

Результаты сезонных гравиметрических наблюдений на научно-учебном полигоне Александровка (Калужская область)

Лыгин И.В., Кузнецов К.М., Соколова Т.Б., Фадеев А.А.

Гравиметрический мониторинг в настоящее время активно внедряется в практику контроля эксплуатации газовых, газоконденсатных месторождений и подземных хранилищ газа [Андреев и др., 2012; Ruiz et al., 2015]. Он основан на изучении части вариаций поля силы тяжести, обусловленной вертикальным перемещением газо-водяного контакта. Основной природной помехой, маскирующей этот эффект, являются сезонные изменения уровня грунтовых вод, влажности, замерзания-оттаивания верхней (приповерхностной) части разреза. Для ее учета в современной практике гравиметрического мониторинга предлагаются две методики, основанные на прямом расчете гравитационных эффектов приповерхностного слоя сезонных изменений.

В первом случае на площади работ на каждом гравиметрическом пункте проводят гидрогеологические измерения в скважинах или шурфах, по измерениям в которых рассчитывают искомый эффект [Андреев и др., 2012].

Во втором случае на каждом гравиметрическом пункте выполняют дополнительные гравиметрические наблюдения в специально пробуренных скважинах, глубина которых не меньше толщины слоя сезонных изменений [Патент..., 2009]. Полусумма гравиметрических наблюдений на поверхности и под слоем сезонных изменений дает притяжение нижележащей части разреза, свободное от эффектов притяжения слоя сезонных изменений.

Оба способа предполагают бурение дополнительных наблюдательных скважин, что, безусловно, значительно усложняет процесс и повышает стоимость гравиметрического мониторинга.

Нами с 2015 года выполняются опытно-методические сезонные гравиметрические наблюдения на научно-учебном полигоне Александровка (Калужская область, Юхновский район) с целью разработки методики режимных гравиметрических наблюдений для выявления вариаций плотностей в приповерхностном слое сезонных изменений без использования абсолютных измерений силы тяжести и/или удаленной опорной точки. Схема гравиметрических наблюдений включает 16 пунктов:

- 7 пунктов традиционно расположены на дневной земной поверхности с шагом 50 м и составляют горизонтальный фрагмент профиля длиной 300 м;

- 9 пунктов расположены на площадках технологической вышки, то есть разнесены по высоте. Максимальное возвышение крайней точки из вертикально расположенных составляет 9.3 м.

Основной особенностью схемы является наличие вертикально разнесенных пунктов. Это существенный фактор рассматриваемой методики выявления гравитационных эффектов

сезонных изменений гидрологического режима. Учитывая основное свойство гравитационного поля: затухание при удалении от источника, наличие вертикально разнесенных пунктов, позволяет наблюдать изменения гравитационного поля, связанные с приповерхностными плотностными изменениями, в то время как удаленные вариации плотностей либо не влияют, либо влияют на вертикально разнесенные пункты одинаково и таким образом учитываются.

Гравиметрические работы выполнены с использованием гравиметров Scintrex CG-5 Autograv и сопровождаются высокоточными определениями высот пунктов ($\pm 2-4$ мм). Среднеквадратическая погрешность гравиметрических наблюдений в каждой серии измерений составила $\pm 1-2$ мкГал. Микрогальные погрешности, в том числе на высотных пунктах, достигаются тщательностью полевых наблюдений и многократностью измерений.

С зимы 2015 года по зиму 2017 года выполнено 7 серий сезонных измерений – 3 зимних (январь-февраль), 2 летних (июль) и 2 осенних (сентябрь). Для оценки величины и учета аномальных горизонтальных и вертикальных градиентов дополнительно проведены площадные разноуровневые съемки вокруг вышки. В ходе полевых работ оценивался эффект влияния изменений атмосферного давления, при обработке введены поправки за лунно-суточные вариации, высоту, промежуточный слой, топографические поправки и др.

Важными результатами сравнения и анализа приращений силы тяжести между сезонами являются:

- приращения силы тяжести на вертикально расположенных пунктах постоянные, разброс значений не превышает $\pm 2-3$ мкГал;
- на наземных пунктах значения силы тяжести в осенне-летний период в среднем на 10 мкГал больше, чем в зимний.

Приращение силы тяжести 10 мкГал между осенне-летним и зимним сезонами соответствует изменению объемной плотности $\sim 0,024$ г/см³ в слое мощностью 10 м. Если принять, что верхняя часть разреза представлена суглинками с естественной плотностью 2,00 г/см³, то изменению их объемной плотности на 0,024 г/см³ будет соответствовать изменению влажности на 2,4%. Данная оценка вполне согласуется с расчетами А.В. Линцера (1983) и практическими исследованиями на Заполярном нефтегазовом месторождении [Андреев и др., 2012].

Таким образом, выполненные нами высокоточные гравиметрические наблюдения по предложенной методике гравиметрического мониторинга без удаленной опорной точки и без абсолютных измерений подтвердили возможность регистрации вариаций, обусловленных сезонной изменчивости верхней части разреза

В последние годы для мониторинга гидрологического режима используются данные современной гравиметрической спутниковой миссии GRACE [Ткаченко и др., 2017]. Их

специализированная обработка позволяет надежно выявлять сезонные вариации уровня грунтовых вод и влагонасыщенности для крупных бассейнов рек и локальных площадей

радиусом от 100 км, выражаемые в мощности эквивалентного водяного столба [Булычев и др., 2013; Зотов и др., 2016]. Нами сопоставлены данные GRACE в обработке специалистов Университета Колорадо (США) [University...] и полученные нами в ходе опытно-методических работ. Установлена высокая степень сходимости (корреляции) обеих выборок, которая позволяет доверять результатам двух независимых методов и использовать их в паре для изучения сезонных изменений уровня грунтовых вод (и влажности) на ограниченных площадях, в том числе на газовых, газоконденсатных месторождениях и подземных хранилищах газа.

Список литературы

Андреев О.П., Кобылкин Д.Н., Ахмедосафин С.К., Кирсанов С.А., Безматерных Е.Ф., Кривицкий Г.Е. Гравиметрический контроль разработки газовых и газоконденсатных месторождений. - Москва, Недра, 2012.

Булычев А.А., Джамалов Р.Г., Сидоров Р.В. Использование спутниковой системы GRACE для мониторинга изменений водных ресурсов // Недропользование XXI. 2011. № 2. С. 24–27.

Зотов Л.В., Фролова Н.Л., Телегина А.А. Изменение гравитационного поля в бассейнах крупных рек России по данным GRACE // Альманах Современной Метрологии. 2015. № 3. С. 142–158.

Линцер А.В. Основы индустриального применения укрепленных грунтов в дорожном строительстве: Дис. д-ра техн. наук. - Тюмень, 1983.

Патент на изобретение РФ № 2420767, 11.03.2009. Способ гравиметрического контроля разработки газовых месторождений в районах с сезонной изменчивостью верхней части разреза // Андреев О.П., Ахмедосафин С.К., Кирсанов С.А., Безматерных Е.Ф., Кривицкий Г.Е.

Ткаченко Н.С., Лыгин И.В. Применение спутниковой миссии GRACE для решения геологических и географических задач // Вестник Московского Университета. Серия Геология. 2017, № 2. Стр. 3-7..

Ruiz H., et. al. (*Octio Gravitude*) Мониторинг шельфовых пластов методом 4D гравиметрии на морском дне – Современный технический уровень // 77^{-я} Конференция и выставка EAGE, 2015 IFEMA, Мадрид, Испания, 1-4 июня 2015.

University of Colorado: GRACE Data Analysis Website – URL: <http://geoid.colorado.edu/grace/>