

Результаты расчета коэффициента интенсивности напряжений свидетельствуют, что его максимальные значения, а, следовательно, наиболее вероятные условия для роста трещины, возникают в нижней части ВЗТ. С увеличением расстояния от кровли продуктивного пласта до вершины трещины его значение падает. Это объясняется более высоким уровнем действующих напряжений в нижней части ВЗТ - с увеличением расстояния от кровли очистных камер техногенное воздействие на массив уменьшается.

Значение коэффициента интенсивности напряжений в окрестностях вершины трещины зависит от места расположения природных трещин относительно границ выработанного пространства. На участках со значительным градиентом оседаний земной поверхности он может превышать предельно допустимые значения для трещин достигающих верхней части ВЗТ, что наиболее опасно с точки зрения сохранности ВЗТ.

Таким образом, для обеспечения безопасных условий подработки ВЗТ не рекомендуется оставление открытых природных трещин в краевой части выработанного пространства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амусин, Б.З., Линьков А.М. Об использовании переменных модулей для решения одного класса задач линейно-наследственной ползучести // Механика твердого тела. – 1974. – № 6. – С. 162-166.
2. Барях А.А., Самоделкина Н.А. Об одном подходе к реологическому анализу геомеханических процессов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2005. – №6. – С. 32-41.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.: ил.
4. Кузнецов Г.Н. Механические свойства горных пород. – М.: Углетехиздат. – 1947. – 180 с.
5. Барях А.А., Еремина Н.А., Грачева Е.А. Оценка условий развития трещин в подработанном соляном массиве // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1994. – № 5. – С. 84-88.
6. Броек Д. Основы механики разрушения. – М.: Высш. шк., 1980. – 368 с.: ил.
7. Зильбершмидт В.Г., Спиркова С.И., Замесов Л.А. Развитие трещины в каменной соли при плоском сдвиге // Изв. вузов. Горн. журн. – 1982. – № 6. – С.13-14.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

УДК 550.83

DOI:10.7242/echo.2019.4.10

МЕТОДИКА СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГРАВИМЕТРИИ НА ПРИМЕРЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

А.А. СИМАНОВ

Горный институт УрО РАН, Пермь

Аннотация: Длительные техногенные нагрузки, связанные с эксплуатацией месторождений полезных ископаемых, являются мощным воздействием на природную геологическую среду. Откликом на эти воздействия могут быть масштабные изменения, ведущие к катастрофическим последствиям – просадкам и провалам земной поверхности, угрожающие жизнедеятельности и приносящие значительные экономические потери. Для изучения и прогнозирования негативных инженерно-геологических явлений широко используются геофизические методы, немаловажную роль в комплексе которых играют гравиметрические исследования. Об актуальности задачи выявления техногенного воздействия на геологическую среду говорят факты катастрофических аварий последних лет с затоплением рудников Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС), расположенного в Пермском крае.

Ключевые слова: гравиразведка; мониторинг, аномалия гравитационного поля, динамическая гравитационная аномалия, обратные задачи геофизики.

С целью выявления вариаций силы тяжести, связанных с техногенным воздействием на геологическую среду, на Верхнекамском месторождении калийных солей проводятся повторные и мониторинговые гравиметрические наблюдения [3]. Мониторинговые наблюдения поля силы тяжести выявляют динамику процессов деформации породных масс и позволяют осуществить прогноз опасных и катастрофических ситуаций. По результатам повторных наблюдений рассчитывается динамическая аномалия силы тяжести, определяемая как разность между последующими и предыдущими значениями силы тяжести. Поскольку все неизменные составляющие гравитационного поля в равной степени присутствуют в любой паре наблюдений, динамическая аномалия отражает конкретный горнотехнический процесс.

Интерпретация динамических аномалий силы тяжести осуществляется на основе совместного применения качественных и количественных методов извлечения геологической информации из гравиметрических данных [5]. На начальной стадии интерпретационного процесса используется система VECTOR, с помощью которой строится изображение геологической среды – пространственное распределение квазиплотности, отражающее некоторые элементы физико-геологической модели. Параметр квазиплотности не имеет размерности физического параметра плотности, а шкала глубин построенных разрезов и 3D-диаграмм не отвечает истинной. Однако результаты векторного сканирования успешно используются для уточнения геологических гипотез и задания априорных ограничений при последующем решении обратной задачи. Далее выполняется многократное (порядка 300–1500 циклов) решение обратной задачи гравиразведки монтажным методом [2], полученная совокупность частных решений преобразуется в сеточное распределение вероятностных характеристик $\rho_{k,\alpha}$, являющееся содержательной геоплотностной моделью. Области высоких значений $\rho_{k,\alpha}$ отвечают наиболее достоверно выделяемым возмущающим объектам. Результатом интерпретации динамических аномалий является вероятный интервал глубин изменения массы (объема) горных пород, произошедший между двумя парами измерений поля.

В 2006 году проникновение подземных вод в шахты Первого Березниковского рудника привело к его затоплению и последующим провалам земной поверхности на территории г. Березники (Пермский край). В районе провалов проведены детальные мониторинговые гравиметрические съемки с целью оконтуривания и изучения опасных зон, выяснения их природы, глубины распространения разуплотненных пород, а также выявления потенциально опасных участков на прилегающих территориях.

На рис. 1 приведено гравитационное поле после провала земной поверхности в ноябре 2010 г. На данном участке проведено несколько циклов гравиметрических наблюдений (в ноябре 2010 г. и феврале 2011 г. на всей площади, в сентябре 2011 г. в центральной части и в сентябре, октябре, декабре 2016 г. на востоке площади).

Первый цикл гравиметрических съемок в конце 2010 г. и начале 2011 г. был проведен после провала земной поверхности (контур провала показан цифрой I на рис. 1). Динамические аномалии силы тяжести были выявлены только вблизи этого провала. Результаты интерпретации динамической аномалии показали, что зона разуплотнения расположена на глубинах 40-70 м и приурочена к водозащитной надсоляной толще.

В сентябре 2011 г. в зоне повышенных оседаний земной поверхности к северу от провала проведены повторные гравиметрические измерения, по результатам которых выявлена динамическая аномалия силы тяжести (рис. 2 а), свидетельствующая о процессе разуплотнения пород, начавшегося после февраля 2011 г. На 3D диаграмме поля, полученной в системе Vector (рис. 2 б), видно, что с увеличением коэффициента трансформации зона разуплотнения смещается на юг в сторону первого провала. Количественный анализ вариаций гравитационного поля во времени показал, что источник динамической аномалии, характеризующейся функцией локализации, расположен на глубинах 20-40 м (рис. 2 в) и приурочен к водозащитной надсоляной толще.

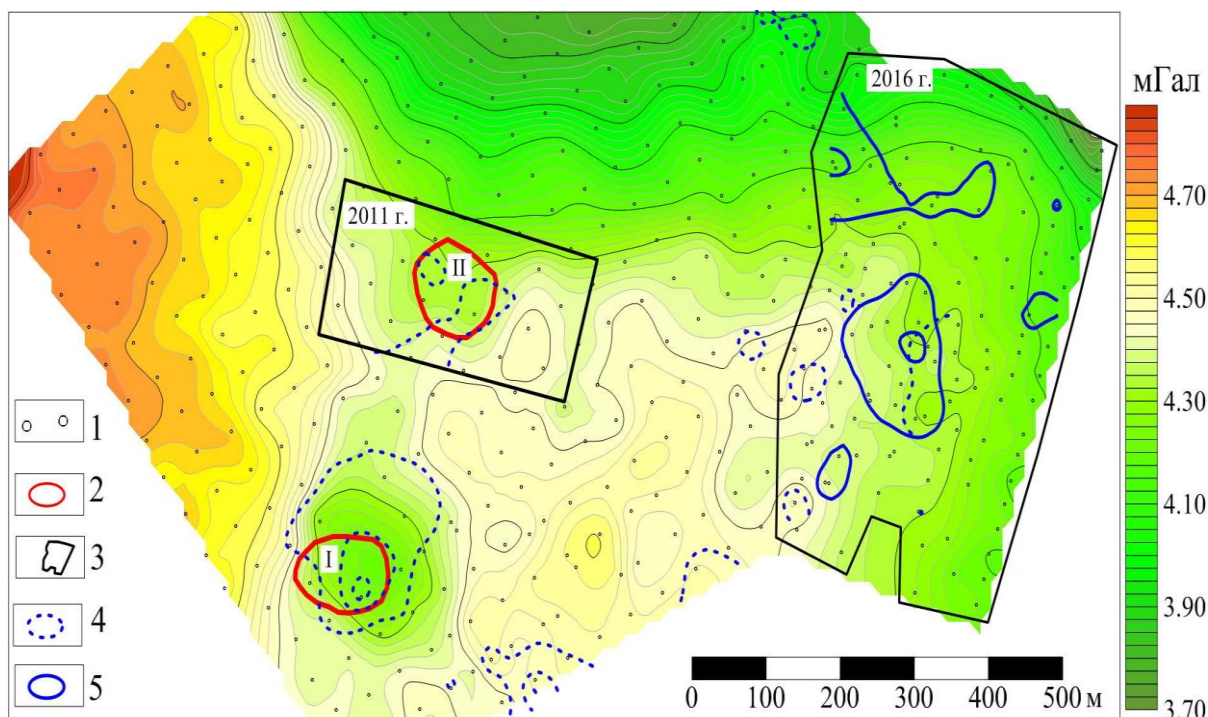


Рис. 1. Гравитационное поле в районе земной поверхности: 1 – пункты гравиметрических наблюдений, 2 – провалы земной поверхности (I – 11.2010 г. и II – 12.2011 г.), 3 – участки повторной гравиметрической съемки, 4 – динамические аномалии силы тяжести за период 11.2010 – 09.2011 г. (сечение изолиний 0.020 мГал), 5 – динамические аномалии силы тяжести за период 09.2016 – 12.2016 г. (сечение изолиний 0.010 мГал)

Дальнейшее развитие событий привело к образованию в декабре 2011 г. еще одного провала земной поверхности (обозначенного цифрой II на рис. 1 и 2) в пределах обнаруженной цепочки отрицательных локальных аномалий гравитационного поля северного простирания и динамической аномалии силы тяжести, выявленной по съемке в сентябре 2011 г.

В 2016-2017-2018 гг. работы в восточной части данной площади были продолжены (рис. 1). Здесь зафиксирована динамическая аномалия гравитационного поля амплитудой 0.022 мГал (более чем в три раза превышающая точность съемки), размерами 250×125 м. Модельные расчеты показали, что уменьшение поля на 0.02 мГал при данной форме и размере выделенной динамической аномалии может быть обусловлено источником поля находящимся на глубине порядка 30 м, плотность которого изменилась на -0.10 г/см^3 . Размер зоны разуплотнения может достигать 40×40 м и мощности 20-40 м. Зона разуплотнения, создающая данную динамическую аномалию, представляет, на наш взгляд, повышенную опасность.

Повторные гравиметрические наблюдения (мониторинг) позволяют получить динамические аномалии поля силы тяжести, которые независимы от «стационарных» плотностных неоднородностей, обусловленных геологическим строением исследуемого участка, и отражают процесс воздействия на геологическую среду эксплуатацией месторождений. Разработанная технология проведения и интерпретации мониторинговых наблюдений позволяет перейти на новый качественный уровень получения информации о распределении и развитии во времени плотностных неоднородностей геологического разреза, что существенно повышает безопасность проведения горных работ. Гравиметрия должна применяться как опережающий метод, позволяющий на предварительном этапе уточнить геолого-тектоническую обстановку в пределах шахтных полей, выделить зоны повышенного риска.

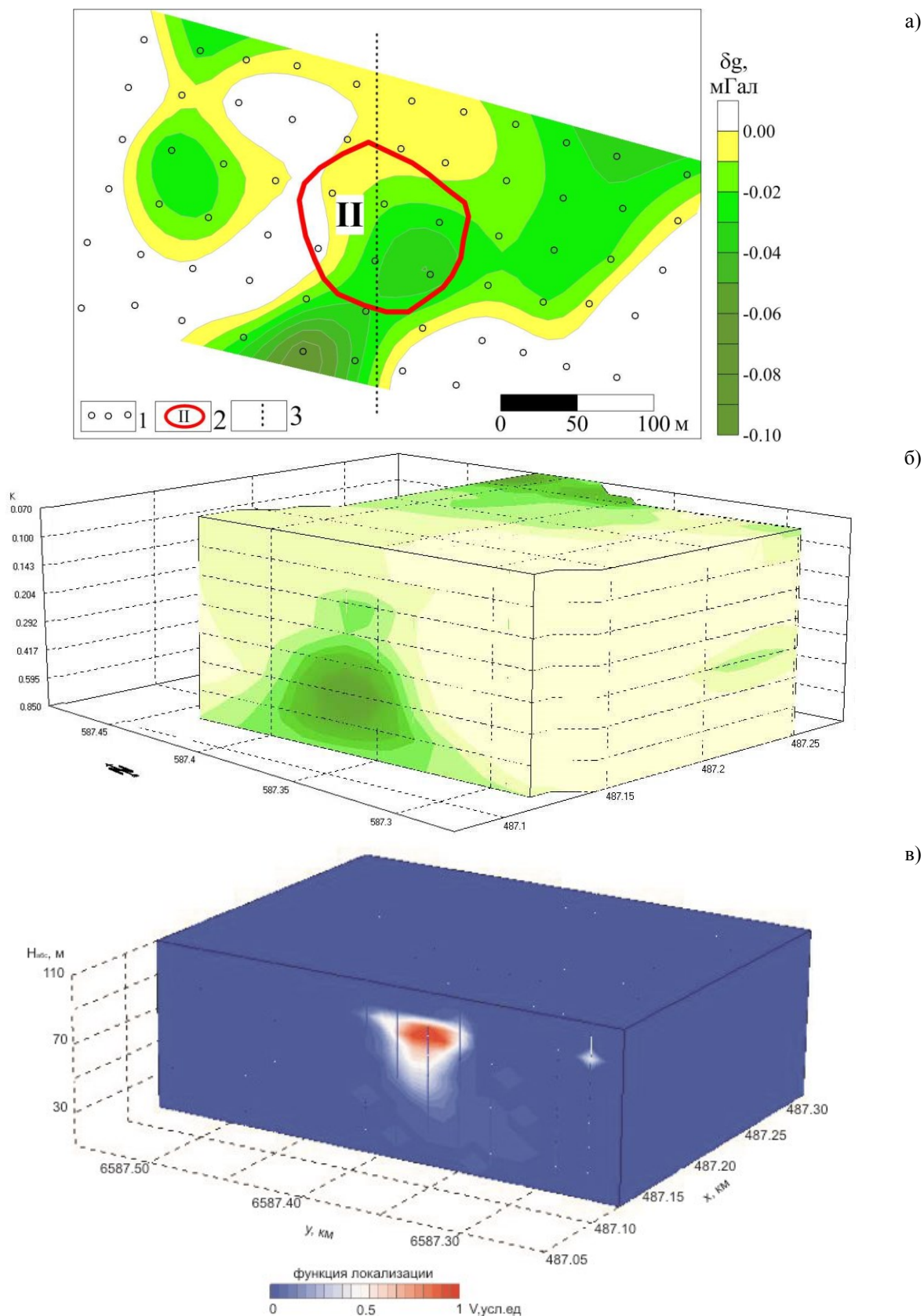


Рис. 2. Результаты интерпретации динамической аномалии: а) гравитационное поле (1 – пункты повторных наблюдений, 2 – провал земной поверхности в декабре 2011 г., 3 – линия вертикального сечения поля), б) трансформанта поля в системе VECTOR, в) результат количественной интерпретации динамической аномалии силы тяжести

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 17-45-590302 p_a).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бычков С.Г., Долгалъ А.С., Костицын В.И., Мичурин А.В., Симанов А.А. Объемное моделирование геологических объектов по гравитационному полю на основе синтеза качественных и количественных методов интерпретации // Геофизика. – 2015. – № 5. – С. 47-54.
2. Мичурин А.В., Пугин А.В., Симанов А.А. Возможности гарантированного подхода при решении трехмерных обратных задач гравиразведки // Геоинформатика. – 2014. – № 1. – С. 42-50.
3. Новоселицкий В.М., Бычков С.Г., Щербинина Г.П., Простолупов Г.В., Яковлев С.И. Гравиметрические исследования изменений плотностной характеристики геологической среды под воздействием горных работ // Горн. журн. – 2008. – № 10. – С. 37-41.
4. Симанов А.А. Информационно-аналитическая система обеспечения крупномасштабных гравиметрических съемок / А.А. Симанов // Геоинформатика. – 2007. – № 4. – С. 1-11.
5. Bychkov S.G., Dolgal A.S., Simanov A.A. Synthesis of qualitative and quantitative methods of extraction of geological information out of gravimetric data // Eurasian mining. – 2013. – № 2. – P. 12-15.

УДК 550.831

DOI:10.7242/echo.2019.4.11

ГРАВИТАЦИОННЫЕ РАЗРЕЗЫ В СИСТЕМЕ ВЕКТОР ПРИ ИЗУЧЕНИИ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ

М.С. ЧАДАЕВ

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В виде карт и разрезов, широко используемых в науках о Земле, приведены результаты применения обрабатывающей системы ВЕКТОР для глубинного изучения земной коры территории Фенноскандинавского щита — объекта всемирного изучения.

Ключевые слова: Фенноскандинавский щит, гравиметрия, ВЕКТОР, ГСЗ, граница Мохо.

При поисково-разведочных работах на континенте и шельфе определяющее значение имеют обоснование типа и мощности земной коры и положения границы Мохо [2, 3]. Установленные корреляционные связи между волновыми и потенциальными геофизическими полями, с одной стороны, и геологическими параметрами земной коры и верхней мантии с другой, обеспечивают возможность последовательного изучения земной коры с глубиной.

Наличие положительно и отрицательно локализующихся аномалий соответственно указывает на превышения и понижения границы Мохо в разрезе (рис. 1 и 2). Линии гравитационных разрезов специально ориентированы вдоль вытянутых аномалий (рис. 1). При этом аномалия по линии 5 на севере прослеживается в Норвежском море.

На рис. 3 дано сопоставление глубинного гравитационного разреза 6 с положением границы Мохо по профилю Феннолора [4]. Отмечается зависимость интенсивности векторного аномального поля от глубины границы Мохо. Золоторудные зоны и месторождения фиксируются положительными аномалиями на срезе.

На рис. 4 графики вертикального среза гравитационной диаграммы 3D, полученные в системе ВЕКТОР, совмещены с графиками глубины до поверхности Мохо по геотраверсу ГСЗ Европейский и по фрагментам профилей 3 и 4. Наблюдается общая закономерность: поднятия границы Мохо соответствуют пониженные значения векторного гравитационного поля.

Используя гравиметрические съемки разного масштаба, и выполняя трансформацию гравитационного поля путем постепенного вовлечения в обработку большего объема информационного потока, имеется возможность получить результаты гравиметрии совместно с разными модификациями сейсморазведки, начиная с осадочного чехла (метод отраженных волн — МОВ), переходя затем к площадям осреднения существенно большего размера (глубинное сейсмическое зондирование — ГСЗ).