

Л. К. ЖЕЛЕЗНЯК, В. Н. КОНЕШОВ, П. С. МИХАЙЛОВ, М. Н. ДРОБЫШЕВ,  
В. Н. СОЛОВЬЕВ

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ТОЧНОСТЬ ГРАВИМЕТРА «ЧЕКАН-АМ»

*Главной задачей морской гравиметрии является получение точных и достоверных данных об аномалиях поля силы тяжести на акваториях. Современные гравиметрические комплексы типа «Чекан-АМ» обеспечивают высокую точность измерений за счет новых схемных и конструктивных решений в условиях, оговоренных в техническом описании. В статье рассматривается влияние температуры и влажности окружающей среды на точность гравиметра «Чекан-АМ». От этих метеорологических факторов зависит точность как на коротких периодах измерений в рамках отдельных галсов, так и на длительных в условиях отрыва от опорных пунктов во время экспедиций. В течение полутора лет авторы статьи проводили лабораторные испытания комплекса с одновременной регистрацией метеорологических параметров. По результатам наблюдений были определены корреляционные зависимости смещения нуль-пункта чувствительного элемента гравиметра от сезонных вариаций температуры и влажности. Были проанализированы также данные, полученные во время морских экспедиций, и влияние температуры на коротком временном диапазоне в процессе морской гравиметрической съемки. На основе результатов экспериментов показана целесообразность метеорологического мониторинга в ходе гравиметрических измерений, в том числе на научно-исследовательских судах. Дополнительная температурная помеха становится заметной при съемке на участке с незначительным изменением поля силы тяжести, и ее величина должна быть учтена при анализе и оценке полученных результатов.*

**Ключевые слова:** морская гравиметрия, чувствительный элемент гравиметра, упругая система, температура окружающей среды, относительная влажность, гравиметрический комплекс «Чекан».

### Введение

Приборная точность гравиметрических измерений зависит от нескольких факторов, в том числе некоторых метеорологических (температуры, влажности, дав-

**Железняк** Леонид Кириллович. Доктор технических наук, главный научный сотрудник, ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук» (ИФЗ РАН) (Москва).

**Конешов** Вячеслав Николаевич. Член-корреспондент РАЕН, доктор технических наук, профессор, ИФЗ РАН; ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ) (Владимир). Действительный член международной общественной организации «Академия навигации и управления движением».

**Михайлов** Павел Сергеевич. Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ИФЗ РАН; ВлГУ.  
**Дробышев** Михаил Николаевич. Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ИФЗ РАН; ВлГУ.

**Соловьев** Владимир Николаевич. Старший научный сотрудник, ИФЗ РАН; ВлГУ.

ления). В технической документации комплекса «Чекан-АМ» указаны границы допускаемых величин внешних условий, внутри которых гарантируется заявленная точность измерений [3]. Вместе с тем в ходе эксплуатации имеют место изменения метеорологических факторов, выходящие за пределы указанного диапазона и влияющие на показания чувствительного элемента гравиметра (ЧЭГ). Кроме того, на значительном временном интервале (порядка полугодия) на стабильности работы прибора могут сказаться медленно меняющиеся метеорологические параметры, выявить которые возможно только апостериорно по большой выборке измерений. В современных морских гравиметрах типа «Чекан-АМ» используется двойная кварцевая упругая система (УС), однако изменение параметров среды все равно оказывает влияние на показания, главным образом на скорость смещения нуля-пункта, правильный учет которого определяет надежность выполняемых измерений.

Контроль систематических приборных погрешностей особенно важен в процессе протяженных маршрутных съемок, которые с недавних пор приобретают все большую актуальность. В связи с тем что в настоящее время выросла разрешающая способность глобальных моделей гравитационного поля, особенно в акваториях Мирового океана, где данные об аномалиях поля получены средствами спутниковой альтиметрии [10, 15], многие задачи в перспективе будут решаться по альтиметрическим моделям. При этом одним из основных назначений морской гравиметрии в ближайшем будущем представляется оценка и коррекция глобальных и региональных модельных данных, особенно в областях, где априорно наблюдаются повышенные погрешности метода альтиметрии, например в высоких широтах и на градиентных участках поля [7]. Следовательно, увеличивается значимость отдельных профильных измерений, в том числе на длинных и сверхдлинных маршрутах. В такой ситуации важным является определение устойчивости ЧЭГ «Чекан-АМ» к изменениям метеорологических условий измерений, прогнозирование и коррекция их возможного влияния на надежность и достоверность получаемых данных об аномалиях поля.

Основным параметром, обуславливающим долговременную стабильность УС гравиметра, является смещение нуля-пункта ЧЭГ, особенно в условиях длительного отрыва от опорных пунктов, что имеет место при выполнении измерений в отдаленных акваториях Мирового океана. Изучение и обеспечение закономерного хода смещения нуля-пункта ЧЭГ – важнейшее условие повышения точности получаемых гравиметрических данных. Желательно, чтобы смещение подчинялось линейному относительно времени закону, то есть скорость смещения оставалась постоянной. В таком случае даже при минимальном числе опорных наблюдений и больших временных интервалах между ними смещение может достоверно учитываться и не оказывать влияния на точность измерений в море. Кроме того, желательно обеспечить также возможно меньшую скорость смещения нуля-пункта ЧЭГ, так как при этом малыми будут и его отклонения от закономерного хода. Понимание характера смещения нуля-пункта ЧЭГ позволит более точно учитывать систематическое отклонение показаний при морской съемке и тем самым повысить точность получаемых результатов.

Несмотря на то что в процессе производства корпус УС герметично закрывается и таким образом исключается прямой контакт демпфирующей жидкости с воздухом [11], основная причина нестабильности смещения нуля-пункта гравиметра с УС из кварцевого стекла связана с изменениями параметров внешней среды в месте измерений. В настоящем исследовании изучается такая зависимость для гравиметриче-

ской аппаратуры четвертого поколения (гравиметр «Чекан-АМ»). Исследуется влияние температуры и влажности на больших (более 1 года) и малых (менее 1 суток) промежутках времени. Все экспериментальные данные на больших промежутках времени получены в лабораторных условиях, а на малых – в ходе морской гравиметрической съемки на борту геофизического исследовательского судна.

### Условия проведения экспериментов

В экспериментах использовался мобильный гравиметрический комплекс «Чекан-АМ» предпоследней модели, созданный в ЦНИИ «Электроприбор» с участием ИФЗ РАН (упругая система) [5, 2] и широко применяемый для проведения морских гравиметрических измерений [13]. Новейшая модель гравиметрический комплекса – «Шельф-Э» [8, 4] – по своей конструкции, в силу единого контура термостабилизации всех составных частей, должна иметь большую устойчивость к воздействию внешних факторов.

Для исследований в течение длительных периодов времени гравиметр «Чекан-АМ» был установлен в лабораторном помещении научно-экспедиционной базы ИФЗ РАН «Долгое Ледово» (Московская область), где непрерывно на протяжении 1,5 лет велась запись показаний прибора при отключенной системе гиростабилизации. Одновременно с помощью стационарной метеостанции в помещении регистрировалась температура и влажность [1]. Для выставки измерительной оси гравиметра в вертикаль он был установлен на регулируемом основании с тремя точками опоры. Лаборатория представляет собой обычное помещение, отапливаемое в холодный сезон. Расположение гравиметра в лаборатории показано на рис. 1.



Рис.1. Гравиметр «Чекан-АМ» в помещении лаборатории

Влияние атмосферного давления на показания гравиметра не рассматривалось, так как барометрическая поправка за максимальное амплитудное изменение атмосферного давления за весь период наблюдений (66 мм рт. ст.) составляет не более 30 мкГал [14], что значительно ниже разрешающей способности исследуемого гравиметра.

Для исследования температурных помех на коротких промежутках времени использовались наблюдения, полученные в процессе морской гравиметрической съемки на геофизическом исследовательском судне. Производитель морского гравиметрического комплекса «Чекан-АМ» рекомендует эксплуатировать прибор при внешней температуре от 10°C до 25°C. При этом на практике в ходе съемок, особенно сопутствующих другим геофизическим и батиметрическим измерениям, температурный режим в гравиметрической лаборатории обеспечивается судовой системой кондиционирования воздуха с использованием при необходимости дополнительных мобильных или стационарных систем терморегулирования. Как и любая система автоматического регулирования, кондиционер поддерживает постоянство задаваемой температуры с некоторыми отклонениями от номинала, имеющими периодический характер. Для системы термостабилизации гравиметра частота изменения температуры в лаборатории может оказаться неблагоприятной, в силу чего его термостат не полностью компенсирует скачки температуры, которые воздействуют на показания прибора.

На судне гравиметр «Чекан-АМ» был расположен в судовом помещении (рис. 2), оснащенном дополнительным кондиционером и температурным датчиком RODOS-5B (размещен вблизи корпуса гравиметра), который непрерывно регистрировал температуру с погрешностью до 0,5°C.



Рис. 2. Гравиметр «Чекан-АМ» на борту геофизического судна

### **Обработка результатов измерений гравиметра**

Лабораторные измерения. На первом этапе обработки результатов из измерений вычитается линейная составляющая смещения нуля-пункта. Ставшие заметными

после этого вариации показаний гравиметра в течение полусуточного, суточного и двухнедельного периодов являются следствием земного лунно-солнечного прилива (рис. 3, а, кривая синего цвета). Спектральный анализ показаний гравиметра и теоретического прилива, представленный на рис. 3, б и в, показывает отсутствие ярко выраженных неприливных вариаций в коротком и среднем диапазонах. Следовательно, помехи в этих диапазонах не связаны с сезонным изменением метеоусловий.

Из представленных на рис. 3 графиков следует, что ход нуля-пункта имеет гармонический характер с периодом порядка года, что обусловлено сезонными изменениями метеорологических факторов. Общий размах сезонных отклонений в показаниях гравиметра «Чекан-АМ», находящегося в лабораторных условиях, за 1,5 года достиг 10 мГал.

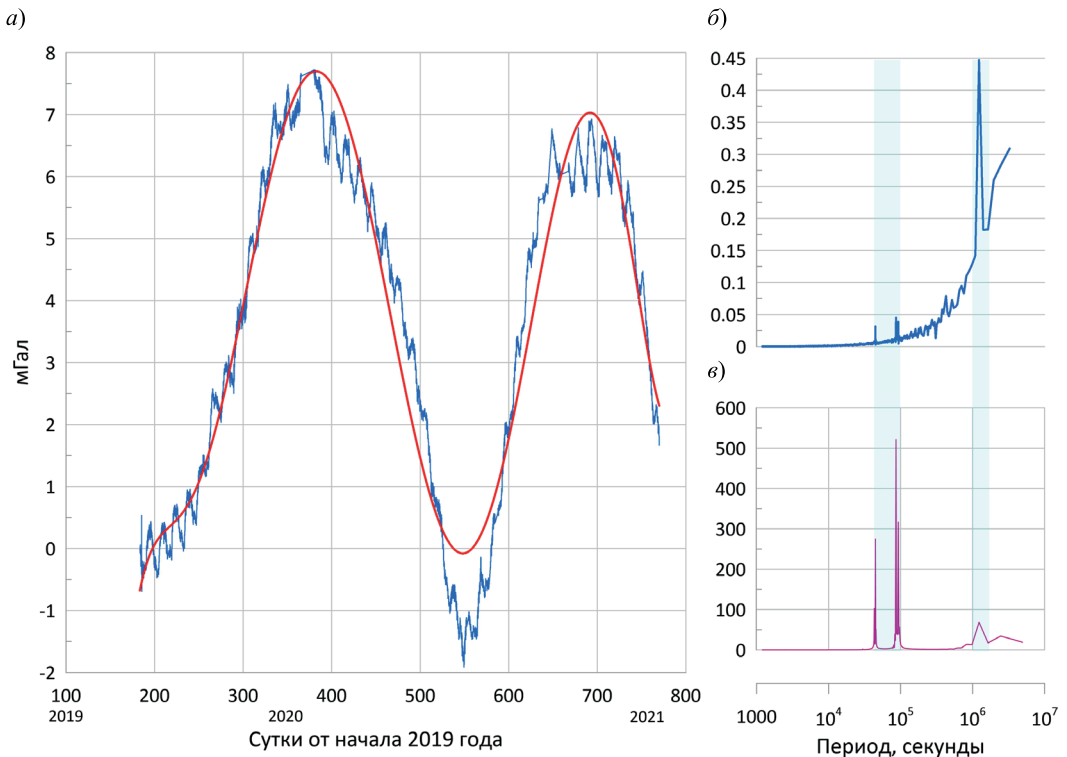


Рис. 3: а – остаточные отклонения в показаниях гравиметра (синяя кривая) и их аппроксимирующая функция (красная кривая); б – спектр показаний гравиметра; в – спектр теоретически рассчитанного земного прилива

Влияние эффекта лунно-солнечного прилива на гравиметрические измерения было изучено ранее [16], поэтому в данном случае им можно пренебречь. Чтобы изучить отклонения лабораторных гравиметрических наблюдений на большом промежутке времени и исключить случайные высокочастотные отклонения и вариации, обусловленные периодическими приливами, все остаточные наблюдения были аппроксимированы полиномом [9, 12]. Степень полинома была определена путем сравнения среднеквадратического отклонения (СКО) показаний от используемого полинома (таблица). С повышением степени аппроксимирующего полинома СКО резко уменьшается до определенной величины и стабилизируется при его седьмой

степени и выше. В силу этого было принято, что аппроксимирующий полином 7-й степени наилучшим образом описывает ход смещения нуль-пункта (за вычетом его линейной части) в имеющемся промежутке времени.

Т а б л и ц а

**СКО наблюдений в зависимости от аппроксимирующего полинома**

Степень полинома	1	2	3	4	5	6	7	8	9
СКО	7,054	6,911	4,651	3,928	0,805	0,786	<b>0,412</b>	0,392	0,367

В дальнейшем ряды наблюдений всех исследуемых факторов также аппроксимированы соответствующими полиномами 7-й степени для сопоставления и исследований взаимозависимости. Каждый фактор может воздействовать на скорость смещения нуль-пункта как непосредственно, так и опосредованно. В качестве критерия оценки использовалась корреляционная функция со смещением сравниваемых рядов по времени.

Морские измерения. Морские гравиметрические измерения, используемые для оценки влияния изменения температуры на показания гравиметра на коротких временных диапазонах, обработаны в соответствии с принятой методикой. Фильтрация показаний осуществлялась с помощью набора апериодических фильтров. Постоянная времени и порядок апериодических фильтров выбирались в зависимости от режима наблюдений (опорные или морская съемка), а также по величине вертикальных возмущающих ускорений. Скорость смещения нуль-пункта определялась в процессе опорных измерений в порту продолжительностью 5 суток и в дальнейшем учитывалась как линейная функция и для опорных, и для морских измерений. Остаточные вариации в опорных показаниях обусловлены только эффектом прилива и короткопериодными изменениями температуры, разделить которые можно средствами спектрального анализа.

### **Зависимость показаний гравиметра от вариаций температуры**

Лабораторные измерения. Влияние температуры на показания гравиметров с УС из кварцевого стекла подробно изучалось и ранее. Физически зависимость модуля упругости кварцевого стекла от температуры хорошо известна. Вместе с тем каждый конкретный прибор характеризуется множеством нюансов при передаче температуры от окружающей среды к рабочему элементу УС – закрученной кварцевой нити. Нить имеет протяженность и помещена в демпфирующую жидкость для термокомпенсации, где, в свою очередь, температура распределяется неравномерно по объему и во времени.

В идеальном случае изменение плотности жидкости компенсирует изменение модуля упругости кварцевого стекла только при постоянстве температуры внутри корпуса УС. В динамике это практически невозможно, так как коэффициенты теплопередачи материалов различны, кроме того, эти материалы занимают разный объем. В итоге внутри корпуса устанавливается некоторое динамическое значение температуры, зависящее от колебаний внешней температуры с учетом устройства термостабилизации корпуса УС и расположения ее кварцевых элементов. Скорость смещения нуль-пункта и его вариации уменьшаются с понижением температуры

статирования. Оптимальной она может быть при  $0^{\circ}\text{C}$ , однако в этом случае появляется конденсат на оптической системе, что неприемлемо и требует дополнительных мер, которые приводят к усложнению конструкции. В гравиметре рассматриваемого типа температура статирования УС составляет около  $32^{\circ}\text{C}$ .

Графики остаточных показаний гравиметра с использованием аппроксимирующих полиномов 7-го порядка и вариаций температуры в лаборатории приведены на рис. 4. В исследуемый период температура в лабораторном помещении медленно менялась в диапазоне  $20\text{--}27^{\circ}\text{C}$  с отдельными экстремальными выбросами от  $14^{\circ}\text{C}$  и до  $27,5^{\circ}\text{C}$ . Для определения связи показаний прибора с температурой вычислен коэффициент корреляции между ними, который на временном интервале в 1,5 года составил  $-0,202$ . При смещении гравиметрических наблюдений на 60,9 суток по временной шкале коэффициент корреляции составил уже  $-0,644$ .

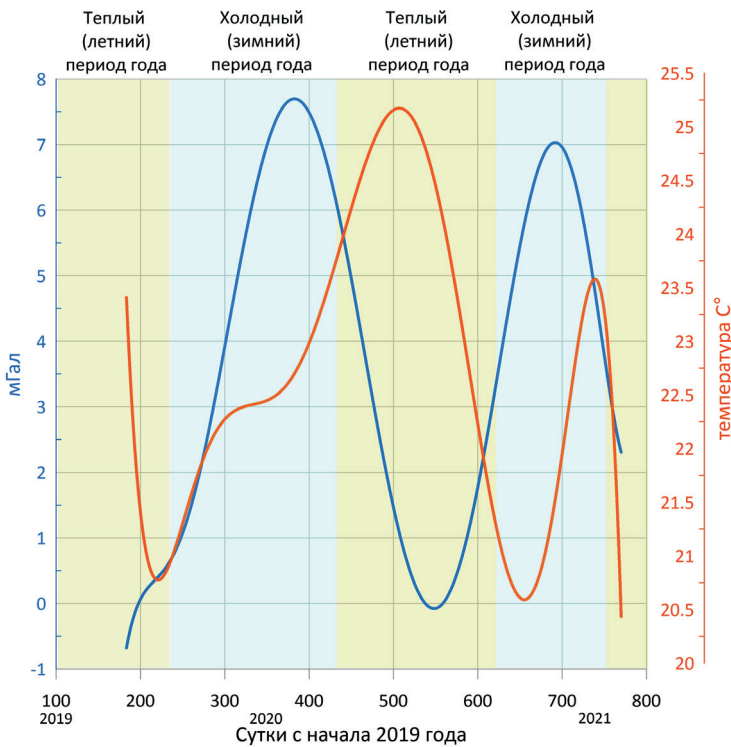


Рис. 4. Графики аппроксимированных полиномами 7-го порядка остаточных показаний гравиметра (линейная составляющая смещения нуля-пункта исключена) и вариаций температуры в лаборатории

Хотя оба графика на рис. 4 имеют годовую периодичность и непосредственное влияние температуры на чувствительную систему гравиметра очевидно, низкое значение коэффициента корреляции говорит о том, что сезонные вариации температуры не являются основным фактором, вызывающим долгосрочные отклонения в показаниях гравиметра, размах которых достигает 10 мГал. Они в большей степени обуславливаются другим фактором, а именно влажностью [6].

Морские измерения. Практический анализ влияния короткопериодных температурных вариаций на УС гравиметра «Чекан-АМ» выполнялся по данным морских измерений. Так как кондиционер работал в релейном режиме (активное охлаждение и пассивный нагрев из-за окружающей среды), изменение температуры в помеще-

нии гравиметра имело периодический характер, что является нештатной ситуацией и нежелательно при выполнении гравиметрических измерений. При этом произведенные в настоящей работе оценки точности показали, что, несмотря на наличие дополнительной погрешности, полученные материалы были пригодны для дальнейшего использования. График типичного хода температуры в таких нестандартных условиях на рис. 5 обозначен красным цветом.

Сначала были проанализированы данные, записанные в течение 5 суток опорных измерений. Смещение нуля-пункта гравиметра было вычислено методом линейной аппроксимации измерений, продолжительность которых была кратной периоду морского прилива, а полученное значение введено в качестве поправки. Таким образом были получены остаточные вариации смещения нуля-пункта, обусловленные короткопериодными изменениями температуры. Характерный участок с показаниями гравиметра, имеющими размах до 0,65 мГал и обусловленными изменением окружающей температуры, на рис. 5 обозначен кривой синего цвета.

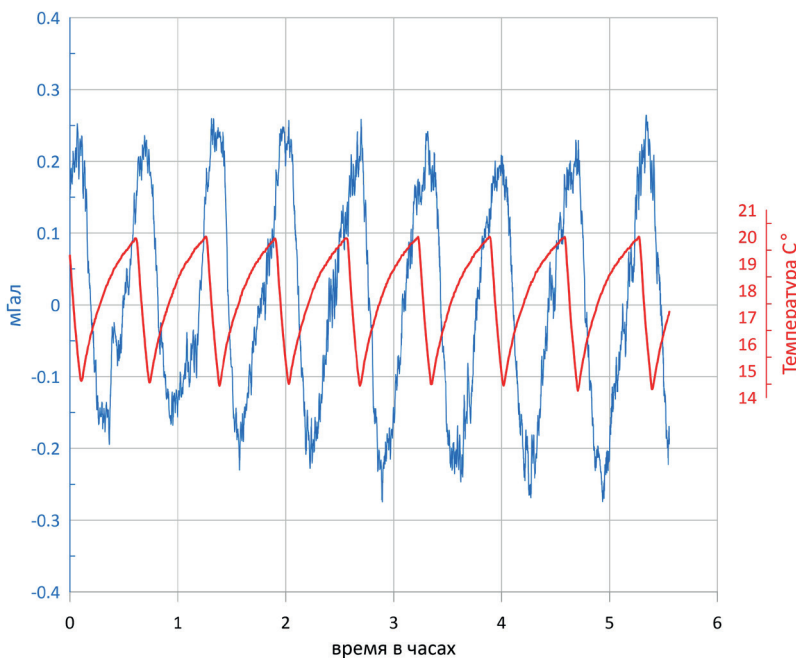


Рис. 5. Показания гравиметра и окружающей температуры в лаборатории судна

Вычисленный коэффициент корреляции составляет 0,856, что подтверждает влияние температуры на коротких временных промежутках. По корреляционной зависимости было вычислено время реакции УС на температурные изменения, которое составило 642 сек ( $\approx 11$  мин). Спектральный анализ температурных данных позволил вычислить период их циклического изменения — 35 мин.

Подобное влияние температуры можно наблюдать при выполнении морской съемки над абиссальной частью океана, характеризующейся спокойным гравитационным полем. После стандартной обработки и фильтрации данных от вертикальных ускорений качки на профиле хорошо заметна (рис. 6, а) нехарактерная периодическая помеха, связанная с короткопериодным постоянным отклонением температурного режима от номинала.



На рис. 6 представлены графики показаний гравиметра и вариаций температуры в судовой гравиметрической лаборатории и их спектральный анализ. Периодическая помеха в показаниях гравиметра соответствует периоду изменения температуры в лаборатории и по величине стандартного отклонения составляет 0,165 мГал. Поскольку характер изменения гравитационного поля на данном участке Мирового океана исключает наличие наблюдаемых в показаниях прибора аномалий на реальной Земле, не остается сомнений в их приборном происхождении.

Далее была выполнена фильтрация гравиметрических опорных измерений с окном фильтра, соответствующим периоду изменения температуры, и последующим вычислением высокочастотной составляющей изменения в показаниях гравиметра внутри окна фильтрации. Результаты дополнительной фильтрации показаний и их спектральный анализ также приведены на рис. 6.

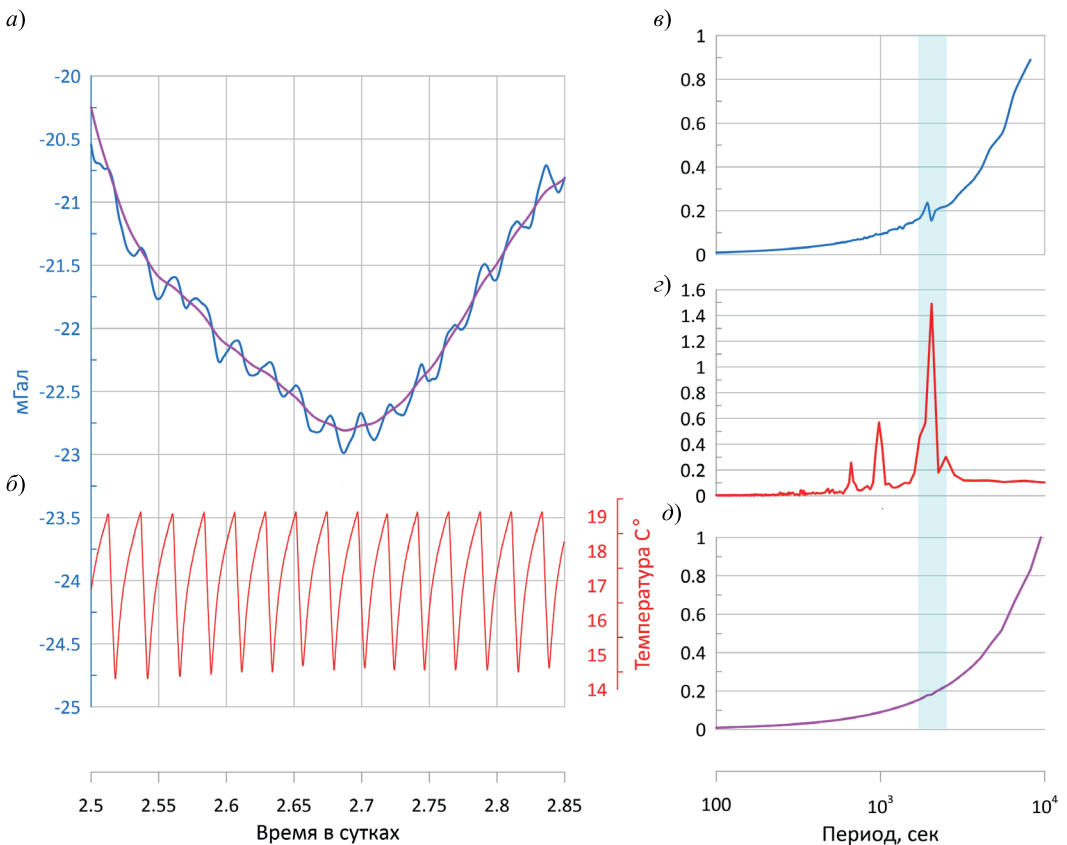


Рис. 6: а – показания гравиметра при съемке над абиссальной равниной (кривая синего цвета), фильтрованные значения показаний гравиметра (кривая сиреневого цвета); б – вариации температуры в помещении гравиметра (кривая красного цвета); в – спектр показаний гравиметра; г – спектр вариаций температуры; д – спектр фильтрованных показаний гравиметра

Обратим внимание на тот факт, что кондиционер срабатывал при температуре от +14 до +20°C, а период его работы составил порядка 38 мин. Такой режим оказался неблагоприятным для гравиметра. Кондиционер следует настраивать на возможно меньшее время срабатывания. При более частом изменении температуры термостат лучше подавляет ее влияние.

## Зависимость показаний гравиметра от влажности окружающей среды

**Лабораторные измерения.** Влияние фактора влажности на кварцевые системы известно [6]. Заполнение упругой системы демпфирующей жидкостью не полностью предохраняет кварцевое стекло от воздействия атмосферной влаги. Зависимость показаний гравиметра от изменения влажности среды обусловлена химическими взаимодействиями в приповерхностном слое кварцевых нитей его чувствительной системы. В отличие от кристаллического кварца, где химические связи его атомов полностью заполнены, в плавленом кварце (стекле) многие химические связи остаются открытыми. На открытой поверхности образца они закрываются гидроксильной группой Si – O – H, поскольку поверхность плавленого кварца всегда покрыта не менее чем 300 слоями молекул воды.

При наличии больших касательных напряжений и отсутствии химических связей с соседними атомами на поверхности образуется микротрещина (разрыв), идет процесс рассеяния потенциальной энергии закрученной нити. В этой трещине обнажаются новые свободные химические связи, закрываемые гидроксильной группой, процесс идет непрерывно во времени, то есть происходит смещение нуля-пункта. Большое количество таких разрывов приводит к перенапряжениям в новых местах, новым разрывам связей и перераспределению рассеянию энергии на образующихся дефектах. Итогом всего этого является перераспределение и потеря потенциальной энергии закрученной поддерживающей нити.

Прямой коэффициент корреляции между гравиметрическими измерениями и изменением влажности в лаборатории составил 0,541, а при смещении гравиметрических

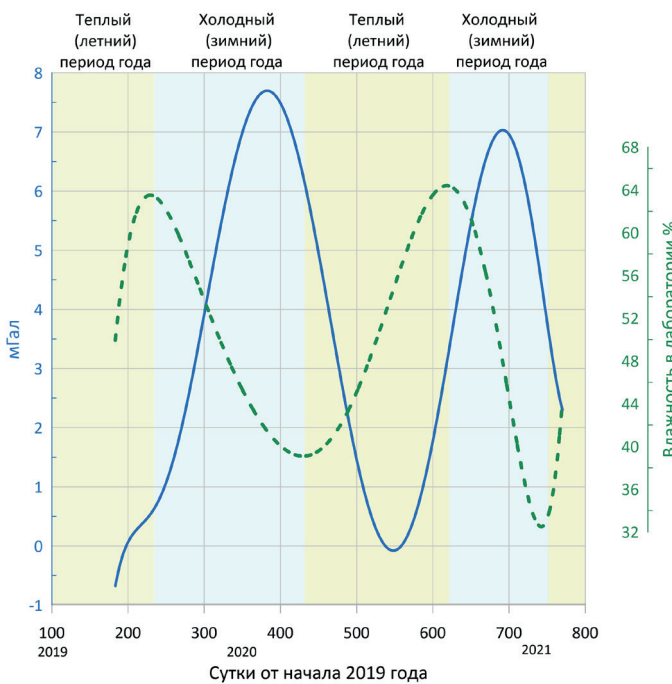


Рис. 7. Графики аппроксимированных полиномами 7-го порядка остаточных показаний гравиметра (сплошная линия) и влажности (пунктирная линия) в лаборатории

наблюдений на 51,4 суток по временной шкале коэффициент корреляции составил  $-0,948$ . Полученная корреляционная оценка подтверждает значительное влияние влажности на скорость смещения нуля-пункта в долгосрочном диапазоне. Наличие демпфирующей жидкости не защищает упругую систему от влияния влажности, а только задерживает реакцию. В процессе изменения влажности время реакции упругой системы на этот процесс составляет 1,5-2 месяца. Графики аппроксимированных полиномами 7-го порядка остаточных показаний гравиметра и влажности в лаборатории приведены на рис. 7.

## Результаты

Внешние условия и их изменения определяют итоговую точность съемки гравиметром «Чекан-АМ» на море наряду с другими факторами, например волнением моря и качеством судовождения.

Лабораторные исследования позволили оценить фактическое влияние метеорологических факторов на длительном интервале проведения измерений. Корреляция показаний гравиметра и изменений температуры в помещении составила 0,64, а для влажности – 0,95. Определено также время реакции УС гравиметра на медленно меняющиеся метеорологические параметры – 60,9 и 51,4 суток для температуры и влажности соответственно. Значения коэффициентов корреляций индивидуальны для каждого прибора и могут незначительно отличаться, но отражают степень влияния внешних факторов для всех гравиметров серии «Чекан-АМ».

Для вариаций температуры в том же диапазоне, но на коротком, менее часа, временном интервале коэффициент корреляции между гравиметрическими данными и изменением температуры составил 0,856, время реакции упругой системы на такие изменения – ориентировочно 11 мин. Показано также, что этот фактор привносит дополнительную погрешность в данные измерений порядка 0,15 мГал.

## Выводы

Изменение влажности воздуха в лабораторном помещении имеет наибольшую корреляцию с изменением остаточных отклонений в показаниях гравиметра типа «Чекан-АМ» и является основным фактором, влияющим на долгосрочную стабильность его УС. Закономерность сезонного или другого подобного продолжительного изменения влажности может быть спрогнозирована или выявлена только за счет постоянного мониторинга. Следовательно, чтобы увеличить стабильность измерений на длительном интервале времени, необходимо повысить герметичность чувствительной системы гравиметра, что позволит минимизировать влияние влажности.

Несмотря на входящую в гравиметрический комплекс систему термостабилизации ЧЭГ, изменение температурного режима в лаборатории все же оказывает воздействие на показания прибора как на коротких, так и на длительных временных промежутках. В статье рассматривается появление в процессе измерений дополнительной помехи, вызванной нарушением температурного режима при нештатной работе системы кондиционирования. Чтобы предотвратить или уменьшить дополнительную погрешность, обусловленную этим фактором, а также чтобы лучше понимать характер работы гравиметра «Чекан-АМ», в море и при опорных измерениях вблизи расположения прибора должен быть организован постоянный мониторинг температурных вариаций с записью показаний. В процессе эксплуатации надо учитывать факт переменной скорости смещения нуля-пункта и по возможности более часто выполнять опорные наблюдения.

При периодическом характере погрешности, связанной с температурными вариациями, можно оценить, соответствует ли ее величина требованиям к точности выявления аномалий во время съемки, и при необходимости определить окно фильтрации для ее исключения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ в рамках гранта 22-17-20035.*

ЛИТЕРАТУРА

1. **Абрамов Д.В., Дробышев Н.В., Малышева Д.А.** Оценка влияния окружающей температуры на долговременные высокоточные измерения гравиметром CG-5 Autograv // Геофизические исследования. 2022. Т. 23. № 4. С. 20–29.
2. **Бронштейн И.Г., Лившиц И.Л., Элинсон Л.С., Герасимова Н.Л., Соколов А.В.** Кварцевый гравиметр. Патент на изобретение RUS 2171481 C1, 03.02.2000.
3. **Гравиметр мобильный «Чекан-АМ».** Описание типа средств измерений № 28044-11. 2011.
4. **Евстифеев М.И., Краснов А.А., Соколов А.В., Старосельцева И.М., Элинсон Л.С., Железняк Л.К., Конешов В.Н.** Гравиметрический датчик нового поколения // Измерительная техника. 2014. № 9. С. 12–15.
5. **Железняк Л.К., Попов Е.И.** Принципы построения и оптимальная схема современного морского гравиметра // Физико-техническая гравиметрия. М., Наука. 1982. С. 43–60.
6. **Железняк Л.К.** Долговременная стабильность упругой системы гравиметра // Гравинерциальная аппаратура в геофизических исследованиях. М: ИФЗ АН СССР 1988. С. 74–87.
7. **Краснов А.А., Соколов А.В.** Изучение гравитационного поля труднодоступных районов Земли с использованием мобильного гравиметра «Чекан АМ» // Труды Института прикладной астрономии РАН. 2009. № 20. С. 353–357.
8. **Краснов А.А., Соколов А.В., Элинсон Л.С.** Новый аэроморской гравиметр серии «Чекан» // Гироскопия и навигация. 2014. №1 (84). С. 26–34.
9. **Лоран П.Ж.** Аппроксимация и оптимизация. М.: Мир, 1975. С. 496.
10. **Михайлов П.С., Конешов В.Н., Погорелов В.В., Спесивцев А.А., Соловьев В.Н., Железняк Л.К.** Высокотемпературные модели гравитационного поля Земли: история развития, оценка перспективности и разрешающей способности // Наука и технологические разработки. 2020. Том 99. № 4. С. 5–33.
11. **Соколов А.В., Краснов А.А., Коновалов А.Б.** Автоматизация технологии изготовления кварцевой упругой системы мобильного гравиметра // Гироскопия и навигация. 2021. Т. 29. № 2 (113). С. 35–46. DOI 10.17285/0869-7035.0061.
12. **Elsaka, B.,** Comparison of Different Polynomial Degrees for Correcting the Instrumental Drift of Scintrex CG-5 Autograv Gravimeter, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2020, 14(5), pp. 19–25.
13. **Förste, C., Ince, E.S., Johann, F., Schwabe, J., Liebsch, G.,** Marine Gravimetry Activities on the Baltic Sea in the Framework of the EU Project FAMOS, *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 2020, 145 (5), pp. 287–294.
14. **Merriam, J.B.,** Atmospheric pressure and gravity, *Geophys. J. Int.*, 1992, vol. 109, issue 3, pp. 488–500.
15. **Sandwell, D.T., Smith, W.H.F.,** Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: ridge segmentation versus spreading rate, *Journal of Geophysical Research*, 2009, vol. 114, Issue B1. B0141, pp. 1–18.
16. **Spiridonov, E., Vinogradova, O., Boyarskiy, E., Afanasyeva, L.,** Atlantida3.1\_2014 for windows: A software for tidal prediction, *Bull. Inf. Marées Terrestres*, 2015, no.149, pp. 12062–12081.

---

**Zheleznyak, L.K.** (Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, Moscow, Russia), **Koneshov, V.N., Mikhailov, P.S., Drobyshev, M.N., and Solov'ev, V.N.** (Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS; Vladimir State University, Vladimir, Russia)  
Temperature and Humidity Impact on the Accuracy of Chekan-AM Gravimeter, *Гироскопия и Навигация*, 2022, vol. 30, no. 2 (117), pp. 58–70.

**Abstract.** Marine gravimetry aims to obtain accurate and reliable data on gravity field anomalies in water areas. Modern gravimetric systems such as Chekan-AM feature high accuracy due to the novel circuit and design solutions in the conditions specified in the technical description. The article discusses the influence of ambient temperature and humidity on the

accuracy of the Chekan-AM gravimeter. These meteorological factors matter both during short measurement periods, within individual survey lines, and long periods, during expeditions far away from the reference points. For 18 months, the authors of the article have been carrying out laboratory tests of the gravimeter with simultaneous registration of meteorological parameters. Based on the observation results, the correlation dependences of the zero-point drift of the gravimeter sensitive element on seasonal temperature and humidity variations were calculated. Marine expeditions data were also studied, with analysis of the temperature impact over a short time period during the marine gravimetric survey. Based on the results of the experiments it was shown that meteorological monitoring should be performed in the course of gravimetric surveys, including those onboard research vessels. An additional thermal noise becomes noticeable in the survey conducted in an area with low variations in the gravity field, and it should be considered when analyzing and evaluating the results.

**Key words:** marine gravimetry, gravimeter sensitive element, elastic system, ambient temperature, relative humidity, Chekan-AM gravimetric system.

Материал поступил 30.03.2022