

## К вопросу о построении региональных аналитических аппроксимаций элементов аномальных гравитационных полей

© А. И. Якимчик, 2009

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 25 июля 2008 г.

Представлено членом редколлегии В. И. Старостенко

*Когда дело доходит до разбора конкретных случаев, все оказывается сложнее.*

Альбер Камю

Розглянуто проблеми, без вирішення яких, по суті, неможлива побудова лінійних аналітичних апроксимацій поля сили тяжіння за даними на поверхні Землі. Стверджується, що головною перешкодою при розрахунках регіональних аналітичних апроксимацій елементів аномальних полів є секретність гравіметричних даних на території України. Розв'язання проблем збереження інформації та ефективного використання її може бути здійснено за допомогою сучасних інформаційних технологій і створення банків даних.

The problems have been considered, without the decision of which per se, plotting of linear analytical approximations of the gravity field given on the Earth surface is impossible. It is stated that secrecy of gravimetric data of territory of Ukraine is the basic obstacle for the calculation of regional analytical approximations of the anomalous fields elements. The decision of problems of information preservation and its effective use could be carried out through modern information technologies and creation of data banks.

В работе В. Н. Страхова «Разрушение господствующего стереотипа мышления — главная задача в развитии теории и практики интерпретации потенциальных полей (гравитационных и магнитных аномалий) в начале XXI века» [Страхов, 2000] и в серии других его публикаций, посвященных этой проблеме, утверждается, что идея аналитической аппроксимации имеет в некотором смысле центральное значение. Однако, отмечая в целом новизну и актуальность исследований, предпринятых В. Н. Страховым в серии работ [Страхов, 1999; 2000; 2005; 2007; 2008; Страхов, Степанова, 2003; Страхов В. Н., Страхов А. В., 2002 и др.], все же необходимо указать на некоторые обстоятельства, существенно затрудняющие построение аналитических аппроксимаций элементов аномальных гравитационных полей.

Прежде всего, отметим, что реализация аппроксимационного подхода к решению геофизических задач требует принципиально нового подхода к данным экспериментальных

исследований геофизических полей [Страхов, 1999]. Для понимания сути того, о чем идет речь, как кажется автору, достаточно процитировать двух академиков.

**М. А. Алексидзе:** «Аномалии Буге являются основной информацией при интерпретации гравиметрических наблюдений, особенно в горных областях. В распоряжении интерпретатора находятся, как правило, только лишь карты аномалии силы тяжести в редукции Буге, на которых не отмечены пункты наблюдения. Более того, во многих случаях получение первичного материала (координат точек наблюдения и соответствующие значения аномалии Буге) либо вообще невозможно из-за его утери, либо же считается излишним, предполагая, что карты дают полное представление об аномалии Буге. Однако для случая региона со сложным рельефом, это далеко не так...»

Резюмируя сказанное ..., можно констатировать, что для интерпретации  $\Delta g$  особенно в горных областях следует пользоваться не кар-

тами аномалии Буге, а значениями аномалии Буге в пунктах наблюдения» [Алексидзе, 1985, с. 105, 110—111].

**В. Н. Страхов:** «...практически весь XX век господствовал следующий подход к данным:

1) на основе экспериментальных данных путем их специальных обработок (введения разного рода поправок и редукиций) получались аномальные значения тех или иных элементов поля в конкретных точках (обычно характеризующихся не сферическими координатами, а координатами Гаусса — Крюгера);

2) по аномальным значениям элемента поля в совокупности точек строились соответствующие карты — путем интерполяций с предварительным редуцированием (с помощью простейших приемов) исходных данных на некоторую правильную поверхность; таким образом, значения, по которым строились карты, содержали дополнительные погрешности;

3) построенные карты считались основным документом; при этом исходные значения (наблюденные, а также разного рода поправки к ним) уже не считались основными данными и зачастую через некоторое время «пропадали» (уничтожались).

Ясно, что подобного рода отношение к данным должно в настоящее время характеризоваться как варварское [Страхов, 1999, с. 154].

Рассмотрим далее ряд возможных классификаций аналитических аппроксимаций элементов аномальных гравитационных полей [Страхов, Степанова, 2003].

Первая классификация такова:

- 1) линейные коэффициентные аппроксимации;
- 2) линейные интегральные аппроксимации.

Вторая классификация такова:

- 1) локальные аппроксимации;
- 2) региональные аппроксимации;
- 3) глобальные аппроксимации.

Причем в первом случае рассматриваемой классификации сферичностью Земли можно пренебречь, а во втором и третьем — сферичность (или даже эллипсоидальность) нормальной Земли обязательно учитывается.

Третья классификация такова:

- 1) метрологические аналитические аппроксимации;
- 2) специальные (интерпретационные) аналитические аппроксимации.

Если речь идет о построении метрологических линейных аппроксимаций на больших территориях, то целесообразно использовать

иерархию, содержащую три уровня: высший, средний и низший [Страхов, Степанова, 2003]. Заметим, что на низшем уровне аппроксимация строится в масштабе 1:200000, в форме совокупности составных аппроксимаций — по листам масштаба 1:200000. Суть составной аппроксимации состоит в том, что для каждого листа строится своя собственная аппроксимация, причем только по данным для конкретного листа и смежных с ним. При этом в случае листов масштаба 1:200000 берутся данные с двадцати четырех ближайших листов (см. рисунок).

М-36- XXIII	М-36- XXIV	М-37- XIX	М-37- XX	М-37- XXI
М-36- XXIX	М-36- XXX	М-37- XXV	М-37- XXVI	М-37- XXVII
М-36- XXXV	М-36- XXXVI	М-37- XXXI	М-37- XXXII	М-37- XXXIII
L-36-V	L-36-VI	L-37-I	L-37-II	L-37-III
L-36-XI	L-36- XII	L-37- VII	L-37- VIII	L-37-IX

К вопросу о построении аналитических аппроксимаций элементов гравитационного поля в масштабе 1:200000.

Оценим количество данных наблюдений (имеются в виду аномальные значения ускорения силы тяжести, координаты и высоты точек), которое необходимо иметь для построения аналитической аппроксимации гравитационного поля в масштабе 1:200000 для конкретного листа, например М-37-XXXI. Известно, что на лист L-37-III гравиметрической карты СССР нанесено 81 опорный пункт, 1057 рядовых точек съемок масштаба 1:200000 и 498 точек детальных съемок [Гравиметрическая ..., 1971], т. е. всего 1636 точек. Вполне логично и обоснованно, по мнению автора, предположить, что количество точек, нанесенных на каждый из оставшихся 24 листов, приблизительно такое же. Умножая число точек на количество листов, получаем 40900 точек.

В методах построения линейных аналитических аппроксимаций определяющее значение имеет задача нахождения устойчивых приближенных решений систем линейных алгебраических уравнений вида

$$Ax = f_{\delta} = f + \delta f,$$

в которых  $f_{\delta}$  —  $N$ -вектор данных, а  $A$  есть  $(N \times N)$ -матрица. Если использовать разработанный, например, в работе [Страхов, 2007], подход к построению линейных аналитических аппроксимаций поля  $\Delta g$ , основанный на составлении и (приближенном) решении соответствующей системы линейных алгебраических уравнений, то возникающая в процессе решения матрица в нашем случае будет иметь большую размерность<sup>1</sup>, а именно  $P = N \cdot N \approx 1,67 \cdot 10^9$ . Естественно, эта задача требует весьма больших вычислительных ресурсов. Тем не менее, опыт решения подобных задач имеется. В частности, в публикации [Страхов В. Н., Страхов А. В., 2002] приводится пример решения на персональном компьютере недоопределенной системы линейных алгебраических уравнений с числом уравнений  $N = 13000$  и числом искомых неизвестных  $M = 1039961$ , т. е.  $P = N \cdot M \approx 1,35 \cdot 10^{10}$ .

В принципе для решения такого типа задач, а тем более задач большей размерности, предпочтительнее и эффективнее использовать многопроцессорные вычислительные системы. Здесь существует, по крайней мере, три возможности. Первая заключается в использовании технической базы Центра суперкомпьютерных вычислений (<http://www.hpcc.org.ua>). Национального технического университета Украины «КПИ», с которым Институт геофизики НАН Украины заключил несколько лет назад договор о партнерстве, сотрудничестве и научном обмене. Вторая и третья — сотрудничество с государственным научно-производственным предприятием «Электронмаш» и Институтом кибернетики НАН Украины, в котором с 2005 г. эксплуатируется в режиме круглосуточной работы суперкомпьютерный комплекс кластерного типа для реализации информационных технологий (СКИТ) — эффективного решения сверхсложных математических задач

[Сергієнко, 2005]. С введением в действие этого комплекса Украина вошла в круг стран, обладающих мощной вычислительной техникой.

На сегодняшний день вся территория Украины покрыта гравиметрической съемкой масштаба 1:200000 с сечением изоаномал 1,0—2,0 мГал. В фондах различных предприятий накоплено громадное количество гравиметрических материалов, которые были получены в разное время и представлены, как правило, на бумажных носителях. Не вызывает сомнений, что решение проблем сохранения информации и эффективного использования ее следует осуществлять с помощью современных информационных технологий и создания банков данных. Поэтому, начиная с 2001 г., в днепропетровской геофизической экспедиции «Днепргеофизика» и государственном геофизическом предприятии «Укргеофизика» были начаты работы по созданию базы данных и построению цифровой электронной карты гравитационного поля Украины [Толкунов и др., 2002]. В результате была сформирована в электронном виде на ЭВМ всего лишь база гравиметрических данных и схема изученности по листу М-36-XXXV, а картосоставительские работы из-за отсутствия бюджетного финансирования к сожалению были законсервированы [Мительман, 2002].

Допустим, что в ДГЭ «Днепргеофизика» сумеют закончить работы по созданию базы гравиметрических данных. Но, по мнению автора, этого недостаточно. Необходимо помнить, что по состоянию на сегодняшний день в соответствии с законом Украины «О государственной тайне» свод сведений, составляющих государственную тайну, является единственной формой регистрации этих сведений в Украине. Соответственно действуют следующие правила:

- сведения о координатах астрономических, гравиметрических, геодезических пунктов на территории Украины, определенные с точностью 20 м и точнее в любой системе координат, кроме условной и местной, — секретно.

- сведения по совокупности всех показателей о значениях параметров общего земного эллипсоида и гравитационного поля Земли, которые содержат коэффициенты разложения гравитационного поля Земли до 16 порядка включительно, частичные (согласованные) модели геопотенциала, модели точечных масс, которые не привязаны к объектам и районам, которые обеспечиваются, — секретно.

<sup>1</sup> Классификация по размерности всегда относительна: считать ли задачу большой или маленькой, определяется тем, какие вычислительные средства имеются в распоряжении.

Отметим, что совершенно по-другому относятся к гравиметрическим данным за рубежом. Заинтересованных читателей автор рекомендует посетить сайты <http://www.ga.gov.au/map/#geophysics>, <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/potato/Service.html>.

В итоге можно констатировать следующее. По большому счету все готово для того, чтобы начать дело построения аналитических аппроксимаций поля аномалий силы тяжести в масштабе 1:200000 для территории всей Украины, кроме трудно решаемых вопросов<sup>2</sup>,

<sup>2</sup> Очевидно, для пересмотра действующих нормативных документов, связанных с секретностью гравиметрических и других материалов, требуется

связанных с секретностью и соответственно доступностью гравиметрических данных. Важно подчеркнуть, что без создания системы доставки архивных геофизических данных<sup>3</sup>, наподобие той, которая действует в Австралии, говорить всерьез о практическом воплощении разрабатываемых идей бессмысленно<sup>4</sup>.

привлечь внимание к этой проблеме не столько ученых, сколько сотрудников Службы безопасности Украины, военных и т. д.

<sup>3</sup> См. сайт австралийской государственной компании «Geoscience Australia» <http://www.ga.gov.au/map/#geophysics>.

<sup>4</sup> Здесь уместно вспомнить статью [Кондратьев, 2001], в которой излагаются его взгляды на причины кризиса геофизической науки и предполагаемые пути выхода из него.

### Список литературы

- Алексигзе М. А. Решение некоторых основных задач гравиметрии. — Тбилиси: Мецниереба, 1985. — 412 с.
- Гравиметрическая карта СССР. Лист L — 37 — III. Объясн. записка. Сост. В. В. Курашова. Ред. А. И. Дюков. — 1:200000. — Москва: Копировально-картографическое предприятие Всесоюз. геолог. фонда, 1971. — 34 с.
- Кондратьев О. К. Кризис геофизической науки и пути выхода из него // Геофизика. — 2001. — № 5. — С. 3—9.
- Мительман В. Б. Результати картоскладальних і кураторських робіт по гравірознавдці на території України. Звіт по титулу 232/93 за 1993—2002 рр. — Київ: Фонди ДНВП «Геоінформ України», 2002. — 21 с.
- Сергієнко І., Коваль В. СКІТ — український суперкомп'ютерний проект // Вісн. НАН України. — 2005. — № 5. — С. 3—13.
- Страхов В. Н. Геофизика и математика. Методологические основы математической геофизики // Геофизика и математика: Матер. 1-й Всеросс. конференции (Москва, 22—26 ноября 1999 г.). — Москва: ОИФЗ РАН, 1999. — С. 131—157.
- Страхов В. Н. Новое в геофизике и геоинформатике. — Москва: ИФЗ РАН, 2005. — 134 с.
- Страхов В. Н. Об эффективных по быстродействию и точности методах построения линейных аналитических аппроксимаций в геодезии, геоинформатике и гравиметрии // Геофиз. журн. — 2007. — 29, № 1. — С. 56—84.
- Страхов В. Н. О центральной вычислительной задаче гравиметрии, магнитометрии, геодезии и геоинформатики // Физика Земли. — 2008. — № 2. — С. 63—79.
- Страхов В. Н. Разрушение господствующего стереотипа мышления — главнейшая задача в развитии теории и практики интерпретации потенциальных полей (гравитационных и магнитных аномалий) в начале XXI века. — Москва: ОИФЗ РАН, 2000. — 44 с.
- Страхов В. Н., Страхов А. В. Компьютерные технологии нахождения устойчивых приближенных решений систем линейных алгебраических уравнений с приближенно заданной правой частью // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Матер. 29-й сессии Междунар. семинара им. Д. Г. Успенского (Екатеринбург, 28 января — 2 февраля 2002 г.). В 2-х частях. Ч. 2. — Москва: ОИФЗ РАН, 2002. — С. 48—62.
- Страхов В. Н., Степанова И. Э. Новый информационный базис гравиметрии, магнитометрии и геодезии // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Матер. 30-й сессии Междунар. семинара им. Д. Г. Успенского (Москва, 27—31 января 2003 г.). В 2-х частях. Ч. 1. — Москва: ОИФЗ РАН, 2003. — С. 118—123.
- Толкунов А. П., Слободянюк С. О., Мительман В. Б., Шемет В. Г., Малиновський О. К. До проблем побудови цифрової електронної карти гравітаційного поля на території України // Геоінформатика. — 2002. — № 1. — С. 105—107.