

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чугаев А.В., Санфиров И.А., Кузнецов А.И., Богданов Р.А. Скважинный сейсморазведочный мониторинг породного массива с применением оптоволоконных распределенных акустических датчиков // Наука и технологические разработки. – 2023. – Т. 102, № 4. – С. 50-63. – DOI: 10.21455/std2023.4-3.
2. Бережнев Я.М., Беловежец Н.Н., Рукавишников Г.Д. Извлечение поперечной сейсмической волны из записей сейсмического шума на Таштагольском железорудном месторождении методом пассивной интерферометрии // Геофизические технологии. – 2024. – № 3. – С. 65-73.
3. Санфиров И.А., Чугаев А.В., Трапезникова А.Б., Тезикова А.Д. Направления развития сейсморазведочного мониторинга водозащитной толщи действующих соляных рудников // Горный журнал. – 2023 – № 11. – С. 27-31. – DOI: 10.17580/gzh.2023.11.04.

УДК 550.831.016

DOI:10.7242/echo.2025.2.4

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ
ПОРОД ПОДРАБОТАННОЙ ТОЛЩИ В РАЙОНЕ ТЕХНОГЕННОГО ОЗЕРА
ПО ДАННЫМ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Г.В. Простолупов

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: На территории техногенного озера Верхнекамского месторождения калийных солей с 2016 года с периодичностью в 2-3 года проводятся мониторинговые гравиметрические наблюдения. Получена серия карт динамического гравитационного поля. В работе, помимо данных изменения поля во времени, изучены карты гравитационного поля в редукции Буге, проведено их сравнение. Участок исследований находится на подработанной территории, в сложной геодинамической обстановке. Обнаружена значительная изменчивость поля от года к году даже для гравитационных аномалий в редукции Буге. Аномалии динамического поля на фоне аномалий в редукции Буге сосредоточены в большей степени в районе обширных нединамических аномалий. Замечен блуждающий характер расположения динамических аномалий в периодах наблюдений. Сделаны выводы о необходимости включать в мониторинговые исследования трансформанты наблюденного поля в редукции Буге.

Ключевые слова: мониторинг, аномалия, гравитационное поле, оседание, техногенное озеро, трансформанты, интерпретация.

На Верхнекамском месторождении калийных солей на территории техногенного озера с 2016 года с периодичностью в 2-3 года проводятся мониторинговые гравиметрические наблюдения. Ранее были исследованы динамические аномалии в периодах наблюдений в периодах 2016-2018, 2018-2021 и 2021-2023 гг. Обнаружены циклы «разуплотнение – оседание – уплотнение» [1], которые заключаются в инверсии знака динамических аномалий и объясняются процессами разуплотнения-уплотнения и оседания земной поверхности. На начальном этапе происходит разуплотнение, что соответствует отрицательной аномалии. Оседание земной поверхности над зоной разуплотнения приводит к уплотнению пород, что фиксируется положительной динамической аномалией силы тяжести. Это свидетельствует об интенсивной динамике – прекращении процесса разуплотнения пород и начале нового цикла «разуплотнение пород – оседание – уплотнение пород» верх по разрезу с затухающим характером [2].

Результаты мониторинга представляют собой относительные величины. Для расчета динамических аномалий используются только инструментальные наблюдения, без внесения поправок. Также интересно рассмотреть и абсолютные величины – сами гравиметрические карты в редукции Буге в каждом цикле наблюдений. Изменения конфигурации изоаномал заметны уже в наблюденном поле, что говорит о сильной неустойчивости плотностного состояния пород.

Сформировалось техногенное озеро еще в 1991 г. Выемочные работы в пределах техногенного озера проведены по двум пластам – АБ и Кр II. По результатам бурения уровень грунтовых вод был зафиксирован на глубине от 0 до 5 м – участок расположен в долине р. Камы. Поэтому даже небольшое погружение земной поверхности при оседании подработанного массива над горными выработками приводит к формированию открытой водной поверхности, что и происходит в настоящее время.

Контур озера сужением в районе скважины делится на северную и южную части. Длина озера – 1,2 км, ширина южной части 0,7 км, северной – около 0,4 км. Участок работ находится в сложной геодинамической обстановке, в тектоническом отношении расположен на западном склоне обширного соляного вала, который под большим углом погружается в Камский прогиб. Средний угол погружения кровли покровной каменной соли на исследуемом участке составляет $4,4^\circ$. Это создает в продуктивной толще нестабильную динамическую обстановку, когда в толще возникает скользящий момент при стремлении вышележащей надсоляной толщи вниз по склону в сторону Камского прогиба.

В надсоляном разрезе выделяются две толщи с различными физическими и механическими свойствами. Верхняя, состоящая из пестроцветной и терригенно-карбонатной толщ, более жесткая, имеет повышенную плотность. Ниже залегает соляно-мергельная толща, она обладает большей пластичностью и пониженной плотностью пород по сравнению с вышележащей толщей. Под соляно-мергельной толщей залегают соляные породы.

В скважине, находящейся в районе техногенного озера, отмечено много прослоев пород, разрыхленных, разрушенных до обломков, ослабленных, трещиноватых. В соляно-мергельной толще отмечено наклонное до 5° залегание слоев, что говорит о проявлении тут тектонических процессов. Наклонное залегание слоев в переходной толще достигает 30° . Это указывает на то, что в переходной толще проявилось еще и влияние выветривания и деструктивных процессов. Нестабильное состояние подработанного массива усиливается наличием большого количества слабых пластичных карналлитовых пород в продуктивной толще при значительном наклоне слоев на крыле соляного поднятия. Это обуславливает здесь сочетание оседания подработанного массива над горными выработками под действием гравитации и стремления его к сползанию вниз по склону. Развивавшиеся в таких условиях деформации в подработанной толще привели к изменению физического состояния пород, оседанию и возникновению озера [3].

Для выделения слоя, относящегося к подработанной толще, построены карты разностных трансформант в системе Вектор в диапазоне глубин 50-300 м для конца каждого цикла – 2018, 2021 и 2023 гг. (рис. 1). Наблюдается сильное изменение конфигурации поля через 2-3 года от периода к периоду по всей площади. На всех трех картах заметна обширная отрицательная аномалия в нижней части озера. При этом амплитуда этой аномалии на трансформанте увеличивается от периода наблюдений к следующему периоду. Отрицательная аномалия в северной части озера также явно увеличивается, что очень хорошо фиксируется на картах. Амплитуда этой аномалии от года к году увеличивается в 1,5-2 раза.

Интересно рассмотреть расположение динамических аномалий на фоне абсолютных (в редукции Буге). Отрицательные динамические аномалии в периодах наблюдений 2016-2018, 2018-2021 и 2021-2023 гг. нанесены на разностные трансформанты 50-300 м в редукции Буге. Заметен явный нестабильный, «блуждающий» характер местоположения отрицательных аномалий, связанный, вероятно, с крайне неуравновешенным динамическим состоянием подработанной толщи и обнаруженным ранее циклическим эффектом «разуплотнение-оседание-уплотнение». Аномалии динамического поля на фоне аномалий в редукции Буге (нединамических) сосредоточены в большей степени в

районе обширных статических отрицательных аномалий. Что предполагает их явную связь: наиболее активные динамические процессы происходят на фоне крупных разуплотнений подработанной толщи.

По линии 1-1 построены трехмерные трансформанты гравитационного поля в системе «Вектор» [4]. Глубина распространения нединамических аномалий составляет: в первом цикле наблюдений 75-310 м (два центра локализации на глубинах 130 и 230 м), во втором цикле – 40-230 м (два центра локализации на глубине 130 м, разнесены по горизонтали) в третьем цикле – 40-310 м (два центра локализации на глубинах 100 м и 130 м). Красными овалами нанесены контуры динамических аномалий. На вертикальных разрезах трехмерных трансформант они просматриваются в виде интенсивных отрицательных затяжек, соединяющих нединамические аномалии и поверхность трехмерной трансформанты.

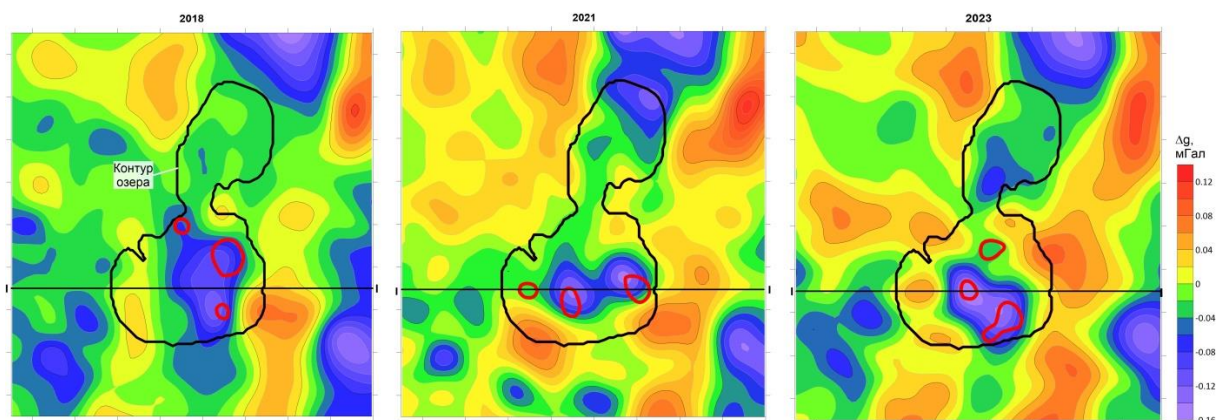


Рис. 1. Трансформанты гравитационного поля в редукции Буге, соответствующие слою 50-300 м (красным цветом – локальные динамические аномалии)

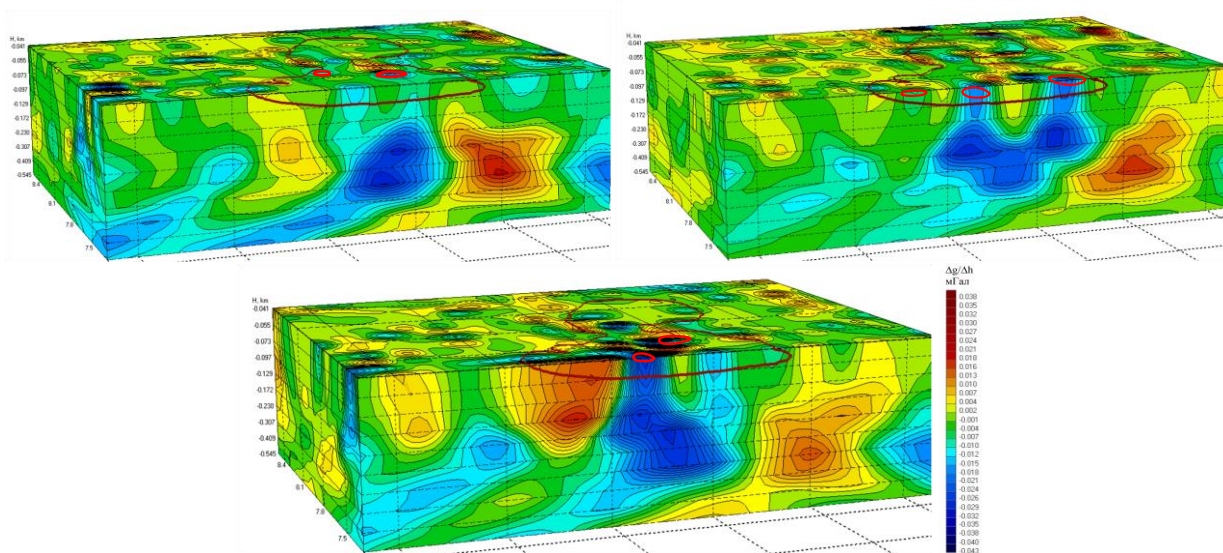


Рис. 2. Трехмерные трансформанты гравитационного поля в редукции Буге (красным цветом показаны локальные динамические аномалии)

Разная конфигурация изоаномал даже наблюдаемого гравитационного поля говорит о крайней нестабильности геодинамического состояния, наблюдаемое гравитационное поле в отличие от динамического формируется всеми геологическими толщами во всем диапазоне глубин. И заметное даже визуально изменение наблюдаемого поля в редук-

ции Буге через 2-3 года говорит о значительном вкладе текущих плотностных изменений в структуру общего гравитационного поля. Это подтверждается тем, что динамические аномалии в большинстве случаев хорошо совпадают с аномалиями того же знака на трехмерных трансформантах нединамического поля в редукции Буге.

В результате данного исследования предлагается при мониторинговых наблюдениях проводить анализ не только динамических аномалий, но и рассматривать трансформанты наблюденного поля в редукции Буге конца цикла наблюдений, в виде разностных трансформант на эффективных глубинах, соответствующих подработанной толще, и вертикальных разрезах трехмерных трансформант.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ (рег. номер 1022040500598-4-1.5.6).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Простолупов Г.В. Применение метода «Полюс» полного градиента поля силы тяжести при мониторинговых исследованиях в районе техногенного озера // Горное эхо. – 2024. – № 1 (94). – С. 60-64. – DOI: 10.7242/echo.2024.1.10.
2. Бычков С.Г., Симанов А.А., Хохлова В.В. Контроль динамики развития разуплотненных зон на основе повторных гравиметрических исследований // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: материалы 49-й сес. Междунар. семинара им. Д.Г. Успенского – В.Н. Страхова / ИГф УрО РАН. – Екатеринбург, 2023. – С. 74-77.
3. 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/FTPRI20220104.
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.