

4D изучение резервуара: пример исследования газового хранилища Изот 4D reservoir volumetrics: a case study over the Izaute gas storage facility

Докт. Дункан Бейт* (ARK Geophysics) представляет недавний проект по четырехмерному микрогравиметрическому моделированию, финансируемый во Франции нефтяной компанией, как экономически выгодный способ получения дополнительной информации о строении коллектора без нарушения его естественного залегания.

Измерение гравитационного поля Земли для определения глубинного распределения плотности является разведочным методом уже много десятилетий. Гравитационные аномалии могут быть связаны с глубинными геологическими

структурами и тем самым позволяют выделять такие элементы, как разломы, интрузивы и соляные структуры. Гравиметрические данные высокой пространственной разрешенности (как данные, получаемые при 3D сейсмической съемке) могут использоваться при трехмерном моделировании для определения конечных объемов солей при построении сейсмических изображений, например, путем глубинной миграции до суммирования (PSDM).

Измерение переменного (4D) гравитационного поля для наблюдения за подземными флюидными потоками в углеводородных резервуарах является более новым способом использованием гравитационных данных. ARK Geophysics (ARK) провела периодические измерения над газовым хранилищем Изот в Гаскони (юго-западная Франция), примерно в 60 км к северу от По, с января 2003 по июнь 2004 года. Это хранилище управляется компанией Total Infrastructure Gaz France (TIGF). Проект координировался ITF и финансировался Statoil, Shell и Total.

Резервуар является местным хранилищем газа, заполняющимся в летний период и истощающимся в течение зимы. В цели эксперимента входило определение того, можно ли на практике зафиксировать эти временные изменения гравитационного поля, и если это возможно, то будут ли наблюдения коррелироваться с известными изменениями уровня запасов газа. Было проведено 12 повторных наблюдений (каждое включало более 200 станций) и использовано 2 постоянно работающих гравиметра.

В целом, полученные с интервалами во времени гравитационные данные хорошо согласуются с изменениями гравитационного поля, предсказанными по модели. Все наблюдаемые несовпадения требуют дальнейшего исследования. Источниками этих разногласий являются аппаратные шумы, а также геологические особенности, которые могли быть не зафиксированы в модели резервуара, такие как расчлененность, вариации пористости и проницаемости, или неоткартированные зоны поглощения. Непрерывные измерения поля над резервуаром хорошо согласуются с данными о давлении газа в резервуаре.

Целью этих работ являлась оценка возможности измерения переменного гравитационного поля, вызванного перемещением плотностной границы (например, водо-нефтяного или газо-водяного контакта), при помощи доступной, экономически рентабельной аппаратуры.

Применялся двойной подход, использующий периодические (или динамические) и постоянные измерения гравитационного поля. Программа динамических гравитационных наблюдений включает повторяющиеся стационарные измерения, обычно называемые 4D или периодическими наблюдениями. Эта методика была успешно применена для исследования гидротермальной энергии (Hallinan et al., 1989; Allis et al., 1986) и мониторинга рисков (Rymer & Brown, 1986; Yokoyama, 1989). Постоянные гравитационные измерения заключаются в непрерывной записи вариаций гравитационного поля в течение некоторого периода времени. Эта методика ранее использовалась для длительных исследований приливных движений земли и вулканического мониторинга.

Существует несколько способов измерения гравитационного поля с необходимой для данного проекта точностью. Были использованы гравиметры LaCoste и Romberg G и D с системой обратной связи Алиода. Эта система имеет динамический диапазон 100 мГал (+/-50) и разрешающую способность 0.01 или 0.001 мГал в зависимости от установленной версии.

Изот и соседнее газовое хранилище Люсань сложены субмолассовыми песчаными коллекторами в верхней части крупного многослойного резервуара, который содержит 'интрамолассовый водоносный горизонт', протягивающийся от Пиренеев до северного Бордо. Резервуар Изот сформирован слабо погруженной антиклиналью с мощностью перекрывающих отложений порядка 500 м. Мощность коллектора колеблется от 50 до 80 м, пористость - в пределах 25-35%, а проницаемость меняется от 6 до 20 Дарси. Газ нагнетается в течение летних месяцев (с мая по октябрь) и извлекается в зимние (с ноября до апреля). Общее сезонное изменение уровня газо-водяного контакта составляет 24 м.

Методика

Предварительный расчет модели резервуара (см. рис. 1) предсказал области ожидаемого максимального изменения гравитационного поля. Эта информация помогла спланировать динамические (повторные) наблюдения, позволив расположить измерительные станции рядом с областями максимальных ожидаемых изменений поля. Было выбрано два постоянных пункта для непрерывных измерений, один рядом с областью максимального изменения поля в резервуаре (IZA102, см. рис. 1), а другой примерно в 17 км к юго-западу от хранилища в Национальном Центре Космических исследований (CNES). CNES находился на достаточном расстоянии от хранилища, чтобы не быть подверженным изменениям газонасыщения коллектора.

*Duncan.bate@arkgeo.com - ARK Geophysics Ltd, 1 Mercers Manor Barns, Sherington, Newport Pagnell, MK16 9PU, England.

Аэрогеофизика

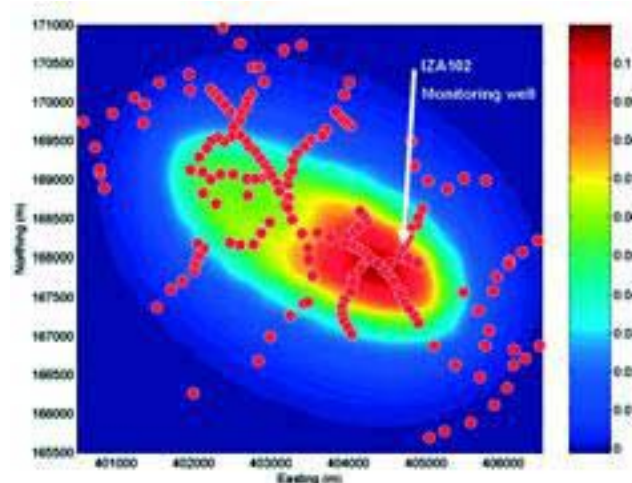


Рисунок 1 Предсказанное изменение гравитационного поля из-за извлечения газа из коллектора, газо-водяной контакт колеблется в пределах -460 и -430 м. Объемная пористость 30%. Станции динамических измерений гравитационного поля показаны красными точками. Амплитуды цветной шкалы указаны в миллигалах.

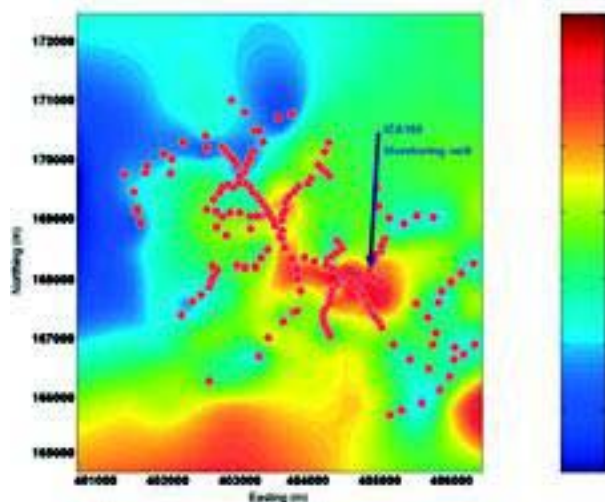


Рисунок 2 Наблюдаемые максимальные изменения гравитационного поля над хранилищем Изот с окт.2003 по апр.2004, что совпадает с периодом извлечением газа. Амплитуды на цветной шкале даны в миллигалах.

Все динамические наблюдения были привязаны к базовой станции в CNES. Первое измерений было проведено в феврале 2003 г и повторялось ежемесячно до августа 2003. После этого с августа 2003 до июля 2004 наблюдения проводились один раз в два месяца. Постоянные станции записывали вариации гравитационного поля с января 2003 до июля 2004 лишь с несколькими короткими перерывами из-за технических неполадок.

Результаты

Максимальные наблюдаемые изменения гравитационного поля (см. рис. 2), которые возникли с октября 2003 до апреля 2004, хорошо согласуются с предсказанными

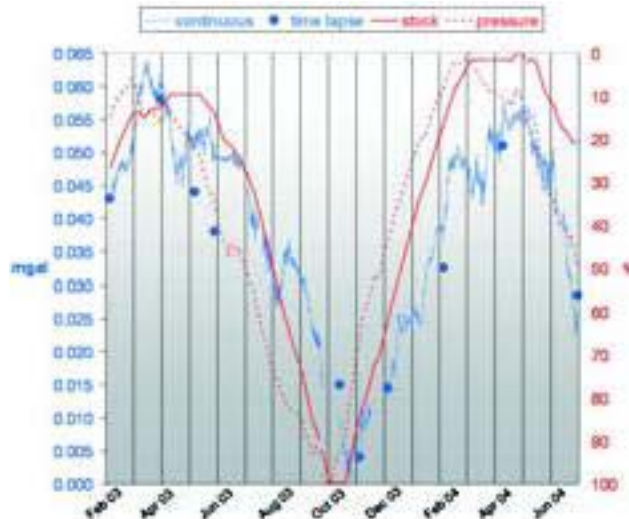


Рисунок 3 На диаграмме показаны значения периодических измерений гравитационного поля (синие точки), постоянных измерений (синяя линия), уровень запасов (красная линия) и давление в резервуаре (красная пунктирная линия) в наблюдательной скважине за 16 месяцев. По мере истощения резервуара газо-нефтяной контакт поднимается, что вызывает возрастание гравитационного поля. Обратите внимание, что полярность гравиметрических данных была изменена для удобства сравнения данных.

по предварительному моделированию. А области расхождения полученных максимальных значений с модельными могут стать источником информации о неоднородности резервуара, который предполагался однородным при моделировании. Значения гравитационного поля как по непрерывным, так и по периодическим измерениям хорошо коррелируются с данными о продуктивности резервуара (запасы и давление).

Выводы

Данные постоянных измерений хорошо согласуются с данными о продуктивности коллектора. Данные периодических измерений о микровариациях гравитационного поля над резервуаром Изот (в целом соответствующие предсказанным изменениям) могут свидетельствовать о неоднородности коллектора. Полученные отличия измеренных гравитационных показателей от расчетных могут быть количественно выражены путем 3D плотностной инверсии и тем самым предоставить дополнительную информацию о плотности и/или проницаемости коллектора.

4D микрогравитационные измерения могут привнести полезную информацию о резервуаре, являются экономически рентабельными и не нарушают целостности резервуара и окружающей среды. Хотя газовое хранилище Изот залегает относительно неглубоко и характеризуется достаточно высокой пористостью, это не означает, что более глубокие или менее пористые резервуары не могут порождать измеримого, меняющегося во времени гравитационного поля. Существует сложное соотношение между глубиной коллектора, его мощностью, контрастом плотностей, размером резервуара и периодом времени, который должен браться в расчет. Теперь оно может быть легко установлено при помощи методики 4D гравитационного моделирования, разработанного в этом проекте, и резервуары, подходящие для такого мониторинга

могут быть легко определены. Дальнейшее развитие морских донных гравиметров, высокоточных аэро-градиометров и скважинных гравитационных градиометров поможет повысить применимость методик 4D гравитационных измерений.

Благодарности

ARK хотела бы выразить свою признательность ITF за содействие в этом проекте и поблагодарить Statoil, Shell U.K. Exploration and Production и TotalFinaElf Exploration UK за спонсирование данного исследования. Мы также выражаем нашу благодарность Total Infrastructure Gaz France (TIGF) за их помощь в изучении хранилища и разрешение на публикацию.

Ссылки

Allis, R.G and Hunt, T.M [1986] Analysis of exploitation-induced gravity changes at Wairakei Geothermal Field. *Geophysics*. **51**, 8, 1647-1660.
Hallinan S.A. Rymer, H., and Brown G.C. [1989] Microgravity monitoring at the Miravalles geothermal field - some preliminary results. *Proc. 10th N.Z. Geothermal Workshop*, 145-149.
Rymer H. and Brown G.C. [1986], "Gravity fields and the interpretation of volcanic structures; geological discrimination and temporal evolution", *J Volcanol Geotherm Res.* **27**, 229-254.
Yokoyama I. [1989] Microgravity and height changes caused by volcanic activity: four Japanese examples. *Bull Volcano* **1**, 51, 333-345.