

**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.

Представление о плотностной неоднородности верхней части разреза, подвергающейся воздействию горнодобывающих процессов, позволяют получить гравиметрические исследования [1, 2].

Ниже приведен пример интерпретации поля силы тяжести на территории рудника СКРУ-2, расположенного в пределах южной части Поповского соляного купола. Поповский купол находится в западной части калийной залежи, севернее Дуринских впадин. Амплитуда соляного поднятия около 150 м. Углы наклона поверхности соли на склонах купола составляют  $1-3^\circ$ , на южном склоне, обращенном в Дуринскую впадину, достигают  $11-13^\circ$ . Поповский купол характеризуется значительным приближением соляных толщ к земной поверхности. Кровля соляных отложений на вершине купола находится на глубине 100 м (абсолютная отметка + 90 м).

Соляной массив сформирован в сложных тектонических условиях. С запада он ограничен регионального ранга Камским прогибом, протягивающимся вдоль восточного края Восточно-Европейской платформы. Абсолютные отметки поверхности соли в прогибе  $-270-300$  м. С юга соляное поднятие ограничено одной из Дуринских впадин, где наблюдаются отметки кровли соли  $-300-400$  м. На северо-востоке Поповское поднятие переходит в Тверитинскую мульду, где отметки поверхности соли опускаются до  $-100-120$  м.

На рис. 1 приведена структурная карта поверхности соляных отложений в пределах рассматриваемого участка. Подошва соляной толщи, в отличие от кровли, характеризуется субгоризонтальной формой и фиксируется бурением и сейсморазведкой на отметках  $-500-520$  м. Общая мощность соляной толщи изменяется от 220 м в соляных впадинах до 600 м в районе купола.

В пределах рассматриваемого участка пробурена 21 солеразведочная скважина. Изучение плотности пород в них не проводилось. Судя по описанию керна, породы надсоляной толщи (песчано-глинистого, мергелистого состава) и соляного разреза характеризуются высокой степенью измененности, неоднородностью физического состояния. Наиболее выветрелые породы (слабые, трещиноватые, разрушенные до обломков), отмечаются на вершине купола.

На вершине поднятия верхняя часть соляной толщи отсутствуют по причине растворения в зоне выветривания. В результате к подошве надсоляных отложений выходят различные слои соляного разреза – переходная толща, покровная каменная соль, слои продуктивной толщи (рис. 1, 2, 4). Нерастворимый остаток, оставшийся после растворения соляной составляющей, фиксируется в виде гипсово-глинистой шляпы мощностью 18 м.

Интенсивные изменения пород в зоне выветривания обусловлены наличием трещиноватости в надсоляной толще, сформировавшейся при деформировании ее во время галокинетических процессов. Под действием нагнетания пластичных соляных масс в купол и возникшего снизу давления надсоляная толща поднималась с изгибом и образованием разрыхленных и трещиноватых зон. Деформационные процессы на вершине растущего поднятия реализовывались в условиях вертикального сжатия и горизонтального растяжения. Это способствовало формированию субвертикальных трещин отрыва.

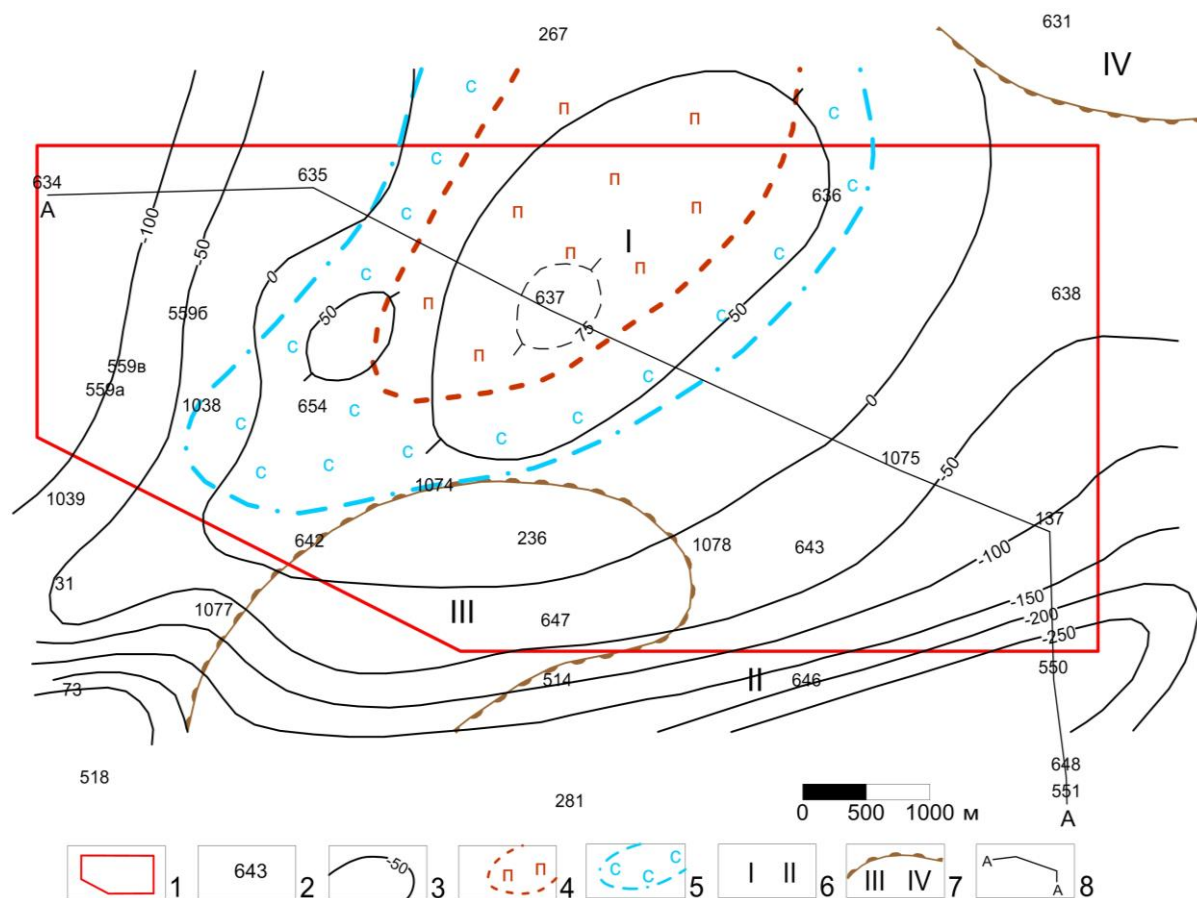
На соседних с куполом участках при эвакуации соляных масс надсоляная толща погружалась, растягиваясь в горизонтальном и вертикальном направлениях. Формировалась сеть разнонаправленных трещин.

Таким образом, за счет деформирования и возникающих при этом систем трещиноватости надсоляная толща приобретала полигональное строение разной по площади выраженности в зависимости от конкретных структурных условий. Полигоны разделены линейными зонами деформаций, которые характеризуются ослабленными физиче-

скими свойствами. Это обусловило последующее неравномерное по площади выветривание пород.

Анализ геологических материалов и гравитационного поля показал, что влияние на плотностную неоднородность толщ оказывали также рифогенные массивы франко-турнейского возраста, залегающие на данной территории на глубинах около 2 км. Геодинамическое влияние этих жестких массивов проявилось в некоторых элементах строения верхней части разреза, что запечатлено в морфологии гравитационного поля.

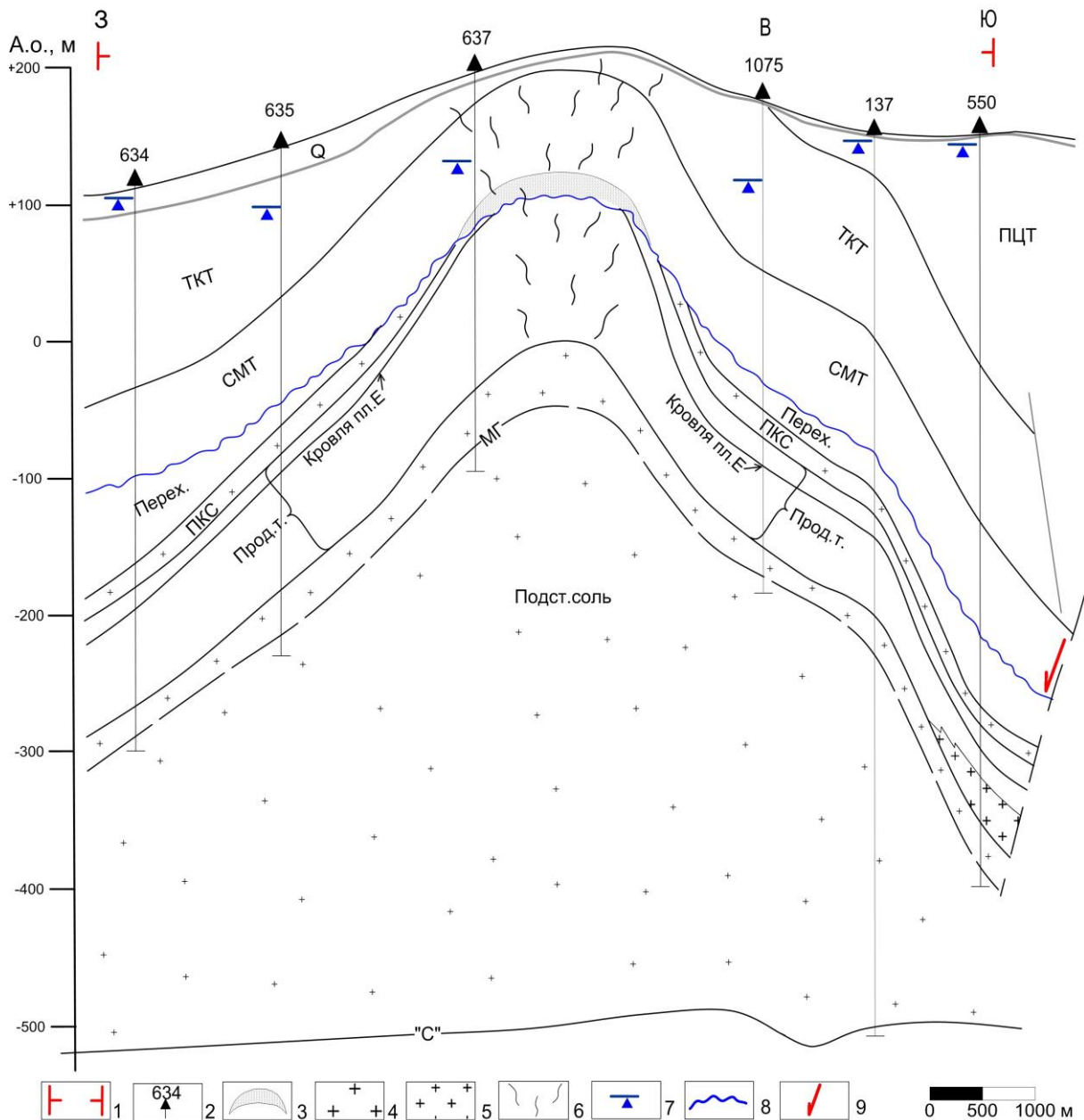
Таким образом, такие факторы, как перемещение соляных масс под надсоляной толщей и вызванное этим ее деформирование, геодинамическое влияние франко-турнейских массивов, в основном и определили неравномерное выветривание пород на рассматриваемом участке. Это обусловило плотностную и прочностную неоднородность верхней части геологического разреза.



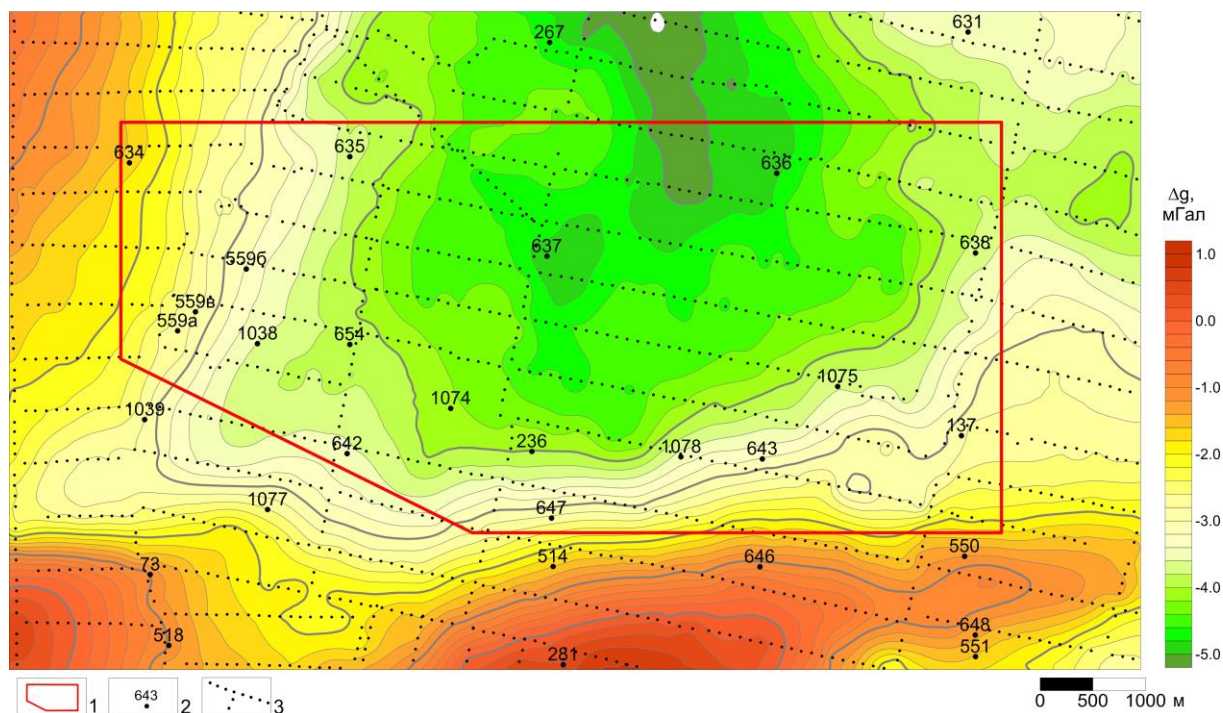
**Рис. 1.** Структурная карта поверхности соляной толщи: 1 – граница изучаемого участка; 2 – солеразведочные скважины; 3 – изогипсы соляной поверхности (продуктивной толщи, покровной каменной соли); 4 – выход на соляную поверхность продуктивной толщи; 5 – выход на соляную поверхность размывтой части покровной каменной соли; 6 – южная вершина Поповского соляного поднятия (I), Дуринский прогиб (II); 7 – франко-турнейские карбонатные массивы: Юрчукский (III), Пашковский (IV); 8 – линия геологического разреза

Гравитационное поле  $\Delta g$  Буге рассматриваемого участка представляет градиентное поле с обширной отрицательной аномалией (рис. 3), соответствующей в плане соляному поднятию. Величина изменения гравитационного поля в пределах участка составляет 3.5 мГал. Отрицательная аномалия поля силы тяжести на данной территории имеет три составляющие. Одна составляющая формируется из-за приближенной к земной поверхности на вершине поднятия гравитационной

отрицательной границы, соответствующей кровле низкоплотных соляных масс. Другая составляющая представляет гравитационное влияние (отрицательного знака) соляных масс увеличенной мощности в куполе. Третья составляющая – это отрицательное влияние на гравитационное поле разрыхленных на вершине купола пород надсоляного и отчасти соляного комплексов. Аддитивное влияние составляющих и отражается в виде обширной отрицательной аномалии гравитационного поля, соотносимой с размерами соляного поднятия.



**Рис. 2.** Геологический разрез по линии А-А: 1 – границы изучаемой площади; 2 – скважины; 3 – гипсово-глинистая шляпа; 4 – покровная и подстилающая каменные соли; 5 – каменная соль замещения; 6 – трещиноватость; 6 – уровень грунтовых вод; 8 – поверхность подземного выщелачивания; 9 – вертикальный сдвиг; толщи: Q – четвертичные отложения, ПЦТ – пестроцветная толща, ТКТ – терригенно-карбонатная толща, СМТ – соляно-мергельная толща, Перех. – переходная пачка, ПКС – покровная каменная соль, Прод.т. – продуктивная толща, Подст. соль – подстилающая соль, МГ – маркирующая глина, "С" – сейсмический горизонт "С" – подошва подстилающей соли



**Рис. 3.** Поле аномалий силы тяжести в редукции Буге с плотностью промежуточного слоя  $2.4 \text{ г/см}^3$ :  
 1 – граница изучаемого участка; 2 – солеразведочные скважины; 3 – пункты гравиметрических наблюдений

Однако для обеспечения безопасного проведения горных работ целевыми при гравиметрических исследованиях являются локальные аномалии, которые отражают наличие локальных разуплотненных участков. Для этого используется программа, основанная на векторном сканировании гравитационного поля [3, 4]. Построение горизонтальных трансформант с разными окнами сканирования позволяет изучать плотностное строение эффективных слоев с детальностью задаваемой величиной окна, т.е. коэффициентом трансформации.

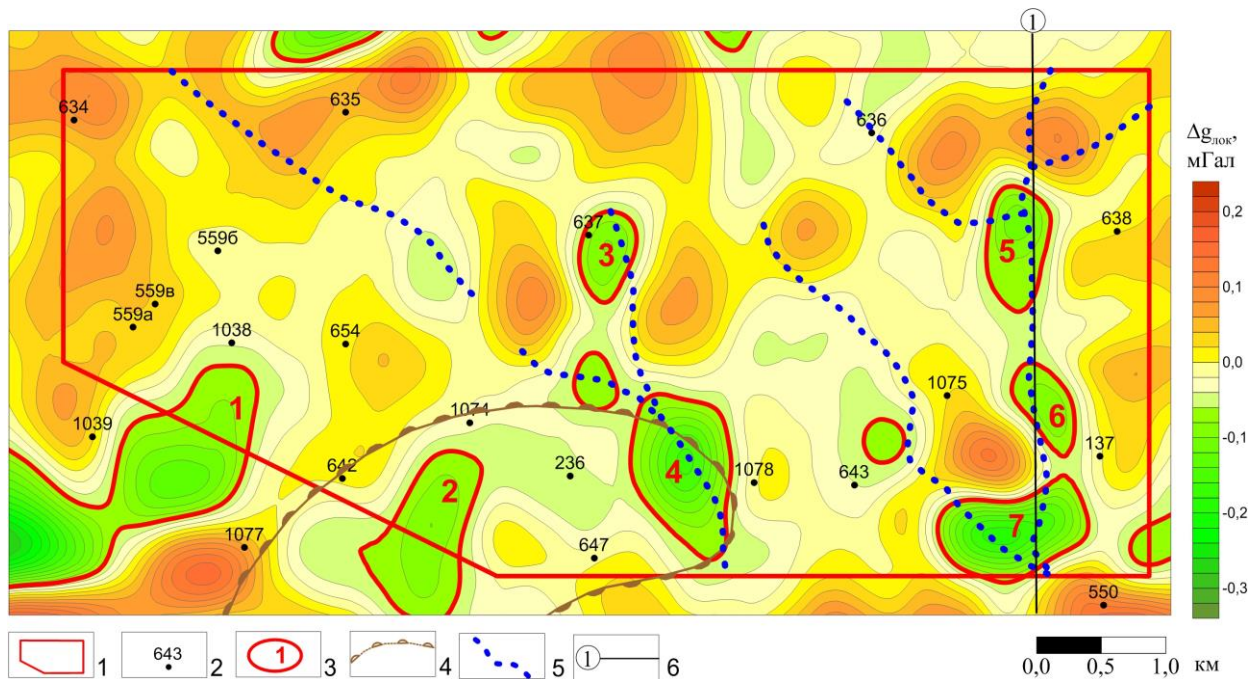
Например, на разностной карте-трансформанте (рис. 4), рассчитанной для эффективного слоя, соотносимого с глубиной от 0.20 км до 0.35 км, наблюдается мозаичная картина локальных аномалий. Поле трансформанты характеризует плотностное строение породного слоя, расположенного в этом интервале глубин. Здесь выделяется несколько локальных отрицательных аномалий, отражающих положение разуплотненных участков.

Анализ серии трансформант с разными коэффициентами трансформации, соответствующими разным квазиглубинам, показал, что в распространении разуплотненных участков наблюдается некоторая закономерность относительно элементов строения территории.

Разуплотненная область в виде отрицательной аномалии 1 (рис. 4) приурочена к структурному носу в кровле соли на юго-западном окончании соляной структуры. Она обусловлена, вероятно, развитием трещиноватости в надсоляной толще над выступом соляной поверхности.

Отрицательная аномалия 2 выявлена на южном склоне соляного купола. Положение ее в плане соответствует вершине франско-турнейского рифогенного массива. Появление разуплотненного участка 2 можно объяснить тем, что в специфических условиях вершин и склонов рифогенных массивов часто формируются дрены, пронизывающие осадочный чехол до земной поверхности. Здесь можно предположить такой случай.





**Рис. 4.** Разностная трансформанта поля силы тяжести для эффективного слоя 0.20-0.35 км:  
 1 – граница изучаемого участка; 2 – солеразведочные скважины; 3 – отрицательные аномалии поля трансформанты (разуплотненные участки), их номер; 4 – контур франко-турнейского рифогенного массива; 5 – тальвеги долин рельефа земной поверхности; 6 – линии вертикальных сечений 3D трансформанты поля

Цепочки отрицательных аномалий 3-4 и 5-6-7 (рис. 4) расположены поперек склонов соляного поднятия. На земной поверхности они приурочены к долинам водотоков в понижениях рельефа, которые, очевидно, фиксируют участки ослабленных пород. Водотоки имеют базис стока на юге в районе Дуринских впадин. Такой рисунок расположения цепочек аномалий характеризует картину деформирования надсоляной толщи в период формирования соляного поднятия. В цепочках наблюдается увеличение горизонтальных размеров и амплитуды аномалий на юг, в сторону Дуринской системы.

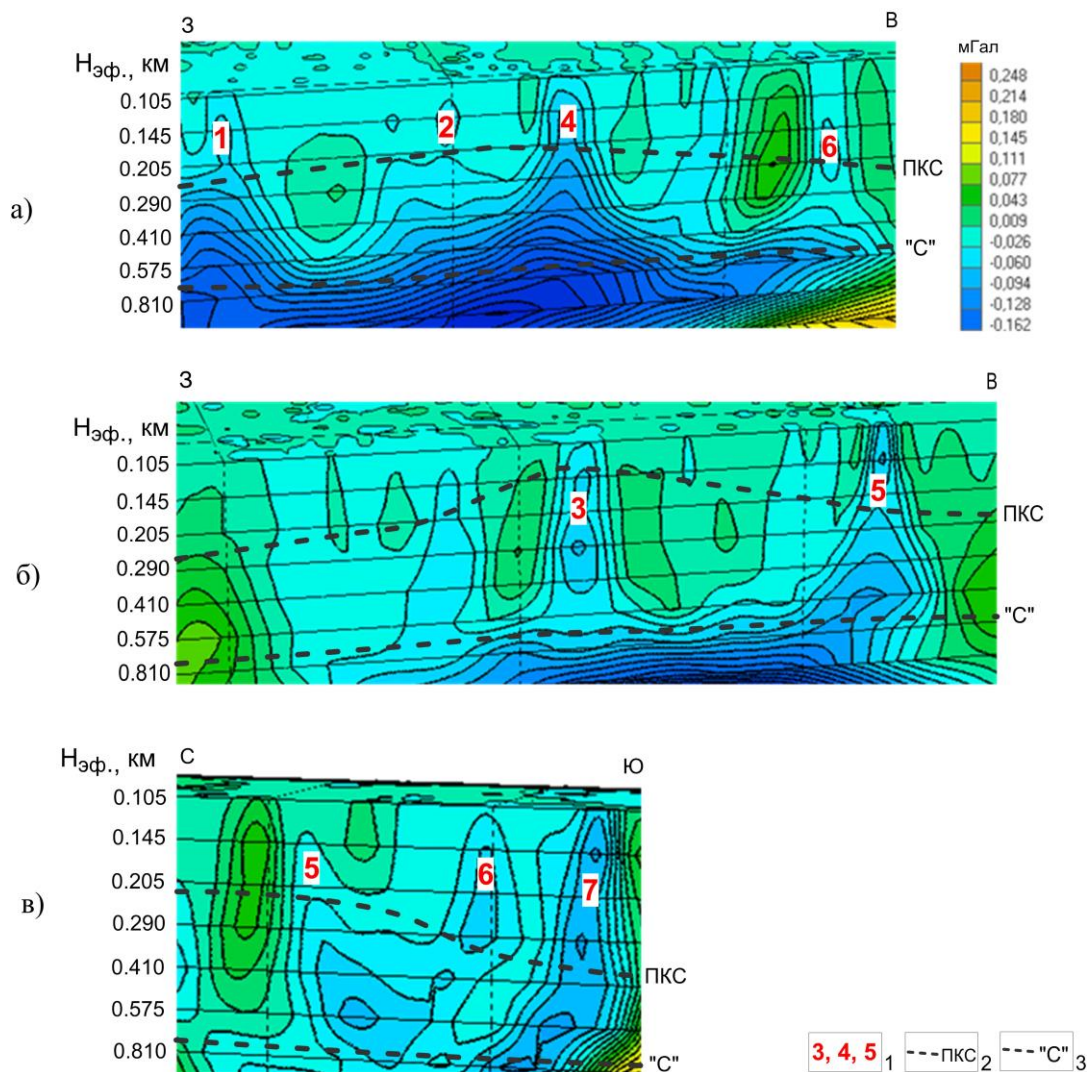
Аномалия 3 выявлена на вершине соляного поднятия, в районе истока реки, которая стекает в Дуринскую впадину в меридиональном направлении. Горизонтальные размеры аномалии  $0.5 \times 0.8$  км.

На появление разуплотнения 4, которое выявляется в южной части западной цепочки, оказала влияние, кроме того, приуроченность к бортовой зоне франко-турнейского рифа – зоне сложного тектонического развития и сложного геодинамического состояния. На формирование разуплотнения 4 оказали влияние оба тектонических фактора: деформирование надсоляной толщи и приуроченность к рифогенному массиву. Горизонтальные размеры аномалии  $0.8 \times 1.4$  км.

В восточной части площади цепочка из аномалий 5-6-7 приурочена к речной долине. У аномалий, приуроченных к узлам речной системы, отмечаются наибольшие амплитуды и горизонтальные размеры отрицательных аномалий.

На рис. 5 показано вертикальное сечение трехмерной трансформанты гравитационного поля по линии 1, пересекающей аномалию восточной цепочки. Рисунок трансформанты отражает изменчивость плотностного строения породного массива по глубине. Наблюдается неоднородное плотностное строение надсоляной толщи. Соляная же толща, интуитивно представляемая как толща неизменной плотности, согласно картине

аномалий на сечении 1 также характеризуется неоднородностью. Это отражается и на других сечениях через Поповский купол.



**Рис. 5.** Вертикальные сечения трехмерной трансформанты поля: а) по линии 1; б) по линии 2; в) по линии 3. 1 – номера разуплотненных зон; 2, 3 – положение кровли и подошвы соляной толщи, привязанное к эффективным глубинам

Аномалии 6 и 7 на рис. 5 имеют сложное строение, в каждой наблюдается несколько центров локализации, т.е. точек пониженного значения поля (ядер пониженной плотности), которые приурочены к разным эффективным глубинам. Так, проявляется сквозное распространение разуплотнений по вертикали в разных литологических толщах Поповского купола. На вертикальных сечениях, в том числе сечении, изображенном на рис. 5, видно, что толщи разной литологии (надсоляная и соляная), подвергавшиеся геологическим преобразованиям, имеют индивидуальную плотностную картину. Линия изменения характера плотностного строения толщ соответствует на вертикальном сечении положению кровли соляного тела (линия ПКС на рисунке).

Рис. 5 отражает усложнение плотностного строения в южном направлении, в сторону более глубокого залегания кровли соли при приближении к Дуринским впадинам. В этом же направлении увеличивается амплитуда отрицательных аномалий, т.е. степень разуплотнения пород.

Резюмируя, можно отметить, что на трансформантах гравитационного поля отражаются особенности пространственного распределения плотности геосреды, вызванные тектоническими деформациями и другими геологическими процессами. Выявляются аномалии разной частоты: соляному куполу со структурой облекания соответствует отрицательная аномалия адекватных горизонтальных размеров (рис. 3); участкам проявления вторичных по отношению к куполообразованию процессов соответствуют локальные отрицательные аномалии (рис. 4, 5). Таким образом, в плотностном строении территории выявляются причинно-следственные связи между тектоническим развитием территории, ее строением и местоположением разуплотненных участков. Наблюдается тектонический контроль распределения локальных разуплотнений.

На формирование плотностного строения верхней части осадочного чехла рассматриваемой территории большое влияние на протяжении геологической истории оказывали также процессы выветривания, которые наиболее активно осуществлялись в пределах трещиноватых ослабленных участков. При этом плотностные неоднородности, сформированные под действием тектонических сил, приобрели более дифференцированный характер.

*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. Бычков С.Г., Простолупов Г.В., Щербинина Г.П. Выявление потенциально опасных участков на Верхнекамском месторождении калийных солей по гравиметрическим данным // Геофизика. – 2021. – №5. – С. 29-35.
2. Щербинина Г.П., Простолупов Г.В. Влияние техногенных деформаций подработанного массива на трансформанты гравитационного поля // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2022. – № 1. – С. 31-39. – DOI: 10.15372/FTPRPI20220104..
3. Бычков С.Г., Новоселицкий В.М., Простолупов Г.В., Щербинина Г.П. Информационная технология содержательной интерпретации геопотенциальных полей // Геоинформатика [Украина] / НАНУ. – № 1. – 2004. – С. 33-42.
4. Простолупов Г.В. Развитие векторных методов трансформации геопотенциальных полей при решении обратных задач гравиметрии // Горное эхо. – 2021. – № 1 (82). – С. 90-94. – DOI: 10.7242/echo.2021.1.16.