

**Рис. 4.** Примеры характерных диаграмм деформирования, полученных с помощью оптической системы VIC-3D (с отмеченными точками для разных промежутков времени  $t_1 - t_4$ ): а – реакция «осевое напряжение-продольная деформация»; б – реакция «осевое напряжение-поперечная деформация»; в – реакция «осевое напряжение-объемная деформация»

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта №19-45-590004.*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bieniawski Z.T Mechanism of brittle fracture of rock. Part I – theory of the fracture process // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts. – 1967. – V. 4, № 4. – P. 405-406.
2. Brace W.F., Paulding Jr B.W., Scholz C.H. Dilatancy in the fracture of crystalline rocks // Journal of Geophysical Research Atmospheres. – 1966. – V. 71, № 16. – P. 3939-3953.
3. Ударцев А.А. Использование оптической системы VIC-3D для изучения полей деформаций при испытании образцов горных пород // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2018. – С. 128-132. DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.33.
4. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии: дата введения 1986-01-07. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 10 с.

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

УДК 550.83

DOI:10.7242/echo.2019.3.10

### ОБРАБОТКА И КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ОДНОМ ИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ В г. БЕРЕЗНИКИ

А.В. МИЧУРИН

*Горный институт УрО РАН, Пермь*

**Аннотация:** Вместо констатации фактов провалов и обрушений, что практикуется в настоящее время при изучении карстовых явлений, разработана методика мониторинговых гравиметрических исследований, которая позволяет получать сведения о геологическом строении массива, об участках с интенсивным развитием карстово-суффозионных процессов, о наличии полостей на начальном этапе их развития. Это позволит сориентировать инженерные работы по обеспечению сохранности и безопасной жизнедеятельности. Рассмотрен вопрос прогнозирования оседаний земной поверхности по результатам мониторинговых гравиметрических наблюдений на примере потенциально опасного участка в г. Березники

**Ключевые слова:** гравиразведка, мониторинг, аномалия гравитационного поля, динамическая гравитационная аномалия, прогноз оседаний.

Об актуальности задачи выявления техногенного воздействия на геологическую среду говорят факты катастрофических аварий последних лет с затоплением рудников Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС). С целью получения информации о развитии негативных инженерно-геологических процессов в массиве, вызванных процессом экс-

плуатации месторождений калийных солей, разработана методика высокоточных мониторинговых гравиметрических наблюдений, включающая в себя определение динамической составляющей, т.е. изменение параметров поля во времени [1].

Гравиметрический мониторинг заключается в выполнении систематических наблюдений и анализе приращений силы тяжести, производимых на одних и тех же гравиметрических пунктах, с применением одних и тех же методик полевых наблюдений (одинаковой точности) и обработки полученных данных в рамках единого подхода. Целью гравиметрического мониторинга является изучение динамических аномалий силы тяжести, вызванных инженерно-геологическими, горнотехническими и/или другими факторами, воздействующими на геологическую среду эксплуатируемых месторождений и прилегающих территорий. Особенность динамических аномалий заключается в их независимости от влияния рельефа земной поверхности, «стационарных» плотностных неоднородностей, обусловленных геологическим строением исследуемого участка, и т.п. Поскольку все эти влияния присутствуют в любой паре наблюдений  $\Delta g_i$ , наблюденная динамическая аномалия имеет строгое соответствие конкретному геологическому, горнотехническому и техногенному процессу.

В г. Березники на одном из потенциально-опасных участков ВКМКС с 2016 по 2018 год были проведены мониторинговые гравиметрические наблюдения. Процесс гравиметрического мониторинга был разделен на три этапа:

- 1) гравиметрические и геодезические наблюдения между гравиметрическим пунктом 1 класса и опорным гравиметрическим пунктом 3 класса, который расположен вне зоны влияния инженерно-геологических, горнотехнических и геодинимических процессов;
- 2) проведение гравиметрических и геодезических измерений на пунктах временной опорной сети;
- 3) гравиметрические и геодезические наблюдения на рядовых пунктах мониторинговых наблюдений. На каждом гравиметрическом пункте выполнялось по три цикла наблюдений продолжительностью от 30 до 60 секунд каждый. Измерения на пунктах рядовой сети производились по однократной методике со 100% повторением двумя гравиметрами. Среднеквадратическая погрешность определения силы тяжести составляла при этом 0,005-0,007 мГал, точность определения высот на закрепленных пунктах 1-2 см.

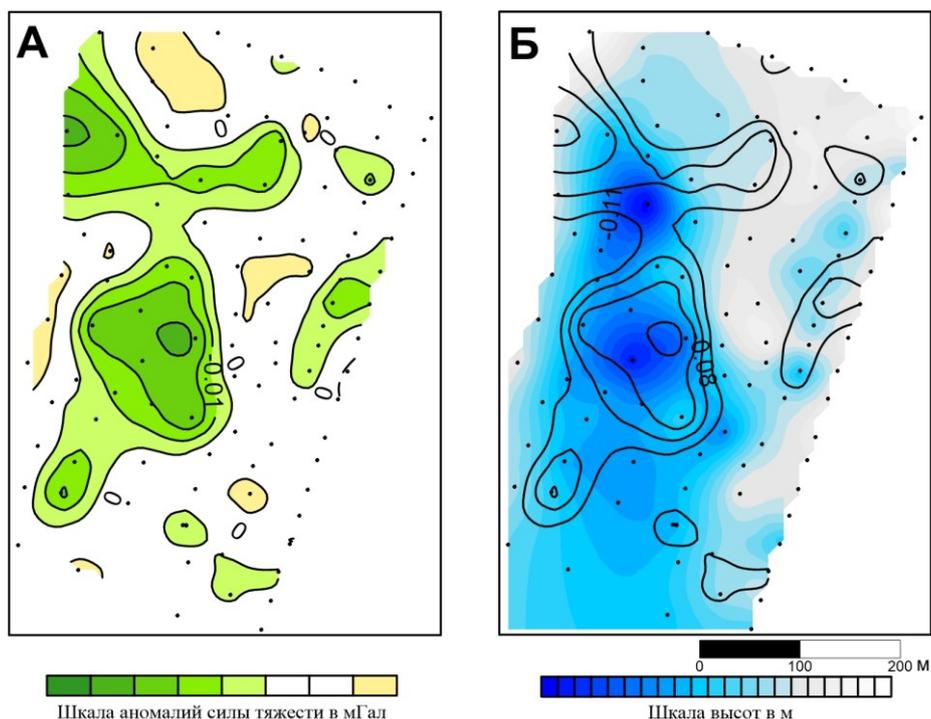
По результатам мониторинговых гравиметрических наблюдений проводимых за весь период исследований с 2016 по 2018 годы решалась задача прогнозирования оседаний земной поверхности по динамическим аномалиям силы тяжести. Анализируя динамические аномалии силы тяжести и карты разности высот можно отметить следующую закономерность: наибольшая часть оседаний и наиболее интенсивные оседания проходят в основном в пределах отрицательных динамических аномалий выявленных на предыдущих периодах мониторинговых наблюдений.

Так при наложении карты динамических аномалий силы тяжести за период с сентября 2016 года по декабрь 2016 года на карту разности высот за период с декабря 2016 г. по сентябрь 2017 г. видим пространственное совпадение выделенной ранее отрицательной аномалии силы тяжести и зон повышенного оседания на исследуемый период (рис. 1). Надо так же отметить, что разница между циклами исследования составила 6 месяцев.

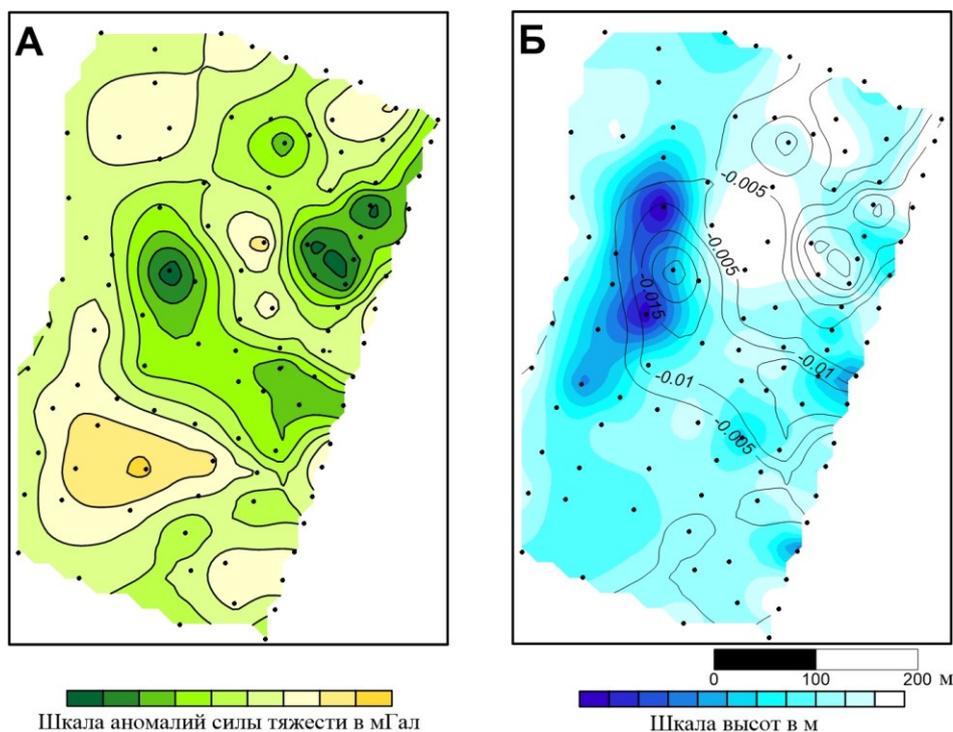
Сопоставим динамические аномалии силы тяжести, полученные в интервале с декабря 2016 г. по июнь 2017 года, и разности высот в период с июня 2017 года по сентябрь 2017 года (рис. 2). В центральной части площади работ отмечается совпадение интенсивных пониженных областей выделенных на карте разности высот и отрицательной динамической аномалии за предшествующий период. В восточной части так же имеется отрицательная динамическая аномалия. В области данной аномалии оседание земной поверхности произошло непосредственно в период времени между циклами мониторинговых гравиметрических наблюдений. То есть, за период между циклами мониторинговых наблюдений произошло разуплотнение пород в выделенной области и затем оседание земной поверхности.

Динамическая аномалия гравитационного поля между циклами наблюдений с июня 2017 года и сентябрь 2017 года характеризуется отрицательными аномалиями в центральной и восточной части участка работ. При наложении на разностную карту высот пространственно совпадают отрицательные аномалии на обеих картах в центре участка работ (рис. 3). Надо сказать, что в данном случае между циклами измерений прошло 14 месяцев. За этот период отрицательная динамика поверхности наблюдений отмечается практически по всей площади исследований. Вероятно, за этот период произошло несколько этапов образования областей разуплотнения в исследуемой геологической среде и как следствие дальнейшее оседание земной поверхности.

Об этом свидетельствует пространственное совпадение отрицательных динамических аномалий и карты разности высот в последнем периоде мониторинговых наблюдений.



**Рис. 1.** Прогноз оседаний земной поверхности по динамическим аномалиям силы тяжести на период декабрь 2016 г. – июнь 2017 г.: А – карта динамических аномалий сентябрь 2016 г. – декабрь 2016 г.; Б – карта разницы высот декабрь 2016 г. – июнь 2017 г. 1 – изоаномалы динамических аномалий; 2 – пункты мониторинговых наблюдений



**Рис. 2.** Прогноз оседаний земной поверхности по динамическим аномалиям силы тяжести на период июнь 2017 г. – сентябрь 2017 г.: А – карта динамических аномалий декабрь 2016 г. – июнь 2017 г.; Б – карта разницы высот июнь 2017 г. – сентябрь 2017 г.

Анализируя рис. 1, 2 и 3 можно сказать, что для прогноза оседаний необходимо проводить мониторинговые наблюдения не реже двух-четырех раз в год, с периодичностью соответственно 3-6 месяцев.

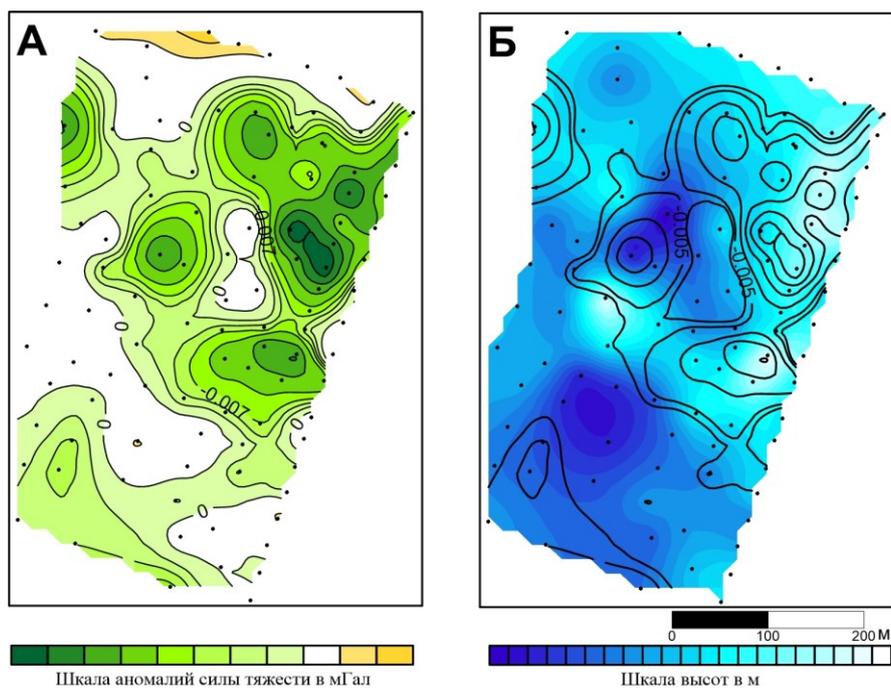


Рис. 3. Прогноз оседаний земной поверхности по динамическим аномалиям силы тяжести на период июнь 2017 г. – сентябрь 2017 г.

Если рассмотреть динамическую аномалию за последний цикл мониторинговых наблюдений, то можно предположить, что наибольшие оседания будут наблюдаться в центральной и юго-восточной части участка работ (рис. 4).

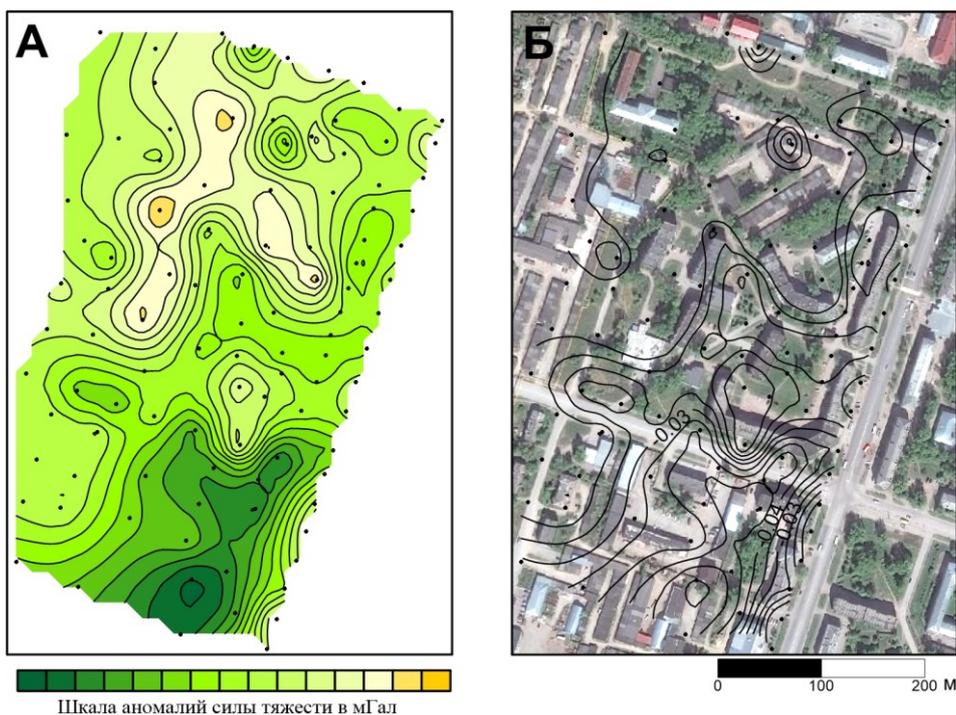


Рис. 4. Прогноз оседаний земной поверхности на 2019 год

Результаты работ являются примером разработки методики исследования, направленного на прогнозирование разрушительных последствий карстово-суффозионных процессов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А. Гравиметрический мониторинг рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Геофизика. – 2017. – № 5. – С. 10-16.