

## ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ПОДРАБОТАННОЙ ТОЛЩИ

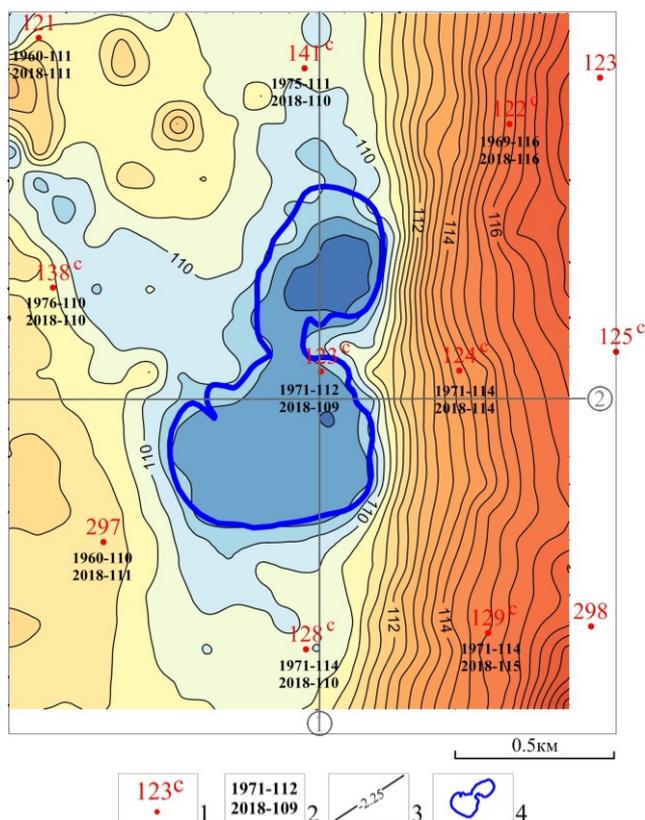
Г. П. ЩЕРБИНИНА

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация.** На подработанных горными выработками участках Верхнекамского месторождения калийных солей происходят процессы переформирования плотности пород в подработанном массиве под влиянием техногенного оседания. Гравиразведка позволяет выявить картину плотностного строения массива на момент проведения съемки. Процессы переформирования плотностного состояния идут постоянно. Повторное проведение гравиметрической съемки через какой-то промежуток времени (мониторинг) дает возможность по изменению гравитационного поля выявить динамически активные участки, где в данный период происходило изменение плотности. Обычно изменение плотности происходит в сторону уменьшения, т.е. породы теряют свою прочность. Такие участки представляют наибольшую опасность с точки зрения сохранности рудника от затопления. В данной статье описываются методические приемы выявления участков активного разуплотнения.

**Ключевые слова:** рудник, гравиметрия, месторождение солей, мониторинг, безопасность, оседание.

На подработанной территории Соликамского рудоуправления в 1991 году образовалось техногенное озеро, через три года после завершения выемочных работ. Размеры озера в 2018 г. составили 0.4-0.8×1.2 км. На участке, где сформировалось озеро, отработаны пласты АБ и Кр-2. Озеро расположено в долине р. Камы в 1.5 - 2-х км от берега. Здесь наблюдается близкий к земной поверхности уровень грунтовых вод при субгоризонтальном рельефе (рис. 1).



**Рис. 1.** Рельеф земной поверхности:

1 – скважины; 2 – абсолютные отметки устья скважин в год бурения (м), абсолютные отметки рельефа земной поверхности в 2018 г. (м); 3 – изогипсы; 4 – контур техногенного озера

В тектоническом отношении изучаемый участок расположен на крутом западном склоне Поповского соляного поднятия. Средний угол погружения кровли покровной соли в соседний Камский прогиб составляет  $4.4^\circ$ . Продуктивная толща содержит большой процент карналлитовых пород, характеризующихся низкими прочностными свойствами и высокой пластичностью. В таких условиях продуктивная толща находится в нестабильном геодинамическом состоянии, т.к. в ней формируются силы вызывающие стремление толщи, залегающей выше карналлитов, соскользнуть вниз по склону. При появлении пустот горных выработок данное состояние начинает проявляться в виде геодинамических процессов в подработанном массиве, добавляясь к процессам оседания. Так как силы соскальзывания действуют постоянно, то можно считать, что в настоящее время подработанная толща пород находится в неуравновешенном состоянии, и в ней происходят процессы, изменяющие ее физические свойства [1].

Со времени проведения выемочных работ (1972–1987 гг.) к 2018 г. прошел большой период. За это время над выработанным пространством в пределах склона соляного поднятия сформировалась мульда оседания – область пониженного рельефа в земной поверхности (рис. 1). О техногенном происхождении наблюдаемого понижения рельефа говорит сравнение абсолютных отметок устьев скважин, пробуренных здесь до проведения горных работ в 1960–1970 гг., и современных отметок земной поверхности, полученных при гравиметрической съемке. В районах трех скважин  $128^C$ ,  $123^C$ ,  $141^C$  современных отметки рельефа ниже на 1 – 4 м (рис. 1). Техногенное озеро находится в центре мульды оседания, где земная поверхность опустилась ниже уровня грунтовых вод.

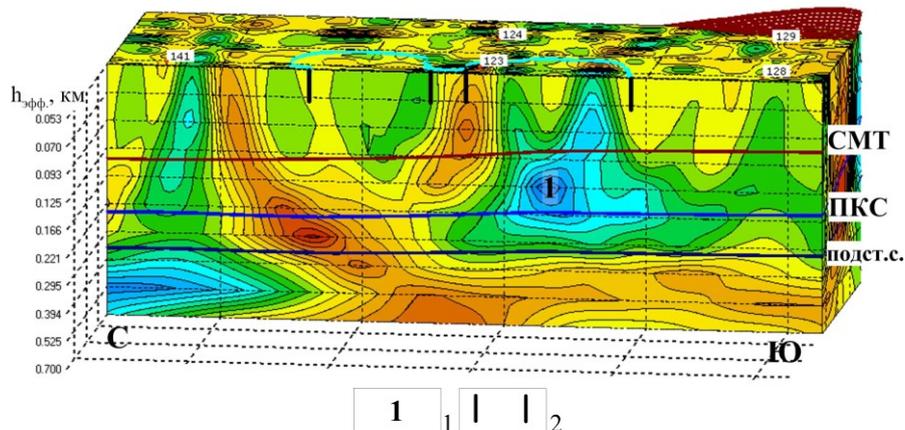
Эти изменения наземной ситуации свидетельствуют о происходящих в подработанном массиве деформационных процессах. Причиной интенсивного оседания подработанной толщи и формирования обширной мульды на крутом крыле соляного поднятия является сочетание сложных структурных условий (крутой склон), наличие в продуктивной толще большого количества пластичных карналлитов и слабых выветрелых, по описанию керна, пород в надсоляной толще. Деформирование подработанного массива при оседании под действием гравитации, в сочетании со стремлением масс к соскальзыванию по склону, приводили к значительному изменению физических свойств подработанных пород, в том числе плотности. Как показали гравиметрические исследования, процессы изменения плотностного строения в подработанном массиве не завершились до настоящего времени.

**Плотностное строение** подработанного массива в настоящее время позволили выяснить трансформанты гравитационного поля, измеренного в 2018 г. Трансформанты получены в системе VECTOR. Одна из них приведена на рис. 2. Здесь на вертикальном сечении трехмерной трансформанты, представляющей модель плотностного строения, наблюдается интенсивная отрицательная аномалия 1, выявленная в южной части озера, которая отражает разуплотненное состояние пород. Как видно из рисунка, данная аномалия локализуется на эффективных глубинах соляно-мергельной толщи, а это означает, что она отражает разуплотненное состояние пород этой толщи и близкого стратиграфического интервала. Аномалия имеет горизонтальные размеры 600–700 м.

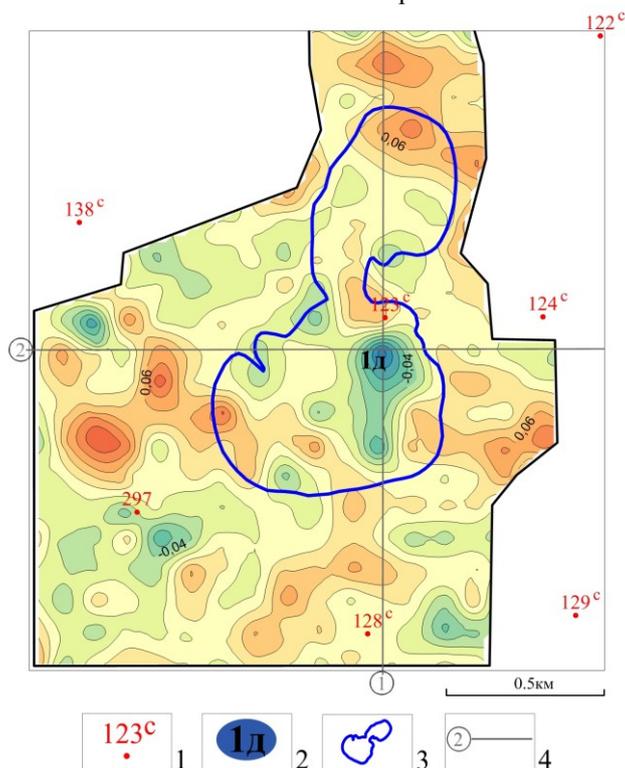
Выше, в терригенно-карбонатной толще, наблюдается другая закономерность распределения плотностных свойств. Здесь выявлено несколько разуплотненных областей небольших горизонтальных размеров (150–200 м), отходящих от основной аномалии и выходящих к земной поверхности.

Очевидно, что наиболее опасными с точки зрения целостности толщ, перекрывающих горные выработки, являются участки, где динамические процессы происходят в настоящее время. Перераспределение плотности в подработанном массиве за период 2016–2018 г.г. определялось по изменению поля силы тяжести между съемками. Разница полей (динамическое поле) приведена на рис. 3. Гравиметрические наблюдения, проведенные с перерывом в два года, позволили установить картину происходивших

изменений. Отрицательные локальные аномалии на рисунке 3 указывают на участки, где за два года произошло понижение значений гравитационного поля. Горизонтальные размеры динамических аномалий составляют 100–200 м, амплитуда их от 0.01 до 0.14 мГал. Наиболее интенсивная отрицательная аномалия 1д, фиксирующая максимальное уменьшение плотности, выявлена в южной части техногенного озера и приурочена к краевой части разуплотненной зоны 1, показанной на рис. 2.



**Рис. 2.** Вертикальное сечение трехмерной трансформанты гравитационного поля по линии 1 (модель плотностного строения), 2018 г.: **СМТ** – кровля соляно-мергельной толщи, **ПКС** – кровля покровной каменной соли, **подст.с.** – кровля подстилающей каменной соли (положение стратиграфических границ на эффективных глубинах трансформанты); 1 – номер аномалии; 2 – границы техногенного озера



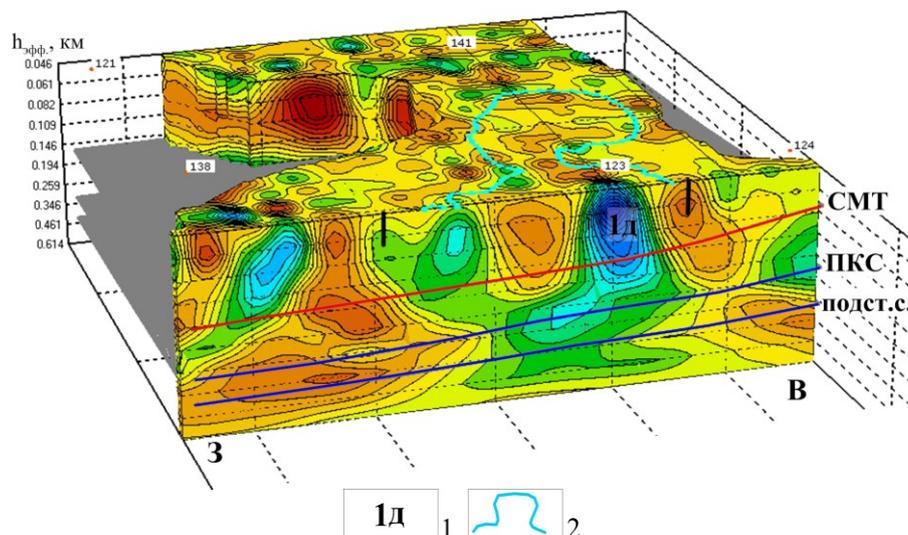
**Рис. 3.** Разница гравитационных полей съемок 2016 и 2018 г.г. (динамическое поле): 1 – скважины; 2 – участки понижения поля, номер динамической аномалии; 3 – контур техногенного озера; 4 – линия вертикального сечения трехмерной трансформанты динамического поля

Несколько участков незначительного понижения поля зафиксированы вне пределов озера. В северной же части озера заметных изменений гравитационного поля не обнаружено. Это означает, что в изучаемый промежуток времени значительного переформирования плотности в этой части территории не происходило.

Построенные разностные и трехмерные трансформанты динамического поля показали следующее. В наибольшей степени процессы разуплотнения в период 2016–2018 г.г. проходили в южной части техногенного озера в 150 - 200 м южнее скважины 123<sup>С</sup>. Наибольшее изменение плотности отражает аномалия динамического поля 1д (рис. 4), локализация которой приурочена к терригенно-карбонатной толще. Здесь плотность уменьшилась на 0.10–0.12 г/см<sup>3</sup>.

Ниже, в соляно-мергельной толще (рис. 4), картина распределения динамически активных зон другая. Согласно модельным расчетам в этой части разреза понижение плотности пород за два года составило 0.04 г/см<sup>3</sup>.

Интерпретация гравиметрических данных показала, что толщи подработанного массива, сложенные породами с разными физико-механическими свойствами, при техногенных деформациях формируют разные картины динамически активных зон. Это хорошо видно на рис.4. Данный вывод дополняет картину ранее установленных особенностей строения надсоляной толщи на Верхнекамском месторождении [3].



**Рис. 4.** Вертикальное сечение трехмерной трансформанты динамического поля по линии 2: СМТ – кровля соляно-мергельной толщи, ПКС – кровля покровной каменной соли, подст.с. – кровля подстилающей каменной соли (положение стратиграфических границ на эффективных глубинах трансформанты), 1 – номер аномалии; 2 – контур техногенного озера

**Выводы.** Сравнение гравитационных полей, измеренных на подработанной территории на западном склоне Поповского соляного поднятия в 2016 и 2018 гг., позволило сделать выводы о том, что в настоящее время в южной части техногенного озера продолжается разуплотнение пород на локальных участках. Процессы разуплотнения зафиксированы во всех подработанных толщах. В каждой толще наблюдается своя плановая картина деформирующихся участков. Участок максимального проявления процессов разуплотнения выявлен в 150–200 м южнее скважины 123<sup>С</sup>. За два года (2016–2018) в разных толщах плотность на локальных участках уменьшилась на 0.04–0.12 г/см<sup>3</sup>.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-45-59001р\_а*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Турчанинов И.А. Основы механики горных пород. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.: ил.
2. Щербинина Г.П., Простолупов Г.В., Бычков С.Г. Гравиметрические исследования при решении горно-геологических задач на Верхнекамском месторождении калийных солей // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2011. – № 5. – С. 29-36.