

раза превышать глубину залегания изучаемых геологических объектов – 3:1. Векторный метод «Полюс», что подтверждается теоретическими примерами, снимает это ограничение. Действительно, для надежной засечки точки пересечения пары векторов для локализации полюса достаточно угла в 15-25° между продолжениями векторов в точке полюса. Наиболее же точную засечку точки пересечения полюсов обеспечивает угол 90°. Даже при таком варианте соотношения размеров участка к изучаемой глубине составляет уже 2:1. Схема локализации полюсов P_I^{++} , когда размер участка составляет всего треть от глубины, показана на рис. 4, т.е. соотношение размера участка к глубине составляет всего 0.3:1, что в 10 раз меньше привычной рекомендованной пропорции. На модельном примере такого малого угла достаточно для локализации, но это можно считать предельным случаем применимости метода.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г. (рег. номер 122012000398-0).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгаль А.С. Аппроксимация геопотенциальных полей эквивалентными источниками при решении практических задач // Геофизический журнал. – 1999. – Т. 21, № 4. – С. 71-80.
2. Простолупов Г.В. Сравнение двух векторных методов трансформации гравитационного поля // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 48-й сес. Междунар. науч. семинара им. Д.Г. Успенского – В.Н. Страхова / ВСЕГЕИ, Санкт-Петербургский горн. ун-т. – СПб., 2022. – С. 213-217.
3. Простолупов Г.В. Определение основных параметров источников гравитационного поля методом «Полюс» // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 44-й сес. Междунар. семинара им. Д.Г. Успенского / ИФЗ РАН. – М., 2017. – С. 319-324.
4. Проведение региональных сейсморазведочных работ в комплексе с гравиметрией в пределах Оренбургской части восточного борта Предуральяского прогиба и зоны передовых складок Урала: отчет по договору № 094/22-07 от 10. 04 2007 г. с ОАО «Оренбургская геофизическая экспедиция». в 3-х кн. и 2-х папках / отв. исполн. В.М. Новоселицкий. – Пермь, 2008. – (Фонды ГИ УрО РАН)
5. Чадаев М.С., Костицын В.И., Гершанок В.А., Ибламин Р.Г., Тарантин М.В., Простолупов Г.В. Геолого-геофизические методы изучения земной коры: Монография / под общ. ред. М.С. Чадаева; ПГНИУ, ГИ УрО РАН. – Пермь, 2019. – 148 с.

УДК 550.834

DOI:10.7242/echo.2022.1.16

КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ШАХТНЫХ СЕЙСМО- И ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

И.А. Санфи́ров, Ю.И. Степа́нов
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье рассматриваются примеры интерпретации данных шахтных сейсмо- и электроразведочных наблюдений. Показана пространственно согласованная изменчивость эффективных скоростей распространения упругих волн продольного типа и кажущегося сопротивления в заданных направлениях исследований породного массива. Предложена схема формирования интерпретационных заключений в зависимости от характера изменчивости анализируемых параметров. В качестве дополнительной информации возможно привлечение результатов многоволновой сейсморазведочной технологии.

Ключевые слова: шахтные геофизические исследования, эффективные скорости, кажущееся сопротивление, продольные и поперечные волны, газонасыщенность, увлажнение.

Сейсмо- и электроразведочные методы изучения строения и свойств породного массива широко применяются в условиях пластового строения месторождений полезных ископаемых [1]. Наблюдения проводятся как на поверхности, так и во внутренних точках среды. Основные сложности при шахтных работах связаны с неоднозначностью определения направленности информационных потоков. Большей частью это обстоятельство относится к электроразведочным исследованиям, характеризующимся отсутствием выраженной направленности возбуждаемого поля. Для сейсморазведочных наблюдений разработаны диаграммы направленности, в которых определяющим является направление возбуждения упругих колебаний [2]. В связи с этим существует объективная возможность привлечения сейсморазведочных данных для оценки пространственной ориентации регистрируемых электроразведочных параметров. В основе подобного предположения физически обоснованная тесная связь значений скоростей распространения упругих волн продольного типа и кажущегося сопротивления.

Практическая реализация подобного подхода базируется на совместном анализе результатов электроразведочных исследований и скоростного анализа шахтных сейсморазведочных наблюдений заданной направленности, реализованных в рамках методики многократных перекрытий (ММП). При этом параметры полевых технологий сбора данных проектируются исходя из единой горно-геологической задачи, определяемой размерами интервала исследований и требуемой детальности его изучения. В качестве результатов электроразведочных исследований предлагается рассмотрение разрезов кажущегося сопротивления, сформированных при реализации различных методик электро-профилирования. Результаты скоростного анализа сейсмограмм общей глубинной точки (ОГТ) представляются в виде временных разрезов эффективных скоростей продольных волн, рассчитываемых в текущем окне с заданным шагом [3].

Теоретически возможен целый ряд различных соотношений между направленностью изменения значений скоростей (V) и сопротивлений (ρ). Схематично их можно представить: 1) $V+$, $\rho+$, 2) $V-$, $\rho-$, 3) $V+$, $\rho-$, 4) $V-$, $\rho+$. Для каждого случая возможно определенное интерпретационное заключение о свойствах горных пород в районе профилирования: (1)- плотные, (2)-разуплотненные, (3)-увлажненные, (4)-газонасыщенные.

На рис. 1 представлен подобный набор геофизической информации, полученный при электро- и сейсмопрофилировании в пределах горной выработки. Сейсмические наблюдения ориентированы в нижнее полупространство. Достаточно наглядно проявляются общие пространственные закономерности в распределении значений пониженного кажущего сопротивления и эффективных скоростей распространения упругих волн продольного типа. Очевидны наиболее распространенные интерпретационные варианты (1) и (2).

В реальной практике геофизических исследований возможны и другие сочетания направленности изменений анализируемых сейсмо- и электроразведочных параметров. На рис. 2 при сейсморазведочных исследованиях верхнего полупространства очевиден вариант (4), что может свидетельствовать о наличии газонасыщенного участка на профиле в интервале 40-100 м.

На основании ранее проведенных исследований [4] разработаны многоволновые шахтные сейсморазведочные технологии. Осуществляется регистрация продольных (P) и поперечных (SV) волн одной системой наблюдения с последующим разделением волнового поля в процессе ориентированной цифровой обработки. При прогнозировании веро-

ятных причин выделяемых осложнений волнового поля появляется возможность анализа отношения эффективных скоростей P и SV волн. Принимается во внимание влияние на скорость распространения продольных волн некачественных акустических контактов за счет повышенной трещиноватости, пористости, например, в газонасыщенных зонах. В этом случае подобные зоны могут отмечаться относительным увеличением значений отношения скоростей распространения поперечных волн относительно продольных (V_s/V_p). С другой стороны относительное уменьшение значений данного параметра может быть связано с повышенным увлажнением породного массива.

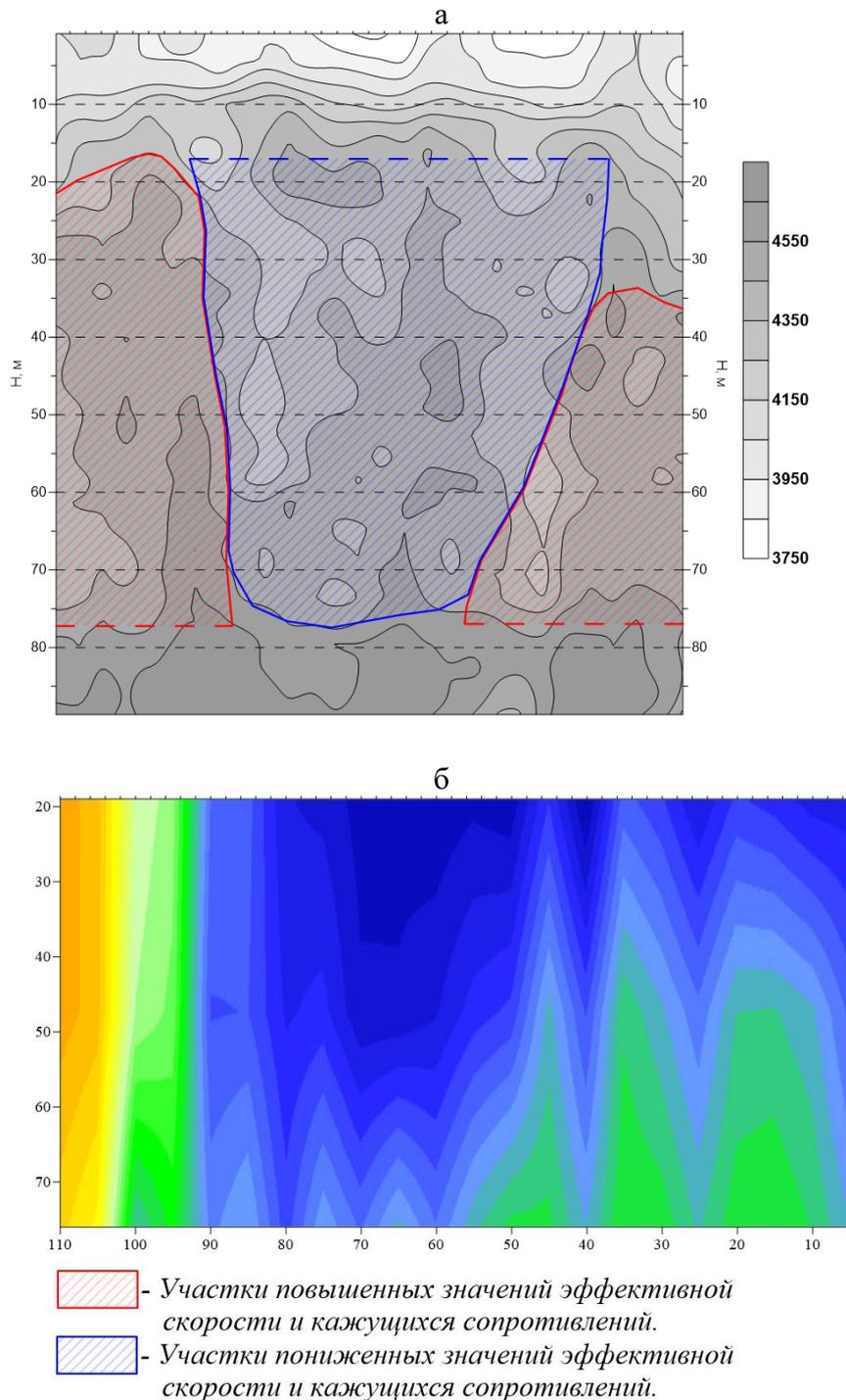


Рис. 1. Сопоставление результатов:
а) скоростного анализа шахтных сейсморазведочных данных, б) обработки электропрофилеирования

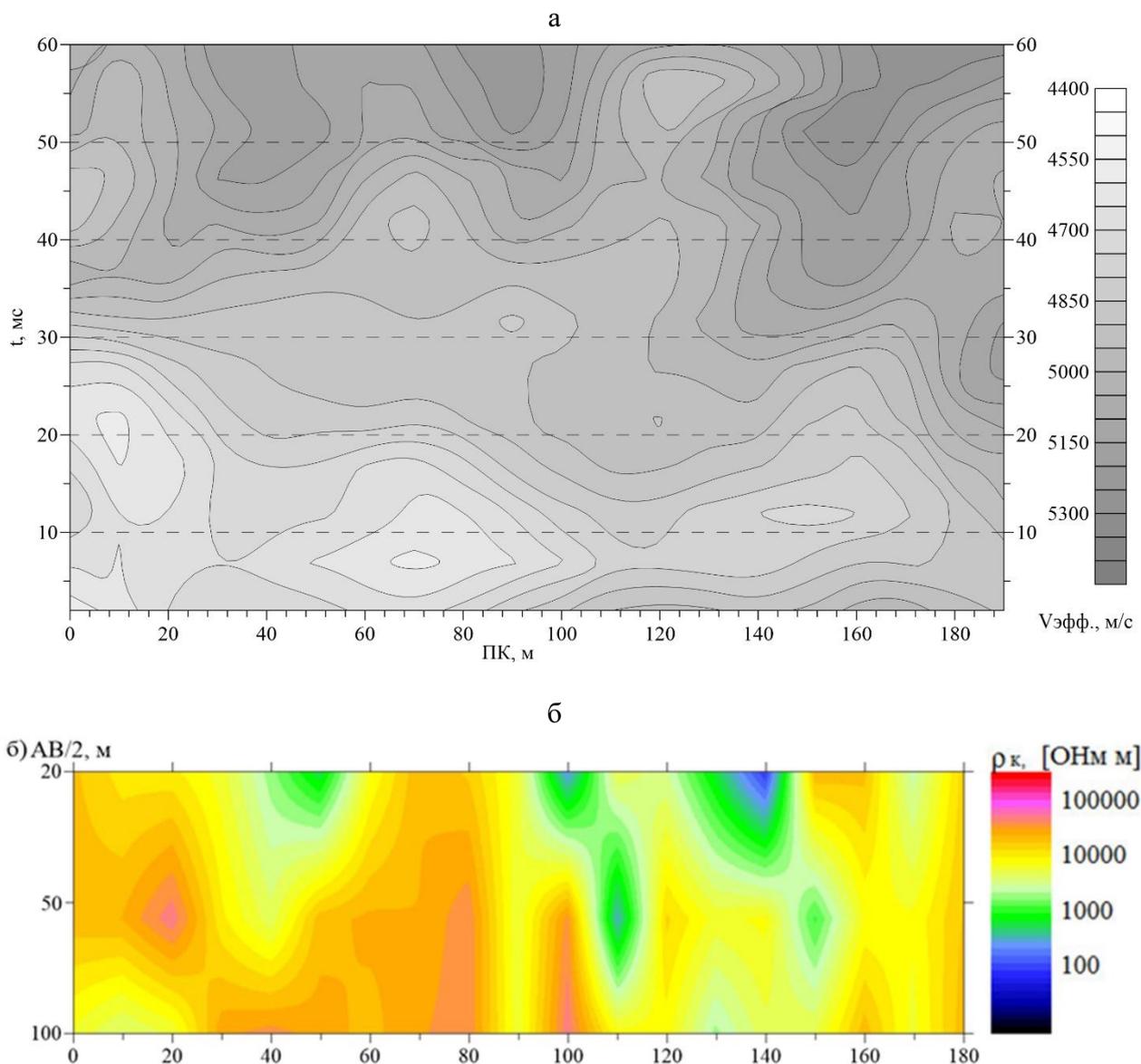


Рис. 2. Сопоставление результатов:

а) скоростного анализа шахтных сейсморазведочных данных, б) обработки электропрофилирования

На рис. 3 представлен пример совместной обработки электро- и многоволновых сейсморазведочных данных, полученных в горной выработке с признаками увлажнения в верхнем полупространстве.

При совместном рассмотрении пространственных закономерностей V_p и ρ в данном случае очевиден интерпретационный вариант (2), а в отношении V_s/V_p преобладают продольные. Подобное поведение анализируемых параметров позволяет оценить пределы распространения зоны увлажнения по разрезу в центральной части профиля до 60-70 м.

Представленные практически примеры согласованного поведения сейсмо- и электро-разведочных параметров подтверждают возможности уточнения направленности распространения электрического поля и формирования более однозначных интерпретационных выводов. В связи с этим обоснованным представляется решение задачи по разработке формализованных механизмов обоснования комплексных интерпретационных заключений. В основе подобных механизмов подразумевается пространственная корреляция распределения значений эффективных скоростей волн и кажущихся сопротивлений.

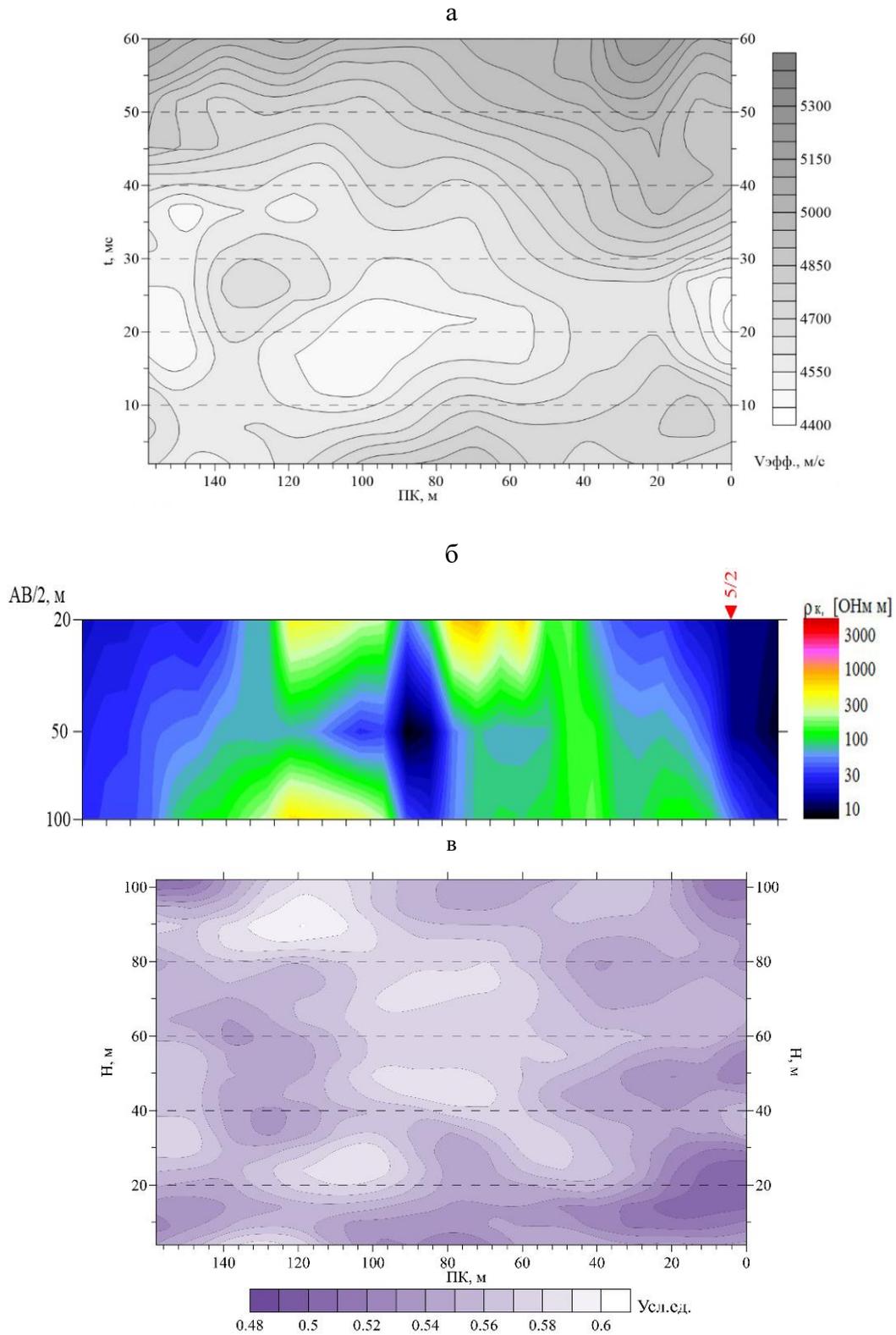


Рис. 3. Результаты совместной обработки сейсмо- и электроразведочных данных:
 а) скоростная характеристика для продольных волн, б) разрез кажущихся сопротивлений,
 в) отношение скоростей поперечных волн к продольным

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г. (рег. номер 122012000401-7).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глебов С.В. Геофизическое обеспечение разработки Верхнекамского месторождения солей // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2004. – № 9. – С. 89-92.
2. Санфиоров И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ / ГИ УрО РАН. – Екатеринбург, 1996. – 168 с.
3. Санфиоров И.А., Бабкин А.И., Байбакова Т.В. Параметрическое обеспечение шахтной многоволновой сейсмоакустики // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 12. – С. 37-40.
4. Бабкин А.И. Пространственные интерференционные системы сейсмоакустических наблюдений в условиях горных выработок калийных рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 1. – С. 261-267.

УДК 550.83:552.1 (470.53)

DOI:10.7242/echo.2022.1.18

**ИЗУЧЕНИЕ ПЛОТНОСТНОГО СТРОЕНИЯ
ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО РУДНИКА
СКРУ–2 ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ**

Г.П. Щербинина

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В 2021 году лабораторией потенциальных полей Горного института выполнялись исследования горного массива в районе Поповского соляного поднятия для подготовки территории к проведению горных работ. Целью исследований являлось выявление трещиноватых ослабленных участков, которые могут представлять опасность при добыче полезного ископаемого. Метод исследований – гравиметрическая съемка, позволяющая выявить разуплотненные участки с пониженными прочностными свойствами. При анализе гравитационного поля установлено, что расположение ослабленных зон подчиняется элементам геологического строения территории.

Ключевые слова: гравиметрическая съемка, плотностное строение горного массива, разуплотненные участки.

Понимание геологического строения, генезиса, тектонической эволюции территории месторождения имеет большое научное и практическое значение для обеспечения безопасной добычи полезного ископаемого. Верхнекамское месторождение калийных и магниевых солей характеризуется сложными горно-геологическими условиями разработки – обводненностью надсоляного комплекса при наличии трещиноватых и ослабленных участков в надсоляной и водозащитной толщах. Надсоляной и продуктивный комплексы в течение длительной геологической истории подвергались тектоническим перестройкам и, находясь в зоне гипергенеза, испытывали действие агентов выветривания.

Обеспечение безопасности калийных рудников базируется на наличии достоверных данных о распределении в геологическом пространстве ослабленных пород, признаком которых является их низкая плотность. Поэтому на готовящихся к отработке площадях для обеспечения безопасного проведения горных работ предварительно изучают картину распределения физических свойств пород в горном массиве. О плотности пород на Верхнекамском месторождении имеется информация по шахтным стволам и небольшому количеству солеразведочных скважин. Это не дает картины закономерностей распределения по площади месторождения физических свойств, в том числе и плотности, которая характеризует механические и прочностные свойства пород и отражает наличие структурных ослаблений в массиве.