

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрушевский Н.М. Анализ устойчивости решений систем линейных алгебраических уравнений: учеб. пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 71 с.
2. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. – 8-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2000. – 622 с.: ил.
3. Васин В.В. Основы теории некорректных задач. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2020. – 312 с.: ил.
4. Долгаль А.С., Костицын В.И., Новикова П.Н., Пугин А.В. Моделирование аномалий силы тяжести системой точечных масс на сферообразной земле // Геофизика. – 2023. – № 5. – С. 10-17. – DOI: 10.34926/geo.2023.13.94.002.
5. Долгаль А.С. Расчет трансформант с использованием региональных и глобальной моделей гравитационного поля // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2024. – Вып. 7 (44). – С. 20-27.
6. Михайлов П.С., Конешов В.Н., Соловьев В.Н., Железняк Л.К. Новые результаты оценок современных глобальных ультравысокостепенных моделей гравитационного поля Земли в Мировом океане // Гироскопия и навигация. – 2022. – Т. 30, №4. – С. 36-53. – DOI:10.17285/0869-7035.00102.
7. Amante C., Eakins B.W. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. – Boulder, Colorado, 2009.
8. Balmino G., Vales N., Bonvalot S., Briais A. Spherical harmonic modelling to ultra-high degree of Bouguer and isostatic anomalies // Journal of Geodesy. – 2012. – V. 86. – P. 499-520. – DOI:10.1007/s00190-011-0533-4.

УДК 550.834

DOI:10.7242/echo.2025.3.5

СЕЙСМОФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ
ШАХТНЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А.И. Никифорова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Рассмотрен опыт применения методики сейсмофациального анализа при исследованиях во внутренних точках среды для изучения литологического состава и структурных особенностей продуктивной толщи Верхнекамского месторождения калийных солей.

Ключевые слова: сейсмофация, шахтная сейсморазведка, осложнения волнового поля, складчатость, литологическая изменчивость.

Сейсмофациальный анализ широко применяется в качестве одного из методов интерпретации сейсморазведочных исследований, направленных на поиск и разведку залежей углеводородов [1]. В отличие от стандартной структурной интерпретации, он фокусируется на совместном изучении целого ряда характеристик волновой картины, в том числе: конфигурации, амплитуды, частоты, степени непрерывности отражений и интервальных скоростей в пределах выделенных сейсмических комплексов. Это позволяет оценивать средние литологические характеристики, судить о характере напластования и условиях осадконакопления пород, от которых получены отражения.

Применение принципов сейсмофациального анализа для изучения эвапоритовой толщи Верхнекамского месторождения калийных солей позволяет без проведения дополнительных исследований повысить детальность изучения постседиментационных изменений как по площади, так и по разрезу. Однако специфика геологического строения месторождения требует адаптации традиционных подходов с учетом тонкослойной структуры и существенной латеральной изменчивости физических параметров целевых интервалов изучаемого разреза [4]. В качестве модельного объекта выбран участок шахтного поля в центральной части ВКМКС на южном склоне Клестовского поднятия (рис. 1).

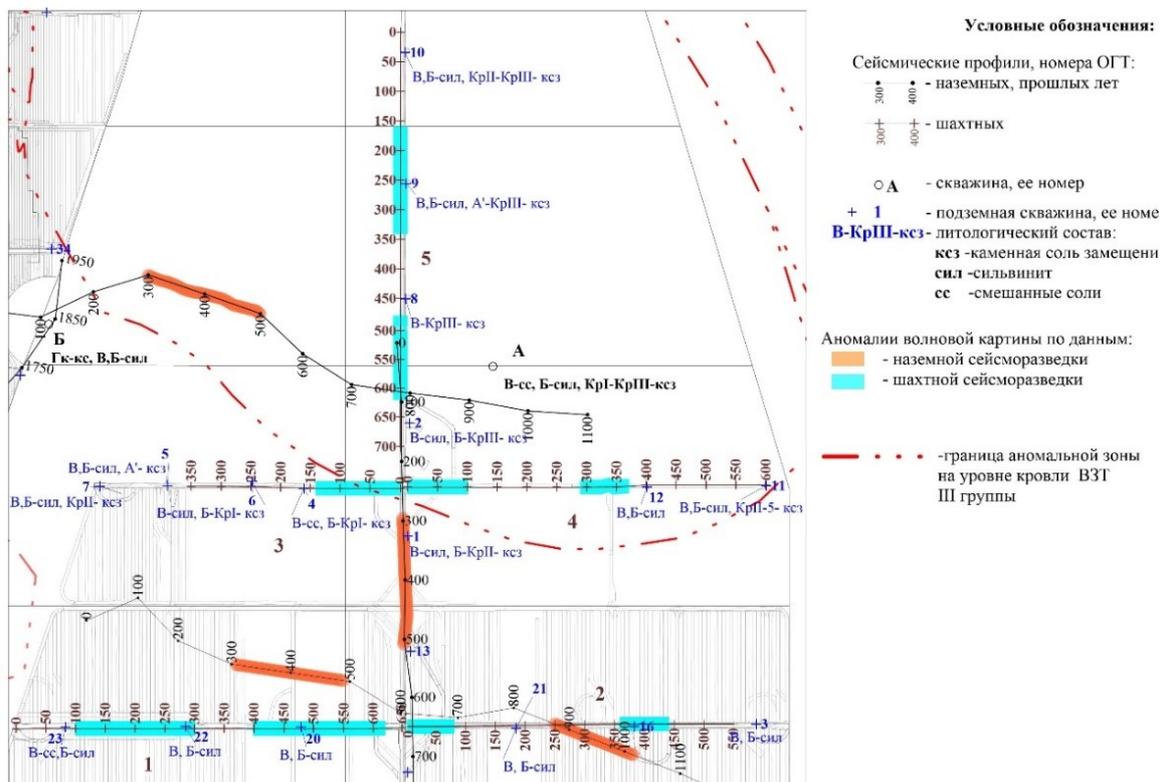


Рис. 1. Обзорная схема

По результатам наземных сейсморазведочных исследований намечены осложнения волнового поля. В непосредственной близости на основании солеразведочного бурения выделена аномальная зона III группы на уровне кровли водозащитной толщи (ВЗТ). Зона приурочена к замещению пластов АБ, КрI, КрII и КрIII каменной солью. В дальнейшем, в процессе проходки подготовительных выработок по пластам АБ и КрII, подтверждено выщелачивание продуктивной толщи. Подземные скважины вскрыли смешанные соли в пласте В, Б- сильвинитового состава. Сильвинитовая зона замещена каменной солью.

Для уточнения степени нарушенности и картирования геологических неоднородностей в строении ВЗТ для выделенных малоглубинными сейсморазведочными исследованиями участков проведены шахтные сейсмоакустические наблюдения (рис. 2).

Полученные результаты послужили исходными данными для выполнения сейсмофациального анализа. На этом этапе по опорным отражающим границам выполнено расчленение временного разреза на сейсмические комплексы. На профильных линиях намечены участки с контрастными осложнениями волнового поля, требующие повышенного внимания. В их пределах отмечается изменчивость осей синфазности отражений и резкие знакопеременные изменения скоростной характеристики и интервальных скоростей для ОГ карналлитовой зоны.

Согласно имеющейся геолого-геофизической информации необходимо выделить сейсмофациальные зоны интенсивной складчатости и литологической изменчивости продуктивных отложений. Под термином «сейсмофация» понимается генетическая группа отложений, строение которых отображается в уникальном наборе параметров сейсмозаписи [3].

Литологическая и структурная неоднородность породного массива отражается в дифференциации скоростей распространения упругих волн и вызывает различия во временах прохождения через эти отложения. Аномальное увеличение значений ΔT со-

ответствует складчатым зонам. Тогда как при «сильвинитизации» карналлитовых пород или при их замещении гипергенной каменной солью происходит уменьшение мощности и увеличение скоростей распространения продольных волн, что выражается в снижении значений ΔT . Поэтому для выявления фациальных особенностей рассматриваемой толщи построены карты распределения ΔT для всех сейсмических комплексов (рис. 3).

Кроме того, для ранжирования зон, сформировавшихся под влиянием литологического и структурного фактора, целесообразно построение карт изменения структурного градиента ОГ (рис. 4) и интервальных скоростей (рис. 5).

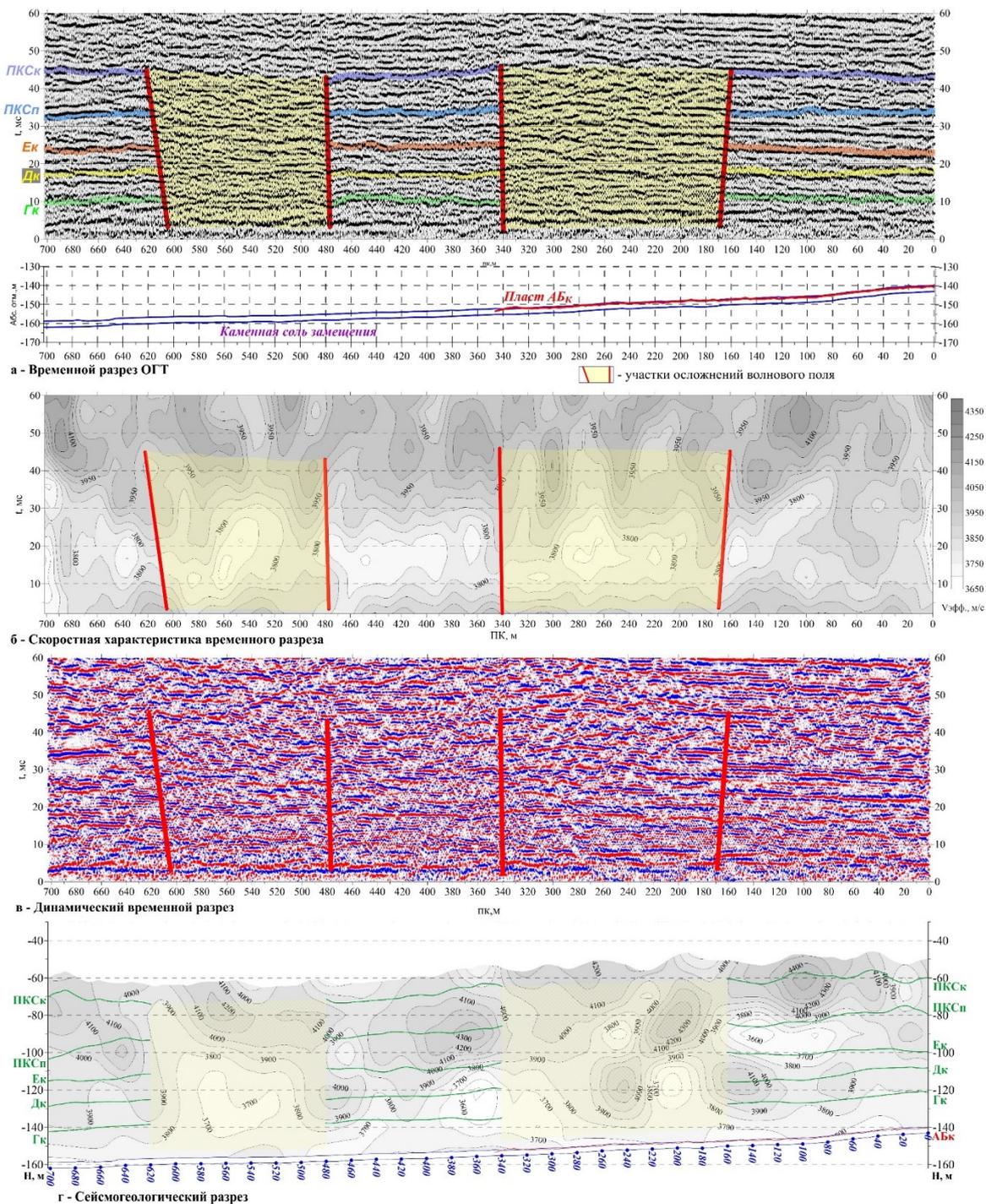


Рис. 2. Результаты цифровой обработки по шахтному сейсмическому профилю

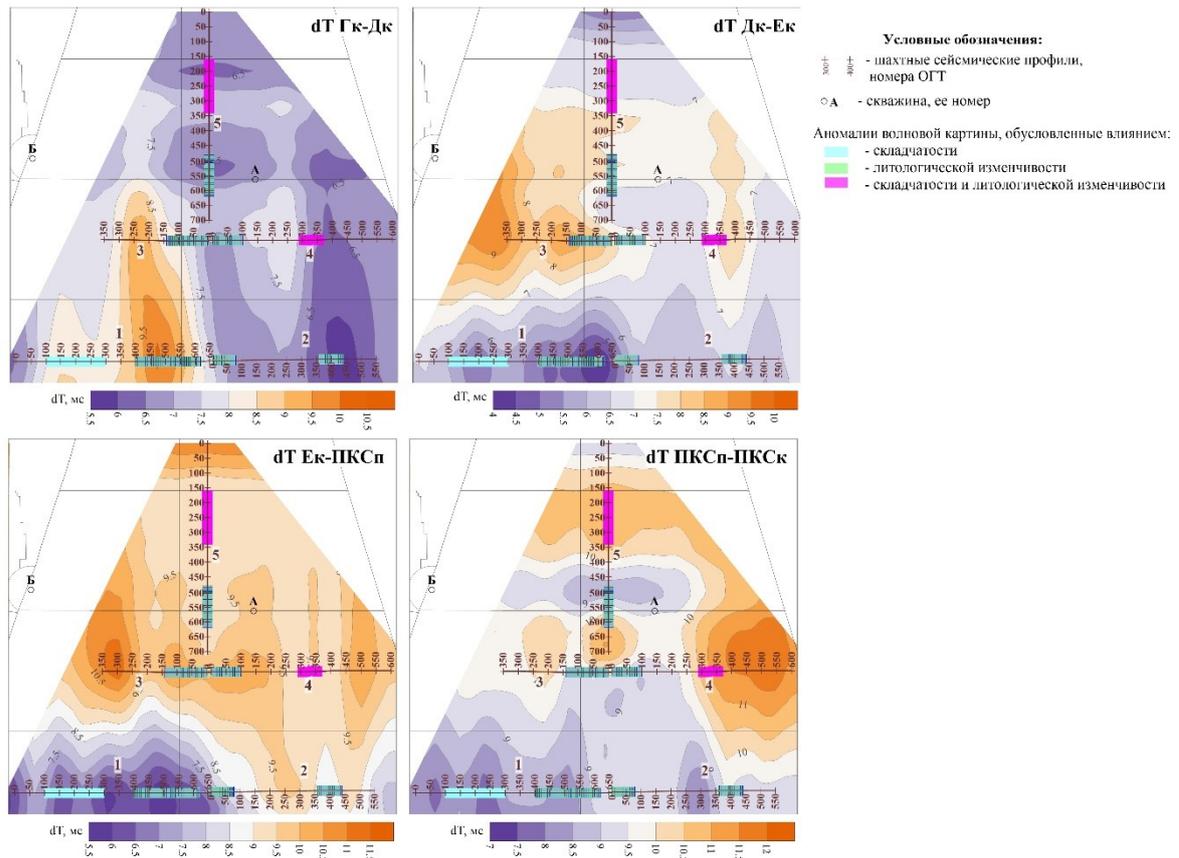


Рис. 3. Схемы распределения dT

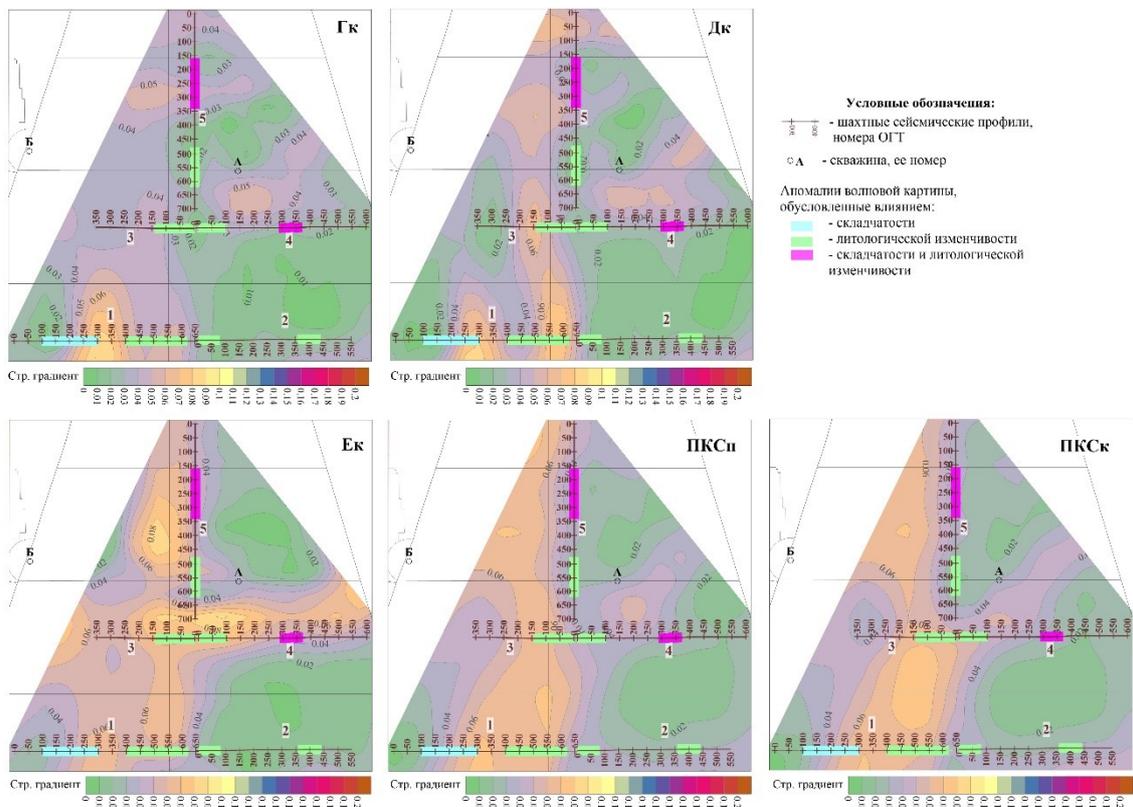


Рис. 4. Схемы изменения структурного градиента по отражающим горизонтам

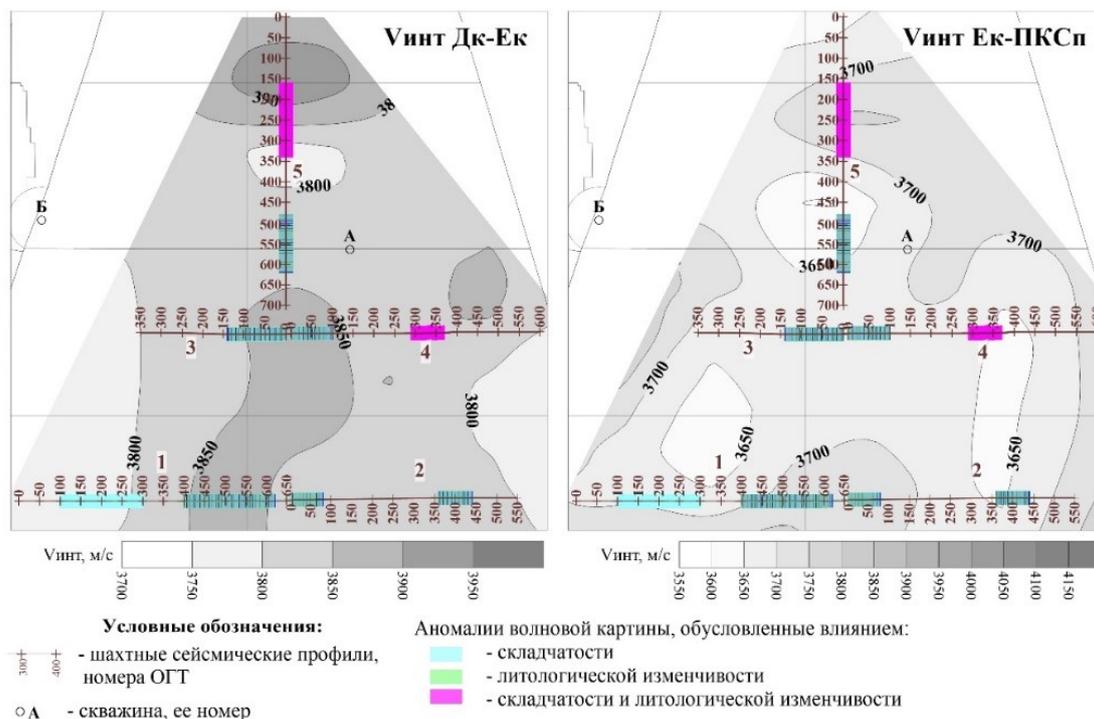


Рис. 5. Скоростные схемы

Помимо локальных неоднородностей на распределение анализируемых параметров существенное влияние оказывают «региональные» структурные особенности геологического строения. По результатам шахтных сейсмоакустических исследований выявлено поднятие в соляной и надсоляной толщах с амплитудой 10-15 м в районе скв. А. Повышенные значения структурных градиентов и ΔT распределены, в том числе и по его периферии. Кроме того, в его пределах отмечается ухудшение упругих свойств отложений для всего исследуемого интервала геологического разреза, что выражается в сквозной низкоскоростной зоне на 5 профиле (рис. 5).

Учет влияния региональной составляющей возможен, в том числе с помощью привлечения анализа сейсмических атрибутов в различных окнах и построения схем их поинтервального распространения (рис. 6-7). Такой подход позволяет послойно оценить локализацию и степень вторичных преобразований пород в исследуемом интервале.

Детальнее рассмотрим особенности распространения сейсмофации каменной соли замещения. По данным моделирования, характерными признаками проявления каменной соли замещения в массиве продуктивной толщи являются: потеря корреляции, наличие аномалии «яркое пятно» в месте контакта, искажения осей вышележащих отражений из-за высокоскоростного слоя, увеличение частоты сигнала ~20-30% на контакте [2]. Таким образом, объектами поиска являются участки со значениями амплитуд выше среднего и частот, превышающих средние значения минимум на 20% (рис. 8).

На основании комплексной интерпретации имеющейся геолого-геофизической информации выделена сейсмофация каменной соли замещения по кровле карналлитового пласта Г.

Таким образом, использование приемов сейсмофациального анализа для изучения Верхнекамского месторождения позволяет отслеживать более «тонкие» изменения литологического состава разреза, его внутренней структуры, прослеживая их от слоя к слою, а так же выполнять литолого-фациальное районирование площади исследований.

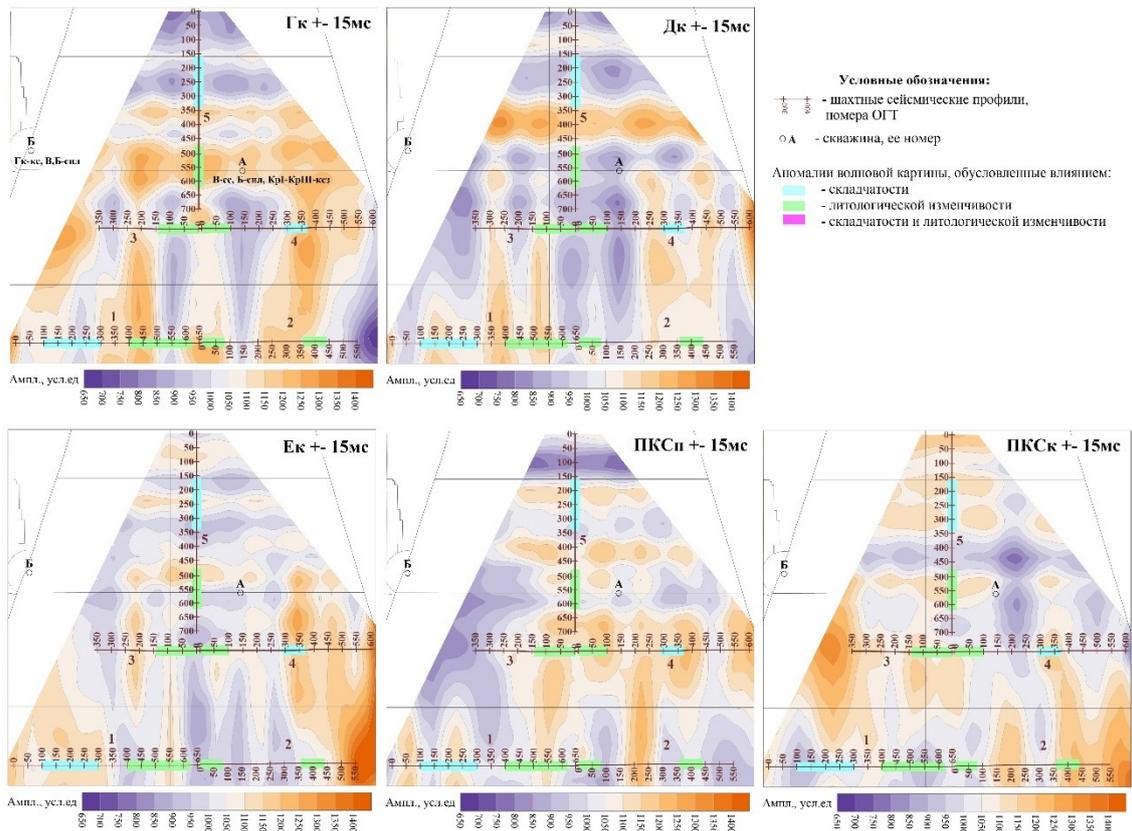


Рис. 6. Схемы распределения амплитуд

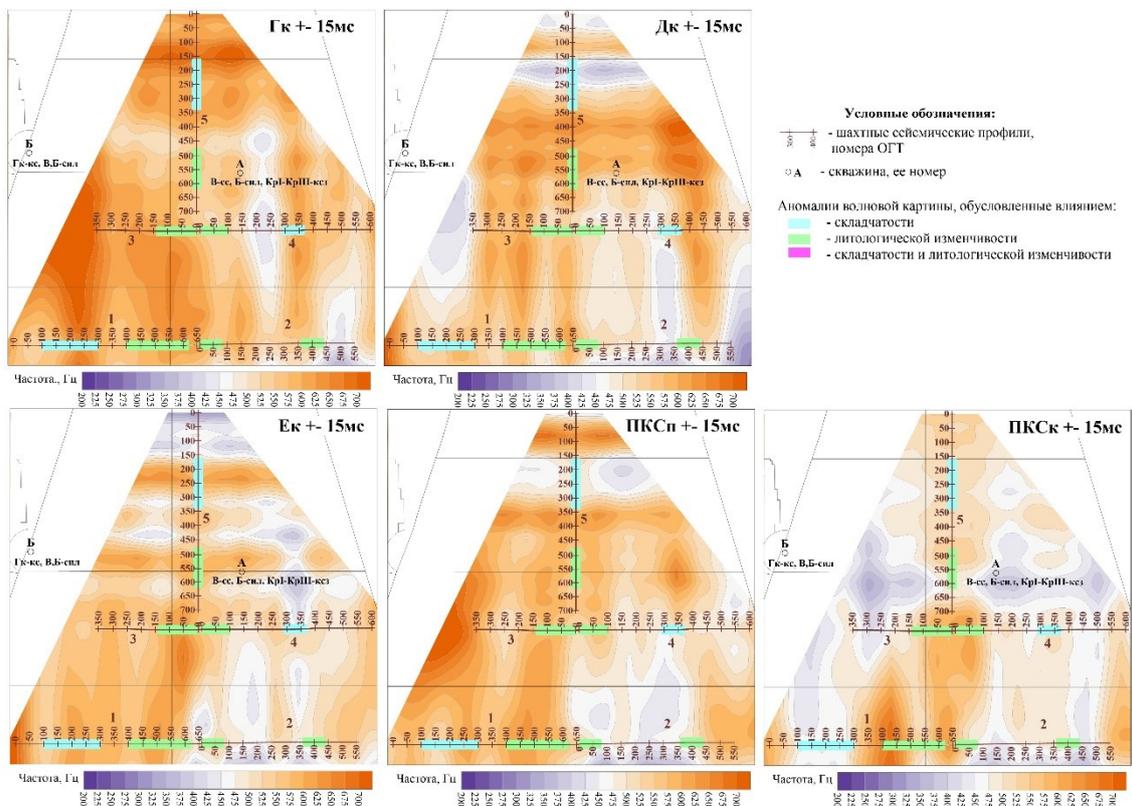


Рис. 7. Схемы распределения частот

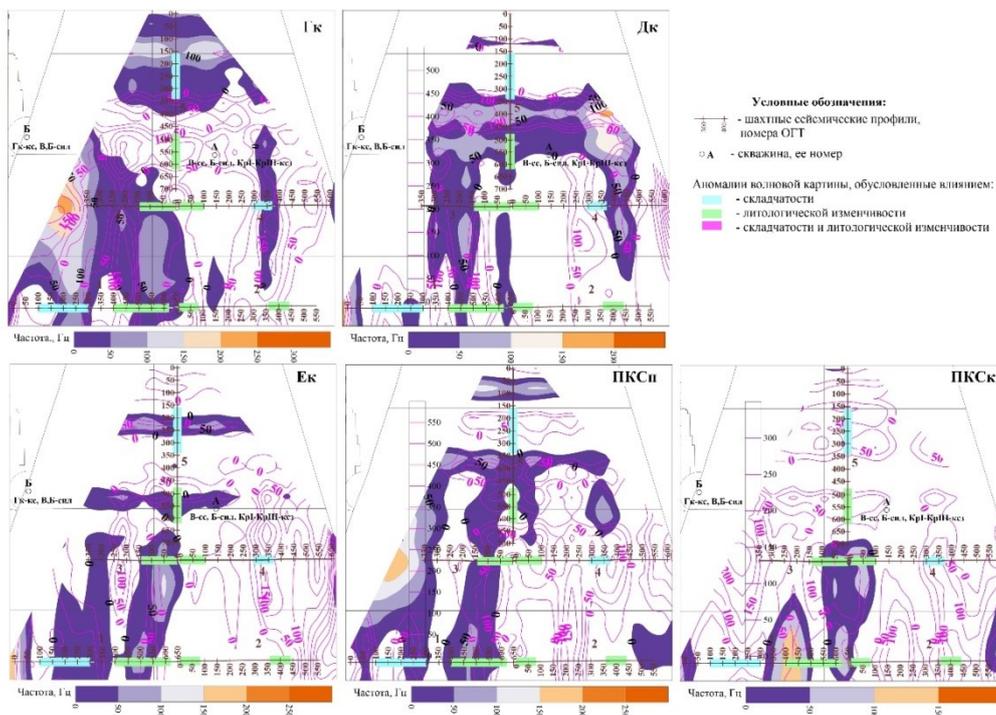


Рис. 8. Сопоставление схем распределения частот и амплитуд

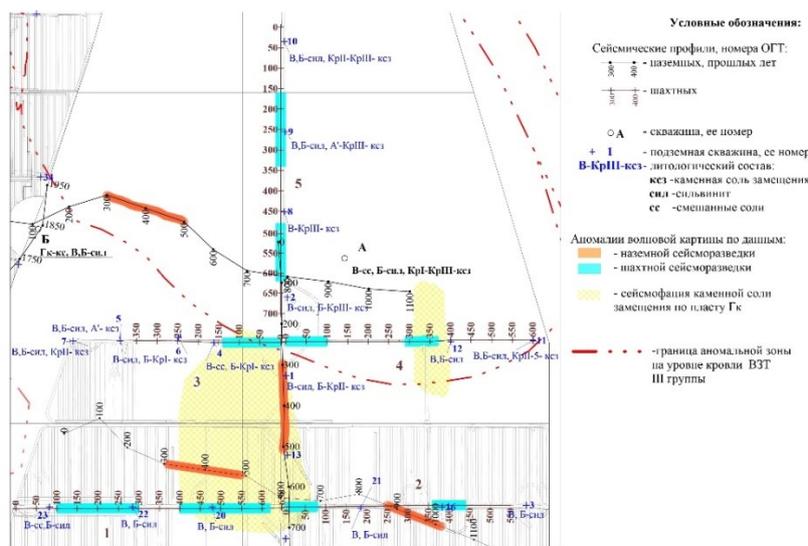


Рис. 9. Схема результатов качественной интерпретации

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР 124020500029-1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондарев В.И. Сейсморазведка: учебник для вузов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. – 690 с.
2. Жикин А.А., Чайковский И.И., Санфиоров И.А., Ярославцев А.Г. Прогнозирование гипергенных пород соляного массива по результатам шахтных сейсмоакустических исследований // Геофизика. – 2022. – № 5. – С. 90-98.
3. Интерпретация данных сейсморазведки: справ. / [под ред. О.А. Потапова и др.]. – М.: Недра, 1990. – 447 с.: ил.
4. Санфиоров И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ / ГИ УрО РАН. – Екатеринбург, 1996. – 168 с.