

УДК 528.56,550.312

## ВОЗМОЖНОСТИ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ МИРОВОГО ОКЕАНА

© 2004 г. Н. В. Дробышев, Л. К. Железняк, В. В. Клевцов,  
В. Н. Конешов, В. Н. Соловьев

Представлено академиком С.А. Федотовым 26.12.2003 г.

Поступило 20.01.2004 г.

При вычислении силы тяжести по данным спутниковой альтиметрии (далее будем использовать термин “спутниковые определения”) возникает вопрос о точности получаемых результатов. В Институте физики Земли РАН, как и за рубежом, перманентно оценивалась погрешность спутниковых определений [4–6]. В настоящей работе приведены результаты оценки современных спутниковых определений силы тяжести путем сравнения их с измерениями морскими гравиметрами.

Новые спутниковые определения получены Геофизическим центром ИФЗ в Scripps Institution of Oceanography в виде сетки данных с шагом 1’.

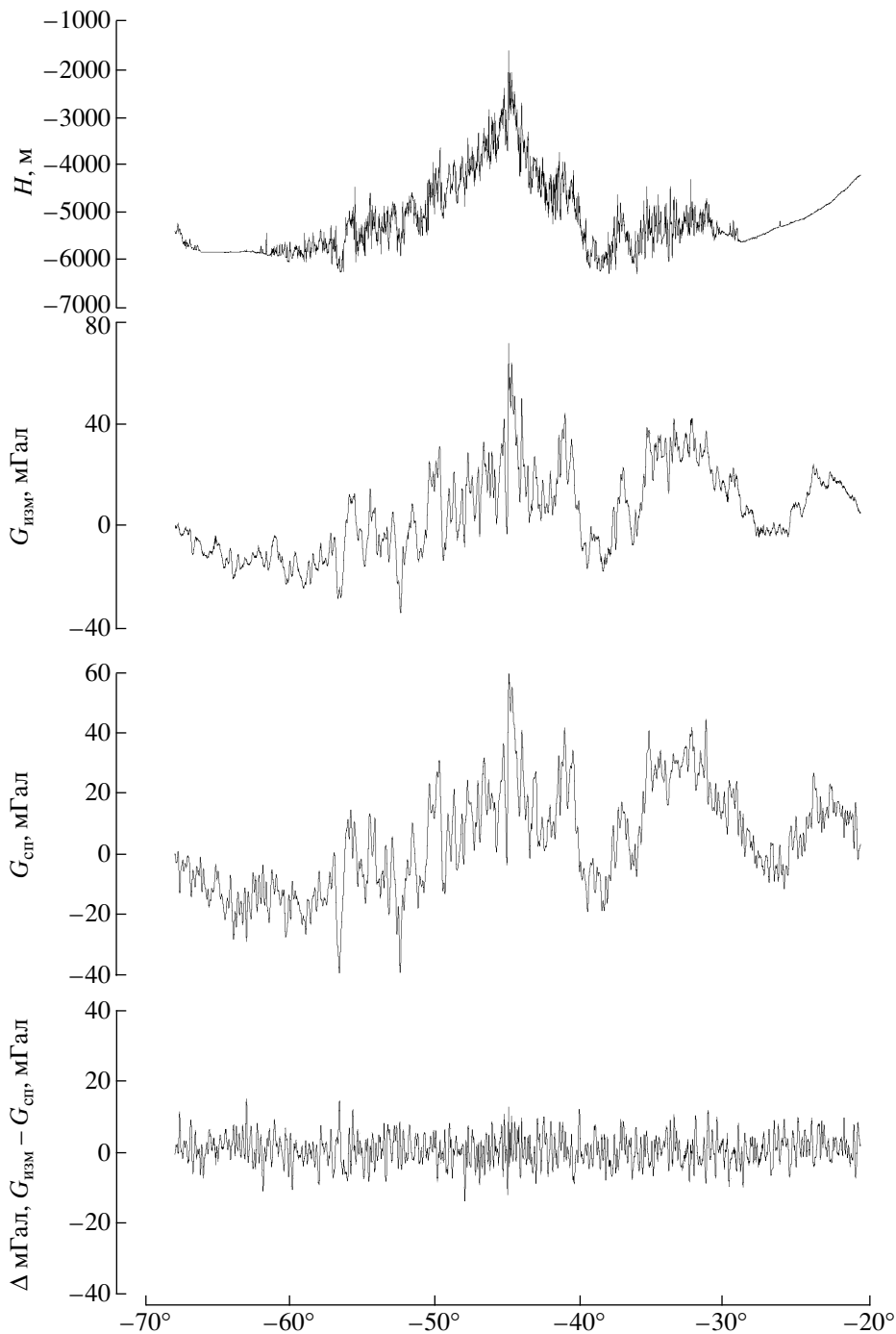
Измерения силы тяжести выполнены с участием ИФЗ РАН морским гравиметрическим комплексом МГК на НИС “XVII съезд профсоюзов” в 1990–1993 гг. на полигонах площадной съемки и на маршрутных профилях.

Для сравнения выбраны два полигона в Атлантическом океане и три в Черном море с сильно расчлененным рельефом дна, один в Тихом океане и три в Баренцевом море – с равнинным рельефом [1, 2]. Их размеры колеблются от 20 × 20 до 300 × 200 км. Съемка восьми полигонов осуществлялась по сети взаимно пересекающихся галсов с расстояниями 0.5–2 км, и только на одном

Таблица 1

Профиль, полигон	Район измерений	Кол-во пунктов	Систем. составл.	Случайн. составл.	Мин. значение	Макс. значение
001	Атлантический океан	4700	1.51	5.72	–20.07	27.82
002	То же	4862	1.17	3.97	–13.53	15.43
68 П1	»	427	–3.17	5.70	–19.94	4.72
80 П1	»	411	5.26	6.15	–4.83	22.55
П1	»	4700	1.51	5.72	–20.07	27.82
П2	»	9725	1.17	3.97	–13.53	15.43
004	Индийский океан	4998	0.53	5.29	–37.97	17.15
003	То же	5243	–0.02	4.75	–24.70	14.90
050	Тихий океан	10510	1.89	5.04	–16.13	24.21
057	То же	14440	0.52	4.48	–20.50	24.56
П3	»	1656	2.12	2.83	–6.21	9.38
П4–П6	Баренцево море	24325	1.04	2.06	–11.39	7.54
502	Черное море	816	–14.41	8.43	–17.86	2.44
503	То же	956	–5.72	5.01	–21.20	4.84
П8	»	8663	–12.47	6.96	–51.84	1.92
П9	»	15155	–17.88	16.16	–101.16	27.72

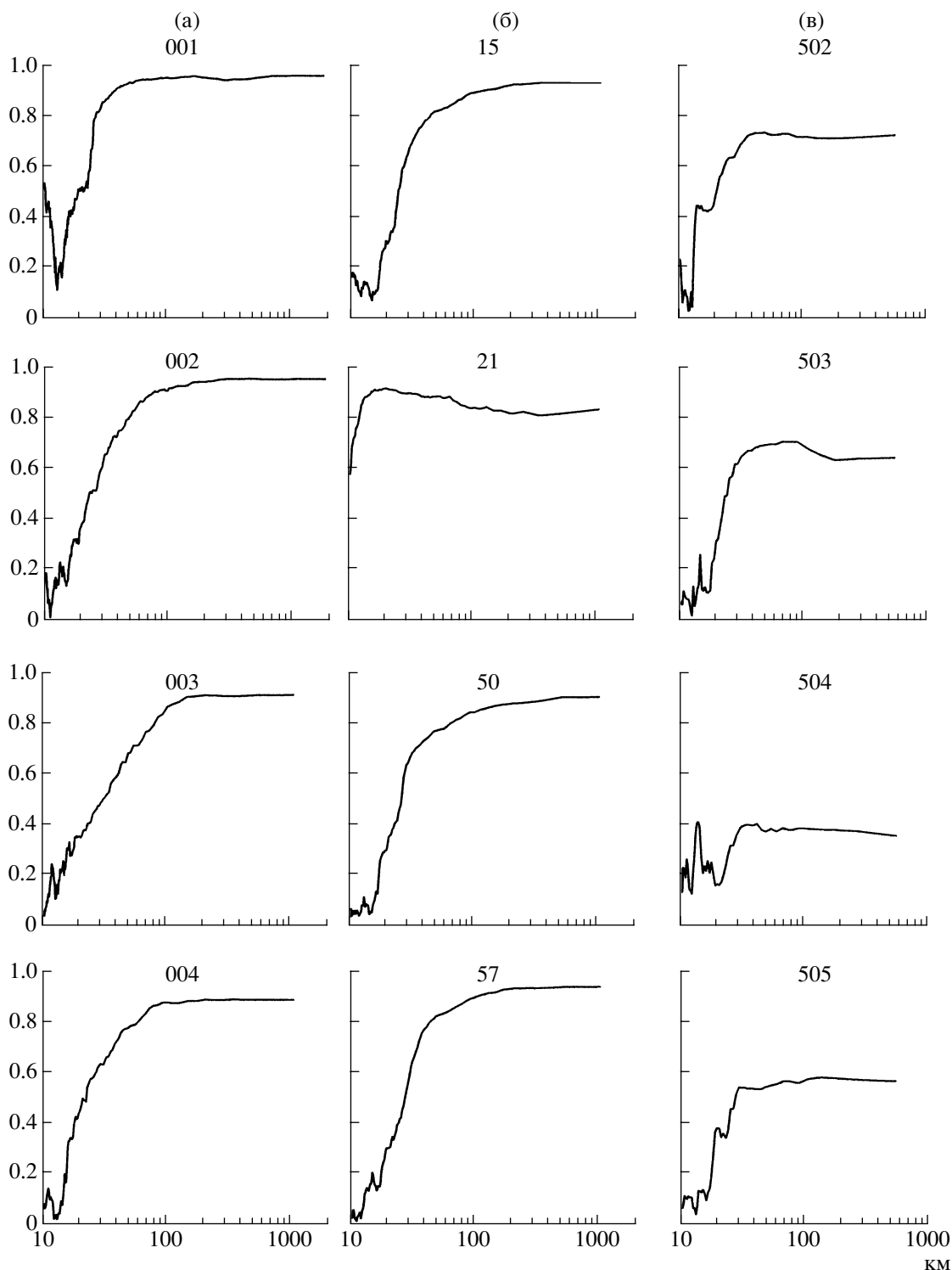
Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта  
Российской Академии наук, Москва



**Рис. 1.** Характеристики профиля 002. Атлантический океан.  $H$  – глубина,  $G_{\text{изм}}$ ,  $G_{\text{сп}}$  – сила тяжести по данным морских и спутниковых определений соответственно;  $\Delta = G_{\text{изм}} - G_{\text{сп}}$ .

они составили 5 и 10 км по двум направлениям. Маршрутные определения выполнены на девяти протяженных (свыше 2.5 тыс. км) профилях. Два из них расположены в Атлантическом океане, два в Индийском и пять в Тихом. Имеется ряд коротких (до 500 км) профилей в Атлантическом океане, принадлежащих снимаемым полигонам, и

четыре в Черном море. Точность съемки характеризуется средней квадратической погрешностью в пределах 0.25–0.7 мГал, а на полигонах после уравнивания – 0.08–0.4 мГал [3]. Измерения не содержат систематических погрешностей свыше 0.7 мГал. Дискретность прямых измерений, принятых для сравнения, составляет менее 1 км.



**Рис. 2.** Спектр когерентности (модуль) между морскими и спутниковыми определениями. Место измерений: для а – см. табл. 1; б – Тихий океан; в – Черное море.

Для всех полигонов и профилей вычислены статистические характеристики разностей значений силы тяжести, полученных двумя методами (табл. 1).

Систематическая составляющая разницы результатов, исключая Черное море, равна  $\sim 1$  мГал, а

случайная – от 2 мГал в малоградиентных зонах до 8.5 мГал в резкоаномальных и не зависит от места расположения съемки.

На высокоградиентных отрезках расхождения значительно превосходят утроенное среднее ква-

дратическое значение, вычисленное на всем профиле.

Предельные значения расхождений получены в Черном море и обусловлены, по-видимому, тем, что полигоны расположены вблизи берега, который представляет собой горную систему Кавказа. Кроме того, в Черном море имеются течения, которые, вероятно, не учитывались при вычислениях силы тяжести из данных альтиметрии.

Исследована частотная зависимость погрешности спутниковых определений. На рис. 1 представлены графики анализируемых величин для профиля 002 в Атлантическом океане. Их анализ показывает, что разность значений силы тяжести, определенных двумя способами, содержит только высокочастотные составляющие. В процессе вычисления поля по спутниковым определениям генерируется высокочастотная погрешность. Это утверждение основано на том, что в спутниковых данных высокочастотные гармоники более интенсивны при весьма малой расчлененности поля в океанических котловинах, как это видно на концах профиля.

Спектры мощности тех же величин получены для всех профилей и мало отличаются друг от друга. Спектры морских и спутниковых определений совпадают только в низкочастотной части. Для определения области совпадения исследована частотная зависимость коэффициента корреляции между данными двух способов. Спектры когерентности для всех профилей представлены на рис. 2, из которого видно, что они подобны друг другу на всей акватории Мирового океана, кроме Черного моря (2в), где спектры непредставительны ввиду малой длины профилей.

Точность определения гравитационного поля по данным спутниковой альтиметрии характеризуется средней квадратической погрешностью от 2 до 8 мГал в зависимости от его расчлененности в районе съемки.

В диапазоне длин волн свыше 100 км в открытом океане спутниковые определения совпадают с морскими измерениями. Все формально полученные из спутниковых определений гармоники поля с длиной волны менее 20 км являются сомнительными из-за генерации помех. Гармоники поля в диапазоне длин волн от 20 до 100 км при спутниковых определениях искажены тем больше, чем меньше длина волны.

В аномальных районах, у береговой черты, во внутренних морях спутниковые определения могут иметь большие погрешности во всех диапазонах длин волн.

В соответствии с точностью и разрешающей способностью спутниковых определений в настоящее время при построении карт в открытом океане сечение изоаномал может находиться в пределах от 10 до 25 мГал, в редких случаях – 5 мГал.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железняк Л.К. // Физика Земли. 1992. № 3. С. 50–55.
2. Железняк Л.К., Конешов В.Н. // Физика Земли. 1992. № 11. С. 64–68.
3. Железняк Л.К., Конешов В.Н., Попов Е.И. // ДАН. 1994. Т. 337. № 4. С. 525–527.
4. Железняк Л.К., Конешов В.Н. // Физика Земли. 1995. № 1. С. 76–81.
5. Железняк Л.К., Конешов В.Н., Клевцов В.В. // Физика Земли. 2000. № 3. С. 71–74.
6. Sandwell D.T. // Intern. Geophys. 2001. V. 69.