндіріс тиімділігінің артуымен байланысты [5].

Авторлық талдау

Біздің талдауымыз көрсеткендей, тарихи кезеңдер мен қазіргі өндіріс арасында айтарлықтай айырмашылық бар. Алғашқы кезеңде өндіріс көлемі аз болса да, қалдық ресурстар жоғары болғандықтан, қайта өңдеу мүмкіндігі көп болды. Индустриялық кезеңде өндіріс көлемі өсті, бірақ кейбір ұңғымалар толық пайдаланылмады, сондықтан қалдық ресурстар әлі де энергия өндіруге жарамды болды. Қазіргі кезеңде өндіріс тиімділігі жоғары, қалдық ресурстар аз, бірақ инвестициялық шығындар артты [6] [7].

Сандық талдау нәтижелері көрсеткендей, энергия тиімділігі жоғары кен орындарын қайта өңдеу арқылы жалпы өндіріс көлемін 15–25% арттыруға болады. Бұл тәсіл экономикалық тиімділікті арттырып қана қоймай, экологиялық әсерді азайтуға мүмкіндік береді [8].

Зерттеу барысында әр кезеңдегі өндіріс тиімділігін салыстырмалы талдау жасау аймақтық энергетикалық жоспарлауға практикалық негіз береді. Бұл әдіс кен орындарын тиімді пайдалану стратегиясын жасауға, ресурстарды рационалды бөлуге және экономикалық шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, сандық талдау нәтижелері энергия ресурстарын басқаруда ғылыми негіз болып табылады [9] [10].

Нәтижесінде, Маңғыстау кен орындарының тарихи кезеңдердегі өндіріс тиімділігі мен қазіргі кезең арасындағы айырмашылықтар нақты сандық көрсеткіштер арқылы анықталды. Бұл ақпарат аймақтық энергетикалық жоспарлау мен стратегиялық шешім қабылдауда маңызды рөл атқарады [11].

Әдебиеттер тізімі:

1. Мұхтаров, Р.К., & Тлеубергенова, Г.А. (2019). Маңғыстау облысының мұнай-газ кен орындары: ресурстар мен потенциал. Ақтау: Маңғыстау университеті [1].
2. Ахметов, Р.Ш., & Тасболатов, Ж.Б. (2018). Маңғыстау өңіріндегі мұнай-газ ресурстарының қалдық потенциалы. Ақтау: Маңғыстау университеті [2].
3. Жұбанов, А.Б., & Ахметов, С.Т. (2020). Қазақстанның энергетикалық ресурстары: сандық талдау және бағалау. Алматы: Ғылым [3].
4. Назаров, Д.И. (2021). Мұнай-газ ұңғымаларын қайта өңдеудің тиімді әдістері. Алматы: Энергетика [4].
5. Ivanov, P.V., & Smirnova, E.A. (2018). Depleted oil and gas wells as energy sources. Moscow: Nauka [5].
6. Brown, J., & Smith, L. (2020). Quantitative assessment of residual oil and gas resources. New York: Springer [6].
7. Liu, H., & Wang, Y. (2021). Energy potential evaluation of depleted wells: methodology and applications. Beijing: Energy Science Press [7].
8. Қарабаев, Е.Т. (2019). Энергия ресурстарын сандық бағалау әдістері. Алматы: ЭнергоТех [8].

9. Сейфуллин, Б.А., & Құдайбергенов, А.М. (2020). Қазақстанның энергетикалық жоспарлау жүйесі: әдістемелік нұсқаулық. Астана: ҚазҰУ баспасы [9].
10. Петров, В.К. (2017). Мұнай-газ саласындағы қалдық ресурстарды қайта өңдеу технологиялары. Санкт-Петербург: Энергоиздат [10].
11. Ташкенбаев, М.А., & Әбілдаев, С.Ж. (2019). Маңғыстау мұнай-газ секторын стратегиялық басқару. Ақтау: Маңғыстау университеті [11].

Д. Семерикова
Научный руководитель: Г.М. Омарова

Satbayev University, Алматы, Казахстан.

К ВОПРОСУ О РЕДКОМЕТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Аннотация. Актуальность темы обусловлена необходимостью изучения минерального состава месторождений благородных металлов Казахстана. Цель статьи - выявить основные минералы-концентраты золота и закономерности совместного нахождения золота с редкими и редкоземельными элементами в метасоматитах. Исследование золото-метасоматических и золото-сульфидных месторождений показало наличие сложных соединений редких металлов. Применение высокоточных аналитических методов позволяет выявить закономерности распределения золота и редких элементов, что способствует разработке новых методологических подходов. Развитие технологий открыло возможность рассматривать месторождения как золоторудные с редкометальным оруденением, особенно в зонах контактово-измененных пород. Комплексные исследования и использование передовых технологий обогащения позволяют выделить эти месторождения как объекты приоритетного освоения, с научным и практическим значением для геолого-оценочных и разведочных работ. Эти исследования создают основы для поиска новых перспективных месторождений в Казахстане и других странах.

Ключевые слова: Золоторудные месторождения, минералогия, редкометальная минерализация, метаморфизм, рудообразование.

Введение. За последние годы наблюдается рост интереса к редким и редкоземельным металлам, что связано с развитием технологий и изменениями на рынке. Спрос на эти металлы, обладающие уникальными свойствами, значительно возрос. В связи с этим ученые акцентируют внимание на месторождениях золота с редкометальной минерализацией.

Для изучения совместного нахождения золота и редких элементов выбраны два месторождения: Коккия и Найманжал. Месторождение Коккия расположено в Киргизско-Терской минерагенической зоне и характеризуется золото-сульфидно-кварцевыми рудами. [1], [3]. Здесь золото локализуется в кварцевых жилах, приуроченных к зонам тектонических нарушений. Вмещающие породы подверглись гидротермальным изменениям, таким как серицитизация и карбонатизация. Месторождение Найманжал находится в Тарбагатай-Чингиз-Майкаинской зоне и характеризуется золото-колчеданно-мышьяковыми рудами. Оруденение локализуется в ордовикских породах и подверглось изменениям в пермо-триасовое время, что связано с тектоно-магматической активностью. На основе этих исследований можно выделить новые перспективные зоны для поиска месторождений с редким металлом. Развитие технологий и методов исследования позволяет рассматривать эти месторождения как золоторудные с редкометальным оруденением, что открывает новые возможности для промышленного освоения.

Основная часть. На месторождении Коккия золото было исследовано в 220 образцах керна скважин и 43 образцах стенок карьера, а также в 113 шлифах и 105 аншлифах. Исследования, проведенные Асубаевой С.К. на месторождении Найманжал, охватили более 1000 образцов, включая 200 полированных и 100 прозрачных шлифов. [5]. В ходе комплексных минералогических и геохимических исследований использовались различные методы, включая химический и спектральный анализы, рентгенометрический, микрорентгеноспектральный анализ на микроанализаторе JCXA-733, а также технологические испытания руды из зоны окисления на

уровне лабораторных проб. Аналитические исследования проводились в научных лабораториях Казахстана, России, Польши и Канады.

Золото месторождения Коккия связано с метасоматитами и встречается в основном в пирите. Пирит является основным рудным минералом, его содержание в кварцитах колеблется от 0,1 до 90%, в среднем составляет 10-15%. Золото обычно встречается в виде тонкодисперсных включений в пирите, с концентрацией золота, которая на 10-15% выше, чем в вмещающих кварцитах. На основе минералогических исследований выделены три стадии минералообразования: пиритовая, теллуридно-полиметаллическая и поздняя рудная стадия. Пиритовая стадия характеризуется метасоматической вкрапленностью пирита в кварц-серицитовых метасоматитах и распространена по всему месторождению, усиливаясь с глубиной. Теллуридно-полиметаллическая стадия характеризуется наличием теллуридов золота и других полиметаллических минералов, которые часто пересекают пиритовые образования, а поздняя рудная стадия представлена сфалеритом и галенитом.

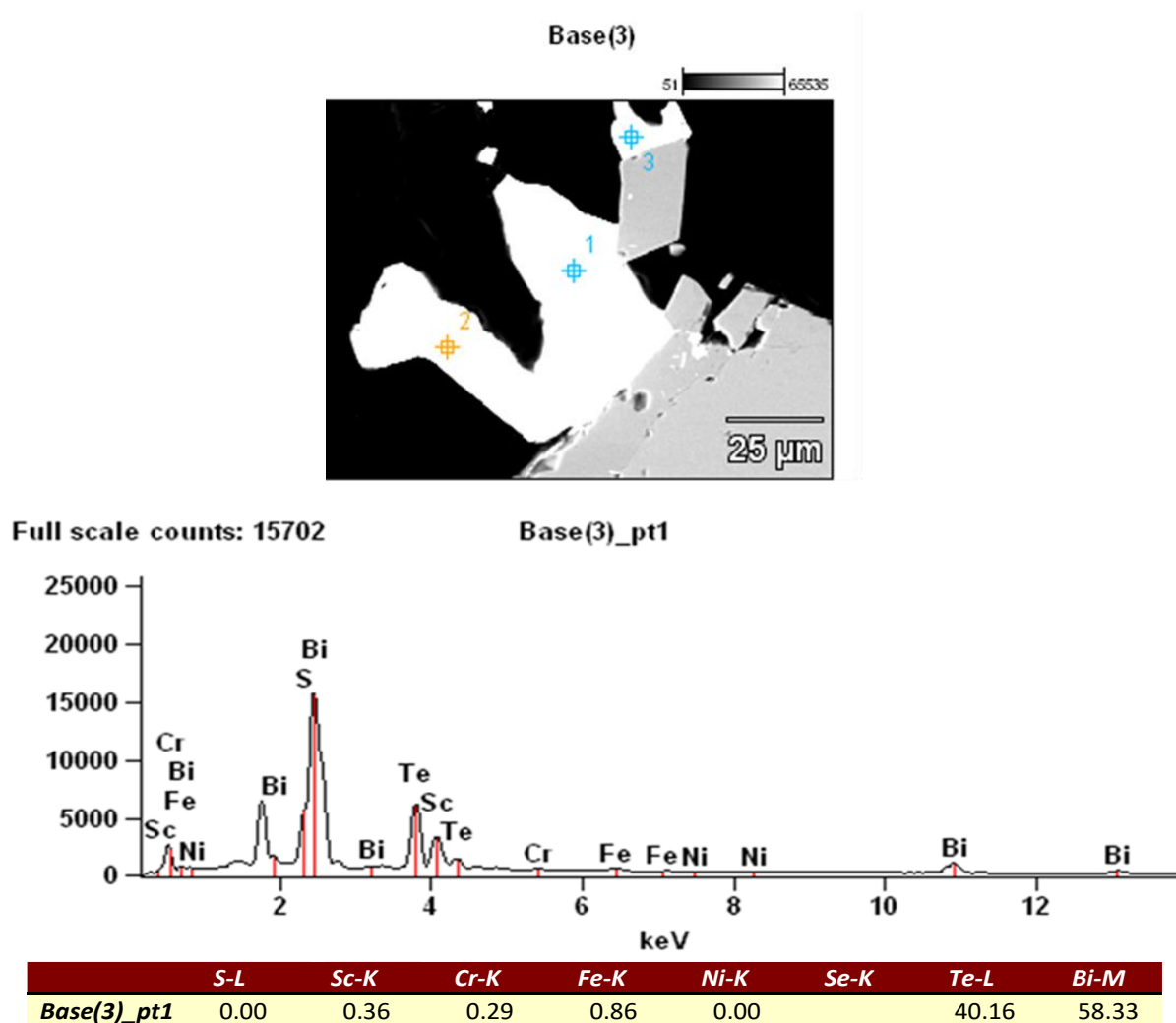
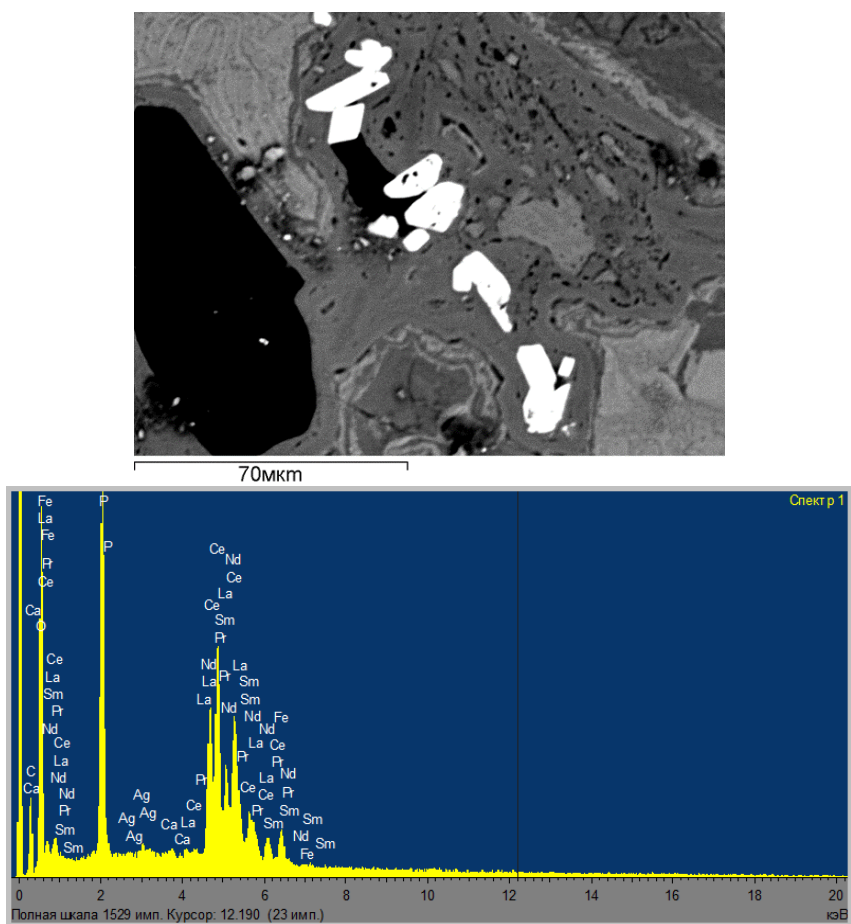


Рисунок 1 - Теллуровисмутит (Bi_2Te_3 -белый) в сростании с пиритом

Золото в месторождении встречается в двух типах: гипогенном и гипергенном. Гипогенное золото связано с пиритом в виде пылевидных и тонкодисперсных включений, а также в форме

кристаллических октаэдров и перистых агрегатов. Гипергенное золото развивается в зоне окисления и имеет форму губчатого или пушистого золота.

Методы рентгеноспектрального микроанализа и сканирующего электронного микроскопа позволили установить элементный состав минералов и пробыность золота. Эти исследования также показали наличие редкоземельных элементов, таких как гадолиний, церий и иттрий, в минералах месторождения. На месторождении Найманжал редкоземельные элементы встречаются преимущественно в ассоциации с галенитом. (Рисунок 3). Геологические и геохимические исследования показали, что редкометалльные элементы на этом месторождении связаны с магматическими интрузиями, которые содержат повышенные концентрации редких металлов. Горячие флюиды, циркулирующие в горных породах, вымывают и переносят эти металлы, осаждая их в местах с низким давлением или температурой.



Спектр	O	P	Ca	Fe	Ag	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Итого
Спектр1	27,83	14,15	0,24	2,44	0,70	17,88	27,22	2,03	6,44	1,08	100,00

Рисунок 2 - Редкоземельные элементы на месторождении Коккия (REE-белые пятна)

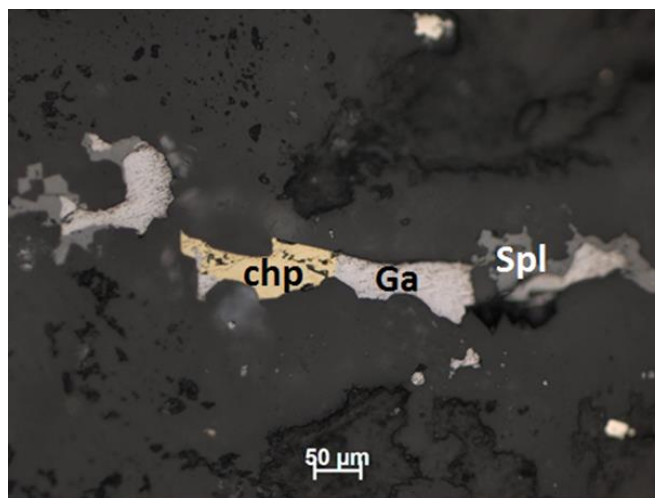


Рисунок 3 - Сросток сфалерита (Spl), халькопирита (Chp) и галенита (Gn) в кварце (Q)

Минерализация сульфосолей на месторождении включает такие минералы, как буланжерит, бурнонит, кобеллит и ширмерит. Эти минералы связаны с галенитом, пиритом и арсенопиритом и встречаются в тесных ассоциациях с сульфидными рудными телами. Например, буланжерит обнаружен в мышьяково-цинковой руде, где он срастается с галенитом и карбонатом. Бурнонит встречен в различных типах руд, включая мышьяково-свинцово-цинковые и мышьяково-колчеданные руды, где он развивается в сростаниях с арсенопиритом и галенитом. Кобеллит и ширмерит обнаружены в сростаниях с халькопиритом и галенитом и развиваются в промежутках между зернами пирита и арсенопирита. Размер выделений этих сульфосолей варьируется от 0,02 до 0,2 мм.

Таким образом, данные исследования позволили установить минералогические и геохимические особенности месторождений Коккия и Найманжал, выявить зональное распределение минералов и продуктивных ассоциаций, а также определить важные стадии минералообразования, связанные с образованием золота и редкоземельных элементов.

Выводы

Изученные месторождения золота образовались в результате сложных геологических процессов, таких как магматическая дифференциация, гидротермальные процессы, метаморфизм и метасоматоз. Эти же процессы могут способствовать концентрации редких и редкоземельных металлов в тех же районах, где образуется золото [10, 11]. По сравнению с золотометасоматическими рудами месторождения Коккия, золото–сульфидное месторождение Найманжал не отличается таким широким разнообразием редких металлов. На месторождении Коккия встречается большое разнообразие редких и редкоземельных металлов, таких как ниобий, молибден, вольфрам, теллур, неодим, самарий и другие. А на месторождении Найманжал встречаются руды с примесями редких металлов, образованные в гидротермально-метасоматической этап, на свинцово-цинковой стадии. Золото часто ассоциируется с различными минералами, которые могут содержать редкие и редкоземельные элементы. Например, в этих золоторудных месторождениях золото встречается вместе с такими минералами, как кварц, пирит, арсенопирит, галенит, которые могут содержать примеси редких металлов. Изученные геологические регионы богаты как золотом, так и редкими металлами. Эти регионы имеют специфическую геологическую историю, способствующую накоплению обоих типов элементов. Установлено, что комплексная минерализация чаще всего проявляется в пределах долгоживущих рудоконтролирующих структур. Некоторые из них выявили перспективы одновременного извлечения редких и редкоземельных элементов из золотосодержащих руд [8, 12].

Список литературы:

1. Bajbatsha A.B. Modeli mestorozhdenij blagorodnyh metallov. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2016. – 605 s.
2. Bajbatsha A.B., Omarova G.M. O edinom mantijnom istochnike paleozojskih magmaticeskikh obrazovaniy Kyrgyzsko-Terskejskoj geosuturnoj zony // VESTNIK KazNITU. – Almaty, 2017. - №5. - S. 3-8.
3. Evdokimov A.N., Fokin V.I., Shanurenko N.K. Zoloto-redkometal'noe i soputstvuyushchee orudnenie zapadnoj chasti ostrova Bol'shevik, arhipelag Severnaya Zemlya // Zapiski Gornogo instituta. 2023. S. 1-11. DOI: 10.31897/PMI.2022.94
4. Dujsembaeva K.Sh., Asubaeva S.K. Zoloto v rudah zony okisleniya zoloto-kolchedanno-mysh'yakovo-polimetallichesкого mestorozhdeniya Najmanzhal (Central'nyj Kazakhstan)// Geologiya i ohrana nedr. № 4(33), 2009. S.62-68. 9. 9,
5. Asubaeva S.K. Zona okisleniya zoloto-sul'fidnogo mestorozhdeniya Najmanzhal i osobennosti ego formirovaniya (Central'nyj Kazakhstan). Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk. – Almaty. - 2010. 102 str.
6. Omarova G.M. Issledovanie mineralogicheskikh kriteriev mestorozhdenij zoloto-metasomaticeskogo tipa (na primere mestorozhdeniya Kokkiya). Dissertaciya na soiskanie stepeni doktora filosofii (PhD). -Almaty. -2018. 102 str.
7. Bajbatsha A.B., Omarova G.M., Kasenova A.T. Zonal'nost' i mineral'nyj sostav rudokontroliruyushchih metasomatitov zolotorudnogo polya Kokkiya // Vestnik KazNITU. Almaty. - 2018. - №2 (126). - S. 3-8.
8. Baibatsha A., Dyussembayeva, Kassenova A. Microgenetic associations of gold in ore-forming minerals from deposits of different geological and industrial types of Kazakhstan // Proceedings of the 11th International congress for Applied Mineralogy. – Switzerlan: Springer International Publishing, 2015. - P. 1-8.
9. Z. Ablessenova, L. Issayeva, K. Togizov, S. Assubayeva, M. Kurmangazhina. // Geophysical indicators of rare-metal ore content of Akmai-Katpar ore zone (Central Kazakhstan). Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2023, № 5, pp. 34-40
10. Omirserikov M.Sh., Dyusembaeva K.Sh., Isaeva L.D., Asubaeva S.K. Veshchestvennyj sostav bogatyh zolotosoderzhashchih rud glubokih gorizontov Ridder-Sokol'nogo mestorozhdeniya // Vestnik KazNTU №6, 2006, S.23-27.
11. A.B. Baibatsha, A. Muszynski, G.M. Omarova, K.Sh. Dyussembayeva, A.T. Kassenova // Gold fineness as indicator of physical-chemical conditions of mineralization at the Kokkiya gold deposit (Kyrgyz ridge). News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 2018, V.3. (429), pp. 137-145.
12. Zhautikov T.M. Metallogeniya i evolyucionnaya napravlennost' rudnogo processa na mestorozhdeniyah zolota Kazahstana // Mater. vseros. konf. «Samorodnoe zoloto, tipomorfizm mineral'nyh asociacij, usloviya obrazovaniya mestorozhdenij, zadachi prikladnyh issledovaniy». - M.: IGM RAN, 2010. – T. 1. - S. 193-195.

С.К. Досайбекова, Ж.А. Далебаева, Э.Ж.Избасар, В.К.Алымбаева

ТОО Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований,
Алматы, Казахстан.

ИЗУЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация. Существующая в настоящее время сеть сейсмических станций в Казахстане даёт возможность определять механизмы очагов землетрясений (МОЗ). Это позволяет проводить анализ напряжённо-деформированного состояния земной коры. Составленный каталог землетрясений для территории Республики Казахстан используется для работ по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и составлении карт сейсмического зонирования разного масштаба.

Ключевые слова: сейсмологические наблюдения, станция, мониторинг, сейсмические волны, параметры землетрясений.

Введение. Территория юга и юго-востока Казахстана относится к региону характеризующегося высокой степенью сейсмической опасности. В недалёком прошлом здесь произошли ряд сильнейших и катастрофических землетрясений. Для создания каталога землетрясений, являющегося основой для всех сейсмологических исследований; получения оперативной информации о «сильных» землетрясениях; изучения различных предвестниковых параметров сейсмического режима и сейсмических волн; получения информации для инженерной сейсмологии в регионе ведутся сейсмические наблюдения (регистрация землетрясений различной силы и удаленности) по сети стационарных сейсмологических станций ТОО «ННЦСНИ».

Методика исследований. Регистрация сейсмических колебаний проводится в широком частотном и динамическом диапазонах различными видами аппаратуры. Комплекс аппаратуры включает в себя: цифровые сейсмические станции с сейсмометрами с различными периодами регистрации от 360 сек. до 0,02 сек. Широкий набор сейсмической аппаратуры необходим для регистрации как слабых, так и сильных землетрясений различной удаленности. Длиннопериодная аппаратура (периоды от 360 до 10 сек.) позволяет регистрировать сильные землетрясения на удалении несколько тысяч километров. Короткопериодная аппаратура (периоды от 10 до 0,02 сек.) с высокой чувствительностью регистрирует землетрясения в ближней зоне.

Поступающий материал со всех сейсмических станций обрабатывается на Центральной сейсмической обсерватории (ЦСО) «Алматы», где определяются основные параметры землетрясений, зарегистрированных на территории Северного Тянь-Шаня и прилегающих территориях для составления оперативного каталога землетрясений. В отряде сводной обработки землетрясений (СОЗ) Партии сбора обработки сейсмических наблюдений данные заносятся в основной каталог, каталог взрывов и каталог станционных параметров, а также каталог механизмов очагов землетрясений. Количество основных параметров землетрясений определяется унифицированной к настоящему времени формой каталогов землетрясений. Эта форма принята за основу при создании банков данных. В состав основных параметров землетрясений входят:

- время в очаге землетрясения (t_0);
- координаты гипоцентра – широта (φ), долгота (λ), глубина (h);

– энергетические характеристики – энергетический класс (K_p), магнитуа (M).

При определении основных параметров землетрясений для более точной локализации гипоцентров и определения механизмов очагов землетрясений привлекаются бюллетени станций Институт геофизических исследований РГП Национальный ядерный центр РК и Институт сейсмологии НАН КР.

Расчет основных параметров землетрясений (t_0 , φ , λ , h , K , M) проводился по стандартной методике. Полная сводная обработка цифровых записей проводится с применением программного обеспечения «DIMAS», встроенной в геоинформационную систему «Эпицентр».

В практике сводной сейсмологической обработки время в очаге землетрясения (t_0) определяется на основе графика Вадати, отражающего зависимость времени запаздывания поперечной волны от полного времени пробега продольной волны на различные станции. График Вадати строится в плоскости T_p и T_s -р. Способ определения t_0 по графику Вадати основан на предположении о том, что если на ряде станций зарегистрированы однотипные вступления P и S волн, то точки в системе координат T_p и T_s -р должны лежать на одной прямой. Точка пересечения этой прямой с координатой T_p и даст нам значение t_0 [1].

Наклон прямой позволяет определить значение отношения скоростей V_p/V_s , для каждой станции по формуле:

$$V_p / V_s = \frac{T_{s-p}}{(T_p - t_0)} + 1,$$

где – T_{s-p} - разность времен вступлений P - и S -волн,
 T_p - время вступления P - волны на j -ю станцию от землетрясения,
 t_0 - время возникновения землетрясения.

В системе «Эпицентр» по всем станциям в координатной сетке строится поле точек, соответствующих T_s -р (ордината) и T_p (абсцисса), зарегистрированных на разных станциях. Поле точек усредняются прямой линией методом наименьших квадратов. Интерпретатор может изменить наклон линии (значение V_p/V_s), добиваясь лучшего осреднения «облака» точек, при этом время в очаге будет меняться. После построения графика Вадати рассчитываются координаты гипоцентра: φ ; λ ; h . При вычислении координат гипоцентров близких землетрясений ($\Delta \leq 350$ км) используется локальный годограф Шацилова В.И. [2]

На карте эпицентр выбирается в точке пересечения окружностей разных радиусов, равных эпицентральному расстоянию до соответствующих станций. Перебирая глубину очага землетрясения, интерпретатор добивается более точного определения гипоцентра.

Для энергетической классификации землетрясений использовались динамические параметры сейсмических P и S волн: максимальные амплитуды и соответствующие им периоды. Все расчеты также выполнялись программой «ЭПИЦЕНТР». Применялся следующий набор измеряемых параметров:

– K_p – энергетический класс землетрясения [3];

– $MPVA$ – магнитуа, определяемая по продольной волне на записи вертикальной компоненты короткопериодной аппаратуры (или соответствующей ей полосой пропускания цифровой записи) [4];

– MS – магнитуа, определяемая по поверхностной волне на записи вертикальной компоненты длиннопериодной аппаратуры (или соответствующей ей полосой пропускания фильтра цифровой записи). Методика определения динамических параметров землетрясений остается такой же, что и «в ручном» варианте.

Все параметры гипоцентров затем сводятся в каталог землетрясений, на основе которого формируется база данных «SEISMO».

С 2002 года для определения параметров механизмов очагов землетрясений используется программа Masaki Nakamura с использованием знаков первых вступлений S-волн в сочетании со знаками Р-волн, что важно при решении механизма очага для слабых землетрясений с неблагоприятным расположением относительно сети станций. Апробация программы показала, что точность решения зависит от объёма информации и расположения станций относительно очага. Для успешного решения механизма регистрируется 15-20 равномерно распределённых знаков первых вступлений Р-волн. Это условие соблюдается в случае, если очаг располагается в центральной части изучаемой территории в хорошем окружении станциями.

Основная масса определений механизмов очагов слабых землетрясений базируется на сведениях о знаках первых вступлений объёмных волн, записанных на сейсмических станциях сети ТОО «ННЦСНИ». Для более сильных землетрясений используются дополнительные сведения о знаках первых вступлений волн записанные на отдельных станциях ИС НАН КР и ИГИ НЯЦ РК.

Определения МОЗ ведутся непосредственно вслед за текущим расчётом основных параметров землетрясений. По результатам этих расчётов составляются рабочие каталоги землетрясений, для которых планируется определения МОЗ. Эти каталоги являются выборкой из общего каталога основных параметров землетрясений. Принцип выборки состоит в том, чтобы землетрясение было записано не менее чем шестью сейсмическими станциями. Это минимальное количество станций, при котором возможно однозначное определение МОЗ.

Для построения МОЗ применяется программа «хмеч» [5]. Программа предусматривает возможность получения решений, как в верхней, так и в нижней полусферах. Входные данные для программы находятся в текстовом файле, представляющем собой карточку землетрясения. Выходным является файл, представляющий собой численное и графическое решение механизма очага землетрясения. Численное решение МОЗ представлено параметрами, характеризующими ориентацию осей главных напряжений, возможных плоскостей разрыва и направление подвижек. Графическое решение механизма очага представлено изображением проекций нодальных линий и осей напряжений на сфере единичного радиуса (Рисунок 1). Результаты определений МОЗ представляются в виде каталогов в международном формате в верхней полусфере, на основе которых создаётся база данных «SEISMO».

Результаты анализа сейсмического мониторинга. Информативность каждой станции оценивалась долей её участия в определении основных параметров землетрясений в каталоге. Диаграмма эффективности представлены на рисунке 1.

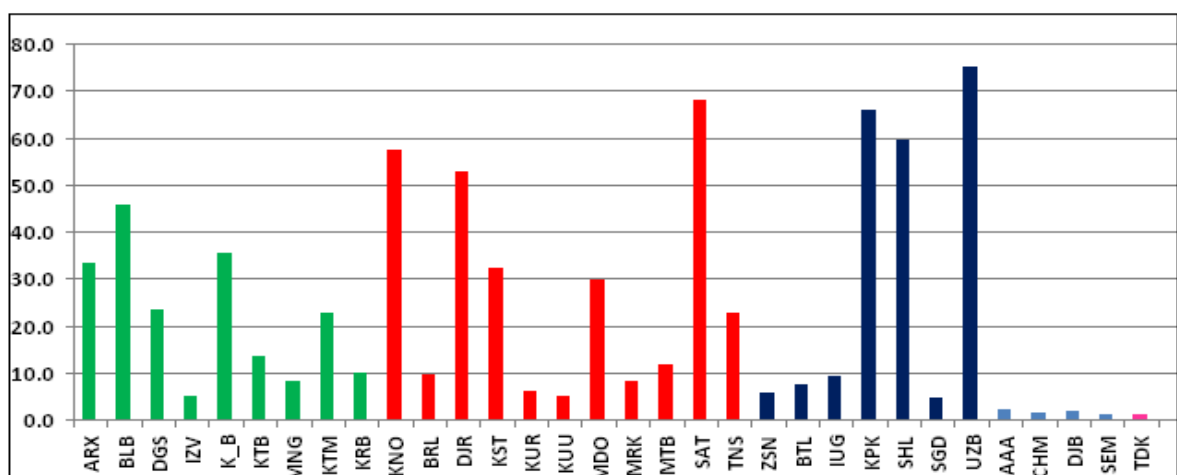


Рисунок 1 - Диаграмма эффективности сейсмических станций ТОО «ННЦСНИ»

Анализ обработки данных станций показывает, что участие телеметрических станций, выделенных на диаграмме зеленым цветом, остается на среднем уровне. Среди региональных станций (выделены красным) выделяются станции Саты, Жаркент, Кастек и Медео, поскольку их информативность остается высокой. На диаграмме также показано, что необслуживаемые станции Кокпек, Узунбулак, Шалкоде обладают высокой информативностью. Эффективность городских станций (выделены розовым) низкая; они в основном используются для локализации сильных событий из-за высокого уровня сейсмического шума.

Оценка представительности землетрясений проводилась путем построения карты изолиний минимального представительного класса энергии (K_{min}) для исследуемой территории Казахстана. Можно видеть, что минимальный представительный уровень энергии землетрясений достигается вблизи Алматы, а также вблизи Усть-Каменогорска, благодаря установке новых станций.

Расположение основных сейсмических станций ТОО «ННЦСНИ» на территории Северного Тянь-Шаня и Южного региона Казахстана остаются неизменны относительно предыдущих годов (рисунок 2). Представительным энергетическим классом являются $K_{min}=7.0$ для этих территорий, для хребтов Заилийский и Кунгей Алатау $K_{min}=6.5$, а в центральной части хребтов Заилийский и Кунгей Алатау без пропуска регистрируются землетрясения, начиная с $K_{min}=6.0$.

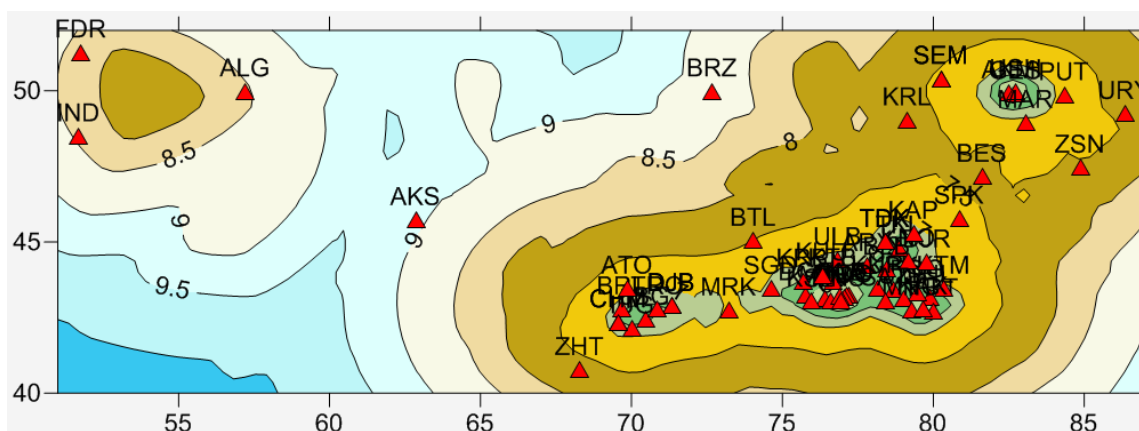


Рисунок 2 - Карта расположения стационарных сейсмических станций ТОО «ННЦСНИ»

Продолжаются наблюдения за количеством землетрясений в пределах Северного Тянь-Шаня, начатые с 1980 года. Распределение землетрясений по годам за период 2014-2022гг. и величины выделившейся суммарной энергии по региону представлены на рисунке 3.

Выводы. Проведённые исследования и обработка сейсмических наблюдений на территории Северного Тянь-Шаня позволили получить всестороннюю картину сейсмической активности и подтвердили высокий уровень научно-технической готовности сети сейсмических наблюдений к решению задач мониторинга и анализа землетрясений.

Анализ сейсмического режима показал, что основная активность сейсмических событий сосредоточена в пределах Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий. Эти зоны характеризуются повышенным геодинамическим напряжением, соответствующим фоновому уровню сейсмической активности региона.

Методика обработки данных в системе «ЭПИЦЕНТР» и последующая консолидированная обработка в ЦСО «Алматы» обеспечивают высокий уровень точности в определении гипоцентров и энергетических параметров событий. Использование региональных временных кривых пробега

волн и уточнённых скоростных моделей земной коры и верхней мантии способствует повышению качества локализации очагов землетрясений. Определение механизмов очагов землетрясений позволило выявить пространственное распределение различных типов подвижек (надвиговых, сбросовых, сдвиговых), что является важным инструментом в анализе напряжённо-деформированного состояния коры и уточнении тектонических моделей региона.

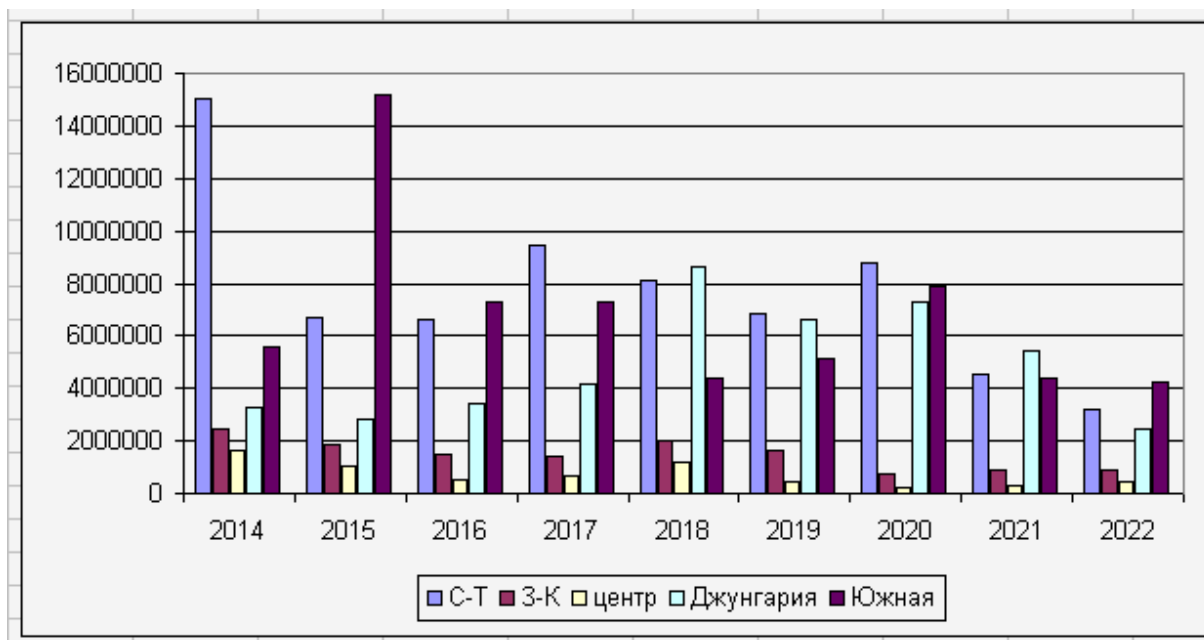


Рисунок 3 - Распределение количества землетрясений и выделившейся энергии по годам

Составленный каталог землетрясений для территории Республики Казахстан, созданный на основе мониторинга сейсмических событий стационарными регистрирующими станциями, используется для работ по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и составлении карт сейсмического зонирования разного масштаба.

Список литературы:

1. Скоростные модели земной коры Казахстана / Шацлов В.И., Горбунов П.Н., Фремд А.Г., Сергеев О.В. и др. Алматы: Евразия, 1993, 105с.
2. Шацлов В.И., Горбунов П.Н. Глубинная структура земной коры Джунгаро–Северо–Тянь-Шаньского и Каратауского регионов // Сейсмическое районирование Республики Казахстан, Алматы: Эверо, 2000. С. 75-96
3. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях до 3000 км. Тр. ИФЗ АН СССР, 1964, №32.
4. Михайлова Н.Н., Неверова Н.П. Калибровочная функция для определения магнитуды MPVA землетрясений Северного Тянь-Шаня. // Комплексные исследования на Алматинском прогностическом полигоне. Алмата, 1986, с. 41 – 48.
5. Masaki Nakamura. Determination of focal mechanism solution using initial motion polarity of P and S waves // Physics of the Earth and Planetary Interiors.- 2002. - 130. - P. 17-29.

Э.Ж. Избасар, В.К. Алымбаева, С.К. Досайбекова

ТОО Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований,
Алматы, Казахстан

ВЕРЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ СЕЙСМИЧНОСТИ ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. В статье приведены результаты комплексного исследования сейсмической опасности Туркестанской области на основе анализа геофизических данных, скоростных моделей земной коры и вероятностных критериев сейсмоактивности. Рассмотрены особенности строения литосферы региона, взаимосвязь мощности геологических слоёв с сейсмичностью и геодинамическими процессами. Особое внимание уделено методам глубинного сейсмического зондирования, построению трёхмерных скоростных моделей и их использованию для сейсмического районирования.

Ключевые слова: сейсмичность, геофизические модели, Туркестанская область, глубинное зондирование, литосфера, сейсмоопасность.

Введение. Туркестанская область Республики Казахстан представляет собой уникальную геодинамическую территорию, находящуюся на стыке Туранской плиты и северных отрогов Тянь-Шаня. Несмотря на умеренную сейсмическую активность, здесь регулярно фиксируются слабые и средние землетрясения, отражающие сложное взаимодействие литосферных блоков. Изучение геофизических параметров региона имеет принципиальное значение для оценки потенциальной сейсмической опасности и уточнения карт сейсмического районирования [1].

Современные методы сейсмологии и геофизики позволяют не только регистрировать отдельные события, но и анализировать глубинное строение земной коры, выявляя зоны, способные к накоплению напряжений и последующему высвобождению энергии в виде землетрясений.

Материалы и методы исследования. При оценке сейсмической опасности любой территории существенное значение имеют сведения о внутренней структуре и петрофизических характеристиках консолидированной части земной коры и верхней мантии. Они являются особенно актуальными для слабосейсмичных территорий, где в условиях дефицита данных о сейсмичности для выделения возможных сейсмогенерирующих зон их роль существенно повышается. Для выявления условий образования землетрясений и связи особенностей глубинного строения Земли с сейсмичностью и поверхностными геологическими структурами необходимы детальные геофизические сведения о строении литосферы. При этом ведущая роль принадлежит сейсмическим методам, обеспечивающим объективным информационным каркасом процесс комплексной интерпретации геофизических материалов. Одной из составных частей геофизической основы геодинамического районирования литосферы являются скорости продольных волн V_p , характеризующие внутреннюю структуру земной коры и верхней мантии [2].

На территории Туркестанской области и прилегающих регионах Узбекистана и Кыргызстана проведен большой объем детальных профильных и площадных сейсмических исследований. Результатом стало создание плотной сети профилей глубинных сейсмических зондирований и современной профильной сейсмотомографии (Рисунок - 1) [3,4].

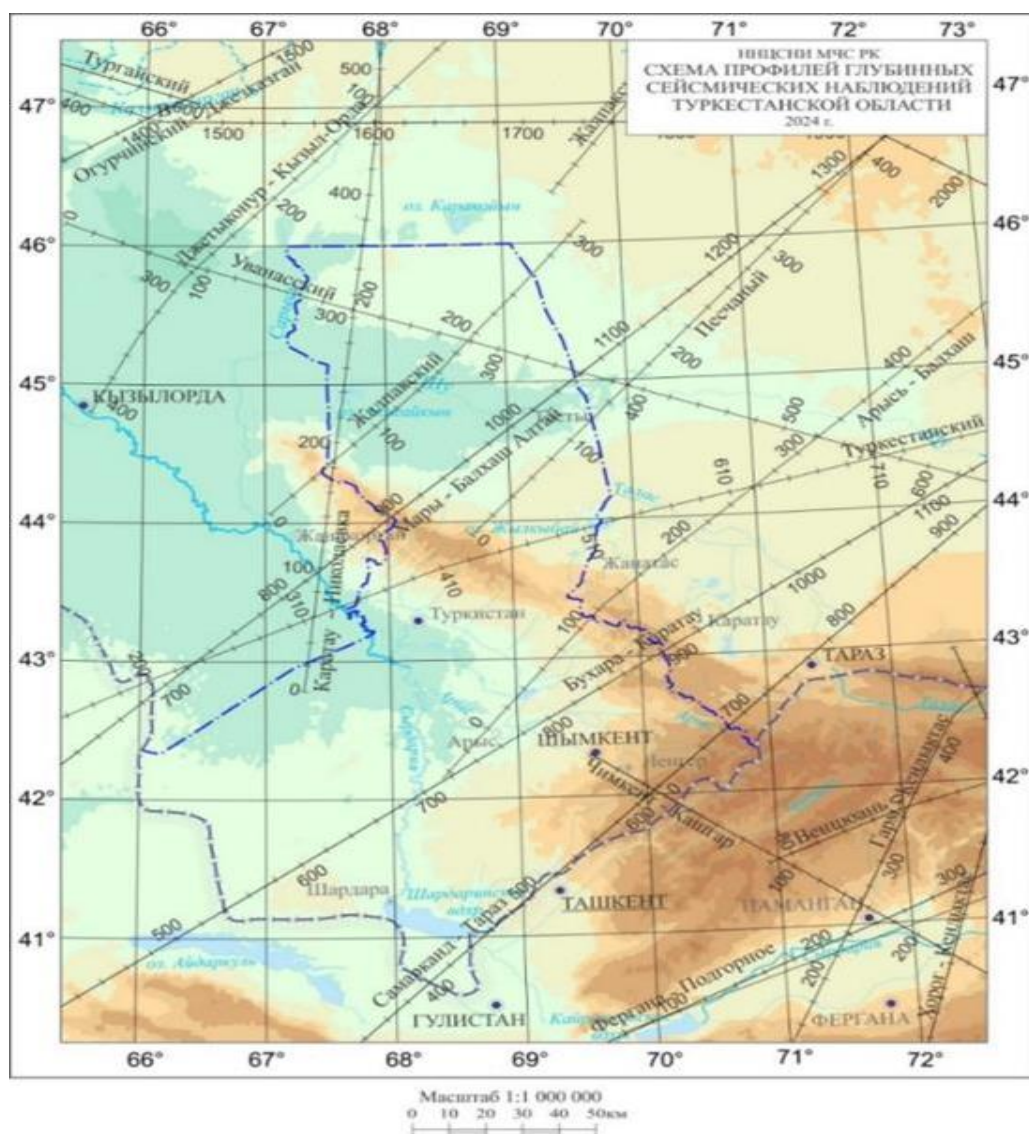


Рисунок 1 - Схема профилей глубинных сейсмических наблюдений Туркестанской области с прилегающими территориями

Основные используемые материалы включали:

- результаты глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) и записей землетрясений на Р-волнах с единых методических позиций [5];
- годографы, построенные на представительных экспериментальных данных ГСЗ [6];
- цифровые скоростные модели, построенные на основе анализа распространения продольных волн (V_p) и их отражений от границ слоёв [7];
- данные каталогов землетрясений Казахской сети сейсмических станций за 1980–2024 гг.

Моделирование выполнялось с применением специализированных программ GeoTom, SeisWorks и ArcGIS, что обеспечило интеграцию геофизических разрезов в трёхмерные пространственные модели литосферы. Описание и сопоставительный анализ модели проведены в соответствии со структурно-вещественными комплексами консолидированной коры и верхней мантии (Таблица 1) [8].

Таблица 1 - Оценка представительности землетрясений с $K \geq K_i$ для основных сейсмоактивных зон Туркестанской области

№	Наименование зон	Начало времени представительной регистрации землетрясений							
		$K \geq 7$	$K \geq 8$	$K \geq 9$	$K \geq 10$	$K \geq 11$	$K \geq 12$	$K \geq 13$	$K \geq 14$
1	I зона	2008	1987	1960	1956	1952	1950	1958	-
2	II зона	2006	1985	1959	1959	1965	1945	1931	-
3	III зона	2008	1980	1974	1974	1968	1985	1923	

Геофизические особенности и структура земной коры

Результаты построения скоростных моделей показали значительную неоднородность земной коры Туркестанской области. В центральной части региона мощность гранито-гнейсового (сиалического) слоя составляет 5–10 км, тогда как в орогенах юго-восточной части достигает 30–40 км (Рисунок 2).

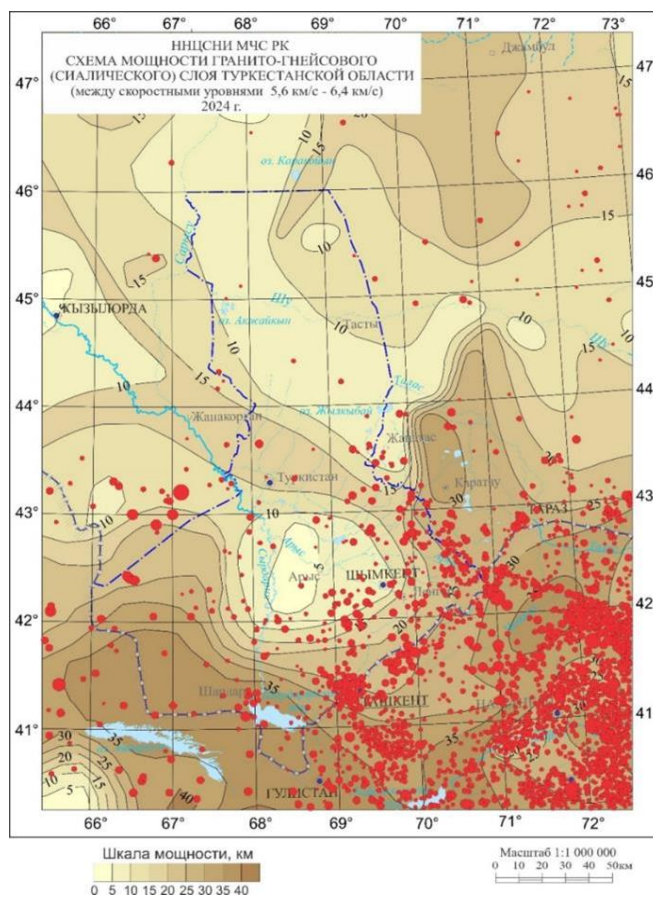


Рисунок 2 - Структурная схема мощности сиалического (гранито-гнейсового) слоя консолидированной коры Туркестанской области с очагами землетрясений магнитудой $M=2,5-7,5$

Мощность верхнего сиалического слоя коры на платформе в пустыне Бетпак-Дала варьирует в пределах 0-5 км, в песках Мойынкум, Сузакском прогибе, Кулинской впадине она составляет 10 км, в Сырдарьинской впадине увеличивается до 20 км. Границей между Сырдарьинской впадиной и Сузакским прогибом является хребет Большой Каратау, положение которого четко

прослеживается на схеме в виде вытянутого в северо-западном направлении слоя мощностью 15 км. При переходе от платформенных территорий к области высокосейсмичных орогенов Тянь-Шаня его мощность увеличивается. Аномально высокие значения от 25 до более 40 км отмечены в районе Чаткальского, Таласского, Киргизского хребтов, что является одним из наиболее характерных структурно-геофизических признаков высокой сейсмичности и подтверждается концентрацией очагов землетрясений, произошедших на этих территориях.

Базитовый слой (6,4–7,2 км/с) характеризуется обратной зависимостью (рисунок В, 2.8): его наибольшая толщина (до 25–30 км) наблюдается в стабильных областях, а минимальная (5–10 км) — в сейсмоактивных районах. Такое распределение указывает на закономерную связь между геофизическими параметрами и сейсмичностью.

Вероятностная оценка сейсмоопасности

Для оценки потенциальной сейсмической опасности применялась вероятностная модель, учитывающая частоту возникновения землетрясений, глубину очагов, энергетические классы событий и физические свойства среды.

Плотность эпицентров землетрясений была рассчитана в радиусах 50×50 км, что позволило выделить три основные зоны:

1. Юго-восточная зона (Каратауский хребет) — максимальная концентрация событий магнитудой 4,0–5,5;
2. Центральная часть региона — средний уровень активности ($M = 3,0–4,0$);
3. Западная часть (платформенный район) — минимальная сейсмичность ($M < 3,0$).

Рассчитанная вероятность возникновения разрушительных землетрясений (интенсивностью \geq VIII баллов) в пределах юго-восточного сектора Туркестанской области составляет 0,05–0,1 на интервал в 50 лет, что соответствует низкому уровню сейсмической опасности, однако требует учёта при проектировании объектов повышенной ответственности [9].

Анализ достоверности моделей

Сравнение скоростных моделей с данными гравиметрии, магнитных и сейсмотомографических наблюдений позволило подтвердить их высокую достоверность. Обнаруженные зоны пониженных скоростей совпадают с современными эпицентрами землетрясений и линиями активных разломов, выявленных по данным дистанционного зондирования.

Таким образом, скоростные неоднородности служат надёжными индикаторами тектонического напряжения и могут использоваться для прогнозирования потенциальных очагов сейсмической активности.

Кроме того, пространственная интеграция данных позволила выявить корреляцию между плотностью разломов и величиной градиентов скоростей V_p , что свидетельствует о прямой связи структурных особенностей земной коры с сейсмогенностью региона [2].

Заключение

Комплексное исследование геофизических параметров и построение трёхмерных скоростных моделей позволило уточнить структуру земной коры Туркестанской области и выявить основные закономерности распределения сейсмической активности.

Основные выводы исследования:

1. Туркестанская область характеризуется контрастным строением литосферы, где толщина сиалического слоя напрямую связана с уровнем сейсмичности.
2. Наибольшая активность наблюдается в зонах разломов Каратау и Кумбель-Угам, где фиксируются современные тектонические движения.
3. Вероятностная модель оценки сейсмической опасности указывает на локальные участки повышенного риска, требующие детального мониторинга.
4. Геофизические методы, основанные на анализе скоростных моделей, представляют собой эффективный инструмент для прогноза и снижения последствий землетрясений.

Результаты исследований могут быть использованы при уточнении карт сейсмического районирования Казахстана и разработке рекомендаций для проектирования сейсмостойких сооружений в пределах юга страны.

Список литературы:

1. Исмагулов Б.Т. Сейсмические исследования юга Казахстана. – Алматы: Наука, 2021.
2. Шацлов В.И. Региональные особенности строения земной коры в связи с сейсмичностью // Сейсмическое районирование Республики Казахстан. - Алматы: Эверо, 2000. - С. 65-74
3. Н. Степаненко, Т. Кайдаш, А. Еркинова, О. Курилова Р-скоростная и плотностная объемные модели земной коры и подкоревой мантии как базовая геофизическая основа оценки сейсмической опасности Казахстана // Промышленность Казахстана, №3 (107).- 2019. - С. 72-76.
4. Н.П. Степаненко, Т.М. Кайдаш, О.К. Курилова Разработка двумерных сейсмотомографических Р-скоростных моделей земной коры и подкоревой мантии //Геология и охрана недр, №3 (72) - 2019. - С. 71-76.
5. Шацлов В.И., Сайипбекова А.М. Профильная томография литосферы Тянь-Шаня по материалам региональной сейсмологии // Доклады НАН РК, - 1994, №6. - С. 47-52.
6. Белоусова Н.П., Кайдаш Т.М., Степаненко Н.П., Тимуш А.В., Шацлов В.И. Обработка, обобщение и интерпретация материалов взрывной и невзрывной сейсмологии при создании глубинной геофизической основы оценки сейсмической опасности территории Казахстана. // ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург. - 2008.
7. Шацлов В.И., Горбунов П.Н., Степаненко Н.П. и др. Скоростные модели земной коры Казахстана. - Алматы: Евразия, 1993. - 105 с.
8. Геодинамика и сейсмичность литосферы Казахстана (Пояснительная записка к «Геодинамическому атласу Казахстана») / Под ред. Б.С.Ужкенова, Е.Нусипова. - Алматы, 2007. - 411 с.
9. Оценка сейсмической опасности территорий областей и городов Казахстана на современной научно-методической основе – Алматы, 2024. – 310 с.

А. Е. Есенгелди., А. Р. Жаркенова, А. Ж. Беккожин

Научный консультант: Истекова С.А., доктор геолого-минералогических наук, профессор

Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет имени К. И. Сатпаева
Алматы, Казахстан

РОЛЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КАРБОНАТНОГО РАЗРЕЗА ПРИКАСПИЙСКОГО НЕФТЕГАЗНОСНОГО РЕГИОНА

Аннотация. В статье рассматриваются подходы к геолого-геофизическому моделированию карбонатных коллекторов в пределах Прикаспийского нефтегазосного региона. На примере месторождения Алибекмола показаны результаты интеграции сейсмических и скважинных исследований для повышения достоверности комплексной геолого-геофизической интерпретации при изучении особенностей геологического строения исследуемого участка и оценки свойств коллекторов. Интерпретация сейсмических и скважинных данных с учетом результатов бурения, позволили уточнить структурно-тектонические особенности геологического разреза и построить модель сложнопостроенного карбонатного комплекса месторождения Алибекмола. Получены новые данные по геологическому строению северной части месторождения. Показано, что сближение разломов сдвига здесь произошло параллельно направлению основного напряжения. Поэтому возможен прогноз системы открытой трещиноватости карбонатных коллекторов преимущественно северо-восточно-юго-западного направления.

Ключевые слова: Прикаспийская впадина, геолого-геофизическое моделирование, карбонатные коллекторы, сейсмические данные, 3D-модель.

Введение

Прикаспийская впадина является одной из крупнейших нефтегазосных провинций Казахстана, в пределах которой широко развиты карбонатные породы палеозойского возраста [1,2]. Изучение свойств и структуры карбонатных коллекторов представляет собой сложную задачу, требующую комплексного подхода, объединяющего геологические, геофизические и петрофизические методы. Современные технологии моделирования позволяют интегрировать различные геолого-геофизические данные для построения моделей коллекторов, что существенно повышает достоверность прогноза и эффективность разработки месторождений [3,4].

Как правило для карбонатных коллекторов интервал изменения проектного коэффициента извлечения нефти (КИН) необычайно широк и колеблется от 0,15 до 0,50, что объясняется отсутствием технологии геолого-геофизического моделирования сложнопостроенных коллекторов. В результате используются статичные геолого-технологические модели, в которых поровое пространство не дифференцируется на поровую, кавернозную и трещинную составляющие, а при расчете КИН принимается абсолютная проницаемость по газу, которая остается постоянной при любых изменениях (падении или росте первоначального пластового давления). Вышеизложенные причины ведут к несоответствию утвержденных и действительных запасов нефти и газа и усложняют процесс разработки месторождения [5].

На примере месторождения Алибекмола для перехода от таких упрощенных геолого-технологических моделей к сложнопостроенным коллекторам проведена переинтерпретация сейсмических данных, изучены особенности геологического строения и дана оценка свойствам карбонатным коллекторам.

Методы и материалы исследования

Авторы данной работы ставили своей целью изучить особенности геологического строения в интервале горизонта КТ-II месторождения Алибекмола. В процессе исследования использованы данные геофизических каротажей, сейсморазведки 3D и результатов бурения. Структурная интерпретация проводилась с применением специализированных программных комплексов Halliburton Landmark, представляющие собой платформу геолого-геофизического картопостроения, интерпретации и моделирования для оценки запасов и оптимизации разработки месторождений нефти и газа [5].

Главным направлением исследований являлось изучение структурно-тектонических особенностей продуктивных горизонтов и определение закономерностей их пространственного размещения. При построении модели применялась методика сейсмостратиграфического анализа, позволяющая уточнить границы литологических тел и выявить корреляционные связи между сейсмическими отражениями и типами пород [6,7].

Основной методический подход заключался в использовании приемов статического геологического моделирования, включающие переинтерпретацию сейсмических данных и моделирование скорости; с учетом вновь полученной информации за период после последнего перерасчета запасов по залежи северной части горизонта КТ-II и новых данных ВСП (вертикальное сейсмическое профилирование), полученные по новым скважинам. Для этого проведена корреляция данных ВСП по новым скважинам в существующем стратиграфическом интервале и построены обновленные цифровые модели волнового поля и распределения скоростей.

Месторождение Алибекмола простирается в сторону западной окраины Уральского хребта в юго-восточном борту Прикаспийского бассейна. Залежь сформирована структурой типа «цветок», относящейся к системе правостороннего ложного сброса и простирается на 17км с севера на юг и на 4км с востока на запад. Продуктивные горизонты сложены из массивных известняков, относящихся к московскому и башкирскому ярусам карбона. Пласты являются стратиграфически сложными с пористыми зонами небольшой мощности (в среднем 3м), которые разделяются плотными известняковыми интервалами различной толщины. Залежь разделяется на две карбонатные толщи терригенными интервалами, сложенными глинистыми сланцами подольского периода: верхняя толща известна как КТ-I (Московский ярус), а нижняя как КТ-II (Московский - Башкирский) [7,8].

В горизонте КТ-II выделяется две четко различимые пачки: КТII-1 и КТII-2, разделенные между собой плотными комплексами карбонатов, расположенные между известняками московского и башкирского ярусов. Геологическая характеристика горизонта КТ-II-представлена по данным кондиционной стратиграфической классификации региона, использованной в отчете по подсчету запасов. Границы продуктивных горизонтов установлены по результатам гамма -корреляции, проведенной по месторождению Алибекмола. По этой схеме комплекс КТ-II-1 делится на Каширский и Верецкий интервалы, причем большая часть начальных запасов нефти приходится на Верецкий. Пачка КТII-2 делится на Черемшанский и Красно-Полянский интервалы, в которой большая часть начальных запасов нефти приходится на Черемшанский подкомплекс (Рисунок 1).

В 2003г по площади месторождения была выполнена сейсмическая интерпретация с использованием сейсмоданных по результатам полевой 3D съемки 2001 года с применением технологии обработки после временной миграции. Полученные результаты по сейсмическим данным по северной части месторождения были слабо информативными. Причиной тому являлись несколько факторов, включая рельеф, сложный для получения данных; наличие мощного (2км) солевого купола, который простирается до северной границы площади исследований сейсморазведкой, а также результатов полученного поля скоростей, сильно меняющиеся из-за структурных и литологических неоднородностей.

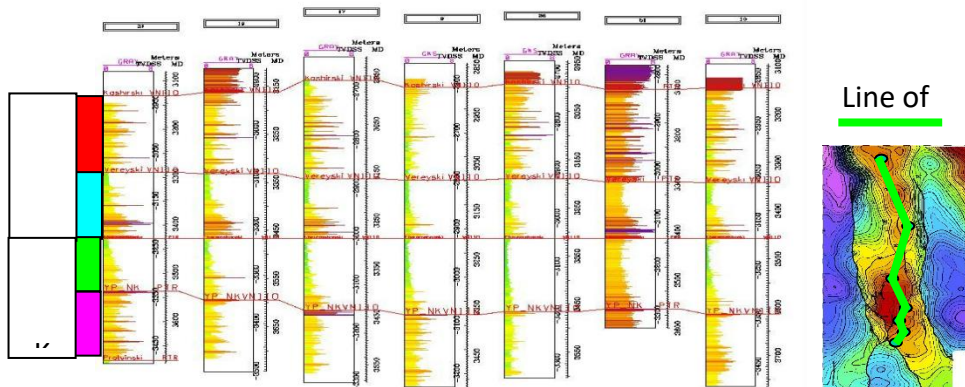


Рисунок 1 - Стратиграфическая корреляция по толще КТ-II по направлению с севера на юг

Учитывая низкое качество результатов обработки и интерпретации данных тех лет, степень достоверности сейсмического картирования считается низкой. Главное, что наблюдается по северной части залежи, это интенсивная неоднозначность в трассировании горизонта КТ-I. Это особенно заметно на востоке, где сейсмические данные отображают карбонатную толщу гораздо более четко (Рисунок 2). Неоднородность Подольской секции начинается вблизи северной границы участка площади сейсмической съемки, и возможно, что горизонт КТ-II также выделяется не корректно.

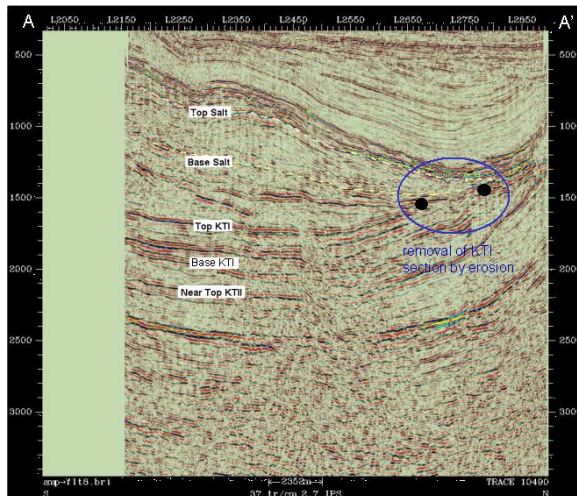


Рисунок 2 - Сейсмический разрез по линии север-юг в восточной части месторождения Алибекмола

Данные, полученные в результате вертикального сейсмического профилирования (ВСП) по способу центрального луча (zero offset VSPs), проведенного на 2-х скважинах, были включены в структурную модель. Каротажи ВСП на указанных скважинах проводились компанией Шлюмберже, путем генерации точных сейсмических трасс (коридорные стеки –corridor stacks) на точках указанных скважин (Рисунок 3). Характер волнового поля показывает, что коридорные

стеки подтверждаются дорожками синтетической сейсмограммы, созданных из каротажных данных скважин [9-10].

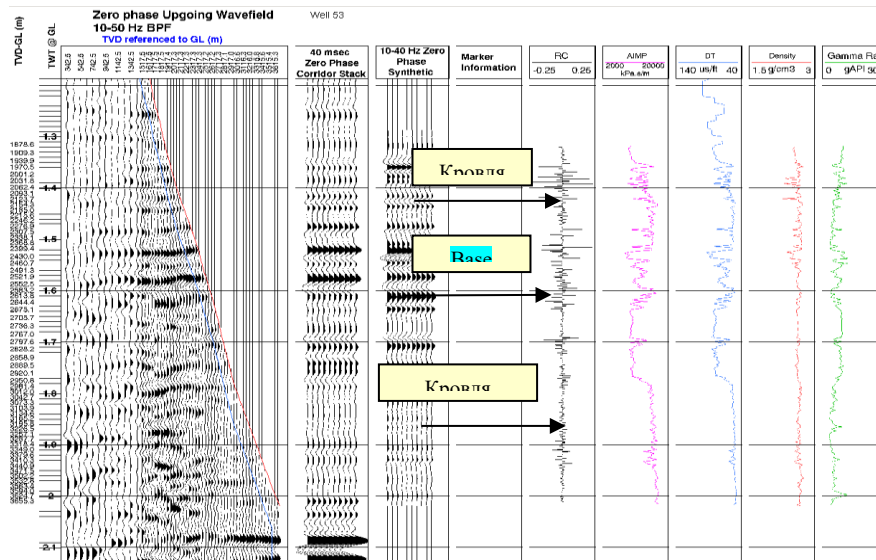


Рисунок 3 - Результаты VSP по способу центрального луча (zero offset VSPs), проведенное компанией Шлюмберже. VSP показано с нуль-фазовым коридором

Горизонт, лежащий у кровли КТ-II, уверенно выделяется в районе, лежащем к югу от скважины 19 (Рисунок 4). Тем не менее, качество данных в северной части коллектора каменноугольной системы очень низкое из-за массивного солевого купола Кунгурского яруса. В результате увязки солевой тектоники с карбонатными комплексами, характеризующиеся высокой скоростью, поле скоростей подвергается значительным латеральным вариациям. Это видно из графика глубинно-временной зависимости, полученного на основе данных сейсмического каротажа. Достоверная информация о скоростях (VSP и сейсмические исследования), образующих кластеры вокруг южной антиклинали, показали, что глубинно-временные отношения в северной части неясны. По этим причинам были получены дополнительные данные ВСП с новых пробуренных скважин, находящихся на севере, с целью интеграции данных ВСП и последующей переинтерпретации сейсмических данных.

Результаты и обсуждение

Результаты ВСП включали каротажные данные, привязанные к результатам сейсмических данных Seg-Y в точке расположения скважин на площади полевых сейсморазведочных работ. Данные были загружены в базу данных OpenWorks вместе с точками скважин и получены синтетические сейсмограммы с целью подтверждения сейсмической связи между скважинами и волновым полем. В итоге синтетические сейсмограммы 2-х скважин показали хорошую корреляцию с данными ВСП (Рисунок 5).

Сейсмическая интерпретация была направлена на выделение кровли толщи КТ-II, выявления системы разломов, а также на переинтерпретацию данных, относящихся к кровле и подошве соленосной толщи. Кроме того, для проверки качества предыдущей интерпретации, а также с целью моделирования глубинно-временной зависимости, была проведена интерпретация данных, относящихся к кровле КТ-I, кровле интервала Подольского яруса и подошве толщи КТ-II.

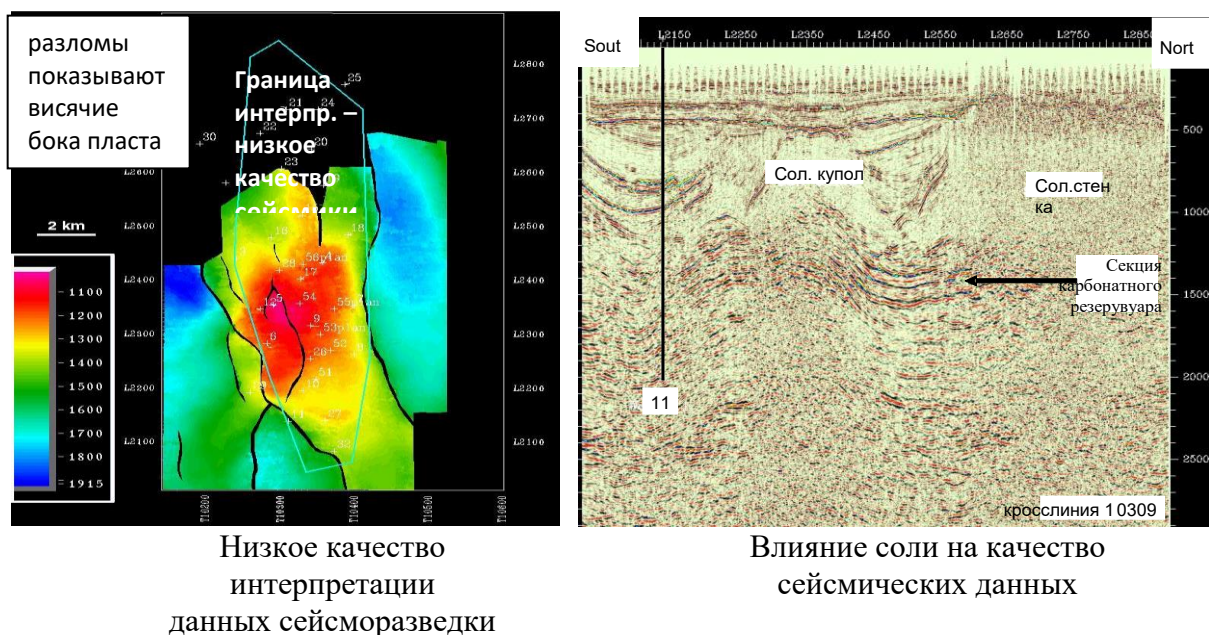


Рисунок 4 - Результаты интерпретации сейсморазведочных данных в 2003г

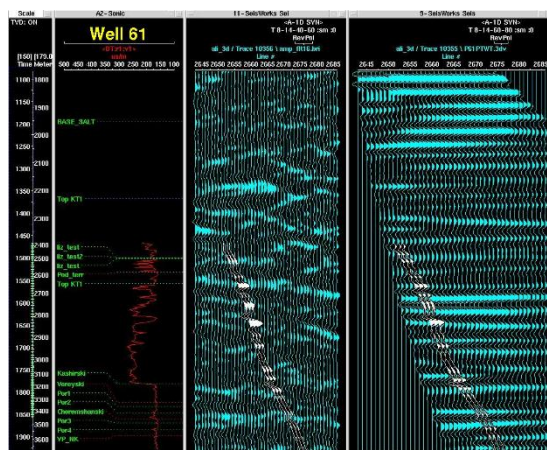


Рисунок 5 - Синтетические сейсмограммы по скважине 61

Различия между ранее интерпретационными данными, относящимися к кровле толщи КТ-I и кровле интервала Подольского яруса, с текущими интерпретационными данными оказались ничтожно малыми. Различия между данными по кровле и подошве соленосного слоя Кунгурского яруса также оказались небольшими. Эти небольшие различия доказывают вполне хорошее качество сейсмических маркеров, упомянутых выше. Неопределенности в сейсмических данных, главным образом, относятся к нижней части коллектора каменноугольной системы и особенностям разломной тектоники.

Интерпретация горизонтов близ кровли и подошвы КТ-II была выполнена с помощью модуля Geoprobe, Seisworks и комбинации автоматических и, выполняемых вручную методик корреляции волнового поля. Результаты показывают, что на площади месторождения Алибекмола выделяется система ложного сброса, который образовал типичную позитивную (пальмовидную)

структуру в форме цветка, свидетельствующую о трансгрессионном режиме развития региона (рисунки 6).

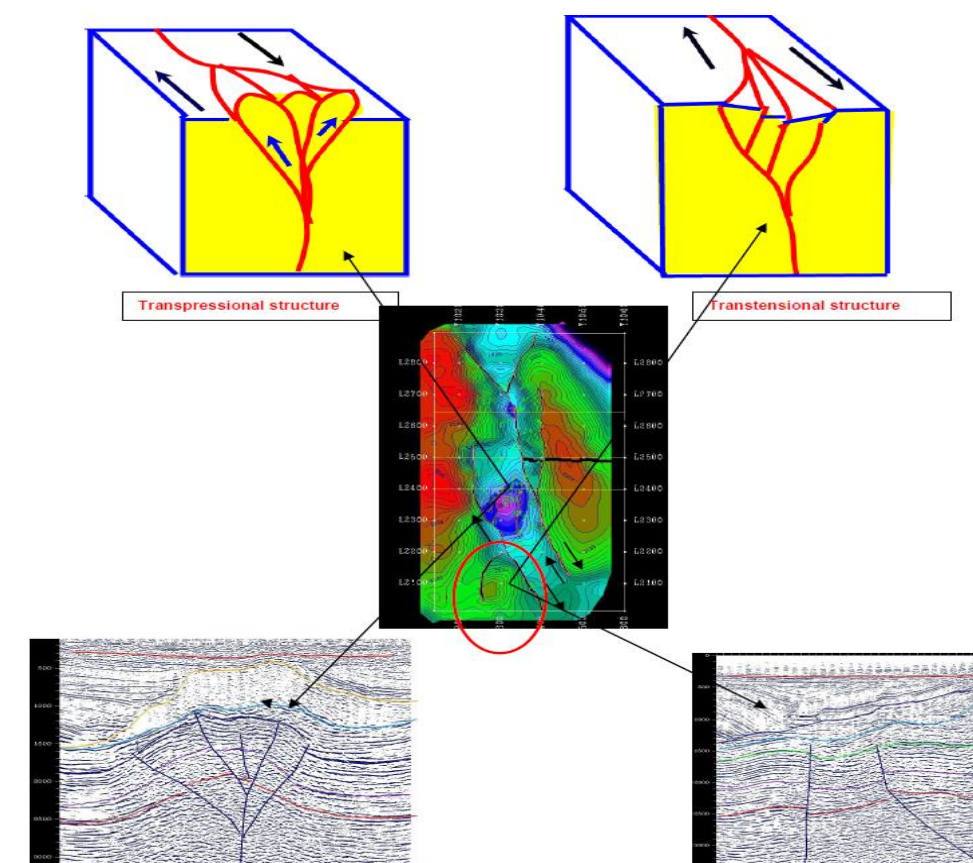
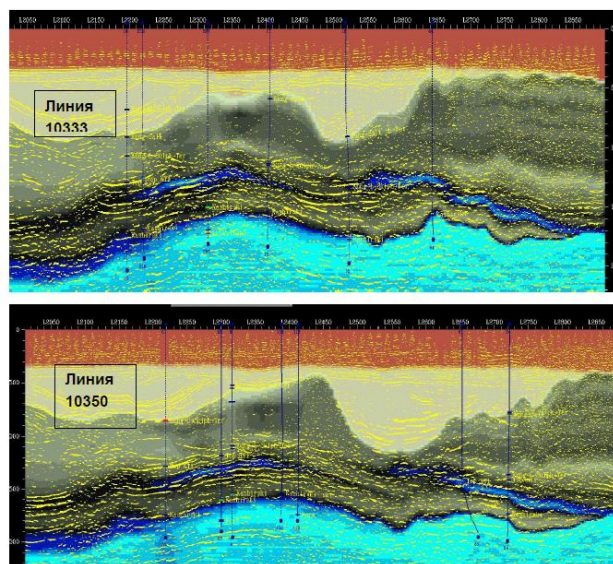


Рисунок 6 - Концептуальная диаграмма и сейсмические данные, показывающие структурную модель типа «цветок» месторождения Алибекмола

Слева на рисунке 6 показана концептуальная диаграмма и сейсмические данные, показывающие структуру типа «цветок», подобно той, что характерна для основного коллектора месторождения Алибекмола. Справа – концептуальная диаграмма и сейсмический разрез в южной части участка исследования (обведена красной линией на рисунке). Такие структуры образуются в результате изгибов простирающихся разломов, подобного тому, что можно наблюдать в северной части месторождения. Геометрия разлома и сопутствующая структура указывают на правосторонний сдвиг со смещением по простирающему. В южной части района исследования видна негативная структура (тюльпанообразного типа), образованная в результате режима трансрастяжения (transtensional), связанного со вторичной системой сдвига со смещением по горизонтали.

Основной сдвиг со смещением по горизонтали в направлении, где отношение тангенциального напряжения к напряжению по нормали является максимальным, ориентирован с север-северо-запада на юг-юго-восток. Учитывая, что этот тип сдвига образуется примерно при 30 градусах падения, мы можем сделать вывод об ориентации направления основного напряжения, которое в данном случае является северо-восток на юго-запад (Рисунок 7).



Показана модель мгновенной скорости (цветовая кодировка скоростей: ниже 200м/с красный цвет -> розовый -> серый -> черный -> синий -> голубой выше 5000м/с). Желтым цветом обозначены положительные амплитуды отклонений

Рисунок 7 - Кросслинии 10333 и 10350, проходящие через скважины ВСП

Сближение разломов сдвига произошло параллельно направлению основного напряжения, поэтому мы можем прогнозировать, что открытая система трещиноватости преимущественно ориентирована с северо-востока на юго-запад [11]. Это соответствует наблюдениям и выводам, ранее изученным механическим свойствам пород (Geomechanics International).

Несмотря на очень низкое качество результатов ранее выполненной сейсморазведки, особенно в зоне основного сдвига с горизонтальным смещением, неопределенность в выделении горизонтов снижается, благодаря очень хорошему качеству увязки со скважинами. Также, прослеживание и выделение основной системы разломов протрассировано уверенно и более надежно, чем картирование геологических горизонтов.

Выводы. В результате переинтерпретации сейсмических данных основные структуры, выделяемые ранее на площади исследований, пространственно образующие систему сдвига по направлению восток--запад изменилась на систему структур, простирающиеся по направлению северо-восток-юго-запад, что предполагает наличие правостороннего сдвига типа сброс. Таким образом, ожидаемое направление формирования структур северо-восток-юго-западное.

В дальнейшем можно улучшить сейсмическое изображение более детальным анализом скоростей, улучшая, тем самым, нормальное приращение времени (NMO – normal move-out) и отношение сигнал-помеха, используя технологию ProMagis. Следует также изучить корреляцию между сейсмическими параметрами и характеристиками скважин с целью наилучшего определения неоднородности пласта-коллектора для проектирования размещения точек скважин.

Результаты данной работы могут быть использованы в дальнейших исследованиях по динамическому моделированию пласта-коллектора.

Заключение

Комплексное геолого-геофизическое моделирование является эффективным инструментом при изучении карбонатных коллекторов Прикаспийской впадины. Использование интегрированных данных позволяет уточнить структурные особенности разреза продуктивных горизонтов, детализировать строение пластов-коллекторов, повысить надежность прогноза нефтегазоносных зон. Дальнейшее развитие данного направления связано с совершенствованием

методов инверсии сейсмических данных, внедрением машинного обучения для интерпретации и применением высокоточных 3D-моделей при проектировании освоения и разработки месторождений.

Список литературы:

1. Даукеев С. Ж., Воцалевский Э. С., Пилифосов В. М и др. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. Том 2 Нефть и газ. – Алматы, 2002, 248 с.
2. Abilkhasimov, Kh.B., Istekova, S.A., Nysanova, A.S., Zhylkybayeva, G.A.Features of basin modeling in the evaluation of oil and gas potential of the Caspian basin in Kazakhstan.Geomodel 2016 - 18th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development, 2016
3. Истекова С.А. Современные методы анализа и интерпретации геофизических данных //Известия НАН РК. Серия геологическая. -2006. -№4
4. Боганик Г. Н., Гурвич И. И. Сейсморазведка. 2006, Тверь, АИС, 743 с.
5. Интерпретация данных сейсморазведки. Справочник. Под ред. О.А.Потапова. М.,Недра, 1990г.
6. Бондарев В.И. Сейсморазведка // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – № 1. 386с.
7. Ахметов А.М. Геолого-геофизические основы моделирования месторождений углеводородов. – Алматы: КазНИГРИ, 2019. – 254 с.
8. Хаттон Л., Уэрдингтон М., Мейкин Дж. Обработка сейсмических данных. Теория и практика. Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 216 с.
9. Касымов Б.Т., Искаков Е.С. Геофизические методы исследования карбонатных коллекторов. // Вестник КазНУ. – 2021. – №3. – С. 45–52.
10. Schlumberger. Petrel Geomodeling Software: Technical Overview. – Houston, 2020.
11. Tissot B., Welte D. Petroleum Formation and Occurrence. – Berlin: Springer, 2013. – 702 р.

А. Р. Жаркенова, А. Е. Есенгелди, А. Ж. Беккожин
Научный руководитель: Истекова С.А., доктор геолого-минералогических наук, профессор

Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет
имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН МЕТОДАМИ АКУСТИЧЕСКОГО ФОТОКАРОТАЖА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ХАРАКТЕРА НАПЛАСТОВАНИЯ И ВЫДЕЛЕНИЕ ЗОН ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПРОДУКТИВНЫХ ГОРИЗОНТОВ

Аннотация. В статье представлен обзор и особенности современных методов фотокаротажа для изучения геологического строения околоскважинного пространства, выделения зон дробления и трещиноватости осадочных продуктивных горизонтов газонефтяных месторождений. Рассматриваются технические аспекты метода, его преимущества и ограничения при исследовании околоскважинного пространства как на этапе геологического доизучения, так и при освоении и эксплуатации месторождений. На практическом примере представлены возможности фотокаротажа для оценки свойств коллекторов. Показано, что эффективность разработки месторождения значительно повышается за счет выделения зон повышенной проницаемости карбонатных толщ, связанных с интенсивной трещиноватостью, что в свою очередь влияет на принятие геолого-технологических решений и повышения добычи углеводородов.

Ключевые слова: каротаж, скважина, фотокаротаж, акустический имиджер, коллектор, напластование, трещиноватость, интерпретация

Введение

Каротаж скважины – это комплексное изучение целевых глубоких горизонтов, выделения продуктивных пластов и исследование технико-технологического состояния скважин при контроле за разработке месторождений, связанных со скважинными методами добычи. На этапе освоения месторождения каротаж используется для уточнения границ продуктивных горизонтов, выявления литологической неоднородности их и изучения фильтрационно-емкостных свойств коллекторов. При контроле за разработкой каротажи помогают выявить проблемы связанные с изменением дебита, с герметичностью обсадной колонны и состоянием конструктивных элементов скважины. Исследование скважины позволяет выявить срок ее эксплуатации и дать рекомендации эффективности капитального ремонта скважин.

Сегодня на месторождениях широко используют фото- и видеосъемку, телеинспекцию и видеоисследование скважин, которые выявляют проблемы присутствующие в скважине и окружающие ее геологической среде, на основании чего делается заключение об эффективности использования этой скважины для решения геологических или технико-технологических задач [1-3].

Материалы и методы.

При изучении особенностей геологического разреза и оценке свойств коллекторов сегодня широко используются современные технологии и аппаратура видео- и фотокаротажа в скважинах, основанные на применении электрических имиджеров типа XRFI, либо акустических имиджеров в модификациях CBIL (CircumferentialBoreholeImageLogging) [4, 5]. Работа акустических имиджеров основана на возбуждении упругих волн высокой частоты и регистрации кинематических и динамических характеристик акустических сигналов, отраженных от стенок скважины. Прибор CBIL включает в себя пьезоэлектрический керамический датчик,

установленный в маслонаполненной емкости, изолированный от бурового раствора, (Рисунок 1).

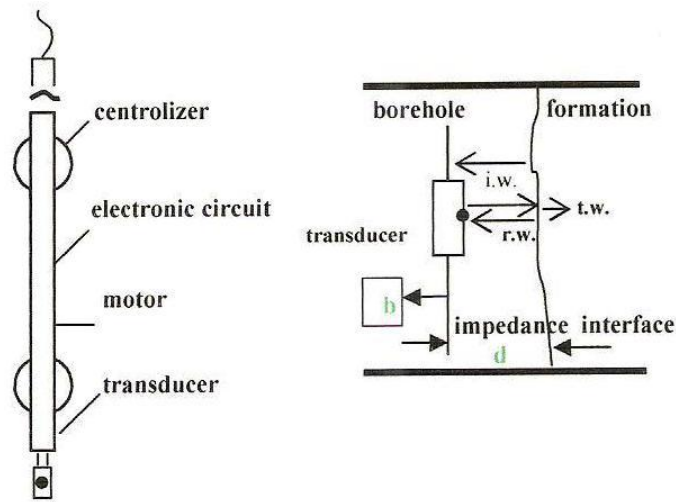


Рисунок 1 - Принцип работы и конструктивные элементы прибора СВІІ

Датчик создает импульс давления (импульс звуковой волны) в скважинной жидкости. Электрический импульс преобразуется в механическую деформацию, которая в свою очередь, создает импульс давления, распространяющийся во все стороны. Обратная сторона излучателя сконструирована таким образом, чтобы гасить колебания. Импульс давления **b** затухает. Импульс давления **t.w** передается скважинной жидкостью. Импульс **i.w.** движется через керамический элемент и достигает поверхности стенки скважины через время $t = d/c$, где c скорость звука в датчике. Импульс **r.w.** движется от передней поверхности, отражается от задней стенки и приходит опять к передней поверхности через время $t = 2d/c$. Затухание импульсов для **i.w.** и **r.w.** зависят от поглощающей среды спереди и сзади источника. Записанное затухание импульсов давления представляет излучаемый кратковременный волновой пакет с частотой $f = c/2d$. Т.о. данный датчик измеряет отраженные акустические волны со стенок ствола скважины. Амплитуда отраженного импульса и **r.w.** является функцией скорости импульса в буровом растворе и функцией скорости породы [6-7].

Акустические имиджеры имеют как вертикальный шаг квантования сигналов по глубине, так и горизонтальный (азимутальный) шаг сканирования. Прибор позволяет выполнить 60 вращений (отсчетов) на фут по вертикали, 250 отсчетов за оборот - азимутальный (горизонтальный) шаг сканирования. Прибор СВІІ применяется как при промывочной жидкости на водной основе, так и на нефтяной основе. Низкая рабочая частота (250 kHz) обеспечивает высокое качество записи прибора в скважинах большого диаметра и при утяжеленном буровом растворе, по сравнению с другими аналогами. Прибор СВІІ является эффективным устройством для исследований в открытом стволе и исследований обсаженных скважин. Метод каротажа СВІІ можно проводить в сочетании с методом STAR (электрический имиджер), что позволяет сделать более детальную оценку околоскважинного разреза.

Преимущество метода: высокая степень охвата поверхности стенок скважины, высокая разрешающая способность, визуальная детализация разреза, точность определений направления падения структурных элементов.

Данные фотокаротажа СВІІ обрабатываются в обрабатывающей системе «eXpress», где имеется специальное приложение «LogView» - пакет программ для обработки данных акустических и электрических имиджеров [8].

Этапы обработки включали: смещение волновых фронтов по глубине, коррекция скорости, выравнивание и нормализация. Результаты обработки используются для определения коллекторских свойств пород, для детального стратиграфического анализа, определения нарушений и их параметров (угол, направление), для описания тонкослоистых отложений, определения вторичной пористости, анализа трещин, оценки нефтенасыщенности.

Для изображения данных метода СВІL измеренный акустический импеданс («волновое сопротивление»), по аналогии с теорией электрических линий, фиксируется белой-желтой-оранжевой-черной цветовой гаммой, что представляет разность волнового сопротивления. Светлые оттенки отображают участки с высоким волновым сопротивлением, темные оттенки соответственно участки с низким волновым сопротивлением.

На рис.2 представлена модель интерпретации сечения скважины, приведенная в форме эллипса, которая изображается синусоидальной кривой на диаграмме. Азимут самой низкой точки указывает очевидный азимут падения плоскости, в то время как амплитуда синусоиды, разделенная на диаметр скважины дает тангенс угла наклона:

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{2A}{D} \quad \varphi - \text{угол наклона; } A - \text{амплитуда синусоиды; } D - \text{диаметр скважины;}$$

На изображении: плоская поверхность пересекает цилиндрическую скважину, цилиндр разрезан и развернут, след границы виден как синусоида. Пространственная ориентация определяется фазой и амплитудой синусоиды. Азимут пласта отображен на изображении как С-В-Ю-З-С слева направо.

Чем более точно будут проведены синусоидальные кривые при обработке данных СВІL, тем более точно будут определены элементы залегания пласта.

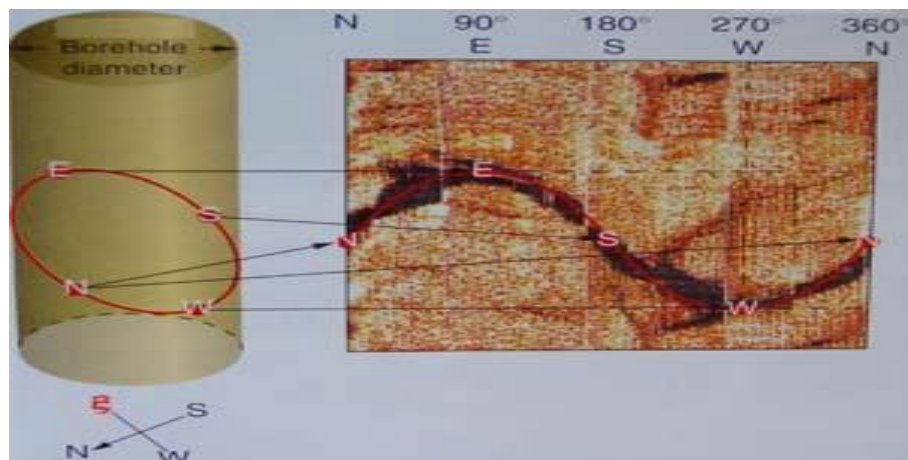


Рисунок 2 - Наклон элемента залегания по имиджу СВІL

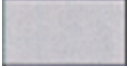
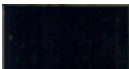

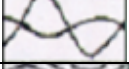

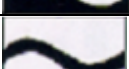
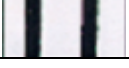







Результаты и обсуждение. По цвету, геофизическим и геологическим значениям интерпретационная модель фотокаротажа делится на множество видов моделей (табл.1).

По отдельным скважинам месторождения Алибекмола. проведен анализ разреза скважины по результатам данных имиджера (СВІL), стандартных методов ГИС и данных параметров промысловой жидкости. Выделены границы напластований, определены их углы падения, направление элементов залегания. Анализ напластований базируется на геологических особенностях месторождения. Классификация элементов залегания, статистический анализ разбит на три интервала: КТ-I, МКТ, КТ-II. Поинтервально проведен статистический анализ углов падения и азимутов каждого элемента, т.е. границ напластований, параметры открытых

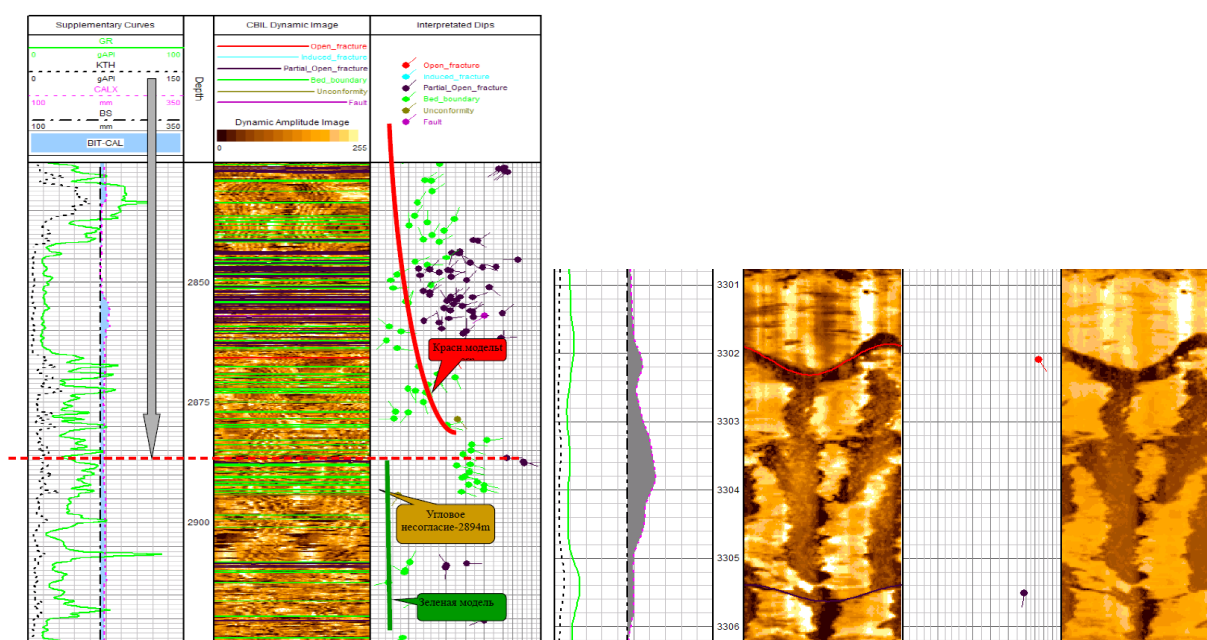
трещин, частично открытых трещин, трещин бурения, угловых несогласий и нарушений. Построены статистические диаграммы «розы Шмидта» (Рисунок 3)

Выводы. В настоящее время метод фото-и видеокаротажа активно применяется при решении отдельных задач изучения структурных особенностей разреза скважин. Метод позволяет получать детальную визуальную информацию о структуре горных пород, трещиноватости и наличии карстовых полостей с высокой степенью разрешения.

Таблица 1 - Интерпретационная модель фотокаротажа

I	II	III	Имидж	IV
Модели имиджа с геологическим значением	Блок-модель	Светлый блок		Уплотненные или породы с высоким УЭС такие как: карбонатит, песчаник, изверженная порода и т.д. с незначительной пористостью.
		Темный блок		Пористые или породы с высокой проводимостью такие как: карбонатит с множеством пустот и трещин, изверженные породы с кавернозной структурой, аргиллиты и глины.
	Слоистая структура			Тонкие песчано-глинистые напластований, известняк со сланцеватым расплющением.
	Линии напластований	Одиночная линия		Плоскость напластований, размытая плоскость, несогласие, стилолиты, трещины, сдвиг и т.д.
		Сопутствующие линии		Напластование, характер движения, течения, т.д.
		Светлая линия		Залеченные трещины, стилолиты, залеченные, разрывы, разломы, т.д.
		Темная линия		Открытая трещины или трещины, заполненные материалом высокой проводимости.
	Симметрическая впадина			Обвал стенок скважины и гидроразрыв пласта симметрично расположенные к оси скважины.
	Мятнистая модель	Светлые пятна		Галька с высоким УЭС, каверны заполненные материалом высокого УЭС, ископаемое, известковая конкреция, кремниевая конкреция и т.д.
		Темные пятна		Высокопроводящие гальки, каверны, заполненные буровым раствором или другими иными высокопроводящими материалами, пириты, песчаные линзовидные тела, т.д.
	Произвольная модель			Биотурбация, подводное оползание, деформация, т.д.
Интерпретационная модель без геологического значения	Свойство наклона			Образование царапин на стенках ствола скважины при бурении, указывает на винтообразное залегание.
	Деревообразное кольцо			Данный феномен можно заметить только по Акустическому фотокаротажу, образованный вследствие акустической дифракции.
	Модель несимметричной впадины			Образование царапин на стенках ствола скважины из-за буровых приборов.
	Пустой			Поломки каротажного прибора, шероховатость стенок скважины приводят к неясным данным фотокаротажа.

Заключение. Видеокаротаж представляет собой высокоэффективный метод исследования сложнопостроенных коллекторов, обеспечивающий получение детальной визуальной информации о структуре и морфологии горных пород в околоскважном пространстве. Комплексное применение метода с другими геофизическими исследованиями значительно повышает достоверность оценки неоднородности коллекторов. Перспективы развития метода связаны с совершенствованием технических средств, разработкой автоматизированных систем обработки данных и интеграцией с цифровыми технологиями трехмерного моделирования геологических объектов.



угловое несогласие на границе МКТ - КТ-II открытые и частично открытые трещины в известняках КТ-II.

Рисунок 3 - Опыт использования фотокаротажа при оценке карбонатного разреза месторождения Алибекмола

Список литературы:

1. Толмачев В.В., Хоменко В.П. Применение телевизионного каротажа для изучения карстовых полостей // Разведка и охрана недр. 2018.
2. Костарев В.П., Никулин А.А. Видеокаротаж скважин при инженерно-геологических изысканиях на карстоопасных территориях // Инженерные изыскания. 2019. №3.
3. Zhou H., Butler A.P. Optical televiwer logging for characterization of karst aquifers // Journal of Hydrology. 2018.
4. Williams J.H., Johnson C.D. Acoustic and optical borehole-wall imaging for fractured-rock aquifer studies // Ground Water. 2019.
5. Paillet F.L. Application of borehole geophysics in the characterization of flow in fractured rocks // USGS Water-Resources Investigations Report. 2020.
6. Климчук А.Б., Андрейчук В.Н. Карст Украины: современные методы изучения. Киев: Наукова думка, 2019.
7. Ford D., Williams P. Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley & Sons, 2018.
8. Ташбулатов В.Д., Еникеев В.Н., Гайфуллин М.Я., Миллер А.В. Булгакова Ю.А. Возможности аппаратно-программного комплекса видеокаротажа малого диаметра авк-42м. Научно-технический вестник "КАРОТАЖНИК", выпуск 7-8 (148-149), 2006 г.

А.Б. Болатова¹, Г.К. Умирова²¹КМГ Инжиниринг, г.Астана, Казахстан²Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И.Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

НОРМАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ ГИС КАК ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ

Аннотация. В условиях поздней стадии разработки месторождений возрастает необходимость уточнения геологического строения и актуализации сейсмогеологических моделей. Ключевым этапом этого процесса является привязка скважинных данных к сейсмическому разрезу, однако разнородность кривых акустического и плотностного каротажа, полученных в разные годы, снижает точность интерпретации. В работе рассмотрена нормализация кривых ГИС по квантилям с использованием устойчивых опорных интервалов на примере месторождения X (Мангистауская область, Казахстан). Применение методики позволило повысить коэффициент корреляции между синтетической и фактической трассами с 0,473 до 0,617, что подтверждает улучшение качества привязки. Нормализация кривых рекомендуется как обязательный этап при построении сейсмогеологических моделей в условиях разнородных данных.

Ключевые слова: нормализация кривых ГИС, стратиграфическая привязка, акустический каротаж (АК), гамма-гамма каротаж плотностной (ГГК-п), синтетическая сейсмограмма, акустический импеданс, опорные пласты, сейсмогеологическая модель.

Основная часть

Актуальность темы обусловлена тем, что стратиграфическая привязка скважинных данных к сейсмическому разрезу оказывает ключевое влияние на качество построения геологической модели. Недостаточная точность привязки приводит к искажению информации при структурной интерпретации, что влечёт за собой неопределённости при дальнейших работах. Кроме того, привязка напрямую влияет на результаты сейсмической инверсии: при некорректной увязке исходных данных восстанавливаемые упругие параметры в межскважинном пространстве могут существенно отличаться от действительных значений, снижая достоверность получаемых моделей.

Важность нормализации кривых ГИС при стратиграфической привязке

Качественная привязка скважинных данных к сейсмическим разрезам основана на расчёте синтетических сейсмограмм, выполняемых по данным акустического (АК) и плотностного каротажа (ГГК-п). Эти кривые используются для вычисления акустического импеданса, построения коэффициентов отражения и синтетических трасс, имитирующих сейсмический отклик. Эффективность привязки оценивается по коэффициенту корреляции между синтетической и фактической трассами; значение выше 0,6 считается удовлетворительным [1].

Основное условие надёжной привязки — корректная подготовка исходных данных. Кривые ГИС, полученные в разные годы с использованием различных приборов и технологий, часто отличаются по амплитуде и форме, что снижает сопоставимость и точность интерпретации. Для устранения таких различий применяется нормализация кривых ГИС, приводящая измерения к единой системе отсчёта. Наиболее надёжной считается нормализация по реперным интервалам — устойчивым пластам с характерными физическими свойствами [2].

По данным Шевченко А.А. (2002), использование нормализованных кривых повышает коэффициент корреляции и снижает неопределённость при определении границ пластов и скоростных характеристик. В современных условиях нормализация выполняется с помощью специализированных программ, таких как Techlog (Schlumberger), обеспечивающих точную обработку и визуальный контроль качества [3].

Различия между временными зависимостями, полученными по ВСП и акустическому каротажу, вызваны не только техническими погрешностями, но и геологическими факторами — кавернозностью стенок, дисперсией волн и ограниченностью записи. Плотностной каротаж особенно чувствителен к кавернам, что приводит к занижению плотности; для коррекции применяются эмпирические зависимости, например уравнение Гарднера–Кастанья. При отсутствии данных ВСП корректная нормализация и дрейф-анализ становятся ключевыми для обеспечения достоверности стратиграфической привязки [4].

Краткая геологическая характеристика месторождения X

Месторождение X расположено в Мангистауской области Республики Казахстан и приурочено к Южно-Мангышлакской впадине, характеризующейся субширотным простираанием структур и блоковой расчленённостью фундамента. Продуктивные горизонты залегают в терригенных отложениях средне- и верхнеюрского возраста, сформированных в условиях флювиально-дельтовых систем, что обусловило развитие линзовидных и клиновидных песчаных тел с изменчивой насыщенностью и сложным внутренним строением.

Коллекторы представлены алевроито-песчаными породами с включениями аргиллитов, что определяет их фациальную изменчивость. Пористость варьирует от 12 до 22 %, проницаемость — от 0,01 до 300 мД. На месторождении установлены нефтяные, газонефтяные и нефтегазовые залежи пластового и пластово-сводового типа. Пересчёт запасов, выполненный с учётом новых данных бурения, лабораторных исследований и 3D-сейсморазведки, позволил уточнить контуры залежей и повысить достоверность оценки извлекаемых запасов. Однако в краевых зонах сохраняется неопределённость геологического строения из-за низкой плотности скважин и ограниченности сейсмических данных, что требует построения усовершенствованной сейсмогеологической модели.

Качество выполненных ГИС на месторождении X

В процессе бурения и освоения скважин на месторождении X проводился расширенный комплекс ГИС, включающий стандартные и специализированные методы. Основное внимание уделялось качеству АК и ГГК-п, поскольку именно эти данные используются для расчёта акустического импеданса.

АК и ГГК-п выполняются на месторождении с 2007 года различными сервисными компаниями, что привело к неоднородности качества и форматов данных. АК проводился многозондовыми приборами, обеспечивающими высокую точность скоростных измерений; ГГК-п — методом гамма-гамма сканирования с последующей калибровкой по известным пластам. Несмотря на удовлетворительное качество записей, в отдельных интервалах — особенно при наличии каверн — наблюдаются искажения, требующие корректировки плотности и скоростей упругих волн.

Анализ исходных кривых включал оценку стабильности записи, амплитудного диапазона, непрерывности и уровня шумов. Для обеспечения сопоставимости данных между скважинами и подготовки их к расчёту синтетических сейсмограмм была выполнена нормализация кривых АК и ГГК-п.

Подготовка данных к нормализации кривых АК и ГГК-п

В процессе нормализации в качестве базовых использовались опорные стратиграфические горизонты, что позволило устранить систематические смещения и привести данные к единой шкале. Основным опорным пластом выбран устойчивый слой размытых глин над горизонтом Ю-1 (оксфордский ярус, ОР IV), уверенно прослеживающийся во всех скважинах. Дополнительным

контрольным интервалом служат плотные глины между горизонтами Ю-3 и Ю-4 (ОР). Корреляция опорных пластов во всех скважинах выполнена по данным гамма-каротажа, обеспечив надёжное расчленение литологии (Рисунок 1).

Эталонная скважина выбрана по средним параметрам, характерным для месторождения — 300 мкс/м по АК и 2,45 г/см³ по ГГК-п. При отклонении значений в других скважинах более чем на $\pm \delta$ вносились поправки, после чего все кривые приводились к единой системе отсчёта. Скважина подобрана с учётом глубины вскрытия продуктивных горизонтов и минимального развития каверн, чтобы исключить искажения геофизических параметров.

Входными элементами для нормализации служили каротажные кривые, подлежащие обработке. Геологический разрез месторождения содержит углистые включения и уплотнённые прослои, вызывающие появление аномальных участков на каротажных диаграммах. В таких интервалах фиксируются экстремальные значения — завышенные или заниженные, не отражающие реальных свойств пород, что искажает расчёт отражательных характеристик. Для минимизации этих эффектов применялось гауссово сглаживание, подавляющее высокочастотные компоненты и обеспечивающее устойчивость формы кривых. Фильтр заменяет каждое значение на взвешенное среднее соседних точек, подавляя шум и повышая стабильность кривых. При необходимости выполнялось горизонтальное выравнивание относительно опорной скважины, корректирующее амплитудные характеристики без изменения конфигурации кривых. Эти процедуры обеспечили повышение качества стратиграфической привязки и сохранение геологической достоверности.

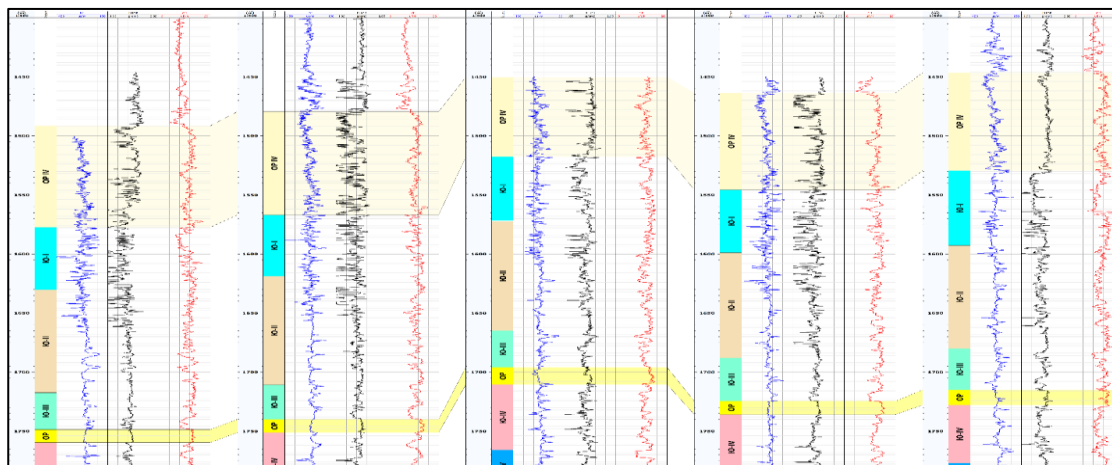


Рисунок 1 - Планшет корреляции опорных пластов

Таблица 1 - Статистическая характеристика опорных пластов

Наименование	ГГК-п	АК
ед.измерения	г/см ³	мкс/м
max	2,85	348
min	2,07	248
среднеарифм.	2,45	300

При необходимости кривые увязывались по горизонтали для приведения к единому диапазону значений относительно опорной скважины в реперных интервалах. Эта операция не изменяет конфигурацию кривых, воздействуя только на амплитудные характеристики и

частотное наполнение. Проведённые процедуры обеспечили улучшение качества стратиграфической привязки без искажения геологически значимой информации.

Нормализация кривых АК и ГГК-п

В среде **Techlog** нормализация реализуется тремя методами — по среднему значению, по квантилям и графическим способом. Цель — устранение межскважинных расхождений, вызванных различиями в аппаратуре и условиях замеров, что обеспечивает сопоставимость параметров и повышает точность привязки к сейсмическим данным.

- Метод по среднему значению основан на приведении кривых к среднему уровню, рассчитанному в устойчивом стратиграфическом пласте.
- Квантильная нормализация использует кумулятивные гистограммы распределения параметров и процентильные границы (5-й и 95-й процентиля) для устранения выбросов и приведения кривых к эталонным уровням.
- Графическая нормализация выполняется вручную с установкой опорных точек, что позволяет контролировать форму кривой.

В данной работе применён метод **квантильной нормализации** в диапазоне 5–95 процентилей. Оценка качества проводилась по гистограммам в Techlog, что подтвердило корректность выравнивания амплитуд и сохранение геологической информативности кривых (рис. 2–3).

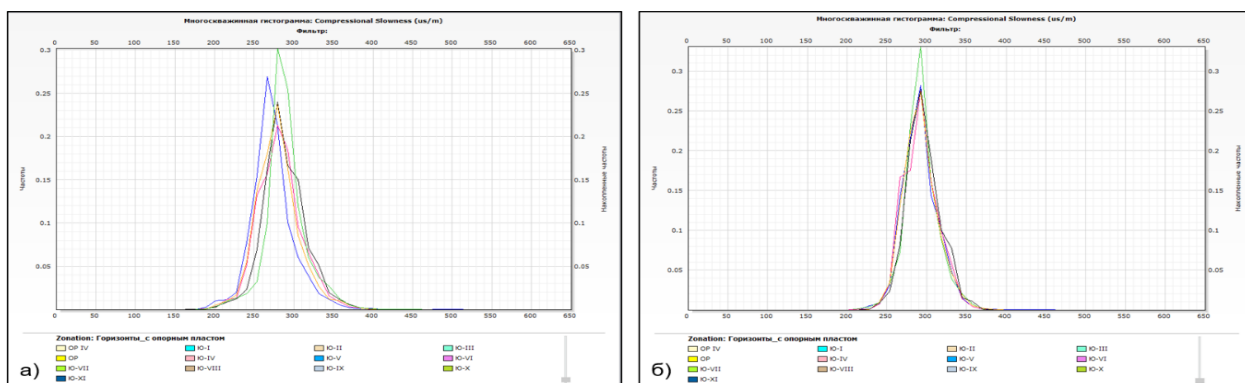


Рисунок 2 - Кривые АК до (а) и после (б) нормализации

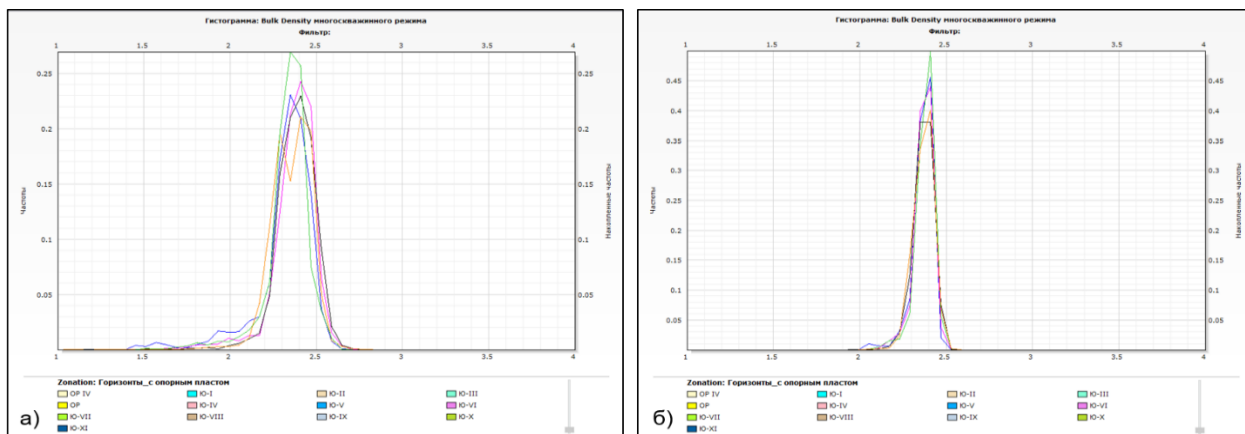


Рисунок 3 - Кривые ГГК-п до (а) и после (б) нормализации

Сравнение результатов привязки с исходными и нормированными кривыми

Использование нормализованных каротажных кривых значительно повысило качество стратиграфической привязки. На рис. 4 и 5 представлены планшеты привязки по скважине N: на рис. 4 — результаты с исходными кривыми АК и ГТК-п, на рис. 5 — после нормализации.

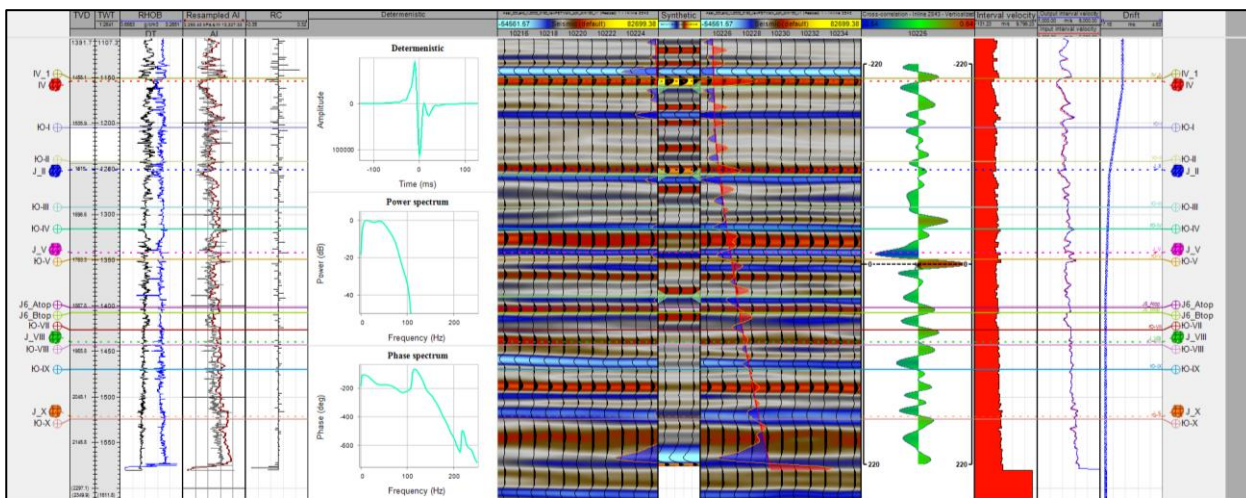


Рисунок 4 - Планшет стратиграфической привязки с исходными кривыми АК и ГТК-п

Для объективного сравнения расчёт синтетической сейсмограммы в обоих случаях выполнялся с одним и тем же детерминированным сейсмическим импульсом, извлечённым методом подбора формы по сравнению синтетических и сейсмических трасс.

Коэффициент корреляции между синтетической и фактической трассами при использовании исходных кривых составил 0,473, тогда как после нормализации увеличился до 0,617, что свидетельствует о значительном улучшении соответствия и повышении достоверности стратиграфической увязки.

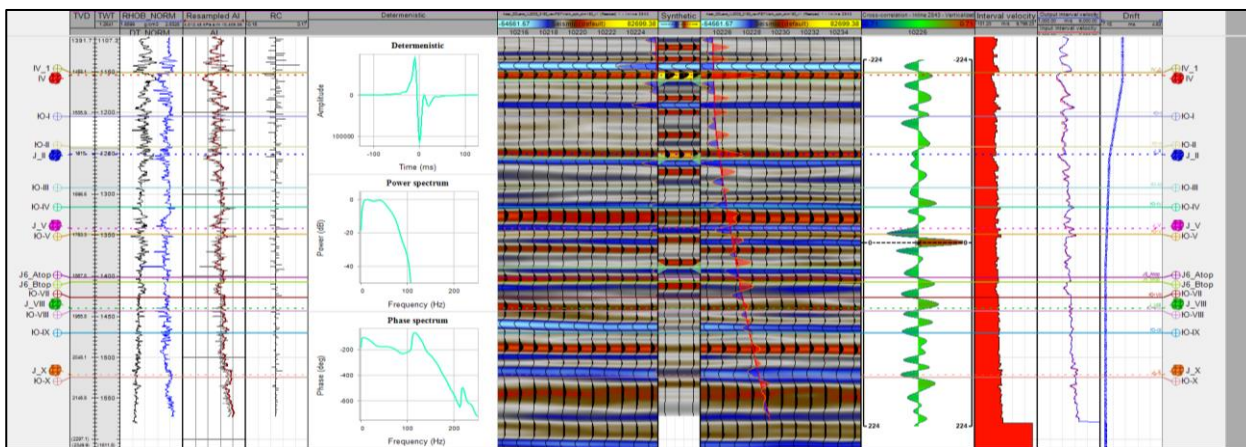


Рисунок 5 - Планшет стратиграфической привязки с нормированными кривыми АК и ГТК-п

Таким образом, данные результаты подтверждают эффективность нормализации как метода повышения качества стратиграфической привязки и достоверности последующего геологического моделирования.

Заключение

Результаты проведенного исследования демонстрируют, что применение квантильной нормализации кривых акустического и плотностного каротажа существенно повышает качество стратиграфической привязки скважинных и сейсмических данных. Полученный коэффициент корреляции между синтетической и реальной трассами подтверждает целесообразность включения нормализации в обязательный перечень этапов обработки каротажной информации. Методологический подход, реализованный в рамках настоящей работы, обладает высокой прикладной значимостью и может быть рекомендован к использованию при построении сейсмогеологических моделей в условиях ограниченного фонда ВСП и неоднородного набора ГИС.

Список литературы:

1. Калиев Д.Т. Использование нейронных сетей при динамическом анализе сейсмических данных // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. - 2022. - Т. 4. - №2. - 27-34 с.
2. Алексеев М. М., Семенов О. Ю., Сысоев С. М., Фурукин Д. С. Применение метода сейсмической инверсии для оценки физических параметров нефтегазоносных пластов // Вестник кибернетики. 2024. Т. 23, № 1. 6–16 с.
3. Шевченко А.А. Скважинная сейморазведка. – М.: Научный мир, 2002. – 312 с.
4. Санатова Ж.А., Калиев Д.Т. Обзор методов сеймостратиграфической привязки в условиях ограниченного или некондиционного набора исходных скважинных данных // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. - 2023. - Т. 5. - №2. – 5-16 с..
5. Techlog Fundamentals: Workflow/Solutions Training. Version 2013.
6. Турков О.С. и др. Атлас нефтяных и газовых месторождений Республики Казахстан: в 2 т. – Т. 2. – Алматы: Казахстанское общество нефтяников-геологов (КОНГ), 2020.

А.А. Шалабай¹,

¹ Satbayev University, Алматы, Казахстан

УСЛОВИЯ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ ФАЦИЙ, КОЛЛЕКТОРОВ СРЕДНЕ-ВЕРХНЕДЕВОНСКОГО КОМПЛЕКСА ЧИНАРЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрены тектоно-седиментационные условия осадконакопления и закономерности формирования фаций средне-верхнедевонского комплекса Чинаревского месторождения северного борта Прикаспийской впадины. На основе палеогеографических карт и палинспастических реконструкций, уточнённых автором, установлены типы фациальных зон и их связь с литогенезом и фильтрационно-ёмкостными свойствами коллекторов. Особое внимание уделено мозаичной неоднородности ФЕС, роли диагенеза и доломитизации в формировании вторичной пористости и литолого-фациальной структуры комплекса.

Чинаревское месторождение представляет собой один из наиболее изученных подсолевых объектов северного борта Прикаспийской впадины, где палеозойские отложения формируют сложный терригенно-карбонатный комплекс с высокой литолого-фациальной изменчивостью. Основная научная значимость исследования заключается в выявлении генетической связи между геодинамикой, фациальной мозаичностью и литогенезом, что позволяет уточнять фациальные модели и прогнозировать зоны повышенной коллекторской ёмкости.

Ключевые слова: Прикаспийская впадина, Чинаревское месторождение, девон, осадконакопление, фации, литогенез, диагенез, доломитизация, фильтрационно-ёмкостные свойства.

Основная часть

Геодинамическое развитие и палеогеографические особенности. Геодинамическое развитие северного борта Прикаспийской впадины в среднем и позднем девоне происходило в условиях постепенного subsidирования фундамента с эпизодическими импульсами тектонической активизации. Эти пульсации определяли неравномерный темп осадконакопления, вызывая чередование карбонатного и терригенного материала.

На литолого-палеогеографической карте раннего, среднего и позднего девона (Рисунок 1) видно, что вдоль северного борта Прикаспийской впадины формировались чередующиеся терригенные и карбонатные фации, контролируемые тектоническими импульсами. Хорошо прослеживается постепенное погружение северного борта Прикаспийской впадины и формирование фациальной зональности — от прибрежно-алевролитовых до лагунно-доломитовых фаций. Положение Чинаревского выступа уточнено автором по материалам Атласа ЮГГЕО (2002), контуры и координаты месторождения скорректированы на основе сопоставления структурных схем северного борта впадины.

В периоды тектонического затишья формировались карбонатные толщи мелководного шельфа, тогда как при слабых поднятиях и усилении сноса возрастала доля терригенных осадков. Подобный тектоно-седиментационный режим контролировал латеральную зональность и внутреннюю неоднородность разреза, став первопричиной мозаичного распределения литотипов.



Рисунок 1 - Литолого-палеогеографическая карта раннего–среднего (а) и позднего девона (б), (по Атласу литолого-палеогеографических, структурных и палинспастических карт Центральной Евразии, ЮГГЕО, 2002 [2], с уточнением автором положения Чинаревского выступа)

Палинспастическая реконструкция (Рисунок 2) подтверждает смещение фациальных зон и чередование карбонатных и терригенных толщ. Отображает тектонические движения, контролировавшие распределение фаций и положение осадочных бассейнов северного борта Прикаспийской впадины. На реконструкции автором выделено положение Чинаревского выступа, соответствующее зоне платформенного погружения северного борта Прикаспийской впадины.

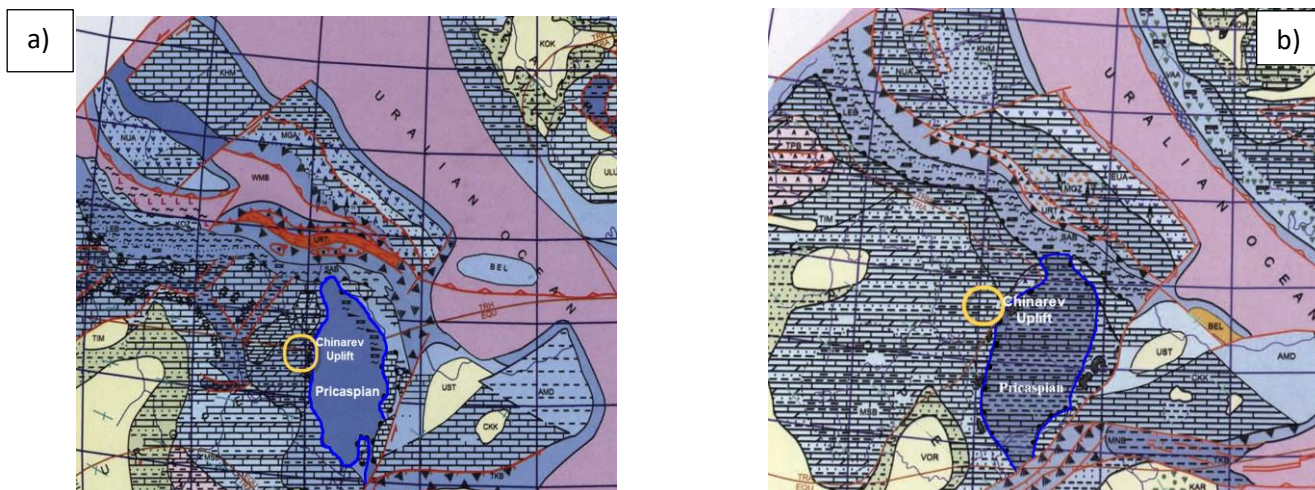


Рисунок 2 - Палинспастическая реконструкция Центральной Евразии на границе позднего девона (а) и раннего карбона (б), (по Атласу, ЮГГЕО, 2002 [2], с выделением Чинаревского выступа автором)

Согласно Атласу литолого-палеогеографических карт Центральной Евразии (2002) и данным Абиляхасимова (2011), в среднем и позднем девоне северный борт представлял собой низкопогружённую платформу с постепенным погружением в сторону центральной части впадины. На фоне этой общей тектонической стабилизации происходило продвижение эпиконтинентального моря с юго-запада, сопровождавшееся чередованием прибрежно-

алевролитовых, лагунно-доломитовых и мелководно-карбонатных зон. Геодинамические колебания контролировали не только рельеф дна, но и химизм осадочной среды, а следовательно — минералогический состав осадков.

Таким образом, палеогеография бассейна, обусловленная геодинамикой, определила структуру осадконакопления, которая отразилась в фациальной и литогенетической неоднородности девонских толщ. Структурная карта (Рисунок 3) показывает положение приподнятых блоков, контролировавших ловушки и распределение фаций. Отмечены поднятые блоки северного борта, контролировавшие очертания палеобассейнов девона и распределение коллекторов.

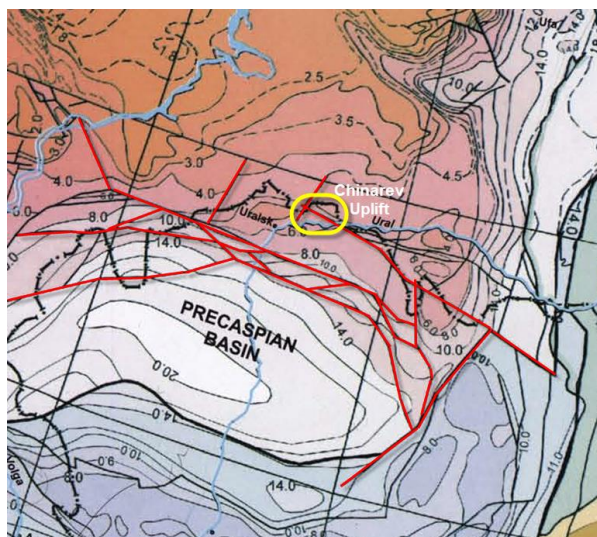


Рисунок 3 - Структурная карта по кровле фундамента Центральной и Северной Прикаспийской области (по Атласу, ЮГГЕО, 2002 [2], с дополнением автора)

Литолого-фациальная характеристика. Средне-верхнедевонский комплекс представлен чередованием песчаников, алевролитов, доломитов и известняков мощностью 40–150 м. В керне наблюдается многократная смена гранулометрического состава, текстуры и окраски пород, отражающая цикличность осадконакопления.

В латеральном плане прослеживается переход от песчано-алевролитовых фаций северных участков к глинисто-доломитовым и известковым — в южной части. Такая фациальная мозаика предопределила первичную неоднородность порового пространства и различие фильтрационно-ёмкостных свойств (Рисунок 4).

Литогенез и диагенетические преобразования. После осадконакопления породы подверглись активным диагенетическим и катагенетическим преобразованиям. В терригенных прослоях цементация карбонатами и хлоритами снизила первичную пористость, тогда как в карбонатных пластах процессы доломитизации, перекристаллизации и частичного растворения, напротив, создавали вторичную пористость.

В зонах интенсивной доломитизации пористость достигает 10–15 %, тогда как плотные микрокристаллические известняки сохраняют пористость не выше 3 %. Проницаемость изменяется в широком диапазоне и зависит от типа цемента и степени перекристаллизации. В результате в пределах одного стратиграфического уровня формируются чередующиеся зоны с разными фильтрационными свойствами и различным характером насыщения.

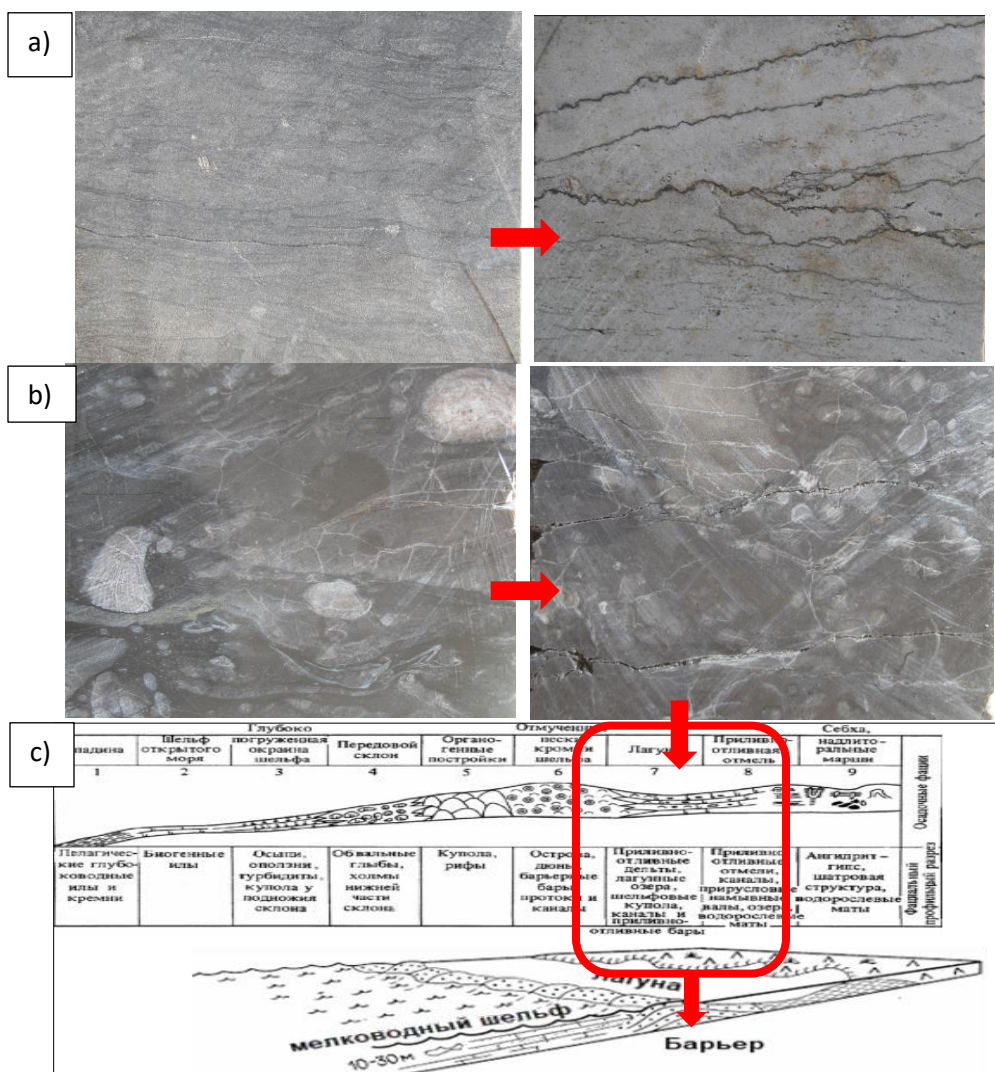
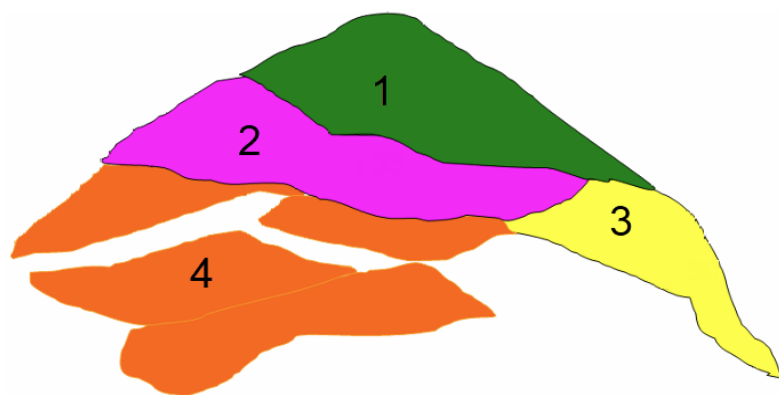


Рисунок 4 - а) Терригенные фации - приливная отмель, русловая зона. б) Карбонатные фации - открытая лагуна, известняк органогенный, стилолитовая и кавернозная пористость. в) Фациальная классификация по Уилсону (1975) [16] — модифицировано автором применительно к условиям Чинаревского месторождения

Мозаичность фильтрационно-ёмкостных свойств. На уровне продуктивных горизонтов неоднородность проявляется в разобщённости поровых систем и вариациях насыщенности. Зоны с различным сочетанием фаций и степени доломитизации функционируют как частично изолированные блоки. Подобная мозаичность ФЕС обусловлена совокупным влиянием фациальной изменчивости, литогенеза и тектоно-седиментационной структуры (Рисунок 5).

Генетическая интерпретация фациально-литогенетических особенностей. Неоднородность фильтрационно-ёмкостных свойств Чинаревского комплекса имеет генетическую природу и отражает взаимодействие тектоники, палеогеографии и литогенеза. Геодинамика контролировала условия осадконакопления, формируя латеральную мозаичность фаций, а диагенез и доломитизация — вторичную пористость. Эти закономерности согласуются с концепцией Уилсона (1975) о последовательностях карбонатных фаций, формирующихся под контролем тектоники и уровня моря.



- 1) глинистые, алевритовые фации лагуны; 2) алевритовые и песчаные отложения приливной отмели и нижнего пляжа; 3) песчаники-фации устьевых баров дельты; 4) песчаники-фации пляжа и баров дельты

Рисунок 5 - Модель мозаичной неоднородности ФЕС среднедевонского комплекса Чинаревского мр. (по данным 3D моделирования, с уточнением автора)

Заключение

Чинаревское месторождение является типичным примером платформенного подсолевого объекта, где литогенетический и палеогеографический контроль превалирует над структурным. Неоднородность фильтрационно-ёмкостных свойств отражает закономерное развитие геологических процессов — от тектоники и осадконакопления до диагенеза. Понимание этих связей обеспечивает основу для фациального анализа и реконструкции условий формирования девонских коллекторов северного борта Прикаспийской впадины.

Список литературы:

1. Жолтаев Г.Ж. Литолого-фациальные особенности девонских отложений северного борта Прикаспийской впадины. – Алматы, 2019.
2. Атлас литолого-палеогеографических, структурных и палинспастических карт Центральной Евразии. – Алматы – Москва: НИИ Природных ресурсов ЮГГЕО, 2002. – 280 с.
3. Абиляхасимов Х.Б. Условия формирования природных резервуаров подсолевых отложений Прикаспийской впадины. – М.: ГЕОС, 2011.
4. Каратаев Е.Т., Абиляхасимов К.Б. Фациально-стратиграфическое строение северного борта Прикаспийской впадины. – Атырау: КазНИГРИ, 2018.
5. Волож Ю.А., Горбатенко О.М., Горбатенко Е.Е. Геодинамическая эволюция Прикаспийской впадины. – М.: ГИН РАН, 2010.
6. Хусаинов Н.С. Литогенетические процессы и вторичная пористость карбонатных коллекторов. – М.: ГЕОС, 2014.
7. Винокуров А.А. Диагенетические изменения карбонатных коллекторов. – СПб.: Недра, 2015.
8. Wilson J.L. Carbonate Facies in Geologic History. Springer-Verlag, New York, 1975. – 471 p.
9. Reservoir Evaluation Services Kazakhstan Ltd. Update of the Conceptual Geological Model D2g_v1. – Internal report for ТОО «Жаикмунай», 2011.
10. Отчет петрографический анализ керн Чинаревского месторождения. – ТОО «Жаикмунай», 2003.

М.А. Халелова, Ю.А. Яремкив

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

ЖЕР АСТЫ ШАЙМАЛАУ КЕЗІНДЕ ӨНДІРІЛМЕГЕН КЕН АЙМАҚТАРЫН АНЫҚТАУ ҮШІН ҰҢҒЫМААРАЛЫҚ КЕҢІСТІКТІ ЗЕРТТЕУДІҢ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРІ

Аңдатпа. Мақалада уран кен орындарын жерасты шаймалау кезінде ұңғымааралық кеңістікті зерттеудің қазіргі заманғы геофизикалық әдістері қарастырылған, олар өндірілмеген кен аймақтарын анықтауға, ерітінділердің таралуын бақылауға және кен орындарын өңдеу процестерін оңтайландыруға бағытталған. Жер асты шаймалау уранды өндірудің экологиялық қауіпсіз және үнемді технологиясы болып табылады, алайда шаймалау ерітінділерінің таралуын және металды алудың біркелкілігін бақылаудың жоғары дәрежесін талап етеді. ЖҰШ жағдайында ең ақпараттысы электрлік, радиоактивті және электромагниттік әдістер, соның ішінде ұңғымааралық электротомография, гамма-гамма каротаж, нейтрондық және радиометриялық зерттеулер болып табылады. Жер асты суларының өзгермелі минералдануы, тау жыныстарының құрылымдық гетерогенділігі және қалдық ерітінділердің әсері жағдайында деректерді талдауға ерекше назар аударылады. Мақалада Қазақстанның Шу-Сарысу уран кені провинциясының кен орындарында ұңғымааралық геофизикалық технологияларды қолдану тәжірибесі жинақталып, кен денесінің өңделмеген учаскелері аймақтарының болжау дәлдігін арттырудың перспективалық бағыттары қарастырылған.

Түйінді сөздер: жерасты ұңғымамен шаймалау (ЖҰШ), уран кен орындары, ұңғымааралық кеңістік, өндірілмеген кен, геофизикалық әдістер, шаймалау мониторингі, ұңғымааралық радиотолқынды сканерлеу әдісі.

Уранды жерасты шаймалау әлемдік өндірістің 40% - дан астамын қамтамасыз ететін Қазақстандағы уран өндірудің негізгі технологияларының бірі болып табылады. Әдістің мәні аздап қышқыл немесе тотықсыздандырғыш ерітінділерді кенді горизонтқа айдау ұңғымалары арқылы жіберу және құрамында уран бар ерітіндіні көршілес пайдалану ұңғымалары арқылы шығару болып табылады. Шаймалаудың тиімділігі тек химиялық жағдайлармен ғана емес, сонымен қатар, қышқыл ерітіндісінің кенді қабатты шаймалау біркелкілігімен де анықталады. Ерітінді өтпеген немесе жанасу толық болмаған аймақтар өңделмеген кен учаскелеріне айналады. Оларды уақтылы анықтау үшін ұңғымалар арасындағы тау жыныстарының қанығу динамикасын, меншікті кедергісінің, тығыздығы мен радиоактивтілігінің өзгеруін байқауға мүмкіндік беретін мамандандырылған геофизикалық зерттеулер қолданылуы қажет.

Геофизикалық әдістер ЖҰШ процесін бақылауда басты рөл атқарады, өйткені тікелей бақылау әдістері (мысалы, косымша ұңғымаларды бұрғылау) экономикалық тұрғыдан тиімсіз және учаскенің гидродинамикалық жүйесін бұзады. Алайда каротаж әдістерінің кемшілігі – олардың зерттеу тереңдігінің аздығы және тек ұңғымаға тікелей жақын жатқан аймақпен шектелуі.

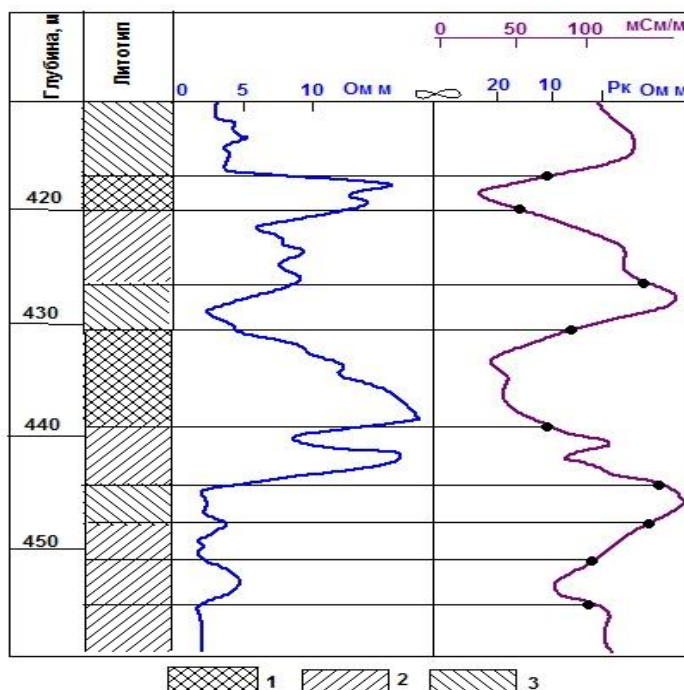
Қиманың литологиялық әртектілігі жоғары болған жағдайда, сүзгілік қасиеттердің өзгергіштігін және соған сәйкес технологиялық ерітінділердің ұңғымалараралық кеңістіктегі таралуын тек каротаж мәліметтері бойынша анықтау қиынға соғады. Бұл кемшіліктерді жою үшін қолданылып жүрген геофизикалық әдістер кешенін ұңғымалараралық зерттеулермен толықтыруға болады [1].

Таужыныстарының геологиялық қимасын ұңғымалық әдістер арқылы зерттеу кезінде кеңінен қолданылатын физикалық қасиеттердің бірі – электр тогын өткізу қабілеті. Таужыныстарының электрлік қасиеттерін, яғни өткізгіштігі мен диэлектрлік өтімділігін зерттеу

үшін электромагниттік каротаж әдісі қолданылады. Бұл әдіс электромагниттік өріс элементтерін өлшеуге негізделген.

Электромагниттік каротаждың түрлерінің ішінде тәжірибеде кеңінен қолданылатыны – индукциялық каротаж (ИК). Ол ұңғыманы кесіп өтетін таужыныстарының меншікті электр өткізгіштігін зерттеуге арналған.

Индукциялық каротажда тіркелетін көрінерлік меншікті өткізгіштік қисығы таужыныстардың орташа өткізгіштігінің өзгерісін іс жүзінде сызықтық түрде бейнелейді. Бұл қисық көрінерлік меншікті кедергі қисығына қарама-қарсы бағытталған және шамамен гиперболалық кедергі шкаласына сәйкес келеді. Соның нәтижесінде меншікті кедергісі төмен таужыныстар аймағында қисықтың дифференциациясы артады, ал меншікті кедергісі жоғары таужыныстар аймағында қисық біршама тегістеледі.



Меншікті кедергінің әсері: 1 – жоғары; 2 – орташа; 3 – төмен, КС және ИҚ графиктеріне. ИҚ қисығындағы нүктелер қабаттардың шекараларына сәйкес келеді

Сурет 1 - Индукциялық каротаж диаграммасы бойынша кесуді бөлшектеу

Меншікті кедергінің әсері: 1 – жоғары; 2 – орташа; 3 – төмен, КС және ИҚ графиктеріне. ИҚ қисығындағы нүктелер қабаттардың шекараларына сәйкес келеді

Рудалы қабаттардағы табиғи флюидтер технологиялық ерітінділермен алмастырылған кезде, таужыныстарының электрлік қасиеттерінде айтарлықтай өзгерістер байқалады. Бұл өзгерістер ұңғымалар арасындағы кеңістікті электромагниттік әдістермен зерттеу барысында тіркеледі.

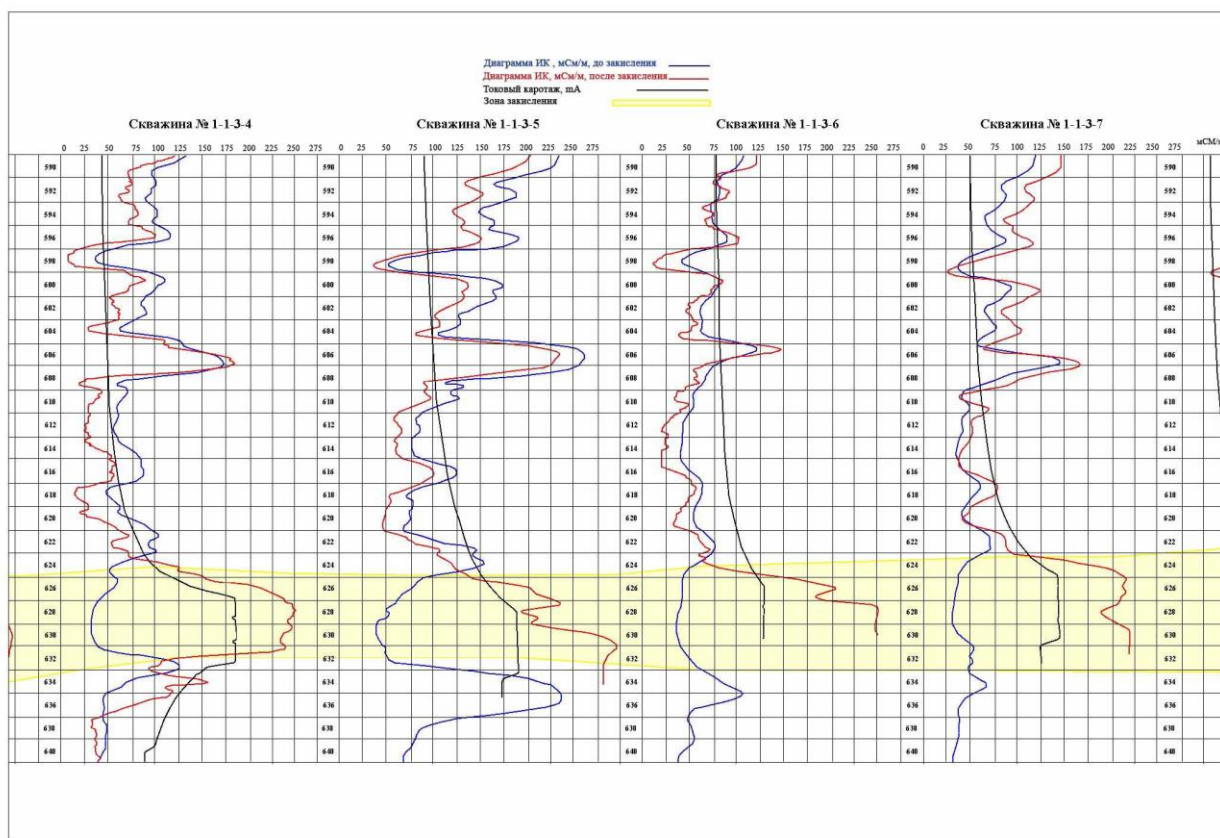
Алайда, уранды қышқылмен шаймалау кезінде қышқыл ерітінділерінің жоғары электр өткізгіштігі – шаймаланған тау жыныстарының кедергісін сипаттайтын негізгі фактор болып табылады.

Тотықтырғыш әсерінен кейін қышқылданған интервалдағы геоэлектрлік кескін айтарлықтай өзгереді: бұрын жоғары кедергіге ие өткізгіш жыныстардың меншікті кедергісі төмендеп, өткізбейтін саздардың кедергісінен де аз мәнге дейін түседі.

Индукциялық каротаж (ИК) өнімді қабаттардан жоғары жатқан горизонттарға технологиялық ерітінділердің өту аймақтарын анықтауда және ұңғымалар арасындағы шаймалау

процесі кезінде ерітінділердің таралуын бағалауда негізгі әдіс болып табылады. Қышқылдандыруға дейін жүргізілген ИК нәтижелері кейінгі қышқылдандыру және пайдалану кезеңдеріндегі интерпретация үшін бастапқы дерек ретінде қолданылады.

Келесі суретте қимада (3-сурет) технологиялық блок бойынша шаймалау ерітінділерінің қозғалысы да айқын көрінеді. Аталған блокта қайталама индукциялық каротаж қышқылдандырудан бір жыл өткен соң жүргізілген. Суретте көк сызықтар – блок қышқылдануға дейінгі ИК мәліметтерін, ал қызыл сызықтар – қышқылданудан кейінгі, блокты өңдеу кезеңіндегі ИК нәтижелерін көрсетеді. Сары түспен қатардың қышқылданған интервалы, яғни технологиялық қатардың тиімді қалыңдығы ($M_{эфф}$) белгіленген [3].



Сурет 2 - Технологиялық блок қышқылданғанға дейін және одан кейін алынған ИК нәтижелері (Харасан кен орнының мысалында)

Осылайша, блокты қышқылдандырудан кейін жүргізілген индукциялық каротаж (ИК) деректері келесі мүмкіндіктерді береді:

- шаймалау ерітіндісі әсер етпеген, нашар өткізгіш таужыныстары аймақтарында орналасқан уран кенінің қамтылмаған бөліктерін анықтау;
- өндіруге қолжетімді рудалық интервалды дәл айқындау арқылы қорларды есептеу дәлдігін арттыру;
- ұңғымалар арасындағы кеңістікте шаймалау ерітіндісінің таралу динамикасын зерттеу;
- технологиялық блоктың шекарасынан тыс жерлерге технологиялық ерітінділердің ағуын анықтау.

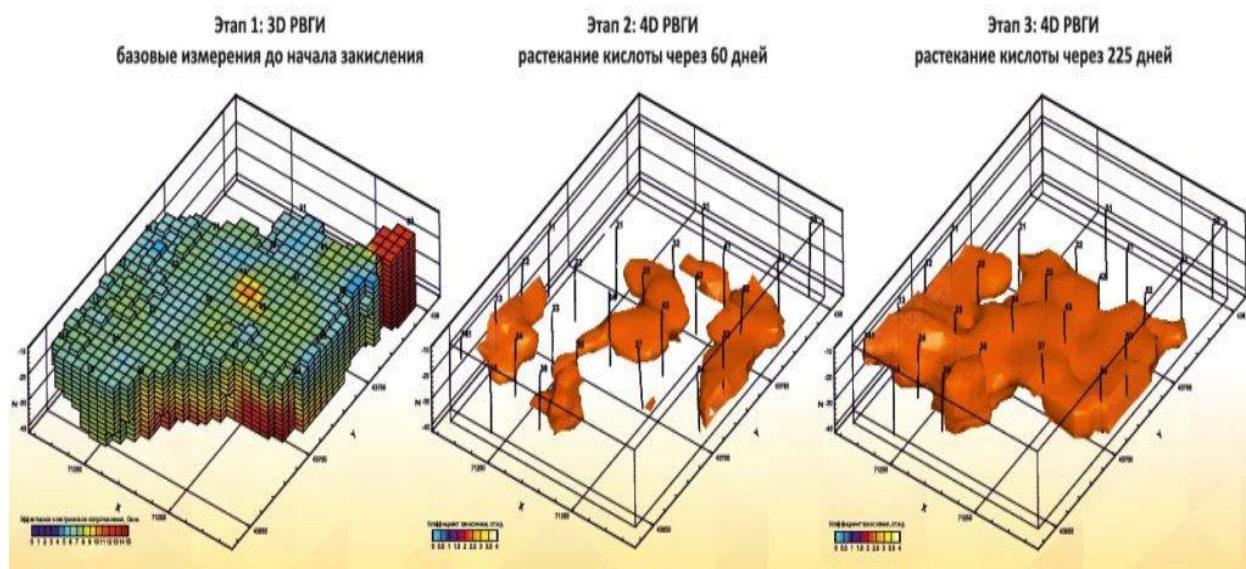
Технологиялық блоктарды игеру барысында, шаймалау үдерісінде ИК әдісі интервалдарды бөліп көрсету және шаймалау сапасын бағалау үшін негізгі әдіс болып табылады. Алайда белгілі болғандай, каротаж әдістерінің елеулі кемшілігі – олардың зерттеу тереңдігінің аздығы, яғни

зерттеу аймағы ұңғыма қабырғасына тікелей жанасып жатқан жыныстармен ғана шектеледі. Каротаж ұңғымалараралық кеңістіктегі жыныстардың литологиялық құрылымы туралы толық ақпарат алуға мүмкіндік бермейді.

Ұңғымалараралық кеңістікті зерттеуге арналған электрлік барлау әдістерінің ішінде, ең перспективалы әдістердің бірі – радиотолқынды сканерлеу әдісі. Бұл әдіс таужыныстардың электрлік қасиеттерінің өзгеруіне жоғары сезімталдыққа ие және әлсіз контрастты, шағын өлшемді әртектіліктерді ажыратуда жақсы шешуші қабілетімен ерекшеленеді. Ұңғымалараралық кеңістікті радиотолқынды сканерлеу әдісі электромагниттік толқындардың таралу жолындағы таужыныстар тарапынан жұтылу қарқындылығын зерттеуге негізделген.

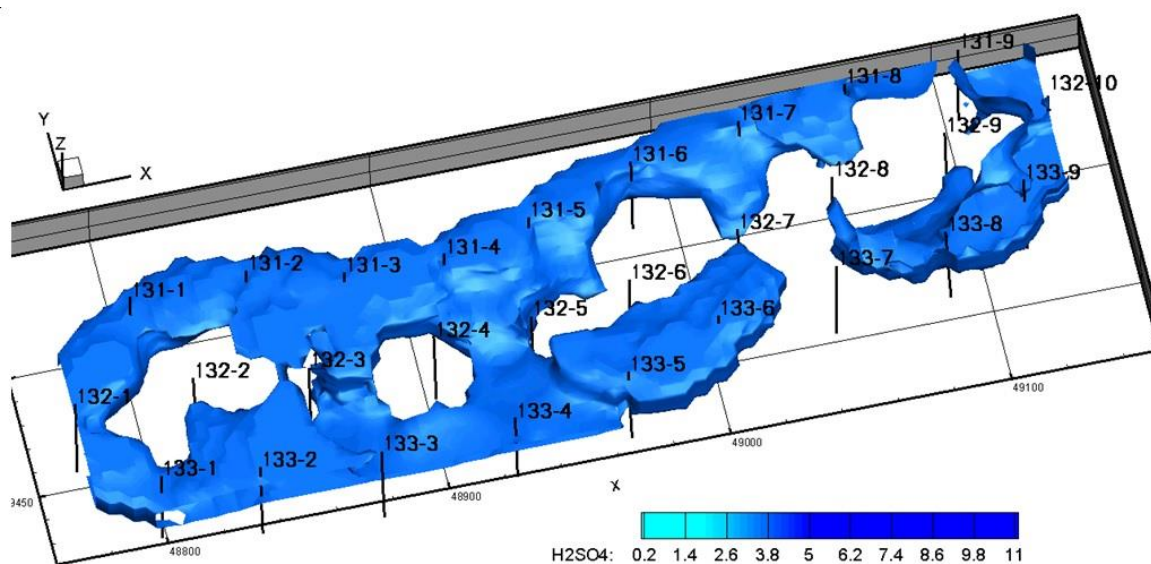
Дипольді көздің радиотолқынды өрісімен таужыныстарды бірнеше рет және әртүрлі бұрыштардан сканерлеу, таужыныстардың табиғи жату жағдайындағы электрлік қасиеттерін және олардың зерттеліп отырған орта көлеміндегі таралуын анықтауға мүмкіндік береді.

Радиотолқынды сканерлеу әдісімен мониторингтік зерттеулер жүргізу арқылы шаймалау ерітінділерінің таралу біркелкілігін бағалауға, олардың басым таралу бағыттарын нақтылауға, таужыныстардың литологиялық-фильтрациялық қасиеттеріне байланысты таралу заңдылықтарын анықтауға, әлсіз қышқылданатын аймақтарды, сондай-ақ шаймалау сұйықтығының шамадан тыс жиналатын аймақтарын белгілеуге мүмкіндік береді (сурет-1).



Сурет 3 - Өндірістің бастапқы кезеңінде технологиялық блок кеңістігінде жұмыс сұйықтығының таралу үдерісін визуализациялау[2]

Кенді сыйыстырушы қабаттардағы табиғи флюидтердің технологиялық ерітінділермен орын ауыстыруы таужыныстардың электрлік қасиеттерінің айтарлықтай өзгеруімен қатар жүреді. Бұл өзгерістерді ұңғымалараралық кеңістікті электромагниттік әдістермен зерттеу барысында сенімді түрде тіркеуге болады. Уранды қышқылмен шаймалау кезінде қышқыл ерітінділерінің жоғары электрөткізгіштігі қышқылданған таужыныстар бөліктерінің кедергісін сипаттайтын негізгі фактор болып табылады.



Сурет 4 - Қатарлы ұңғымалар жүйесі бар технологиялық блок кеңістігіндегі әлсіз қышқылданған учаскелерді мониторингтік зерттеулер деректері бойынша бөліп көрсету [2].

Алынған сандық көрсеткіштердің ұңғымалараралық кеңістікте ерітінділердің таралу үдерісінің көрнекі визуализациясымен үйлесуі технологтарға кенді игеру үдерісін басқаруда, реагенттерді ұтымды пайдалануда, алынатын қорларды нақтылауда жаңа мүмкіндіктер ашады (сурет-2).

Геофизикалық бақылаулардың нәтижелерін интерпретациялау сыйыстырушы таужыныстардың табиғи әртекстілігі әсерінен күрделене түседі. Шу-Сарысу ойпатының уран кен орындарында кенсыйыстырушы қабаттар құмтастар, саз, алевролит және карбонатталған құмтас қабаттарының ауысуымен сипатталады, бұл меншікті кедергі мен тығыздықтың өзгеруімен сипатталады. Сондықтан, ұңғымааралық өлшеу деректерін талдау кезінде таужыныстарының литологиялық ерекшеліктері мен сүзгілеу қасиеттерін ескеру қажет. Бұл ерітінді ағындарының бағытын нақтылауға және қалдық кен аралықтары болуы мүмкін өткізгіштігі төмен аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді.

Жер асты шаймалау кезінде ұңғымааралық кеңістікті зерттеудің геофизикалық әдістерін қолдану уран өндірудің технологиялық циклінің ажырамас бөлігі болып табылады. Уран кенорындарын жерасты шаймалау кезінде индукциялық каротажды және ұңғымааралық радиотолқынды сканерлеуді кешенді қолдану ұңғымааралық кеңістікті зерттеудің жоғары ақпараттылығын қамтамасыз етеді. Бұл өз кезегінде таужыныстарының электр өткізгіштігі мен меншікті кедергісін өзгеру нәтижесі арқылы өткізгіштігі төмен сыйыстырушы таужыныстарды және өңделмеген учаскелердің аймақтарын анықтауға, шаймалау ерітінділерінің біркелкі таралуын бақылауға, технологиялық блоктың контурынан ағып кетуді анықтауға, фильтрациялық қасиеттерінің үш өлшемді модельдерін құруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ерітінділердің қозғалыс бағытын нақтылауға, өнімді қабаттардың қышқылдану тиімділігін бағалауға, шаймалау процесі жүрмейтін "өлі" аймақтарды анықтауға, геофизикалық деректерді түсіндірудің сенімділігін арттыру мүмкіндік береді. Аталаған әдістерді кешенді қолдану ұңғымаларды орналастыру жүйесін оңтайландыруға және экологиялық тәуекелдерді азайту, оның нәтижесінде жер қойнауынан уран өндірудің толықтығы мен тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі:

1. Истратов В.А, Колбенков А.В., Лях Е.В., Перекалин С.О. Радиоволновой метод мониторинга технологических процессов в межскважинном пространстве // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2009 г, №2, Вып. 14
2. 4D Геоэлектрический мониторинг природных и технологических процессов <https://radionda.ru/4d-%D1%80%D0%B2%D0%B3%D0%B8/>
3. Темирханова Р.Г. «Совершенствование методики определения геолого – геотехнологических параметров рудовмещающих пород по данным индукционного каротажа» диссертация, Алматы, 2017г.
4. Борисов Б.Ф., Истратов В.А., Лысов М.Г. № 2084930. Способ радиоволнового межскважинного просвечивания.
5. Bassiouni Z. Geophysics and geosequestration. P. II. C. 11: Well Logging. – Cambridge: Cambridge University Press, 2019.
6. Подрезов Д.Р. Разработка и идентификация моделей оценки запасов рудника подземного скважинного выщелачивания урана: дис. ... канд. тех. наук. – М., 2021.
7. Fractal kinetic characteristics of hard-rock uranium leaching with sulfuric acid / S. Zeng, J. Li, K. Tan, S. Zhang // Royal Society Publishing. – 2018. – № 5. – P. 2–13. URL: <https://doi.org/10.1098/rsos.18040> (accessed 12.03.2022).
8. Технологический регламент проведения геофизических исследований. – Нур-Султан: АО «НАК Казатомпром», 2021.

Ә. Исағали¹, Н. Михайлова²

¹ Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет им. К. И. Сатпаева
г. Алматы, Казахстан

^{1,2} Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации филиала
ИГИ РГП НЯЦ РК (Алматы, Казахстан)

О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ НОВОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ В ЗАПАДНОМ КАЗАХСТАНЕ

Аннотация. Территория Западного Казахстана традиционно считалась слабосейсмичной, что во многом связано с редкой сетью наблюдений. В работе обобщены новые данные мониторинга и результаты двух полевых экспериментов с временными станциями на плато Устюрт и Мангышлаке. Показано, что текущая конфигурация сети (в т.ч. узлы SNECCA и станции НЯЦ РК) фиксирует региональные и телесейсмические события, но недостаточна для устойчиво точной локализации в южной и центральной частях региона. По агрегированным материалам выполнена перелокализация (iLoc, RSTT, Bayesloc), выделены зоны минимального шума. Кейс ощутимого землетрясения Бузачи 25.04.2023 демонстрирует влияние геометрии сети на ошибки эпицентра. Обоснована необходимость новой высокочувствительной группы на Устюрте для повышения качества регистрации и оценки сейсмоопасности.

Ключевые слова: Западный Казахстан, сейсмический мониторинг, сейсмический шум, локализация очагов, iLoc, землетрясение, SNECCA, Бузачи.

Введение. Территория Западного Казахстана считается слабосейсмичной, однако этот вывод основан на крайне ограниченных данных из-за отсутствия в регионе систематического сейсмического мониторинга. [1] Исторически сейсмическое зонирование проводилось на недостаточной фактологической базе. Единственным исключением в советский период были эпизодические работы Комплексной сейсмологической экспедиции (КСЭ), устанавливавшей станции на год лишь в районе хребта Мугоджары. Значительные территории, такие как Мангышлакский полуостров и Прикаспийская впадина, вообще не охватывались наблюдениями.

Международные системы мониторинга последних десятилетий регистрируют в основном сильные землетрясения, а для фиксации слабых событий в регионе недостаточно станций (Актюбинск, Акбулак). Это приводит к ошибкам в локализации гипоцентров.

Ситуация не улучшилась кардинально и после установки в 2022 году трёх новых станций по проекту SNECCA. Их охват остаётся частичным, так как они расположены преимущественно на севере региона, оставляя большие территории без инструментального наблюдения.

Помимо дефицита сети, существуют методические проблемы. Отсутствие региональных годографов и калибровочных функций затухания волн ведёт к значительным ошибкам в определении location и энергетики очагов. Это, в свою очередь, не позволяет достоверно различать природу событий: природные землетрясения, карьерные взрывы, техногенные процессы на месторождениях или потенциальные события в районах прошлых ядерных испытаний.

Трудности создания каталога. Дополнительной проблемой является формирование регионального каталога землетрясений, что превращается в серьёзное препятствие для создания достоверной информационной базы, необходимой при оценке сейсмической опасности. [2] В условиях недостаточного числа локальных наблюдений в научных исследованиях традиционно

используются преимущественно данные международных каталогов, которые фиксируют главным образом сильные события и не отражают полной картины сейсмичности региона.

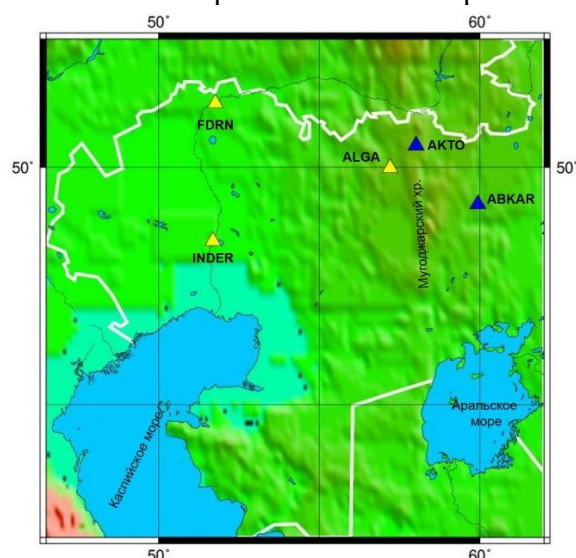


Рисунок 1 - Карта расположения современных стационарных сейсмических станций, АКТО, ABKAR – сеть KZ, FDRN, ALGA, INDER – сеть QZ (SNECCA).

На данный момент наиболее представительным и точным источником информации считается каталог землетрясений, созданный в рамках проекта Международного научно-технического центра (ISTC) **CASHA-BU**. [3] В ходе работ по данному проекту был проведён масштабный сбор исторических аналоговых и современных цифровых сейсмических бюллетеней, что позволило сформировать новый комплексный каталог. Основой расчётов стало формирование высококачественной базы данных путём перелокализации событий в скомпилированном бюллетене с применением современного алгоритма определения местоположения по одному событию **iLoc** (Bondár & McLaughlin, 2009a; Bondár & Storchak, 2011), использующего прогнозы времени пробега согласно глобальной 3D-региональной сейсмической модели **RSTT** (Myers et al., 2010; Begnaud et al., 2021a, 2021b).

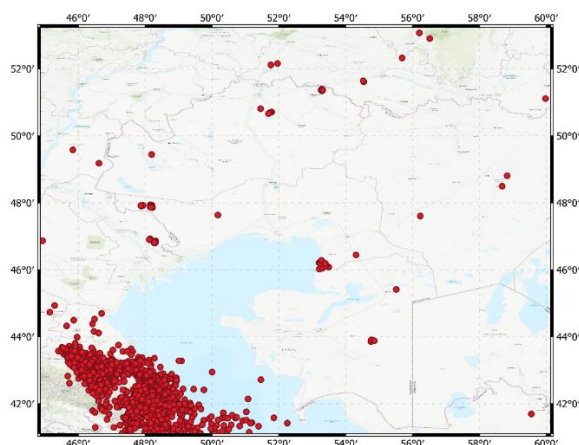


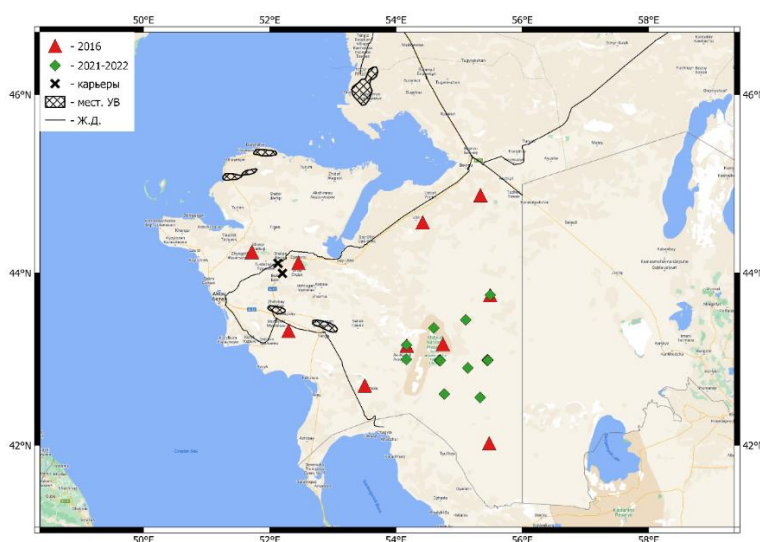
Рисунок 2 - Карта данных каталога землетрясений CASHA-BU, локализованных с помощью Bayesloc

Далее, на основе вручную проверенных координат, определённых с помощью iLoc, локации событий региона были переопределены с применением алгоритма **Bayesloc** — нелинейного метода оценки параметров множественных событий (рисунок 2). Такой подход обеспечил более высокую точность определения гипоцентров и позволил сформировать комплексный каталог, наиболее полно отражающий сейсмическую активность региона.

Очень важные эксперименты по изучению условий регистрации сейсмических колебаний и перспектив создания новой сейсмической группы на плато Устюрт были проведены ИГИ НЯЦ РК совместно с Мичиганским государственным университетом (США) под руководством Кевина Макки.

Первый этап исследований проходил с 19 августа по 12 сентября 2016 года и был направлен на изучение характеристик сейсмического шума на десяти различных площадках. (рис. 3, красные треугольники). Эти работы позволили оценить фоновый уровень сейсмического шума и выявить наиболее перспективные площадки для размещения постоянных станций.

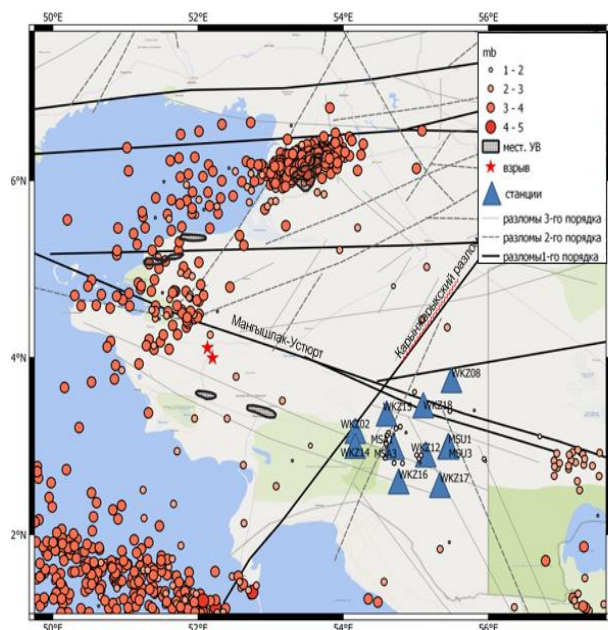
Второй этап проводился в юго-восточной части Мангистауской области, к востоку от полуострова Мангистау, и продолжался в течение года — с сентября 2021 по октябрь 2022 г. В этот период было установлено 16 временных станций (рис. 3, зелёные треугольники), что позволило собрать уникальный материал о пространственной изменчивости сейсмического шума и условиях его регистрации в различных геолого-геоморфологических обстановках.



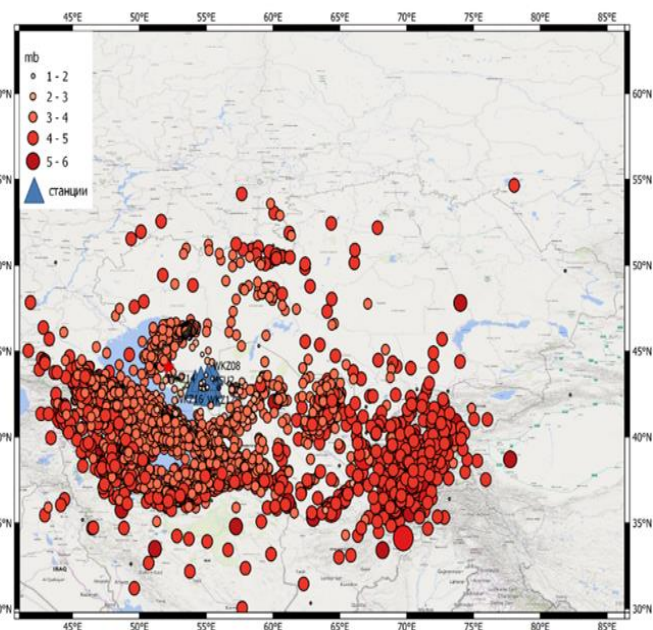
Красные треугольники – сейсмические станции 2016г.; зеленые ромбики – сейсмические станции 2021–2022 гг.; сплошная оранжевая линия – крупные шоссе, черная линия – железные дороги, заштрихованные области – нефтегазовые месторождения, крестики – работающие карьеры

Рисунок 3 - Карта расположения полевых сейсмических станций во время эксперимента

В результате обработки данных был составлен региональный бюллетень, содержащий параметры 6020 землетрясений. Проведена оценка сейсмических шумов, выявлены площадки с их минимальным уровнем и определено влияние сезонных факторов, таких как шторма на Каспии. Станции зарекомендовали себя высокоэффективными, зафиксировав за год 6020 региональных и 4622 телесеизмических события. Эксперимент позволил выявить новые сейсмически активные зоны и подтвердить ранее прогнозируемые опасные участки, а также регистрировать техногенные события на месторождениях. [4]



Карта эпицентров сейсмических событий и
тектоническая характеристика района



Карта эпицентров сейсмических событий по
данным ручной локализации (6020)

Рисунок 4 - Результаты обработки данных регистрации, полученных в течение эксперимента 2021-2022 гг.

Полученные результаты убедительно демонстрируют необходимость создания в Западном Казахстане постоянной сейсмической сети. Эти данные являются важным шагом для оптимизации размещения новых станций, особенно в южной и центральной частях региона, и лягут в основу будущей системы для точного определения параметров землетрясений и оценки сейсмической опасности.

После завершения эксперимента на исследуемой территории было зафиксировано несколько землетрясений. Наиболее сильное из них ($mb=4,5-5,0$) произошло 25.04.2023 в районе полуострова Бузачи и ощущалось в Мангистауской области. Расчёты показывают, что в этом же районе возможны более сильные события ($M_w=5,0-5,5$), которые могут привести к интенсивности толчков свыше 6 баллов.

Оперативные данные от сети станций НЯЦ РК поступили быстро, но из-за большого расстояния (более 620 км) и неоптимального расположения станций эллипс ошибок локации составил 55 км. Такая неопределённость не позволяет точно идентифицировать сейсмогенную зону, ответственную за это землетрясение.

Для уточнения были привлечены данные 122 глобальных станций и использован алгоритм Пос+RSTT. Это позволило значительно повысить точность: эллипс ошибок сократился до 5,8 км, а глубина гипоцентра была определена как 10 км. Данное решение хорошо согласуется с расчётами NEIC Геологической службы США. Согласно актуальным картам, эпицентр землетрясения расположен между двумя сейсмогенными зонами — Центрально-Мангышлакско-Устюртской и Южно-Эмбенско-Мугоджарской. Позднее, 2 декабря 2024 года, в этом же районе было зарегистрировано новое землетрясение с $K=9,6$, что подтверждает его сейсмическую активность. [5]



IDC — Международный центр данных (Вена); NEIC — Национальный центр информации о землетрясениях Геологической службы США; MOS — Геофизическая служба РАН; GFZ — Центр исследований Земли, Германия; KNDC — Центр данных ИГИ НЯЦ РК

Рисунок 5 - Карта эпицентров землетрясений 25.04.2023 г. по данным международных и региональных сейсмологических центров из.

Таблица 1 - Инструментальные параметры землетрясения 25 апреля 2023 г. по данным различных сейсмологических центров

N	Агентство	t0	φ°	λ°	h	S _{maj}	S _{min}	Nsta	Магнитуда
1	IDC	07:25:00.7	44.892	52.322	0 f	9.0	6.0	35	mb=4.2, ML= 4.7
2	GFZ	07:25:02.7	44.929	52.445	10 f	6.2	4.5	102	mb=4.6, ML=5.3
3	NEIC	07:25:02.2	44.889	52.359	10	10.3	9.3	94	mb = 4.5
4	ГС РАН	07:25:04.1	44.813	52.549	10	9.8	4.9	52	mb = 4.5
5	KNDC, оперативное	07:25:07.7	44.949	53.463	0	55	32	13	mb=5.0, mpv=4.2 K = 10.5
6	KNDC iLoc+ak135	07:25:01.6	44.863	52.296	10.9	4.3	2.9	122	mb=4.6, ML=4.8 mB=1.7
7	KNDC, iLoc+RSTT	07:25:01.9	44.893	52.389	10	5.8	3.7	122	mb=4.6, ML= .8 mB = 1.6

Выводы

Результаты функционирования в последние два десятка лет станций НЯЦ РК, входящих в глобальные сети МСМ ОДВЗЯИ и АФТАС, расположенных на севере Западного Казахстана, уверенно демонстрируют наличие во всем регионе сейсмических событий разной природы, свидетельствующих о наличии здесь реальной сейсмической опасности. Это и природные события с фактической интенсивностью в 5 баллов, и техногенные события с интенсивностью проявления в 4 балла. Здесь же находятся места проведения в прошлом так называемых мирных ядерных взрывов, вблизи которых отмечены слабые толчки. Но отсутствие в регионе хорошей сети приводит к значительным ошибкам при определении параметров сейсмических событий и затрудняет формирование достоверной информационной базы для оценки сейсмической опасности.

Следует отметить и трудности, а порой невозможность проведения анализа данных с целью определения природы событий – распознавания взрывов и землетрясений, представляющей важность для работ по мониторингу ядерных испытаний и контроля за выполнением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний.

Эксперименты с временными сейсмическими станциями подтвердили перспективность региона для создания здесь высокочувствительной сейсмической группы для усиления эффективности мониторинга и показали необходимость расширения сети инструментальных наблюдений. На основании полученных данных рекомендуется создание новой сейсмической группы в южной части Западного Казахстана на плато Устюрт. Это позволит повысить эффективность регистрации событий, улучшить локализацию очагов и повысить точность параметризации. Кроме решения национальных задач по оценке сейсмической опасности, создание новой сейсмической группы обеспечит интеграцию ее данных в Международную систему глобального мониторинга ядерных испытаний, что имеет принципиальное значение для повышения национальной и международной безопасности.

Список литературы:

1. Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н. К проблеме оценки сейсмической опасности Западной Казахстана // Вестник НЯЦ РК. - 2010. - Вып. 4. С. 142-147.
2. Строительство в сейсмических районах (СНиП РК В. 1.2-4-48). Комитет по жилищной и строительной политике Министерства энергетики, индустрии и торговли РК / Алматы, 1998. 39 с.
3. Кондорская Н.В., Уломов В.И. ред. Специализированный каталог землетрясений Северной Евразии с древнейших времен до 1990 г. (SECNE) – М.: Фонды ИФЗ РАН, 1995.
4. Михайлова Н.Н., Исагали А.А. Новые данные о сейсмичности территории Западного Казахстана // Вестник Института сейсмологии НАН КР.- 2023. - № 2(22).- С. 29-35..
5. Mikhailova, N.N., Mukambayev, A.S., Velikanov, A.Ye. and Issagali, A.A. (2025) The Earthquake Occurred in the West of Kazakhstan, Buzachy Peninsula on April 25, 2023. Open Journal of Earthquake Research, 14, 49-66. <https://doi.org/10.4236/ojer.2025.142005>.

Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет им. К. И. Сатпаева
г. Алматы, Казахстан

ПЕРЕСМОТР СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ КАК ПУТЬ К ДОПОЛНИТЕЛЬНОМУ РЕСУРСНОМУ ПОТЕНЦИАЛУ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЗДНЕЙ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ

Аннотация. Сегодня снижение добычи углеводородов в ключевых нефтегазовых провинциях становится всё более ощутимым из-за отставания геологоразведочных работ от темпов разработки месторождений. В ближайшие годы добыча может ежегодно падать на 5-6 %, что усиливает значимость технологий повышения нефтеотдачи и необходимость активного восполнения запасов. Для страны развитие геологоразведки приобретает критическое значение, поскольку расширение обрабатывающего сектора не компенсирует сокращение добычи.

В этих условиях особенно остро встаёт вопрос о стратегиях для мелких и средних недропользователей, работающих, например, в Мангышлаке или Тургайской впадине, где глубины осадочного разреза ограничиваются 5-6 км. Данная работа перекликается с ранее опубликованной статьёй «The role of seismic exploration and its impact on geology and field development» (А. М. Даутов, 2020).

Проблема актуальна для всех нефтегазодобывающих регионов страны. Но если Прикаспийская впадина получила международную поддержку (проект «Евразия»), то потенциал других бассейнов, например Тургайского, остаётся без аналогичного внимания. Поэтому компании среднего и малого масштаба вынуждены искать возможности прироста запасов в пределах освоенных глубин.

Потенциал Тургайского и других бассейнов остаётся недооценённым, однако полученные нами результаты дают основания для осторожного оптимизма на горизонте ближайшего десятилетия.

Ключевые слова: Западный Казахстан, сейсморазведка 3D, Тургайский бассейн, структурно-динамический анализ.

Введение. В условиях снижения продуктивности месторождений поздней стадии разработки и ограниченных возможностей прироста запасов особенно актуальным становится поиск дополнительных ресурсов за счёт углублённого анализа уже имеющегося геолого-геофизического материала. Тургайский бассейн, обладая сложным строением и сравнительно небольшой мощностью осадочного разреза, относится к регионам, где традиционные методы разведки часто оказываются недостаточно эффективными. При этом значительная часть структур была поставлена на баланс на основе сейсмических материалов прошлых десятилетий, что объективно ограничивает качество геологической модели и точность прогнозов [1,2,5].

Современные методики пересмотра и повторной интерпретации сейсмических данных, включая обновлённые алгоритмы скоростного анализа, атрибутные технологии и цифровую переработку, дают возможность уточнить положение ловушек, переоценить контуры залежей и выявить дополнительные перспективные объекты в пределах освоенных глубин. Для мелких и средних недропользователей, работающих в Тургайском бассейне, такой подход становится одним из немногих реальных инструментов повышения ресурсного потенциала без значительных капитальных затрат [3,4].

Настоящая работа рассматривает возможности применения современных технологий повторной интерпретации сейсмических данных и демонстрирует их эффективность на примере

конкретного месторождения Тургайского бассейна. Полученные результаты показывают, что даже в зрелых нефтегазовых провинциях существует потенциал для выявления недоучтённых объектов и повышения извлекаемых запасов.

Целью исследования является выявление дополнительного ресурсного потенциала месторождений поздней стадии разработки Тургайского бассейна путём повторной интерпретации и углублённого анализа ранее полученных сейсмических данных с применением современных технологий обработки и моделирования.

Задачи исследования направлены на анализ текущего состояния геолого-геофизической изученности месторождений Тургайского бассейна и определение ключевых ограничений, связанных с использованием устаревших сейсмических материалов; проведение переобработки доступных сейсмических данных с использованием современных методов цифровой фильтрации, скоростного анализа и атрибутивных технологий; выполнить повторной интерпретации структурных и литолого-стратиграфических особенностей разреза для уточнения геологической модели выбранного месторождения; выделения потенциальных ловушек, неучтённых зон нефтегазонасыщения и перспективные участки в пределах освоенных глубин; оценки дополнительного ресурсного потенциала, связанного с уточнённой геологической моделью и выявленными объектами.

Краткое описание технологического подхода. Исследуемый объект расположен в Кызылординской области, на границе с Карагандинской областью. Месторождение прошло полный цикл – от поисково-разведочных работ до зрелой стадии разработки, и сегодня находится на этапе падения добычи. С учётом текущей экономической ситуации и снижения мировых цен на нефть компании пришлось вывести из эксплуатации 35 обводнённых и малодебитных скважин. Несмотря на это, геологическая служба и руководство продолжили поисковые работы в пределах уже разрабатываемой площади.

Основной целью данной работы является показать, что наличие 3D-данных не является поводом считать потенциал сейсморазведки исчерпанным. Важно убедиться, что данные были корректно мигрированы и интерпретированы в домиграционной области (до суммирования), что требует более мощных вычислительных ресурсов, но позволяет значительно повысить точность [1].

Это связано с тем, что поведение амплитуд сильно зависит от литологии, пористости, термодинамических условий и насыщения флюидами. Существует четыре класса AVO-отклика песчаников, и лишь класс III можно уверенно выделить на суммированных данных. Поэтому анализ на этапе до суммирования является обязательным, поскольку после суммирования зависимость амплитуд от удаления сглаживается, и важные аномалии теряются. С учётом результатов анализа упругих свойств по данным скважин был выполнен динамический анализ домиграционных данных с применением синхронной инверсии угловых сумм, что позволило получить кубы продольного и поперечного импедансов.

Результаты. В интервале отложений верхней юры, по итогам объединённого структурного и динамического анализа, были выявлены два новых перспективных объекта, связанных с палеоруслами. Всего по площади встречается значительное количество русловых тел, однако именно инверсия домиграционных данных позволила классифицировать их по вероятности насыщения углеводородами. В результате из множества объектов были выделены два наиболее перспективных и рекомендованы к бурению.

На севере исследуемого сейсмического куба были пробурены две оценочные скважины (на рисунке зелёным цветом), расположенные в пределах рекомендованных русел разных направлений. Обе скважины вскрыли русловые отложения и дали фонтанные притоки нефти. Их расположение совпадает с участками пониженных значений VP/V_s , что указывает на возможное наличие стратиграфических экранов.

Для сравнения, на рисунке отмечена красным цветом скважина, пробурённая в пределах того же русла, но без учёта данных VP/Vs. По результатам ГИС вскрытые пласты оказались водоносными, и скважина была ликвидирована по геологическим причинам.

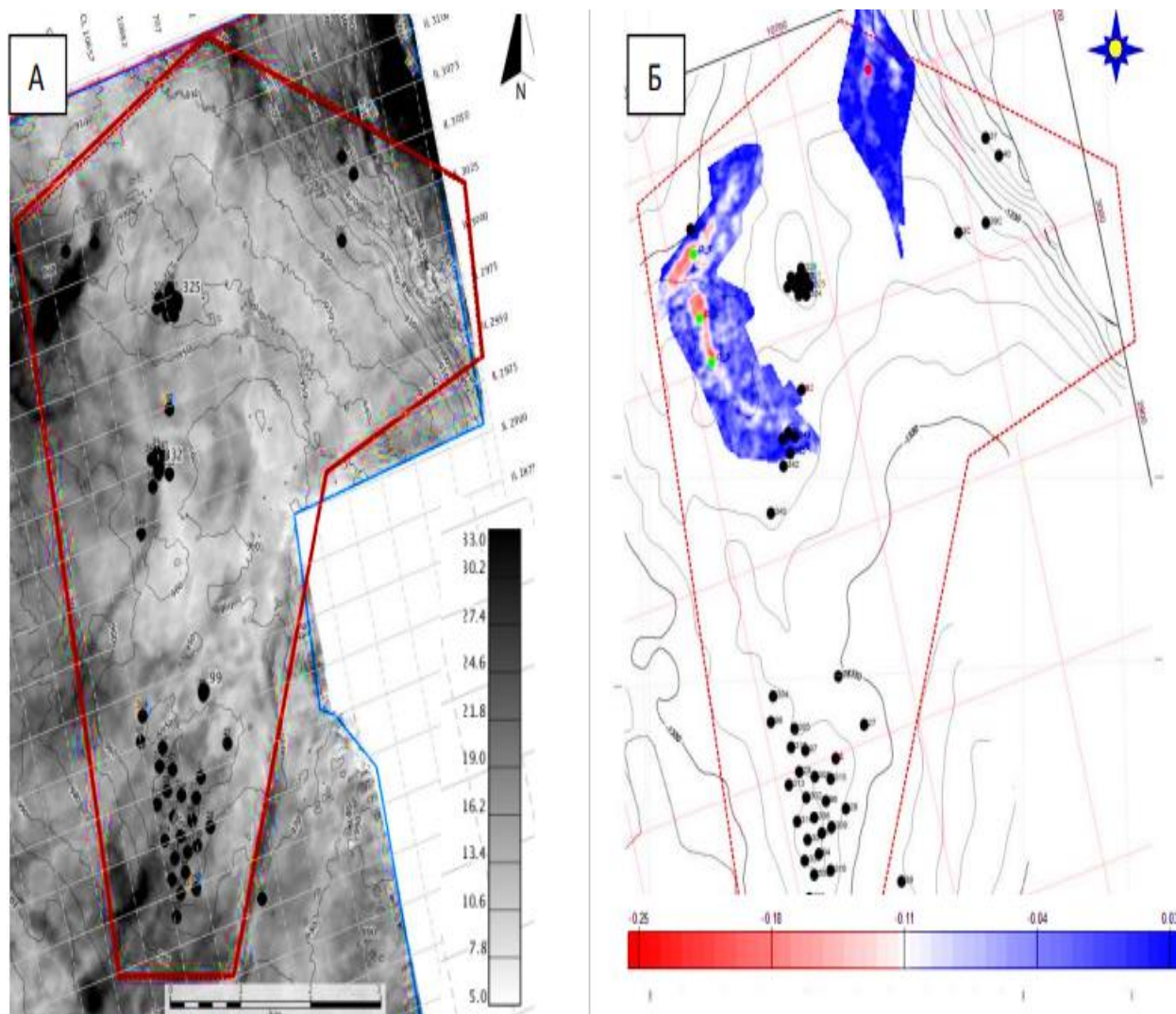


Рисунок 1 - Палеоруслу (темные линейные объекты) в верхней юре на основе спектральной декомпозиции (анализ после суммирования, А); палеоруслу в верхней юре в поле относительного V_p/V_s (анализ до суммирования, Б)

В настоящий момент две скважины добывают суммарно 30 – 35 т/сут по нефти при 2% обводненности. Третья скважина в очереди на бурение.

Другая скважина (Рисунок 2, красный символ, Б), пробуренная в восточной части месторождения, вскрыла перспективные коллектора горизонта М-2, выявив при этом новую залежь. Низкие значения V_p/V_s и структурная карта показывают совпадение планов. Скважина рекомендована к бурению по структурному фактору, так как свод структуры осложнен множеством тектонических нарушений, что не позволяет получить оптимальный срез V_p/V_s , но свод характеризуется благоприятными упругими свойствами.

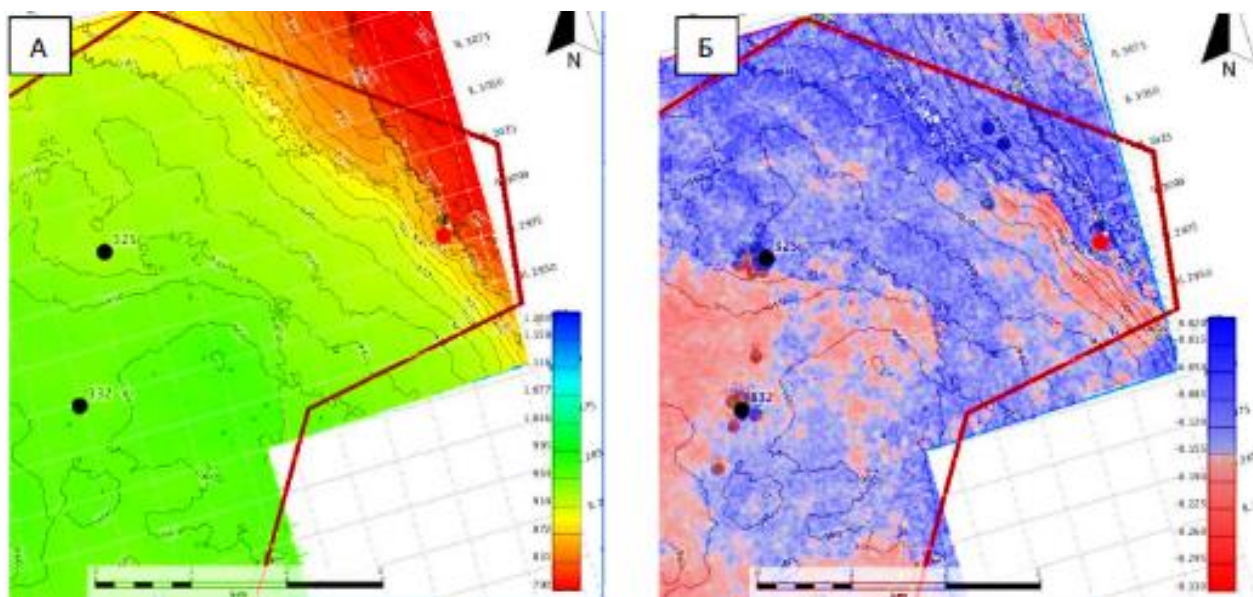


Рисунок 2 - Временная карта по коллектору М-2, А; Срез V_p/V_s по коллектору М-2 (Б)

Заключение. В результате пересмотра сейсмических данных (переобработка и переинтерпретация) в области до суммирования выявлены новые участки для бурения разведочных, оценочных и эксплуатационных скважин (всего рекомендовано 15 скважин, включая рекомендации на других площадях).

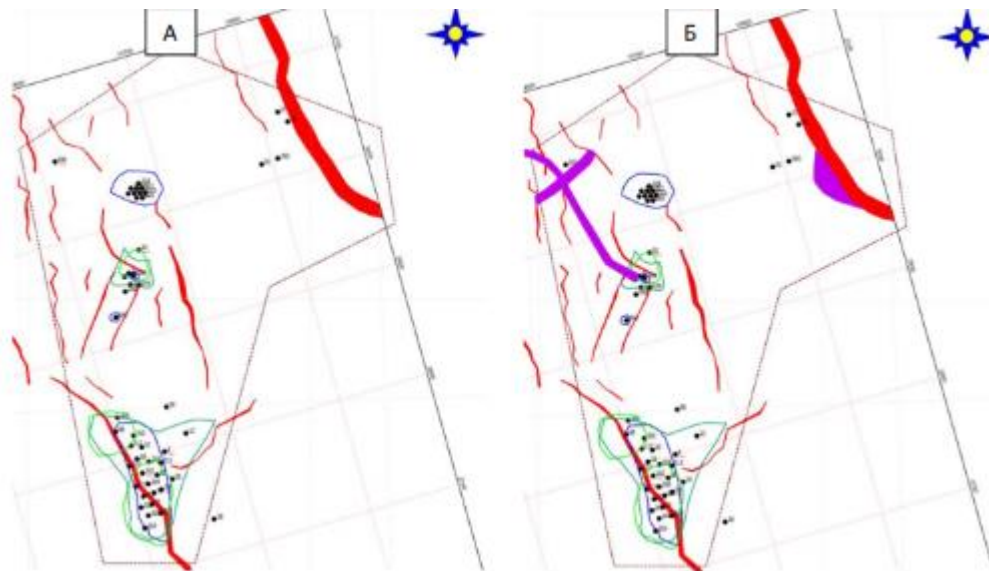


Рисунок 3 - А – Контуры нефтеносности по горизонтам М-1 (темно-зеленый контур), М-2 (светло-зеленый контур), Ю-0 и Ю-1 (синий контур) (А); контуры нефтеносности (сиреневый полигон) принятые по результатам углубленного анализа сейсмических данных до суммирования (Б)

Рисунок 3 отображает фрагмент тектонической схемы с нанесенными контурами нефтеносности по горизонтам М-1 (темно-зеленый контур), М-2 (светло-зеленый контур), Ю-0 и

Ю-1 (синий контур) при пересчете запасов по состоянию на 01.08.2008 г (А). Помимо ранее указанных, показывает и добавленные контуры нефтеносности (сиреневый полигон) принятые по результатам углубленного анализа сейсмических данных до суммирования, углеводородный потенциал которых также подтвердило и бурение.

Список литературы:

1. Даутов А. М. Роль сейсмической изученности и её влияние на геологию и разработку месторождений. Вестник нефтегазовой отрасли. 2020. № 3. С. 15-27.
2. Кутлин Е. А., Абишев С. Т. Геолого-геофизические особенности Тургайского бассейна и перспективы дальнейших поисково-разведочных работ. Геология и полезные ископаемые Казахстана. 2018. № 4. С. 42-56.
3. Сапаров А. Ж., Тлеубергенов Б. Т. Возможности уточнения геологических моделей месторождений поздней стадии разработки на основе переобработки сейсмических данных. Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19. № 2. С. 49-63.
4. Brown A. Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data. 7th ed. Tulsa: SEG, 2015. 647 p.
5. Yilmaz Ö. Seismic Data Analysis. Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data. 2nd ed. Tulsa: SEG, 2001. 2024 p.

СОДЕРЖАНИЕ

Калмагамбетов Ж.К., Дюсемалиева Л.М.

НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРО-УСТЬЮРТСКОГО БАСЕЙНА 4

Исенов С.М.

ТЕХНОЛОГИИ МУЛЬТИФОКУСИНГ СРЕДСТВО ВЫЯВЛЕНИЯ НЕАНТИКЛИНАЛЬНЫХ И ГЛУБОКО ЗАЛЕГАЮЩИХ ЛОВУШЕК 13

Воробьев А.Е., Воробьев К.А., Кушеков К.К.

ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ 19

Икимов Д.Ж., Аршамов Я.К.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РУДОНОСНОСТИ УЧАСТКА КАРАКУДУК (АЙТИКЕБИЙСКИЙ РАЙОН, АКТЮБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ) 25

А.Е.Аманбаева, Р.К.Смабаева

АЙРАҚТЫ КЕН ОРНЫНЫҢ ГЕОЛОГИЯСЫ МЕН ТЕКТНИКАСЫ 29

Кунанбаева-Ерханова З.А., Ерханов Б.Ж.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ КАРАБАС И ЕЕ ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ... 35

Касымова А.А., Жангирханова А., Тогизов К.С.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖАМАН-АЙБАТ ПО КОМПЛЕКСНЫМ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ 40

Асанбаев А.Б., Байбатша Ә.Б.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ, А ТАКЖЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УПРАВЛЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫМИ ПРОЦЕССАМИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РАЙГОРОДОК 45

Михайлова Н.Н., Мукамбаев А.С.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ ЯДЕРНЫЙ МОНИТОРИНГ И КРИОСЕЙСМОЛОГИЯ – НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СЕЙСМОЛОГИИ В КАЗАХСТАНЕ 54

Михайлова Н.Н., Мукамбаев А.С., Великанов А.Е., Узбеков А.Н.

О ПРИРОДЕ РЕГИСТРИРУЕМЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В «АСЕЙСМИЧНЫХ» РЕГИОНАХ КАЗАХСТАНА 60

Аукешев Б.К., Инкин Д.А., Есимханова Н.Д., Н.Беляков С.

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ АЭРОЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РУДНОЙ ГЕОФИЗИКИ 66

Кенбаев А., Омарова Г.М.

СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МАЛОСУЛЬФИДНЫХ
ЗОЛОТОКВАРЦЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 73

Нурмухамбетова Н.

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СПАССКОЙ
МЕДНОРУДНОЙ ЗОНЫ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН) 78

Пупина А., Асубаева С.К.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ГИС) И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ
РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОЗШАКОЛЬ 83

Жақып А., Китыева А., Узбекгалиев Р.

ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ
ВЕРХНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЮЖНО-ТОРГАЙСКОГО БАССЕЙНА..... 88

Аубакирова Ж.М., Элиакбар М. М.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ТИПА ФЛЮИДОНАСЫЩЕНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ ПО
ДАНЫМ ГИС В ТЕРРИГЕННЫХ ПЛАСТАХ АРЫСТАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ... 99

Сагидуллаев Т.Ю., Элиакбар М. М.

ОПТИМИЗАЦИЯ ОПИСАНИЯ ХОДА ЛУЧА В СРЕДЕ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ БАЙЕСОВСКОЙ
ИНВЕРСИИ ДАННЫХ МЕЖСКВАЖИННОГО ГЕОРАДАРА 107

Садуов А. Б., Абишев Э. А., Асирбек Н., Абдыров М. М., А., Шарапатов А.

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ПРОГНОЗЕ
АУ-АГ ОРУДЕНЕНИЯ - КАЛИБРОВАННЫЕ КАРТЫ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ С КОНТРОЛЕМ
ОБЛАСТИ ПРИМЕНИМОСТИ (НЕВАДА, США) 114

Абишев Э. А., Муратов С. К., Абдыров М. М., Шарапатов А.

МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОЙ
МИНЕРАЛИЗАЦИИ КАЛБА-НАРЫМСКОГО ТЕКТОНИЧЕСКОГО БЛОКА 119

Әсірбек Н. Ә., Садуов Ә. Б., Абдыров М. М., Шарапатов Ә.

СИНТЕЗИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ УРАНОВЫХ ГОРИЗОНТОВ В ШУ-САРЫСУСКОЙ
ДЕПРЕССИИ 125

Жунусова Ж.К., Абилаханова А. О.

ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 04.03.2024 г. 130

Ж.И.Шоқбытов

МАҢҒЫСТАУ Өңірінде пайдаланудан шыққан мұнай-газ ұңғымаларын
ГЕОТЕРМАЛЬДЫ ЭНЕРГИЯ КӨЗІ РЕТІНДЕ ҚАЙТА БЕЙІМДЕУДІҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ
ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МҮМКІНДІКТЕРІ..... 133

Ұ.Қ.Түбірқұл, А.Е Аристанбеков

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ БАРЛАУ ӘДІСТЕРІНІҢ ДАМУЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ
ЗАМАНАУИ ҚОЛДАНЫСЫ 138

<i>Б.П.Сүйрибаев, Ж.О.Оразалиев</i> МАҢҒЫСТАУ АЙМАҒЫНЫҢ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ КӨМЕГІМЕН ГЕОЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ КАРТАСЫН ЖАСАУ.....	142
<i>Н.М.Елемесов, А.Б.Сұлтансих</i> МАҢҒЫСТАУ АЙМАҒЫНДАҒЫ САРҚЫЛҒАН МҰНАЙ-ГАЗ ҰҢҒЫМАЛАРЫН ЭНЕРГИЯ ПОТЕНЦИАЛЫ БОЙЫНША САНДЫҚ ТАЛДАУ ЖӘНЕ САЛЫСТЫРМАЛЫ БАҒАЛАУ.....	147
<i>Ж.П.Тәджібаев, Б.Н.Палбек</i> МАҢҒЫСТАУ АЙМАҒЫНДАҒЫ ЖЕР АСТЫ ТҮЗ ҚАБАТТАРЫНЫҢ ГЕОТЕРМАЛДЫ ЖӘНЕ ЭНЕРГИЯ САҚТАУ ПОТЕНЦИАЛЫ	152
<i>Н.С.Қойбакаров, Б.Қ.Тасболатов</i> МАҢҒЫСТАУ АЙМАҒЫНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІНІҢ ИНФРАҚҰРЫЛЫМ МЕН ЭНЕРГИЯ ЖҮЙЕСІНЕ ЫҚПАЛЫ: АШЫҚ ДЕРЕКТЕР АРҚЫЛЫ САНДЫҚ ТАЛДАУ..	157
<i>М.Р.Карим, А.М.Алдаберген</i> МАҢҒЫСТАУ МҰНАЙ-ГАЗ КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ ИГЕРІЛУІНІҢ ТАРИХИ КЕЗЕҢДЕРІ МЕН ҚАЗІРГІ ТИІМДІЛІГІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ.....	162
<i>Семеригова Д., Омарова Г.М.</i> К ВОПРОСУ О РЕДКОМЕТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ	167
<i>Досайбекова С.К., Далебаева Ж.А., Избасар Э.Ж., Алымбаева В.К.</i> ИЗУЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ	172
<i>Избасар Э.Ж., Алымбаева В.К., Досайбекова С.К.</i> ВЕРЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ СЕЙСМИЧНОСТИ ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ	177
<i>Есенгелди А. Е., Жаркенова А. Р., Беккожин А. Ж.</i> РОЛЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КАРБОНАТНОГО РАЗРЕЗА ПРИКАСПИЙСКОГО НЕФТЕГАЗНОСНОГО РЕГИОНА	182
<i>Жаркенова А. Р., Есенгелди А. Е., Беккожин А. Ж.</i> ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН МЕТОДАМИ АКУСТИЧЕСКОГО ФОТОКАРОТАЖА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ХАРАКТЕРА НАПЛАСТОВАНИЯ И ВЫДЕЛЕНИЕ ЗОН ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПРОДУКТИВНЫХ ГОРИЗОНТОВ	190
<i>Болатова А.Б., Умирова Г.К.</i> НОРМАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ ГИС КАК ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ	195

Шалабай А.А.

УСЛОВИЯ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ ФАЦИЙ,
КОЛЛЕКТОРОВ СРЕДНЕ-ВЕРХНЕДЕВОНСКОГО КОМПЛЕКСА ЧИНАРЕВСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ 201

Халелова М.А, Яремкив Ю.А.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЖСКВАЖИННОГО ПРОСТРАНСТВА
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕВЫРАБОТАННЫХ УЧАСТКОВ РУДЫ ПРИ ПОДЗЕМНОМ
ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ 206

Исагали А., Михайлова Н.

О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ НОВОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ В ЗАПАДНОМ
КАЗАХСТАНЕ 212

Тогузов А., Умирова Г.

ПЕРЕСМОТР СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ КАК ПУТЬ К ДОПОЛНИТЕЛЬНОМУ
РЕСУРСНОМУ ПОТЕНЦИАЛУ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЗДНЕЙ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ ..218

ТРУДЫ

Международной научно-практической конференции

75 ЛЕТ КАФЕДРЫ «ГЕОФИЗИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ» – ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА И СУДЬБЫ

Алматы, 21 ноября 2025 г.

Подписано в печать 21.11.2025 г.

Тираж электронная печать. Формат 60х84 1 /16. Бумага типогр. №1.

Уч-изд.л. 14,2. Заказ № 435

Издание Казахского национального исследовательского
технического университета им. К.И. Сатпаева
Издательский центр «Polytech» им. Т. Кенеева
г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

ISBN 978-601-323-650-6

