

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА «ПОЛЮС» ПОЛНОГО ГРАДИЕНТА ПОЛЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ПРИ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В РАЙОНЕ ТЕХНОГЕННОГО ОЗЕРА

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. Участок исследований находится на подработанной территории, в сложной геодинамической обстановке. Обработка методом «Полюс» основных аномалий поля показала подтверждение обнаруженной ранее закономерности смены знака аномалии в соответствии с циклами «разуплотнение-оседание-уплотнение», сделано заключение о вероятном затухании этих циклов, уточнены глубины источников аномалий, обнаружено постепенное смещение вверх по разрезу очагов геодинамической неустойчивости.

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

Введение

На участке территории СКРУ-2 Верхнекамского месторождения калийных солей для оценки состояния водозащитной толщи в районе техногенного озера в 2016, 2018, 2021 и 2023 гг. выполнена высокоточная гравиметрическая съемка масштаба 1:10 000, площадью 5 кв. км. По результатам полевых работ построена карта аномалий силы тяжести в редукции Буге с плотностью промежуточного слоя, подобранной для изучаемого участка, $2,3 \text{ г/см}^3$. Расстояние между пунктами наблюдения $100 \times 100 \text{ м}$. По результатам съемок за 7 лет для выявления изменений плотности пород в горном массиве рассчитана разница полей в периодах 2016-18, 2018-21 и 2021-23 гг. В процессе исследований построены трансформанты гравитационного поля по программе VECTOR, проведена комплексная интерпретация по результатам съемки 2016 и 2018 гг. При дальнейшей интерпретации возникла необходимость более точной оценки глубины источников динамических аномалий в районе техногенного озера. Для этого был применен метод «Полюс» – программа Polus2D полного градиента поля силы тяжести [1].

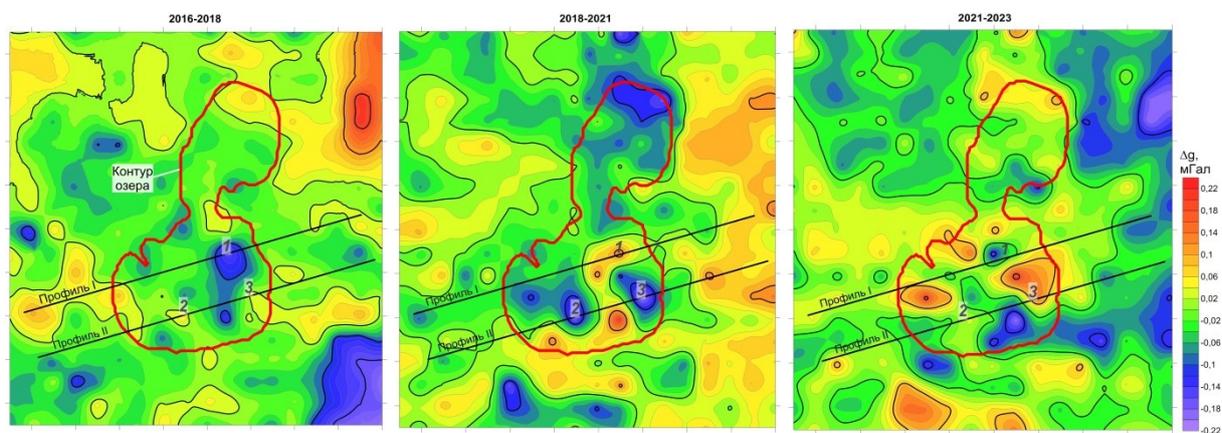


Рис. 1. Динамическое гравитационное поле Δg в трех периодах наблюдений 2016-18, 2018-21, 2021-23 гг.

Геологические особенности района работ

Техногенное озеро сформировалось в 1991 г., через 19 лет после начала отработки продуктивных пластов и через 3 года после завершения их отработки. В пределах техногенного озера выемочные работы проведены по двум пластам – АБ и Кр II. По результатам бурения еще в 1960-70 гг. уровень грунтовых вод в скважинах 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 должно приводить к формированию открытой водной поверхности (озеру), что и наблюдается в настоящее время.

Озеро сформировалось на участке наибольшего оседания подработанного массива, где уровень грунтовых вод оказался выше земной поверхности. Площадь озера пережимом в районе скважины делится на две части – северную и южную. Длина озера около 1,2 км, ширина южной части 0,7 км, северной – около 0,4 км.

В целом участок исследований находится в сложной геодинамической обстановке, в тектоническом отношении расположен на западном склоне обширного соляного вала, который под большим углом погружается в Камский прогиб. Ось Камского прогиба расположена в 4-5 км западнее границы изучаемого участка. Средний угол погружения кровли покровной каменной соли на исследуемом участке составляет $4,4^\circ$. Это создает в продуктивной толще, представленной в том числе прослоями карналлитов и обладающей повышенной пластичностью, нестабильную динамическую обстановку, когда в продуктивной толще возникает скользящий момент при стремлении вышележащей надсоляной толщи вниз по склону в сторону Камского прогиба [2].

В скважине, расположенной непосредственно в районе техногенного озера, в надсоляной толще отмечено много прослоев пород, разрушенных до обломков, разрыхленных, слабых, с трещинами. В соляно-мергельной толще отмечено наклонное до 5° залегание слоев, что говорит о проявлении тут тектонических процессов. Наклонное залегание слоев в переходной толще, падение слоистости в переходной толще достигает 30° . Это указывает на то, что в переходной толще помимо тектонических причин формирования наклонной слоистости, проявилось еще и влияние выветривания и деструктивных процессов.

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 характеризуется большей пластичностью и пониженной плотностью пород по сравнению с вышележающей толщей. Под соляно-мергельной толщей залегают соляные породы.

Нестабильное состояние подработанного массива усугубляется 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 начального физического состояния пород и изменению их свойств, в том числе плотности [3].

Обработка динамического поля методом «Полюс»

Нестабильное в тектоническом плане состояние этого района в значительной степени оправдывает необходимость детального гравиметрического мониторинга. Для выявления изменений плотности пород в горном массиве в период с 2016 по 2023 гг. построены карты динамического поля по трем периодам 2016-18, 2018-21 и 2021-23 гг., названные для краткости соответственно первый, второй и третий периоды (рис. 1).

В наибольшей степени разуплотнение наблюдается в южной части техногенного озера. Наиболее интенсивная аномалия 1 получена по динамическому полю 2016-18 гг. Во втором периоде наблюдений, 2018-21 гг, эта аномалия сменила знак на положительный, вероятные причины этого описаны в [4]. При этом во втором периоде возникли две не менее интенсивные аномалии 2 и 3 (см. рис. 1). Перечисленные три аномалии стали объектом для исследования в настоящей работе.

Через центральную часть этих аномалий проведены профили I и II. По всем трем периодам наблюдений по обеим профилям проведена обработка динамического гравитационного поля – решение обратной задачи в программе Полюс2D, в следующей последовательности. Согласно принятому алгоритму проведена истокообразная аппроксимация значений динамического поля, получены величины производных потенциала V_z , V_x , а также высшие производные V_{zx} , V_{zz} , V_{zxx} , V_{zzz} . По ним построены градиенты ∇V , ∇V_z , ∇V_{zz} и рассчитаны координаты пересечений полных векторов потенциала и его производных в плоскости профиля, в результате чего получены отрицательные и положительные полюсы P . Полюсы первого порядка P_I показали недопустимый разброс, локализация полюсов второго и третьего порядков P_{II} и P_{III} приведена на рис. 2.

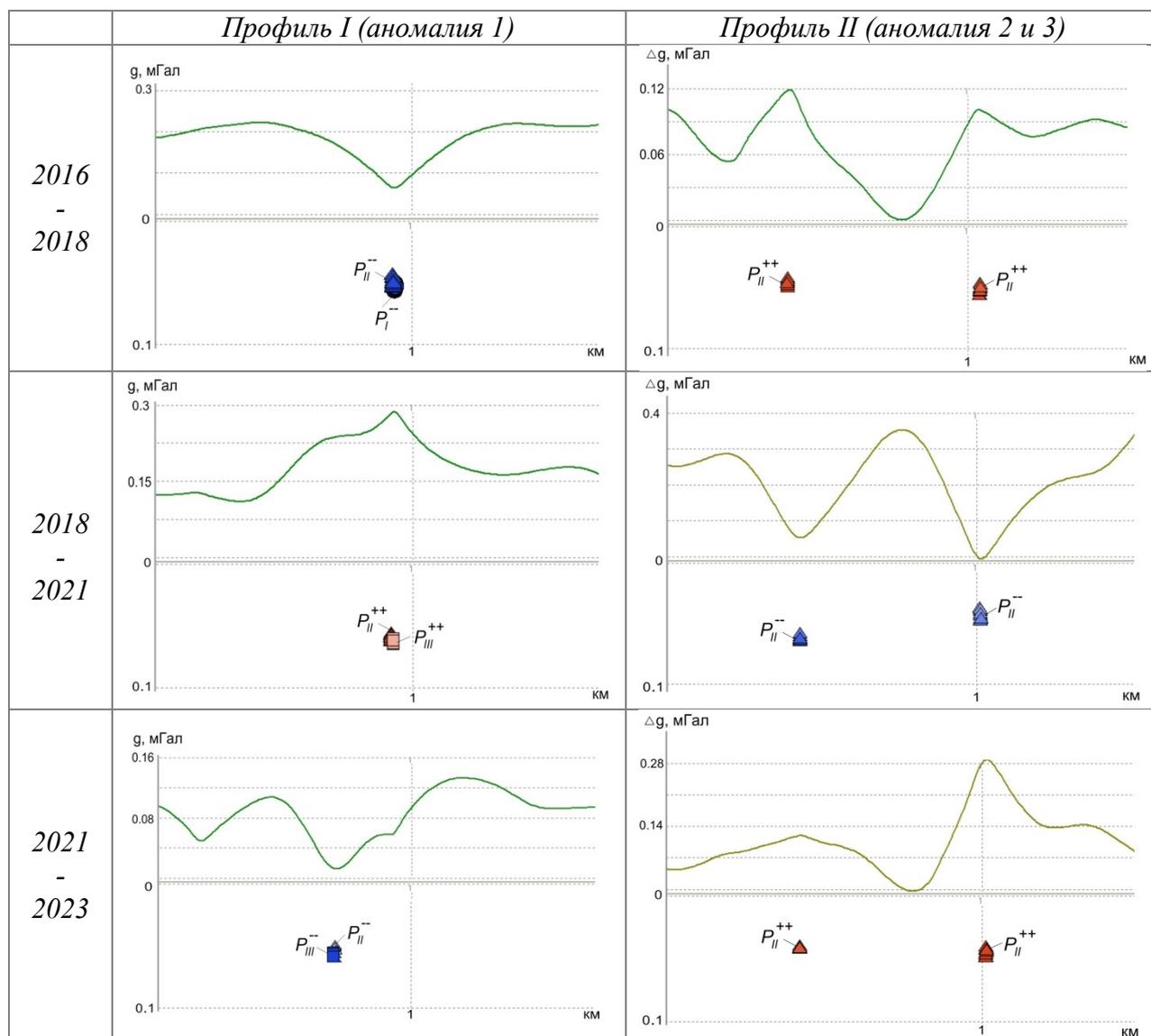


Рис. 2. Решение обратной задачи методом «Полюс» для аномалий 1, 2 и 3 в районе техногенного озера

В предыдущих исследованиях [5] было отмечено явление смены знака динамической аномалии: «В южной части озера в период 2016-18 гг. была наиболее интенсивная отрицательная динамическая аномалия, а к 2021 г. динамическая аномалия стала положительной. Инверсия динамических аномалий объясняется процессом оседания земной поверхности (углублением дна озера). Оседание земной поверхности над зоной разуплотнения приводят к уплотнению пород, что фиксируется положительной динамической аномалией силы тяжести. Это свидетельствует о прекращении процесса разуплотнения пород или начале нового цикла «разуплотнение пород – оседание – уплотнение пород». Данные повторных гравиметрических наблюдений свидетельствуют о продолжении процесса разуплотнения подработанного массива в данной зоне. Вероятно, здесь следует ожидать наиболее интенсивные оседания земной поверхности и расширение озера на север и юг...». Упомянутая аномалия в настоящем исследовании значится как аномалия 1.

Таким образом (см. рис. 2), в первом периоде наблюдений аномалия 1 – отрицательная, во втором – положительная. Это говорит о завершении цикла «разуплотнение-оседание-уплотнение» (РОУ) во втором периоде. В третьем – снова отрицательная, что говорит о начале нового цикла РОУ в третьем периоде. При этом амплитуда аномалии 1 в первый период наблюдений была $-0,15$ мГал, во второй период наблюдений стала положительной – около $+0,15$ мГал, что говорит о «полной компенсации» разуплотнения и завершении цикла «разуплотнение-оседание-уплотнение». Аномалия 1 в третьем периоде наблюдений имеет уже меньшую амплитуду и отрицательный знак – $-0,1$ мГал, что говорит о вновь появившемся разуплотнении и начале нового цикла, но меньшей интенсивности, а также о вероятном затухании (замедлении) процесса вертикального сдвижения горных пород и оседания.

По всем трем аномалиям (см. рис. 2) можно заметить смену знака значений поля в каждом последующем периоде наблюдений.

Аномалии 2 и 3 во все трех периодах наблюдений меняют знаки синхронно: в первый период – положительные, во второй – отрицательные, в третий – вновь положительные. Здесь в первый период можно говорить о завершении цикла «разуплотнение-оседание-уплотнение». Отрицательные аномалии 2 и 3 значительной интенсивности $-0,30$ – $-0,35$ мГал во второй период зафиксировали новый цикл РОУ, что подтверждается последующей компенсацией в третьем периоде в виде уплотнения – положительных аномалий амплитудой $+0,14$ – $+0,28$ мГал. Произойдет ли здесь повторение этого процесса или породы обрели относительную стабильность, покажут следующие мониторинговые наблюдения. Если сравнивать глубину аномалий 2 и 3 в первом и третьем циклах, можно заметить, что глубина положительных аномалий с 50-60 м в первом периоде снизилась до 40-50 м в третьем периоде. Можно сделать предположение о постепенном сдвиге области эпицентра нестабильного состояния вверх по разрезу – от систем выработок к земной поверхности.

Выводы

В целом участок исследований находится в сложной геодинамической обстановке. По трем рассмотренным аномалиям обнаружен эффект ритмичной смены знаков аномальной плотности. Механизм этого явления, «разуплотнение пород – оседание – уплотнение пород», рассмотренный ранее [4] на примере одной аномалии, подтвержден еще на примере двух аномалий. Обнаружены признаки затухания вышеописанного ритмичного процесса в районе техногенного озера, что говорит о замедлении вертикального сдвижения горных пород и процесса оседания. Анализ глубин источников в методе «Полюс» указал на тенденции к движению области неустойчивого геодинамического состояния вверх по разрезу, от выработанного пространства к земной поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полярная трансформация гравиметрических данных «Polus2d»: программа для ЭВМ: свидетельство о гос. регистрации № 2017610475 / Тарантин М.В., Простолупов Г.В.; заявитель и правообладатель ГИ УрО РАН. – 2016662317; заявл. 14.11.2016; зарегистрировано 11.01.2017; опублик. 11.01.2017. – 1 с.
2. Щербинина Г.П. Изучение изменения плотностного состояния подработанной толщи // Горное эхо. – 2019. – № 4 (77). – С. 50-53. DOI: 10.7242/echo.2019.4.12.
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/FTPRPI20220104.
4. Бычков С.Г., Симанов А.А., Хохлова В.В. Контроль динамики 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.
5. Бычков С.Г., Простолупов Г.В., Щербинина Г.П. Выявление техногенных изменений в подработанном массиве по гравиметрическим данным на Верхнекамском месторождении солей // Геофизика. – 2019. – № 5. – С. 43-49.

УДК 550.837

DOI:10.7242/echo.2024.1.11

**МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ
ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

А.А. Тайницкий, Л.А. Христенко

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: С целью изучения деформационных процессов земной поверхности был выполнен комплекс геолого-геофизических исследований, включающий электрометрические исследования методами симметричного электропрофилирования и естественного электрического поля. Приведены результаты разложения естественного поля на составляющие с использованием алгоритма адаптивной двумерной энергетической фильтрации программного комплекса «КОСКАД 3D». Полученные локальные поля могут быть использованы при совместной интерпретации результатов других методов для уменьшения неоднозначности толкований.

Ключевые слова: электропрофилирование, естественное поле, кажущееся сопротивление, адаптивная фильтрация.

В пределах шахтного поля Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС) проектируется трасса газопровода высокого давления. В связи с проявлением деформационных процессов земной поверхности в створе проектируемой трассы для определения их характера и возможной динамики был выполнен комплекс геолого-геофизических исследований. Наряду с наземными сейсморазведочными исследованиями, бурением и специализированными наблюдениями в скважине, комплекс включал электрометрические исследования, которые наиболее чувствительны к влажности пород, избыточностью которой и вызваны зачастую негативные процессы в горных массивах.

Поскольку выраженные деформации и линии трещин были обнаружены в ноябре 2022 г., первоначально электрометрические наблюдения были выполнены на 2 профилях методом симметричного электропрофилирования (СЭП) с тремя разносами питающей линии АВ (100, 200, 400 м) и разносом приемной линии MN равным шагу съемки 20 м.

На пр. № 1 кажущиеся сопротивления (КС), полученные с разносом АВ/2 = 50 м, изменяются от 45 до 110 Ом·м. Среднее КС составляет около 70 Ом·м. Интервалы от-