



## МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ НА ПОКАЗАНИЯ ГРАВИМЕТРОВ И СЕЙСМОГРАФОВ

Ю.В. АНТОНОВ\*, И.А. ПОНОМАРЕНКО

*Воронежский государственный университет  
1, Университетская пл., г. Воронеж 394006, Россия*

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Плотность атмосферного воздуха изменяется от температуры. Следовательно, с изменением температуры атмосферного слоя возникают локальные аномалии силы тяжести. Амплитуда таких аномалий может достигать более  $\pm 0,1$  мГал. Результаты обработки неприливных вариаций силы тяжести для обсерватории Арти (г. Екатеринбург) подтверждают влияние температуры на показания гравиметра, но намного превышают расчетные.

**Цель.** Оценка влияния погоды на изменение сейсмического и гравитационного полей.

**Материалы и методы.** Измерения силы тяжести проводились гравиметром CG-5 AUTOGRAV на Бишкекском геодинамическом полигоне РАН (г. Бишкек, Киргизстан), в Институте геофизики РАН (г. Екатеринбург) и обсерватории Заполье (г. Владимир). На обсерваториях м. Шульц (г. Владивосток), п. Арти (г. Екатеринбург) и ВФО (Шварцвальд, Германия [10]) гравиметрические измерения получены с помощью приливных гравиметров La Coste — Romberg.

**Результаты.** С изменением температуры атмосферного слоя возникают локальные аномалии силы тяжести. Амплитуда таких аномалий может достигать более  $\pm 0,1$  мГал. Результаты обработки неприливных вариаций силы тяжести для обсерватории Арти (г. Екатеринбург) подтверждают влияние температуры на показания гравиметра, но намного превышают расчетные.

**Заключение.** Метеорологические процессы оказывают влияние на показания гравиметров и сейсмометров. Влияние оказывают водность облаков и изменение температуры земной атмосферы. Плотность атмосферного воздуха изменяется от температуры. Помимо температуры на гравиметры и сейсмометры влияют давление, влажность и водность атмосферы. Это связано с деформацией атмосферы за счет Луны и Солнца. Наибольшее влияние на показания гравиметров и сейсмометров оказывают удары метеорных потоков по атмосфере Земли.

**Ключевые слова:** температура воздуха, атмосферное давление, влажность, водность, неприливные вариации силы тяжести

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Антонов Ю.В., Пономаренко И.А. Метеорологическое влияние на показания гравиметров и сейсмографов. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(3):66—75. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-66-75>

*Статья поступила в редакцию 01.02.2023*

*Принята к публикации 19.05.2023*

*Опубликована 30.06.2023*

\* Автор, ответственный за переписку

# METEOROLOGICAL IMPACT ON GRAVIMETER AND SEISMOMETER READINGS

YURY. V. ANTONOV\*, IVAN A. PONOMARENKO

Voronezh State University  
1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russian Federation

**Background.** The density of atmospheric air varies with temperature. Therefore, variations in the atmospheric layer temperature leads the emergence of local gravity anomalies. The amplitude of such anomalies can exceed  $\pm 0.1$  mGal. The results obtained by the Arti Geophysical Observatory (Yekaterinburg, Russia) on the non-tidal variations of gravity confirm the influence of temperature variations on gravimeter readings, which may significantly exceed the calculated data.

**Aim.** To assess the impact of weather changes on seismic and gravity fields.

**Materials and methods.** At the RAS Bishkek Geodynamic Test Area (Bishkek, Kyrgyzstan), RAS Institute of Geophysics (Yekaterinburg, Russia) and Zapolye Observatory (Vladimir, Russia), gravity was measured by CG-5 AUTOGRAV gravimeters. At the Shults Cape (Vladivostok, Russia), Arti (Yekaterinburg, Russia) and BFO (Black Forest, Germany [10]) observatories, gravimetric measurements were conducted by La Coste & Romberg tidal gravimeters.

**Results.** Variations in the atmospheric layer temperature were found to lead to the emergence of local gravity anomalies. The amplitude of such anomalies can exceed  $\pm 0.1$  mGal. The results obtained by the Arti Geophysical Observatory (Yekaterinburg, Russia) on the non-tidal variations of gravity confirm the influence of temperature on gravimeter readings, which may significantly exceed the calculated data.

**Conclusion.** Meteorological processes, such as liquid-water content and the Earth's atmospheric temperature, affect the readings of gravimeters and seismometers. The atmospheric air density varies with temperature. Along with temperature, gravimeters and seismometers are affected by pressure, humidity and water content of the atmosphere. This is related to atmospheric deformations under the influence of the Moon and the Sun. Meteor streams and their impact on the Earth's atmosphere have the greatest influence on the readings of gravimeters and seismometers.

**Keywords:** air temperature; atmospheric pressure; humidity; water content; non-tidal variations of gravity

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Antonov Y.V., Ponomarenko I.A. Meteorological impact on gravimeter and seismometer readings. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(3):66—75. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-66-75>

*Manuscript received 01 February 2023*

*Accepted 19 May 2023*

*Published 30 June 2023*

\* Corresponding author

Неприливные вариации силы тяжести, полученные после исключения лунно-солнечных вариаций из мониторинговых наблюдений, обусловлены различными причинами: землетрясениями, ударами корональных выбросов масс по магнитосфере и метеорными потоками по атмосфере Земли и т. д. [1—5]. Примерно то же самое происходит с сейсмическими наблюдениями, так как измерения сейсмического и гравитационного полей выполняются с помощью одного и того же датчика

(маятника Голицына). Частично влияние космических и погодных факторов на показания гравиметров и сейсмометров рассматривалось ранее [1—5]. При этом основное внимание уделялось влиянию космических факторов. Но анализ многолетних наблюдений за гравиметрами и сейсмометрами показывает, что погодные изменения также влияют на показания приборов (особенно на сейсмометры), не меньше, чем космические факторы. Кроме того, процессы, происходящие в атмосфере Земли, очень

сложны и зависят от многих факторов. В первую очередь состояние атмосферы определяется температурой, давлением, влажностью, водностью облаков, фазами Луны и т.д. Тем не менее отметим, что деление на космические и погодные факторы достаточно условное. Например, удар метеорного потока по атмосфере вызывает в ней не только колебания, но и изменения в погоде. Те же погодные изменения вызывают выбросы корональных масс при ударе по магнитному полю Земли.

#### Исходные данные

Для оценки влияния погоды на изменение сейсмического и гравитационного полей использованы мониторинговые наблюдения этих полей во времени в различных пунктах Евразийского континента. Измерения силы тяжести проводились гравиметром CG-5 AUTOGRAV на Бишкекском геодинатическом полигоне РАН (г. Бишкек, Киргизстан), в Институте геофизики РАН (г. Екатеринбург) и обсерватории Заполье (г. Владимир). На обсерваториях м. Шульц (г. Владивосток), п. Арти (г. Екатеринбург) и BFO (Шварцвальд, Германия [10]) гравиметрические измерения получены с помощью приливных гравиметров La Coste — Romberg. На всех упомянутых пунктах ведутся сейсмические наблюдения. Но гравиметрические данные сравниваются в основном с сейсмическими на ст. Галичья Гора Воронежской обсерватории, где, к сожалению, гравиметрических наблюдений нет. Это обусловлено тем, что на Галичьей Горе практически нет технических помех. Кроме того, гравиметрические данные, взятые в разных точках Евразийского континента и совпадающие с сейсмическими данными в Воронеже, подчеркивают глобальность протекающих процессов в космосе и на Земле. Данные о внешней температуре воздуха и атмосферном давлении взяты с ближайших к вышеперечисленным пунктам наблюдений метеостанций [11].

#### Методика обработки гравиметрических измерений

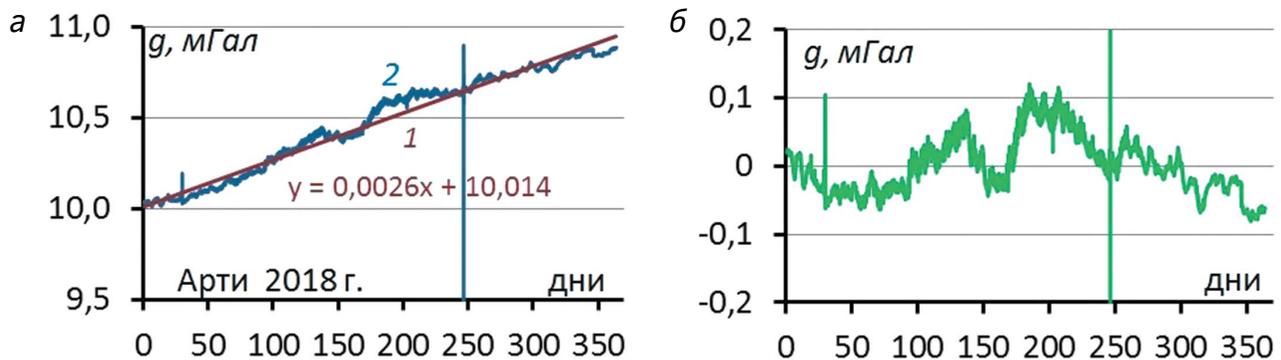
Вычисление неприливых вариаций силы тяжести делалось следующим образом. На первом этапе исключается притяжение Луны и Солнца. В связи с тем, что в программном продукте гравиметра CG-5 AUTOGRAV, в котором рассчитывается притяжение Луны и Солнца, обнаружены погрешности [1], то заново рассчитывались лунно-солнечные вариации силы тяжести и учитывались при обработке [12]. После учета лунно-солнечных вариаций вычислялся линейный тренд полученных значений, который исключался. Значения тренда в основном отражают в себе сползание нуля-пункта прибора

и какую-то низкочастотную часть изменения внешнего гравитационного поля. Оставшуюся часть вариаций после исключения лунно-солнечной части и тренда назовем неприливной вариацией силы тяжести. Как показывают исследования [1, 2], неприливая вариация с помощью метода осреднения делится на локальную (остаточную) и осредненную неприливые вариации. Кстати, локальная неприливая вариация может быть получена с помощью метода осреднения непосредственно из исходных наблюдений, минуя операции учета лунно-солнечных вариаций силы тяжести и смещения нуля-пункта прибора. Вариация, полученная по исходным наблюдениям с помощью осреднения, и вариация силы тяжести, полученная обычным способом, практически совпадают между собой. Разность между ними не превышает одного микрогала, что минимум на два порядка меньше амплитуды наблюдаемых неприливых вариаций и погрешности измерений [1, 2]. Так что в большинстве случаев для получения неприливной вариации лучше пользоваться методом осреднения.

#### Обсуждение результатов интерпретации

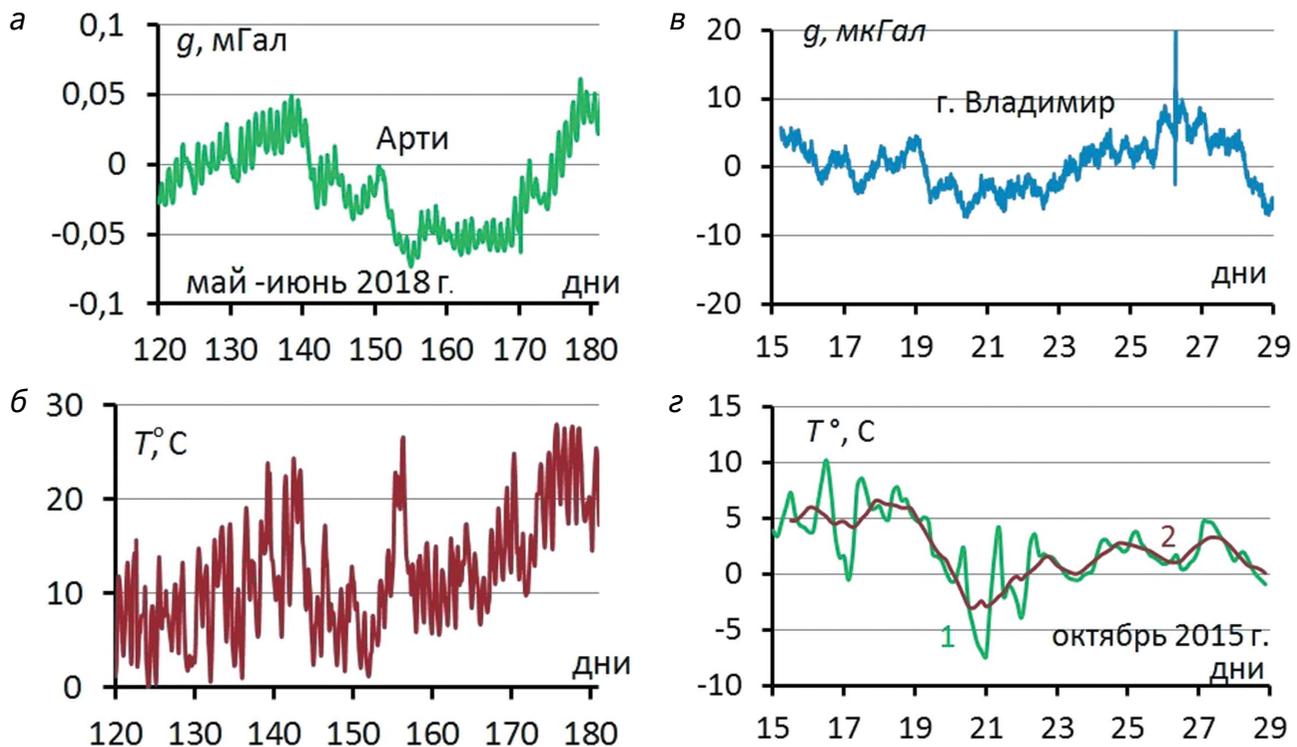
А теперь рассмотрим, как проявляется изменение метеоусловий в неприливых вариациях силы тяжести. Сами метеоусловия характеризуются в основном температурой и влажностью воздуха, атмосферным давлением и водностью. Все эти параметры тесно увязаны между собой. Их (параметров) влияние на плотность воздуха (а именно эта величина будет интересовать нас) может складываться или вычитаться. Например, увеличение влажности воздуха ведет к понижению его плотности, а увеличение атмосферного давления, наоборот, к повышению плотности. Но наиболее существенную роль играет температура. Поэтому, естественно, возникает вопрос: а как проявляются сезонные изменения температуры в неприливых вариациях силы тяжести? В зимне-осенний период плотность воздуха больше, избыточные массы находятся выше пункта наблюдения, следовательно, должны иметь отрицательную аномалию силы тяжести, а летом должно быть наоборот. Указанные рассуждения подтверждаются измерениями в обсерватории Арти под Екатеринбургом (рис. 1).

На графике неприливной вариации силы тяжести (рис. 1а) приведены осредненные значения вариации на пятиминутном интервале (дискретность наблюдений 1 с) за 2018 г. Год весьма спокойный в смысле космической погоды, т.е. минимум погрешностей из космоса. Смещение нуля-пункта незначительно — менее 1 мГала. После исключения



**Рис. 1.** Изменения неприливной вариации силы тяжести на обсерватории Арти за 2018 г.: а — графики неприливной вариации силы тяжести (2) и линейного тренда (1) изменения вариации; б — график остаточной неприливной вариации силы тяжести

**Fig. 1.** Changes in the non—tidal variation of gravity at the Arti Observatory for 2018: а — graphs of the non-tidal variation of gravity (2) and linear trend (1) changes in variation; б — graph of the residual non-tidal variation of gravity



**Рис. 2.** Сравнение неприливных вариаций силы тяжести (а, в) и наружной температуры (б, г) на обсерваториях Арти и Заполье (г. Владимир). 1 — изменение суточной температуры; 2 — среднесуточный ход температуры

**Fig. 2.** Comparison of non-tidal variations of gravity (а, с) and outdoor temperature (б, д) at the Arti and Zapolye Observatories (Vladimir). 1 — change in daily temperature; 2 — average daily temperature

нуль-пункта (рис. 1б) теплый период времени года характеризуется положительной аномалией силы тяжести. Обращает на себя внимание на фоне летней положительной аномалии локальный минимум (рис. 1б), который связан с май-июньским похолоданием в зоне обсерватории. Рассмотрим этот

отрезок отдельно (рис. 2а, б). На данном рисунке наряду с графиком изменения силы тяжести приводятся графики изменения текущей температуры воздуха. В данном локальном случае видим четкую корреляцию между похолоданием и изменением силы тяжести. Здесь же (рис. 2в, г) приводятся

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

аналогичные результаты зависимости силы тяжести от температуры воздуха по обсерватории Заполье (г. Владимир). Таким образом, температура атмосферы вносит существенные коррективы в неприливные вариации силы тяжести. Ранее автором указывалось [2, 3], что влиянию температуры подвержены датчики не только гравиметров, но и сейсмометров.

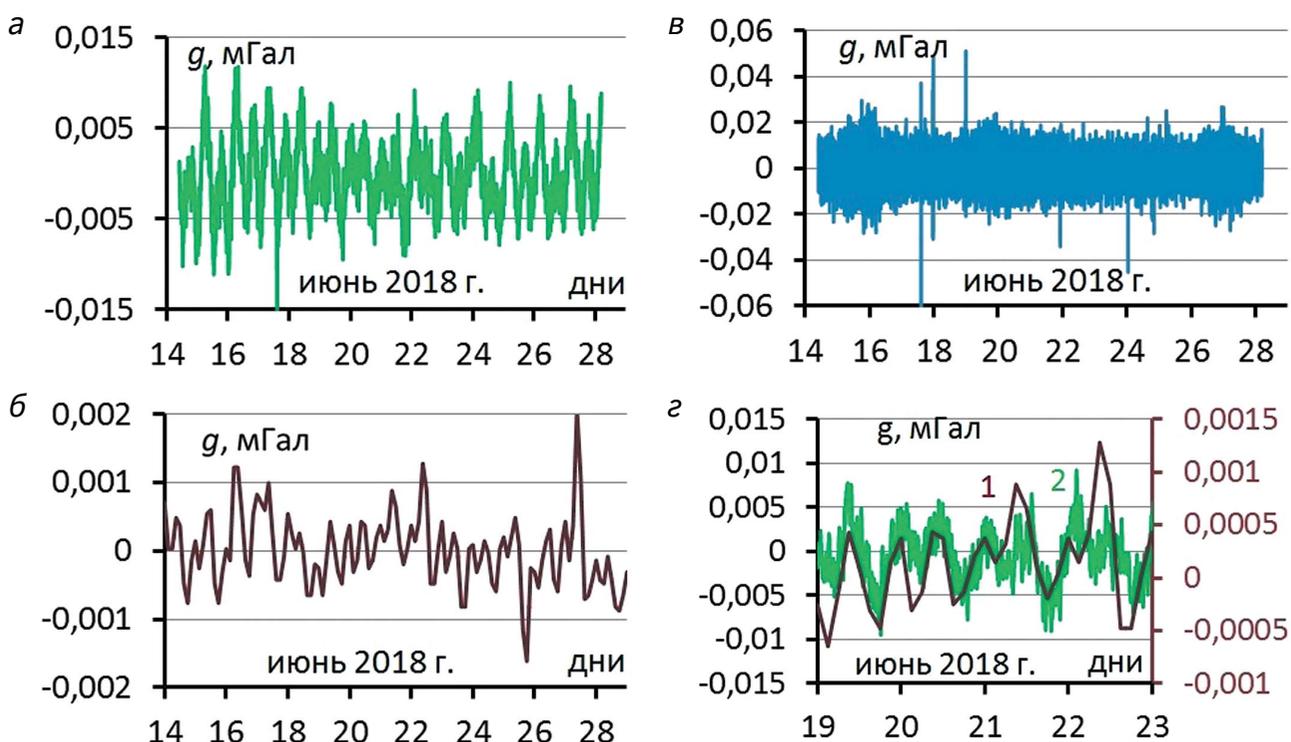
Отметим одну особенность, которая проявляется при сравнении изменений температуры воздуха и силы тяжести. Корреляция между температурой и силой тяжести характерна преимущественно для среднесуточного хода температуры и силы тяжести, хотя локальное изменение температуры в течение дня намного превышает среднесуточный ход. Объяснить это явление можно следующим образом. Среднесуточный ход определяется мощным слоем атмосферы, небольшое изменение плотности в котором вызывает изменение силы тяжести. Изменение температуры в течение суток касается в основном приземного (пограничного) слоя атмосферы

небольшой мощности, который не вызовет заметных изменений силы тяжести. Причем кривая среднесуточного похолодания (потепления) чаще всего начинается с резкого скачка температуры с последующим уменьшением.

Влияние влажности на изменение плотности возможно преимущественно при положительных температурах воздуха, и оно почти на два порядка меньше влияния температуры [4, 5]. Атмосферное давление изменяет плотность воздуха несколько больше, чем влажность, но не столь существенно [7, 9]. Вопрос об учете влияния атмосферного давления при гравиметрических измерениях ранее рассматривался в [6, 7]. Там же [7] приводится приближенная формула перевода давления в значения силы тяжести

$$\Delta g = K \Delta P, \quad (1)$$

где  $\Delta g$  — приращение силы тяжести;  $\Delta P$  — приращение атмосферного давления,  $K$  — коэффициент



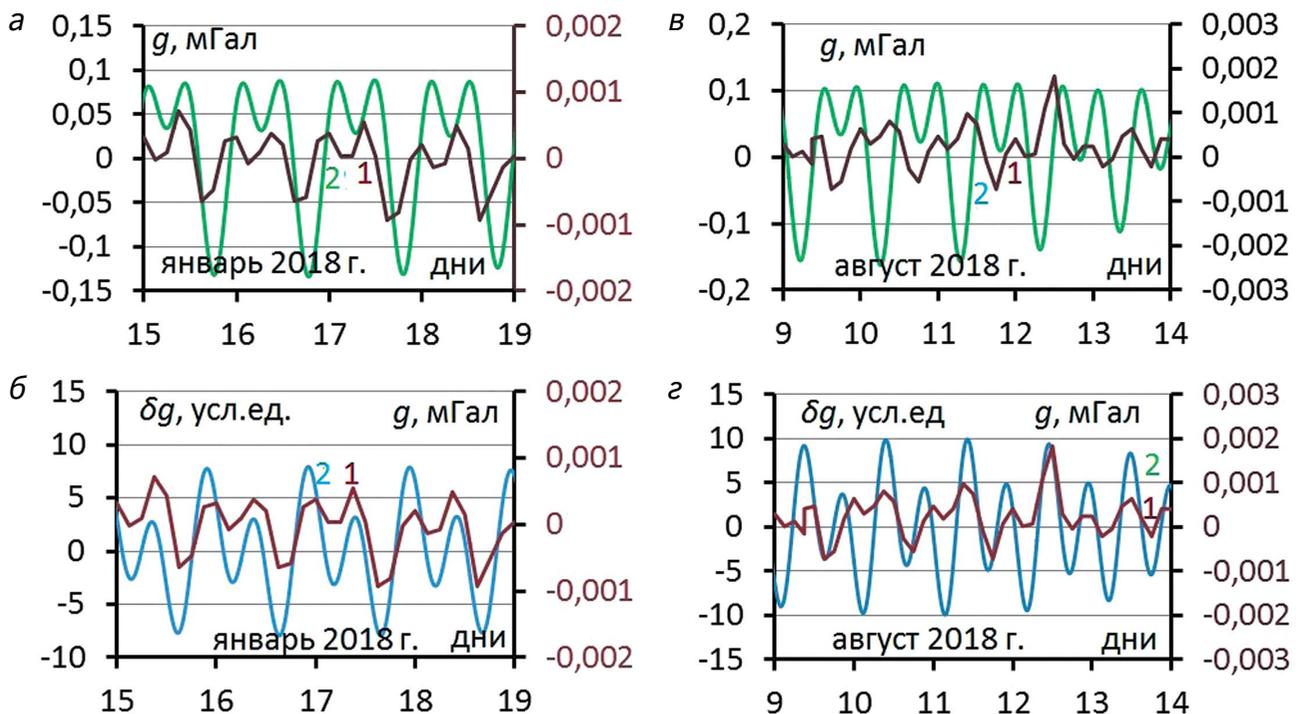
**Рис. 3.** Сравнение графиков осредненной и остаточной неприливных вариаций силы тяжести с графиками атмосферного давления в Бишкеке в июне 2018 г.: а — график осредненной неприливной вариации силы тяжести б — график атмосферного давления (шкала в условных миллигалах); в — график остаточной неприливной вариации силы тяжести; г — сравнение графиков осредненной неприливной вариации силы тяжести (кривая 2) и атмосферного давления (кривая 1)

**Fig. 3.** Comparison of graphs of averaged and residual non—tidal gravity variations with graphs of atmospheric pressure in Bishkek in June 2018: a — graph of averaged non—tidal gravity variation b — graph of atmospheric pressure (scale in conditional milligals); c — graph of residual non-tidal gravity variation; d — comparison of graphs of averaged non-tidal variation gravity (curve 2) and atmospheric pressure (curve 1)

перевода значений давления в значения силы тяжести. Этот коэффициент равен  $0,0568 \times 10^{-3}$  для давления в мм рт. ст. или  $0,0426 \times 10^{-3}$  при давлении в миллибарах. Кроме того, из значений атмосферного давления вычтена постоянная составляющая и оставлена вариативная часть, которая, собственно, оказывает влияние на значения силы тяжести.

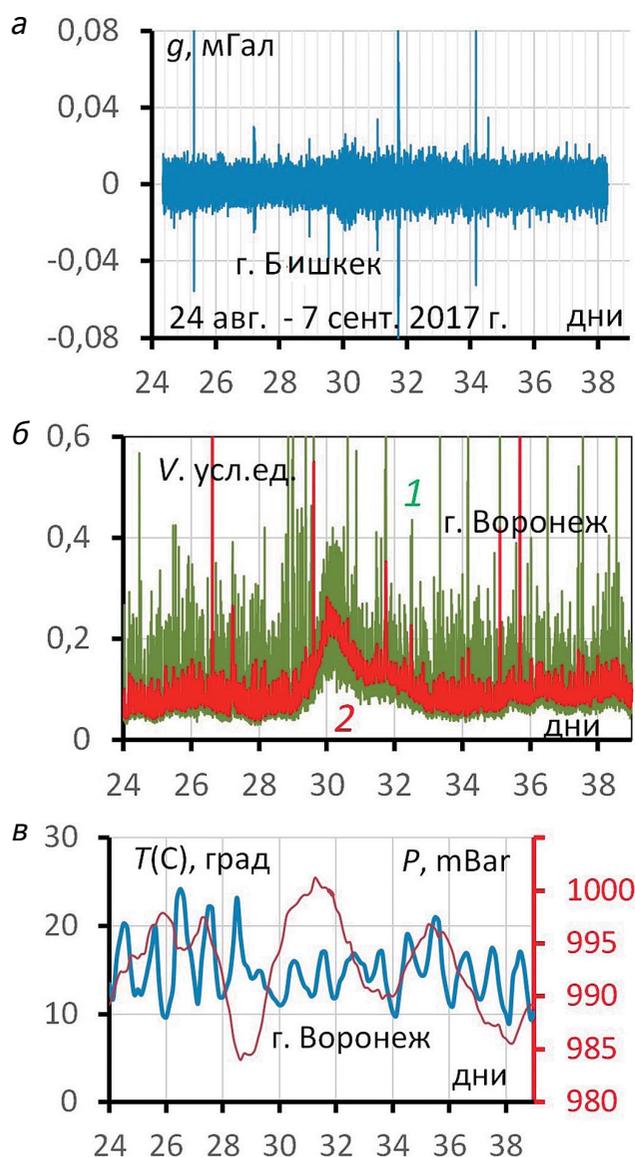
Рассмотрим некоторые особенности морфологии графиков изменения атмосферного давления и силы тяжести. На рисунке 3 приведены графики осредненной (а) и локальной (в) неприливных вариаций, а также давления (б). Значения атмосферного давления для удобства сравнения с неприливыми вариациями переведены с помощью указанной формулы (1) в условные значения силы тяжести. Отсюда можно сделать вывод, что вклад давления в изменение неприливных вариаций минимален: значения силы тяжести при изменении давления  $\pm(10-15)$  миллибар

сопоставимы с погрешностью измерений силы тяжести. На рисунке 3г приведено сравнение осредненной неприливной вариации и влияния давления: разница в амплитудах составляет целый порядок. Причем, в отличие от случая с температурой, здесь превалирует корреляция силы тяжести и давления для суточного хода. Для подтверждения этого высказывания рассмотрим графики лунно-солнечных вариаций и атмосферного давления (рис. 4а, в). Внешне они похожи, но при внимательном рассмотрении видим, что максимумы давления больше тяготеют к максимальным значениям градиента лунно-солнечных вариаций. Поэтому было решено продифференцировать лунно-солнечные вариации и сравнить с давлением. Налицо полное совпадение изменения производной и давления (рис. 4б, г). На графиках производная (рис. 4б, г) заменена приращением вариаций  $\delta g = \Delta g(t_{n+1}) - \Delta g(t_n)$  с шагом 1 мин. Здесь



**Рис. 4.** Сравнение графиков лунно-солнечных вариаций силы тяжести и их градиента во времени с графиками атмосферного давления в Бишкеке (2018 г.): а — графики атмосферного давления (кривая 1) и лунно-солнечных вариаций силы тяжести (кривая 2) в январе 2018 г.; б — график атмосферного давления (кривая 1) и график градиента лунно-солнечных вариаций силы тяжести (кривая 2) в январе 2018 г.; в — графики атмосферного давления (кривая 1) и лунно-солнечных вариаций силы тяжести (кривая 2) в августе 2018 г.; г — графики атмосферного давления (кривая 1) и градиента лунно-солнечных вариаций силы тяжести (кривая 2) в августе 2018 г.

**Fig. 4.** Comparison of graphs of lunar-solar gravity variations and their gradient over time with graphs of atmospheric pressure in Bishkek (2018): а — graphs of atmospheric pressure (curve 1) and lunar-solar gravity variations (curve 2) in January 2018; б — graph of atmospheric pressure (curve 1) and a graph of the gradient of lunar-solar gravity variations (curve 2) in January 2018; в — graphs of atmospheric pressure (curve 1) and lunar-solar gravity variations (curve 2) in August 2018; г — graphs of atmospheric pressure (curve 1) and the gradient of lunar-solar gravity variations (curve 2) in August 2018



**Рис. 5.** Сравнение остаточной неприливной вариации силы тяжести в Бишкеке с сейсмограммой и метеоданными в Воронеже: а — график остаточной неприливной вариации силы тяжести; б — графики вертикальной составляющей (кривая 1) и осредненной вертикальной составляющей сейсмического поля (кривая 2); в — графики изменения текущей (кривая 1) и среднесуточной температуры (кривая 3) и давления (кривая 2)

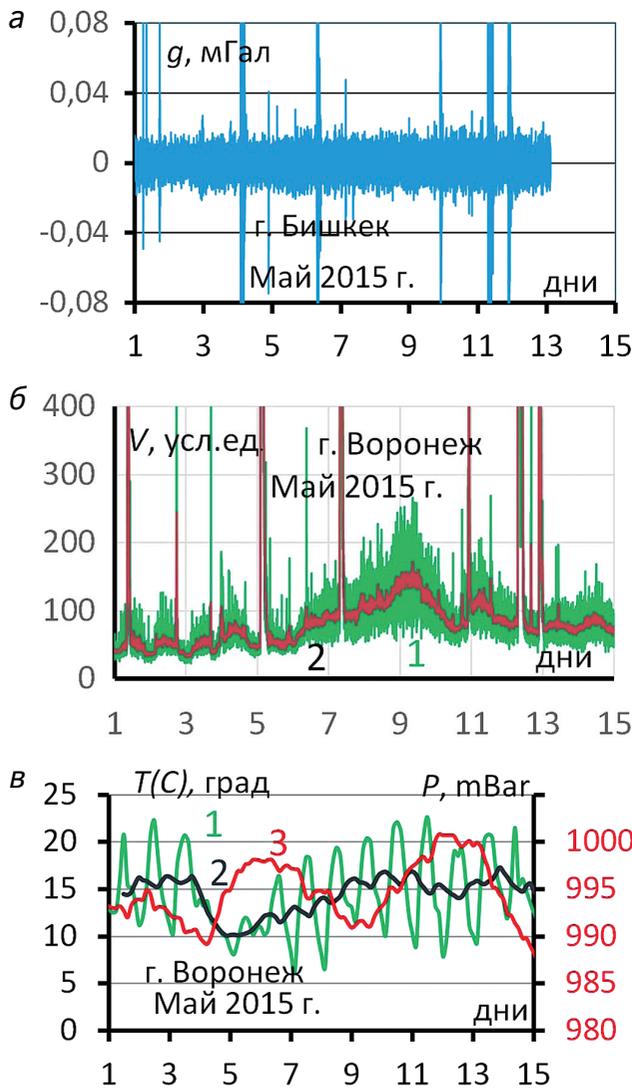
**Fig. 5.** Comparison of the residual non—tidal variation of gravity in Bishkek with the seismogram and meteorological data in Voronezh: а — graph of the residual non—tidal variation of gravity; б — graphs of the vertical component (curve 1) and the averaged vertical component of the seismic field (curve 2); в — graphs of changes in the current (curve 1) and average daily temperature (curve 3) and pressure (curve 2)

сталкиваемся с такой же ситуацией, которую имеем между силой тяжести и вертикальной составляющей сейсмического поля [3].

В силу малости изменения поправок за счет давления при проведении гравиметрических работ их можно не учитывать, за исключением случаев, когда поправки могут достигать 3—5 мкГал. Это случаи высокоточных работ в инженерной или подземной гравиразведке. А вот при проведении измерений в горной местности поправки на давление надо вводить.

Что же касается водности кучевых облаков, данный вопрос очень прост с физической точки зрения. После полного насыщения воздуха парами воды излишняя влага выделяется в виде жидкости, резко увеличивая плотность облаков, тем самым увеличивая влияние на датчики сейсмографов и гравиметров. Ранее уже отмечалось [4] влияние атмосферных фронтов на показания приборов. Но атмосферные фронты по длине своей неоднородны: в одних случаях накапливает дождь, а в других идет ливень с градом. Кроме того, меняется высота облачности, скорость перемещения фронта, пространственная форма объекта, в котором содержатся осадки, и т.д. [8, 9]. Ясно, что все это влияет на показания приборов, и дать оценку этому влиянию трудно. В какой-то мере о водности можно судить по выпавшему дождю, но это будет некорректно. Допустим, что выпал кратковременный дождь 50 мм. Это мощный ливень. Он может начаться резко при светлом небе, после окончания опять солнечная погода. В другом случае такой же дождь выпадет за сутки. Эффект от притяжения водной массы в том и другом случае один и тот же. А сколько воды осталось в обложном облаке? При обложном дожде влаги в тучах может оставаться достаточно много, и погода долго будет дождливой, оказывая влияние на показания приборов.

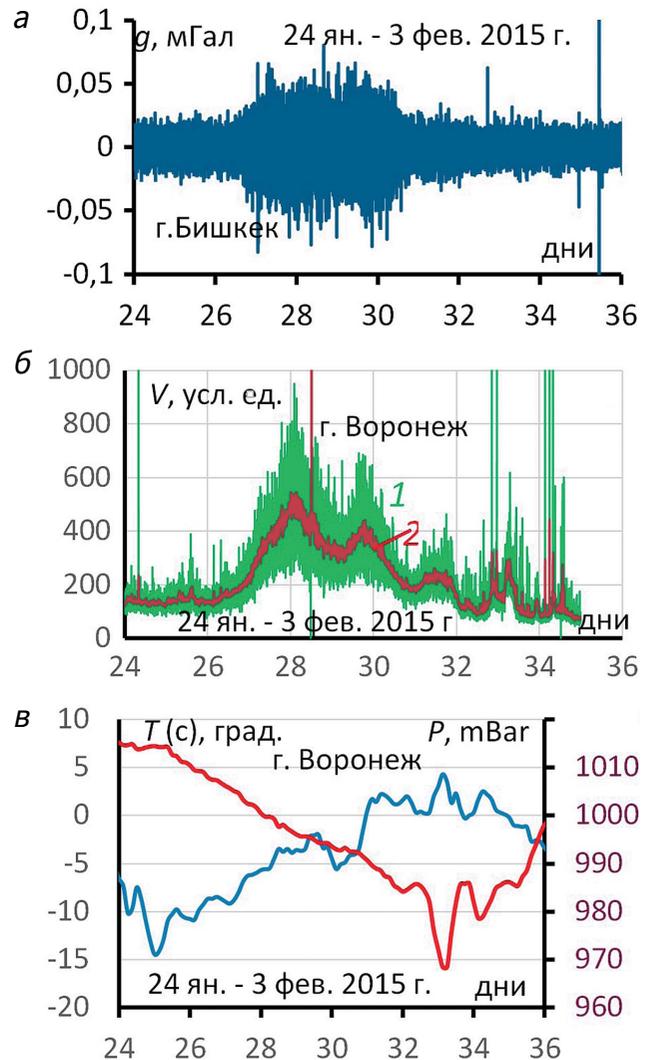
На рисунках 5 и 6 приведены примеры влияния дождливой погоды на показания сейсмометра. Выбраны самые дождливые отрезки времени. На рисунке 5 приведены сейсмические данные в Воронеже, которые отличаются резким изменением сейсмического поля. Особенно четко выделяется отрезок времени с 28 августа по 3 сентября, когда прошел атмосферный фронт. Посчитано среднее значение сейсмических колебаний (рис. 5б, кривая 2), которое соответствует прохождению фронта. Основная водная масса сосредоточена в голове фронта, затем она убывает и ее (массы) влияние медленно ослабевает. В данном случае (рис. 5б) влияние температуры незначительно. Среднесуточная температура в течение



**Рис. 6.** Сравнение остаточной неприливной вариации силы тяжести в Бишкеке с сейсмограммой и метеоданными в Воронеже: обозначения те же, что на рисунке 5

**Fig. 6.** Comparison of the residual non-tidal variation of gravity in Bishkek with the seismogram and meteorological data in Voronezh: the designations are the same as in Figure 5

двух недель практически не менялась, оставаясь почти постоянной во время прохождения фронта, а до и после прохождения фронта характеризовалась обычными дневными флуктуациями. Поведение давления (рис. 5в) соответствует динамике прохождения фронта [4]: минимум давления соответствует периоду дождя, затем давление по мере прохождения фронта возрастает. Кроме того, на рисунке 5а приведена локальная неприливая вариация, по морфологии которой можно

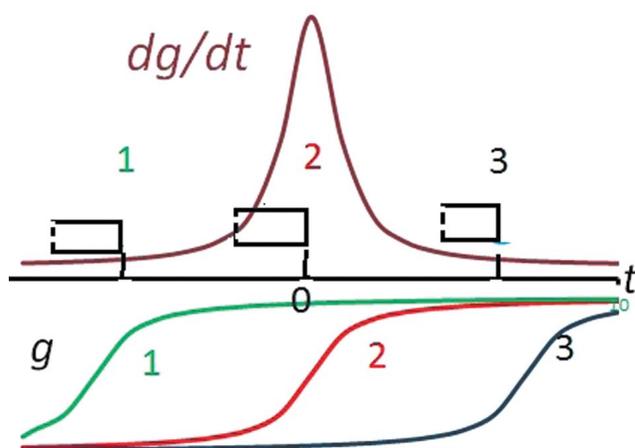


**Рис. 7.** Характер сейсмограммы при наличии пульсаций силы тяжести: а — график пульсации (остаточной неприливной вариации) силы тяжести; б — графики наблюдаемой вертикальной составляющей (кривая 1) и осредненной вертикальной составляющей сейсмического поля (кривая 2); в — графики изменения температуры и давления

**Fig. 7.** The nature of the seismogram in the presence of gravity pulsations: а — a graph of gravity pulsation (residual non-tidal variation); б — graphs of the observed vertical component (curve 1) and the averaged vertical component of the seismic field (curve 2); в — graphs of temperature and pressure changes

заключить, что пульсаций неприливых вариаций силы тяжести за весь рассматриваемый период не было.

Далее перейдем к рисунку 6. Две недели шли дожди с небольшими перерывами. Но колебания, в отличие от рассмотренного выше случая,



**Рис. 8.** Схема возможного влияния атмосферного фронта на сейсмограф  
**Fig. 8.** Diagram of the possible influence of the atmospheric front on the seismograph

имеют меньшую частоту. Амплитуда колебаний почти та же. Диапазон изменения давления и температуры невелик, и никаких закономерностей не отмечается. Пульсаций неприливных вариаций (рис. 6а), как и в предыдущем случае, нет. Это замечание неслучайное. Обратимся к рисунку 7, где приводятся сейсмические данные при наличии пульсаций. Такая картина наблюдается всегда при пульсациях. Ведь в принципе метеорные потоки, которые создают пульсации, являются аналогами «пыльных облаков». Но данный вопрос достаточно широк и будет рассмотрен отдельно.

Далее попытаемся дать трактовку осредненным значениям сейсмического поля (рис. 5б и 6б, кривые 2). На изменения сейсмического поля оказывает влияние сила тяжести. При обработке сейсмических наблюдений притяжение Луны и Солнца исключается программным

обеспечением сейсмографа, а влияние неприливных вариаций силы тяжести не учитывается. Разберем это на примере прохождения атмосферного фронта (рис. 8). Прохождение фронта в первом приближении можно представить в виде перемещения масс холодного (теплого) влажного воздуха, имеющих форму уступа. Допустим, сейсмограф находится в нулевой точке. Аномалии силы тяжести  $g$  в позициях 1, 2, 3 показаны в нижней части рисунка. Следовательно, при прохождении уступа через нулевую точку будет наибольшая амплитуда градиента  $dg/dt$ . А как известно [3], показания сейсмометра определяются производной силы тяжести по времени. На наш взгляд, влияние неприливных вариаций можно сопоставить со средним значением сейсмических наблюдений. Очевидно, среднее значение неприливной вариации можно учитывать так же, как лунно-солнечные вариации силы тяжести. В конце добавим, что форма плотностных атмосферных неоднородностей может иметь самые причудливые конфигурации.

#### Заключение

Таким образом, по результатам исследований можно уверенно сказать, что метеорологические процессы оказывают влияние на показания гравиметров и сейсмометров. Наибольшее влияние оказывают водность облаков и изменение температуры земной атмосферы. Но если говорить в целом, то лунно-солнечные вариации силы тяжести и происходящие процессы в атмосфере тесно связаны между собой. Атмосфера окружает Землю, поэтому влияние всех внешних и внутренних факторов находит отклик в атмосфере, тем самым определяя состояние как самой атмосферы, так и состояние геофизических полей внутри и вне ее.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Ю.В. Разделение неприливных вариаций силы тяжести на основе спектрального анализа и метода осреднения // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. 2016. Вып. 2. С. 100—106.
2. Антонов Ю.В., Сизаск И.А. Синхронные пульсации в неприливных вариациях гравитационного и сейсмического полей // Геология и разведка. Изв. вузов. 2015. № 5. С. 46—52.
3. Антонов Ю.В., Антонова И.Ю. Сравнение приливных вариаций силы тяжести и вертикальной составляющей сейсмографа // Геофизика. 2013. № 2. С. 27—31.
4. Антонов Ю.В. Влияние атмосферного фронта на показания гравиметров и сейсмометров // Геология и разведка. Изв. вузов. 2017. № 4. С. 66—71.
5. Антонов Ю.В. Зависимость неприливных вариаций силы тяжести от температурного режима пограничного слоя атмосферы // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. 2019. Вып. 4. С. 90—94.
6. Бычков С.Г., Долгаль А.С., Симанов А.А. Вычисление аномалий силы тяжести при высокоточных гравиметрических съемках. Пермь: УрО РАН, 2015. 142 с.
7. Дикий Л.А. Теория колебаний земной атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 195 с.
8. Калинин Н.А., Смирнова А.А. Методика расчета водности и водозаписа кучево-дождевой облачности // Вестник Удмуртского ун-та. Биология, науки о Земле. 2008. Вып. 1. С. 59—72.
9. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 2000. 780 с.

10. Официальный сайт IRIS Consortium [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://iris.edu/> (дата обращения: 10.01.2020).
11. Официальный сайт ООО «Расписание Погоды» [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://Rp5.ru/> (дата обращения: 10.01.2020).
12. Timmen L., Wenzel H.-G. Worldwide synthetic gravity tide parameters available on Internet // Bulletin d'information-Bureau gravimétrique international. 1994. V. 75. P. 32—40.

## REFERENCES

1. Antonov Yu.V. Separation of non-tidal gravity variations based on spectral analysis and averaging method // Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 2013. Vol. 2. P. 100—106 (In Russian).
2. Antonov Yu.V., Sizask I.A. Synchronous pulsations in non-tidal variations of gravitational and seismic fields // Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2015. No. 5. P. 46—52 (In Russian).
3. Antonov Yu.V., Antonova I.Yu. Comparison of tidal variations of gravity and vertical component of the seismograph // Geophysics. 2016. No. 2. P. 27—31 (In Russian).
4. Antonov Yu.V. The influence of atmospheric front on the readings of the gravimeters and seismometers // Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2017. No. 4. P. 66—71 (In Russian).
5. Antonov Yu.V. Dependence of non-tidal variations of gravity on the temperature regime of the boundary layer of the atmosphere // Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology 2019. No. 4. P. 90—94 (In Russian).
6. Bychkov S.G., Dolgal A.S., Simanov A.A. Calculation of gravity anomalies in high-precision gravimetric surveys. Perm: PFRC UB RAS, 2015. 142 p. (In Russian).
7. Dikiy L.A. Theory of oscillations of Earth's atmosphere. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1969. 195 p. (In Russian).
8. Kalinin N.A., Smirnova A.A. Method for calculating the water content and water storage of cumulonimbus clouds // Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences 2008. Vol. 1. P. 59—72 (In Russian).
9. Matveev L.T. Atmospheric physics. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 2000. 780 p. (In Russian).
10. Incorporated Research Institutions for Seismology Consortium, On-line Bulletin, 2020. Available from: <https://iris.edu/> (last accessed 10 January 2020).
11. Official website of LLC "Weather Schedule", On-line Bulletin, 2020. <https://Rp5.ru/> (last accessed 10 January 2020).
12. Timmen L., Wenzel H.-G. Worldwide synthetic gravity tide parameters available on Internet // Bulletin d'information-Bureau gravimétrique international. 1994. V. 75. P. 32—40.

## ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ю.В. Антонов — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

И.А. Пономаренко — обработка наблюдений, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Yury. V. Antonov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Ivan A. Ponomarenko — processing observations, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Антонов Юрий Васильевич\*** — доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный университет.

1, Университетская пл., г. Воронеж 394006, Россия  
e-mail: [yuriyantono@yandex.ru](mailto:yuriyantono@yandex.ru)  
SPIN-код: 4246-5256  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3323-9697>

**Пonomаренко Иван Александрович** — аспирант, Воронежский государственный университет.

1, Университетская пл., г. Воронеж 394006, Россия  
e-mail: [kochuma@yandex.ru](mailto:kochuma@yandex.ru)  
SPIN-код: 2690-0793  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2588-3917>

**Yury. V. Antonov\*** — Dr. of Sci. (Tech.), Prof., Voronezh State University

1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russia  
e-mail: [yuriyantono@yandex.ru](mailto:yuriyantono@yandex.ru)  
SPIN-code: 4246-5256  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3323-9697>

**Ivan A. Ponomarenko** — postgraduate researcher, Voronezh State University.

1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russia  
e-mail: [kochuma@yandex.ru](mailto:kochuma@yandex.ru)  
SPIN-code: 2690-0793  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2588-3917>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author