



Аэрогравиметрия - новый метод изучения труднодоступных территорий, перспективных на углеводородное сырье

Могилевский В.Е., Контарович Р.С., ЗАО ГНПП "Аэрогеофизика", г. Москва

ИННОВАЦИИ
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

В настоящее время основными территориями России, на которых сосредоточены работы по расширению минерально-сырьевой базы и прежде всего поиску месторождений углеводородов, являются отдаленные районы Сибири, Дальнего Востока, а также шельфы северных и восточных морей. К сожалению геофизическая и, в частности, гравиметрическая изученность этих регионов остается совершенно недостаточной. На изданной "Карте качества геофизической изученности России" (редактор А.И. Бурде, 1995 г.) коричневым и фиолетовым цветами отмечены огромные территории, на которых качество государственной гравиметрической съемки масштаба 1:200000 оценивается, как низкое, не отвечающее современным требованиям. Акватории морей остаются вообще неисследованными (Рис.1).

Такая слабая гравиметрическая изученность основных перспективных территорий естественно сказывается на эффективности геолого-поисковых работ и поэтому должна быть улучшена. Традиционными методами решить эту проблему в обозримом будущем невозможно. Наземная гравиметрическая съемка масштаба 1:200000 одного двухсоттысячного планшета в труднодоступных районах может стоить десятки миллионов рублей и продолжаться 3-5 лет. Между тем существуют альтернативные методы гравиметрических исследований.

Сейчас в мире наблюдается повышенный интерес к аэрогравиметрии - измерению силы тяжести на борту летящего самолета (вертолета). Метод имеет ряд несомненных преимуществ перед традиционными гравиметрическими съемками: быстрота получения материала, высокая экономическая эффективность (особенно при работах в труднодоступной местности - горные районы, заболоченная тундра, акватории морей и озер, транзитные зоны) и возможность изучения поля силы тяжести в трехмерном пространстве (на разных высотных уровнях).

В нашей стране систематические работы по аэрогравиметрической тематике начались более тридцати лет назад во ВНИИГеофизика под руководством В.В. Федюнского и А.М. Лозинской [3]. Задача оказалась очень сложной и потребовала значительных усилий. Основной проблемой, возникающей при измерениях силы тяжести на самолете, является исключение и/или учет воздействия на измерительную систему ускорений носителя, величина которых может в десятки тысяч раз превышать амплитуду аномалий силы тяжести.

К настоящему времени создана аппаратура и разработана методика проведения аэрогравиметрических измерений на самолетах типа АН-30 струнными безинерционными гравиметрами с погрешностью 0.7-0.8 мГал, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к гравиметрическим съемкам масштаба 1:200000.

В последние годы аэрогравиметрические исследования в нашей стране были в основном

сосредоточены в ГНПП "Аэрогеофизика". Сейчас это единственная российская компания, имеющая опыт проведения съемок масштаба 1:200000 в значительных производственных объемах.

В качестве примера на рис.2 представлена карта аномалий силы тяжести в редукции Буге, полученная в результате аэрогравиметрической съемки в северной части Архангельской области на площади 14000 км² в пределах четырех двухсоттысячных топографических планшета. Производительность работ составила порядка 10 000 км² в месяц.

Рядом для сравнения показана аналогичная карта, построенная по результатам наземной и морской гравиметрической съемки масштаба 1:200000. Все особенности гравитационного поля на картах в пределах суши (центральная и южная части площади) совпадают. Существенное отличие карт в северной части (на акватории Белого моря) объясняется отсутствием здесь сколько-нибудь полной и регулярной сети морских гравиметрических пунктов. Погрешность аэрогравиметрической карты, оцененная по сопоставлению с высокоточными (0.25 мГал) наземными данными в более чем тысяче точек, составляет 0.76 мГал. Пространственное разрешение карты 5-6 км.

Представленные материалы убедительно демонстрируют целесообразность использования аэрогравиметрии для среднемасштабного (1:200000) картирования гравитационного поля обширных труднодоступных территорий.

Гравитационное поле Земли успешно изучается и по спутниковым данным. В этой связи возникает вопрос об разграничении областей применения аэросъемки и спутниковой гравиметрии и, в частности, спутниковой альтиметрии над водной поверхностью. Исследования по программе спутниковой альтиметрии ведутся уже около 30 лет. В настоящее время осуществляется два проекта: американский TOPEX/POSEIDON и европейский ERS, с приблизительно одинаковыми точностными характеристиками.

Первичными результатами альтиметрии являются регистрируемые с частотой порядка 1 Гц средние высоты спутника над поверхностью воды в пятне, вытянутом по трассе полета на 6-7 км и шириной порядка 1 км. По ним определяются высоты геоида и возмущения гравитационного поля. В настоящее время существует несколько каталогов гравитационного поля Земли, в которых значения силы тяжести над акваториями получены по альтиметрическим данным (аномалии на суше вычислены по результатам мелкомасштабных наземных съемок и наблюдений возмущений орбит ИСЗ). Одним из самых полных является каталог Sandwell D., Smith W. версия 9.2 [6].

Построенная по этому каталогу карта аномалий силы тяжести для района аэрогравиметрических работ в Архангельской области так же представлена на рис. 2.

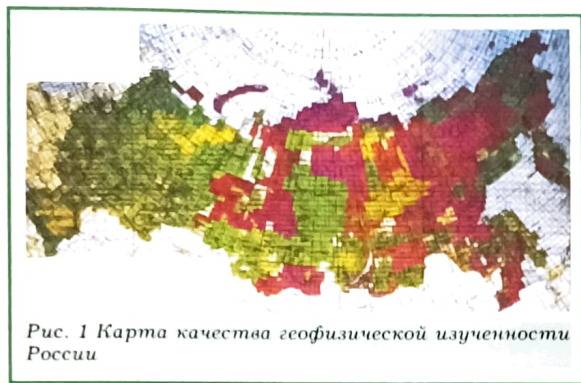


Рис. 1 Карта качества геофизической изученности России

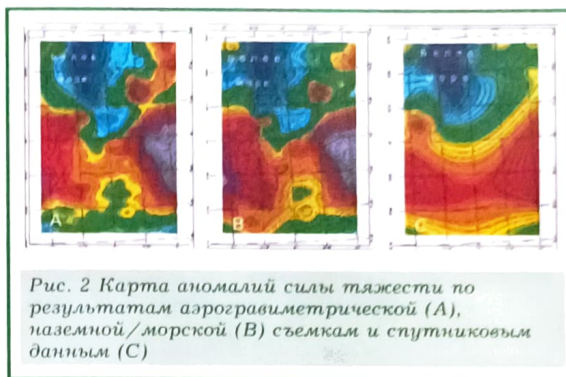


Рис. 2 Карта аномалий силы тяжести по результатам аэрогравиметрической (А), наземной/морской (В) съемкам и спутниковым данным (С)

Погрешность карты составляет 4,4 мГал. Аналогичные оценки получены и другими исследователями при сопоставлении альтиметрических и гравиметрических данных в различных районах Мирового океана [1,5]. Это позволяет сделать вывод: по детальности и точности, получаемые с помощью спутниковой альтиметрии модели аномального гравитационного поля Земли соответствуют результатам гравиметрических съемок масштаба 1:1000000 и мельче. Целый ряд принципиальных особенностей метода не позволяет рассчитывать на существенное улучшение этих параметров в обозримом будущем. Таким образом, спутниковая гравиметрия не является альтернативой аэросъемки при среднемасштабных работах.

Помимо измерений на самолетах в ГНПП "Аэрогеофизика" в опытный порядок проводятся аэрогравиметрические работы на вертолетах, имеющих существенно меньшую скорость полета и тем самым обеспечивающих повышение детальности съемки. Результаты демонстрируют возможность выполнения аэрогравиметрической съемки с погрешностью 0,3-0,5 мГал и пространственным разрешением 2-3 км. Эти параметры соответствуют крупномасштабным (1:100000-1:50000) гравиметрическим съемкам в труднодоступных районах.

За рубежом (США, Канада, Австралия) исследования проводятся как в государственных структурах (Lamont-Doherty Earth Observatory, US National Science Foundation и др.), так и в крупных коммерческих компаниях (Carson Services, Edcon Aero Surveys, Sander Geophysics, Fugro LCT). Выполняемые ими съемки имеют те же точностные параметры, что и съемки ГНПП "Аэрогеофизика".

Список сообщений и публикаций в интернете по аэрогравиметрической тематике в настоящее время включает несколько сотен пунктов. Таким образом, можно констатировать начало широкого внедрения в практику геофизических исследований нового аэрогравиметрического метода измерения силы тяжести.

Рассмотрим место аэрогравиметрии при изучении гравитационного поля Земли. Для этого из всей совокупности возможных неоднородностей поля силы тяжести выделим класс аномалий, параметры которых позволяют рассматривать их в качестве возможных объектов аэрогравиметрических измерений, и затем проведем оценку искажений, неизбежных при измерении силы тяжести на борту движущегося самолета. Для аномалии Фая - это обычные аномалии после введения поправки за свободный воздух. Аномалии Буге - это результат учета со знаком "минус" притяжения

в точке измерения всех топографических масс между геоидом и физической поверхностью Земли на суше, и со знаком "плюс" дефицита масс между поверхностью дна и уровнем моря на акваториях.

Любую, отдельно взятую аномалию, пересекаемую съемочным профилем, в первом приближении можно характеризовать всего двумя параметрами: амплитудой и горизонтальным размером (условно размером можно считать ширину зоны, в пределах которой величина аномалии превышает 30% от своего максимума). На графике, по осям которого отложены эти величины, она представляется точкой. Таким образом, выделение потенциально регистрируемых при аэросъемке аномалий сводится к оконтуриванию множества соответствующих точек.

Интенсивность и горизонтальные размеры аномалий силы тяжести не являются совершенно независимыми параметрами. В отличие от намагниченности, избыточная плотность горных пород может варьировать в очень ограниченном диапазоне. Значительная избыточная масса любого геологического тела, определяющая интенсивность соответствующей гравитационной аномалии, может возникнуть только за счет больших геометрических размеров объекта. Поэтому в поле силы тяжести не встречаются локальные аномалии с очень большой амплитудой.

Исходя из этого, нами, прежде всего, была предпринята попытка выделить на координатной плоскости совокупность точек, соответствующую тем аномалиям, которые могут встретиться в воздухе. Задача решалась моделированием вероятной физико-географической и геологической ситуации. Очевидно, что наиболее интересными являются аномалии с горизонтальными размерами в интервале от первых километров до первых десятков километров. Более мелкие структуры поля являются объектами детальных наземных гравиметрических работ, а возможность картирования более крупных аномалий при аэросъемке не вызывает сомнений.

В качестве важнейшего параметра при моделировании выступает удаленность уровня съемки от возможных плотностных неоднородностей. Аэрогравиметрические измерения для минимизации возмущающих ускорений выполняются на постоянной барометрической высоте, без обтекания форм рельефа. Поэтому, как правило, высота полетов определяется характером местности на площади съемки. При работах на наиболее интересных с точки зрения поисков углеводородного сырья объектах: обширных равнинных территориях азиатской

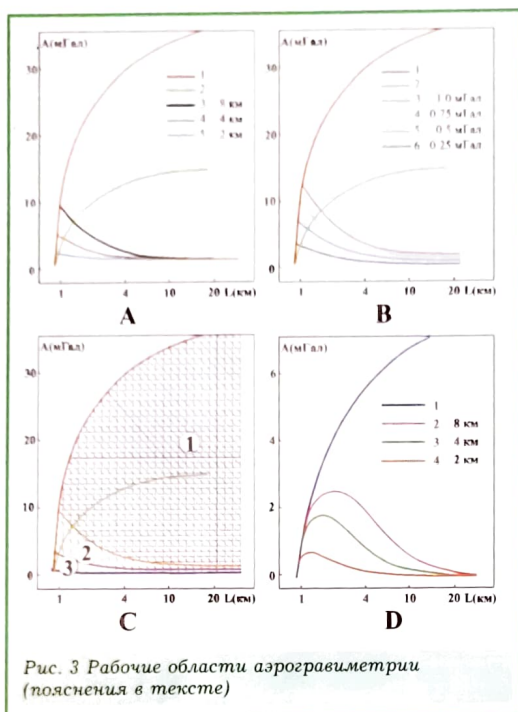


Рис. 3 Рабочие области аэрогравиметрии (пояснения в тексте)

части страны со сравнительно спокойным рельефом и шельфе морей, - высота полетов составляет обычно первые сотни метров над средней высотой местности или уровнем моря.

Результаты моделирования приведены на рисунке 3А и 3В (оси абсцисс в логарифмическом масштабе). Представленные здесь кривые 1 и 2 ограничивают сверху множество точек, которым соответствуют большинство возможных аномалий Фая на уровне аэро-съемки 300-400 м над сушей (исключая горные районы) и шельфом. Иными словами, аномалии, чаще всего встречающиеся над сушей и морем, составляют области под соответствующими кривыми. Будем называть их областями существования аномалий в свободном воздухе.

Оценим, какая часть из этих аномалий может регистрироваться в полете. При измерении на борту самолета, как и при любой съемке на движущемся основании, действуют два фактора, не позволяющие в принципе выявлять все особенности реального поля силы тяжести. Это ограниченная точность и детальность. Последний фактор обусловлен необходимостью применять при обработке низкочастотную фильтрацию данных для подавления влияния короткопериодных возмущающих ускорений. При аэрогравиметрических съемках мгновенные показания безинерционных струнных гравиметров подвергаются фильтрации тем или иным симметричным фильтром (к примеру, косинусоидальным фильтром Хемминга). Такая процедура приводит к амплитудным искажениям поля, фазовые искажения при этом не возникают.

Будем считать выделенную при съемке аномалию достоверной, если ее амплитуда (после фильтрации) более чем в два раза превышает погрешность измерения [2]. Кривые 3-5 на рис. 3А представляют минимальные амплитуды аномалий, удовлетворяющих этому условию при трех различных интервалах фильтрации и погрешности съемки 0.75 мГал. Кривые 3-6 на рис. 3В соответствуют

фильтрации на интервале 8 км при разных погрешностях.

Каждая такая линия, вместе с кривой 1 или 2 ограничивает на координатной плоскости некоторую область. Все включенные в нее аномалии могут встретиться в ходе съемки и, если это произойдет, присутствие их будет достоверно установлено (при соответствующей точности измерений и длине интервала фильтрации). Области эти можно назвать рабочими областями аэрогравиметрии.

Сейчас, при использовании самолетов типа Ан-30, рабочую область аэрогравиметрии снизу ограничивает кривая с параметрами 8 км и 0.75 мГал. Кривая с параметрами 4 км и 0.5 мГал соответствует съемкам на вертолете Ми-8. В перспективе вполне реальным являются расширение рабочей области аэрогравиметрии до кривой с параметрами 2 км и 0.25 мГал. Для наглядности все три области соответственно с номерами 1, 2, 3 приведены на рис. 3С.

Таким образом, при съемках на самолета небольшие аномалии с горизонтальными размерами 1-2 км будут фиксироваться, только если их амплитуды превышают 6-10 мГал. Локальные аномалии протяженностью 3-5 километров выделяются, если их интенсивность превышает 2-4 мГал. Для региональных аномалий с размерами, превышающими 7-8 км, достаточны амплитуды 1.5-2 мГал. При съемках на вертолетах километровые аномалии фиксируются, если их амплитуды превышает 2-3 мГал. Начиная с 3-4 км, нужны амплитуды 1-1.5 мГал.

Для конкретного геологического разреза можно оценить геологическую информативность аэрогравиметрии, то есть наполнить ее рабочие области "геологическим содержанием". К примеру, при средней глубине фундамента в 1 км, аномалии от отдельных его блоков с поперечными размерами 3-4 км попадают в рабочую область 1 (Рис. 3С), если их относительное поднятие/опускание составляет 300-400 м. Тем самым подобные структуры могут быть выявлены при аэрогравиметрической съемке на самолете. Если глубины фундамента изменяются в интервале 100-200 м, соответствующие аномалии силы тяжести попадают в рабочую область 2 и для их регистрации необходимо проводить измерения на вертолете.

Проведем теперь оценку возможной величины искажений аномалий силы тяжести при аэро-съемке за счет фильтрации. Учитывая, что аномалии Фая отражают наличие и топографических и геологических неоднородностей, можно написать очевидное тождество:

$$\Delta g = \Delta g^* + (\Delta g_p - \Delta g_p^*) + (\Delta g_f - \Delta g_f^*)$$

где Δg^* - осредненное (отфильтрованное) значение Δg , а индексами р и г обозначены составляющие аномалий, обусловленные соответственно неровностями рельефа и геологическими факторами.

Таким образом, искажения поля при аэро-съемке в любой точке состоит из двух частей, одну из которых, а именно первую скобку, можно вычислить и учесть. Топографические массы, обладая большой избыточной плотностью по отношению к окружающей среде

и будучи наиболее приближенными к уровню съемки, обуславливают, как правило, наиболее высокочастотную составляющую измеряемого поля силы тяжести. Поэтому первая скобка описывает существенную часть искажений и ее учет обеспечивает реальное приближение результатов измерений к истинным значениям аномалий Фая.

Именно эта процедура выполняется при так называемой косвенной интерполяции аномалий Фая [4], применяемой нами для построения соответствующих карт. Смысл ее заключается в том, что профильные данные после учета притяжения топографических масс (отфильтрованные аномалии Буге) пересчитываются в равномерную сеть, в узлы которой затем возвращаются не сглаженные поправки за рельеф.

Выполним оценку величины второй скобки, представляющей неустранимые искажения поля силы тяжести за счет фильтрации данных. Для этого моделированием возможных геологических ситуаций с реальными значениями избыточной плотности пород была построена область существования, аналогичная описанной выше, но уже для аномалий Буге (Рис. 3D, кривая 1). Здесь же приведены кривые (2-4), демонстрирующие максимально возможные искажения аномалий силы тяжести в зависимости от их горизонтальных размеров для трех вариантов сглаживания исходных данных фильтром Хемминга.

При фильтрации на интервале 8 км искажения аномалий протяженностью вдоль съемочного профиля менее 3-4 км могут более чем в два раза превышать реальную погрешность аэросъемки. Искажения аномалий размером от 6 до 12 км соизмеримы с погрешностью измерений. Более крупные структуры поля регистрируются практически без искажений. В реальности величина искажения чаще всего меньше, так как эти оценки получены для интенсивных аномалий, встречающихся сравнительно редко.

Литература

1. Ермаков Б.В. и др. "Экваториальная зона сдвига: комплексный анализ уникальной геолого-геофизической ситуации" Грант РФФИ N 08-05-64927, Москва 1999 г.
2. "Инструкция по гравиразведке", М., 1980 г.
3. Лозинская А.М., Могилевский В.Е., Попов С.Г., Федынский В.В., Яшайев И.Л. "Измерения силы тяжести на самолете", Прикладная геофизика, Вып. 82, М., 1976
4. Огородова Л.В., Шимбирев Б.П., Юзefович А.П. "Гравиметрия" Москва, 1978 г.
5. McAddo D.C., Childers V.A., Laxon S. "ERS satellite gravity and airborne gravity over the Atlantic Ocean: a comparison" Earth System Monitor Vol. 9, No 1, 1998.
6. Sandwell D.T. and Smith W.H.F. "Marine Gravity from Geosat and ERS1 Satellite Altimetry" J. Geoph. Res. V 102 no B5, pp 10039-10054, 1997



Разработка и изготовление

электрических
соединителей
специального
назначения



Россия,
г. Миасс Челябинской обл.,
E-mail: sdn@chel.surnet.ru



ЗАО "СОЕДИНИТЕЛЬ"