DOI:10.25698/UGV.2024.1.2.11 УДК 550.831

БАЗЫ ДАННЫХ МИНУТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ НЕПРЕРЫВНЫХ МОНИТОРИНГОВЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ОБСЕРВАТОРИИ «АРТИ» ЗА 2021 И 2022 ГОДЫ

Бебнев А.С. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Приводятся комментарии к базам данных минутных значений непрерывных мониторинговых гравиметрических наблюдений на обсерватории «Арти» за 2021 и 2022 гг.

Гравиметр, непрерывные мониторинговые наблюдения, базы данных

Введение

Непрерывные гравиметрические мониторинговые наблюдения на обсерватории «Арти» проводятся с 2014 года. За это время накоплен большой объем фактического материала, который хранится в базе данных обсерватории. Постепенно по мере обработки накопленные данные будут размещаться на сайте ИГФ УрО РАН для общего доступа.

Для мониторинговых гравиметрических наблюдений в обсерватории «Арти» используется относительный гравиметр gPhoneX фирмы Micro-g LaCoste (США). Гравиметр установлен на массивном бетонном постаменте в техническом здании обсерватории. Гравиметр gPhoneX обладает следующими характеристиками: разрешение 0,1 мкГал, точность 1 мкГал, собственный шум менее 0,45 мкГал/√Гц, предел измерений 7000 мГал. Помимо непосредственно гравитационного датчика в составе прибора имеются вспомогательные датчики, регистрирующие параметры внешней среды и микроклимата внутри прибора.

На обсерватории осуществляется первичная обработка данных, которая сводится к выделению и учету аппаратурных искажений, возникающих при регистрации. Данные искажения представляют собой аномалии в наблюденных данных, которые не связаны с изменениями гравитационного поля. Указанные искажения сигнала являются следствием реакции измерительной системы гравиметра на воздействие ряда явлений, сопутствующих регистрации. К таким явлениям относятся постоянное изменение свойств самого гравитационного датчика (старение чувствительной системы), а также всегда имеющие место изменения внешних окружающих условий наблюдения. Подобные искажения не учитываются теми поправками, которые рассчитываются приложением гравиметра при регистрации. Методика выделения и учета указанных аппаратурных искажений была разработана на обсерватории ранее (Бебнев, 2022).

В данной работе приводятся некоторые пояснения к базам данных гравиметрических мониторинговых наблюдений за 2021 и 2022 гг.

Базы данных размещены по ссылке *http://igfuroran.ru/struktura/observatoriya-arti/bazy-dannykh.*

Содержание баз данных

Базы данных представлены средними минутными значениями, которые рассчитаны по секундным данным. Каждая база данных содержит фактические данные - значения зарегистрированных параметров, а также необходимых параметров, рассчитанных приложением гравиметра в процессе регистрации. Кроме того, в базу данных включены поправки для учета аппаратурных искажений, возникающих при измерениях в результате воздействия ряда возмущающих факторов, а также величина гравиметрического шума. Эти параметры определяются нами при обработке. Для расчета указанных поправок применяется методика, описанная в (Бебнев, 2022).

Каждая база данных представляет собой матрицу, содержащую девятнадцать столбцов:
-столбцы (1)–(6) – соответственно, год, месяц, число, часы, минуты, секунды. Среднее минутное значение мы относим к середине соответствующей минуты;

-столбец (7) – величина **G** в мкГал - первичные показания гравитационного датчика («сырые данные», «raw data»);
-столбец (8) – величина **G-G*tide*** в мкГал - первичные показания гравитационного датчика с учетом поправки за лунно-солнечные приливы;
-столбец (9) – величина **G*tide*** в мкГал - поправка за лунно-солнечные приливы. Расчет поправки производится с использованием процедуры ETGTAB, которая «зашита» в приложении гравиметра;
-столбцы (10)–(11) – соответственно, показания продольного (TiltX) и поперечного (TiltY) уровней в угловых секундах;
-столбцы (12)–(13) – соответственно, окружающая (внешняя) и внутренняя (внутри «печи», где расположен гравитационный датчик) температура в градусах Цельсия;
-столбцы (14)–(15) – соответственно, атмосферное давление и давление внутри прибора в миллибарах;
-столбец (16) – величина ***SD*** в мкГал – среднеквадратическое отклонение показаний гравитационного датчика за одну минуту, выступает в качестве меры гравиметрического шума – колебаний грузика гравитационного датчика под воздействием вибраций основания различного происхождения;
-столбец (17) – величина ***G**ext* в мкГал – величина искажения показаний гравитационного датчика вследствие изменений внешних условий наблюдения;
-столбец (18) – величина ***G**drift* в мкГал – смещение нуль-пункта гравиметра;
-столбец (19) – величина $G_{corr}=G-G_{tide}-G_{ext}-G_{drift}$ в мкГал – исправленное значение с учетом приливных возмущений, а также с учетом аппаратурных искажений.

Как правило, для получения базы данных за целый год приходится объединять несколько отдельных временных рядов разной длительности. Каждый такой отдельный временной ряд покрывает период непрерывных измерений от запуска прибора до аварийной остановки.

Для расчета поправок для учета аппаратурных искажений ***G**ext* и ***G**drift* применяются векторы-столбцы ***K**ext* и ***K**drift*, элементами которых выступают соответствующие передаточные коэффициенты. В (Бебнев, 2022) было показано, что для расчета поправки ***G**ext* будет логичным применять средневзвешенные значения передаточных коэффициентов, полученных из первоначально определяемых для каждого отдельного временного ряда. Для данных за 2021 и 2022 гг. использовались следующие значения передаточных коэффициентов:

$$K_{ext} = \begin{bmatrix} -0.246\,мкГал\,/\,\text{arcsec} \\ +0.243мкГал\,/\,\text{arcsec} \\ +0.243мкГал\,/\,градС \\ -0.309\,мкГал\,/\,мбар \end{bmatrix}$$

Для поправки за смещение нуль-пункта ***G**drift* передаточные коэффициенты нужно рассчитывать отдельно для каждого временного ряда. Их значения приведены в табл.1.

На двух коротких интервалах в 2022 году (07.04.2022 – 14.04.2022 и 11.10.2022 – 17.10.2022) поправка за смещение нуль-пункта ***G**drift* определялась аппроксимацией линейным трендом.

Величина ***SD*** рассчитывалась по секундным данным как стандартное отклонение за одну минуту.

Таблица 1. Передаточные коэффициенты для учета смещения нуль-пункта гравиметра в 2021-2022 гг.

Интервал		23.09.2020-12.01.2021	12.01.2021-02.08.2021	04.08.2021-07.04.2022	14.04.2022-11.10.2022	17.10.2022-26.01.2023
***K**drift*	мкГал/градС	+3.598e-004	+9.065e-004	+6.741e-005	+5.918e-004	-1.779e-003
	мкГал/мбар	-1.936e-005	-5.230e-005	-1.537e-006	-3.331e-005	+1.110e-004

Некоторые результаты и замечания

Рис.1 иллюстрирует синхронность изменения показаний непосредственно гравитационного датчика и показаний дополнительных датчиков, регистрирующих внешние параметры (внешней температуры, цифрового инклинометра, атмосферного давления).

В данном случае на нижней панели рис.1 представлена та часть результирующего сигнала

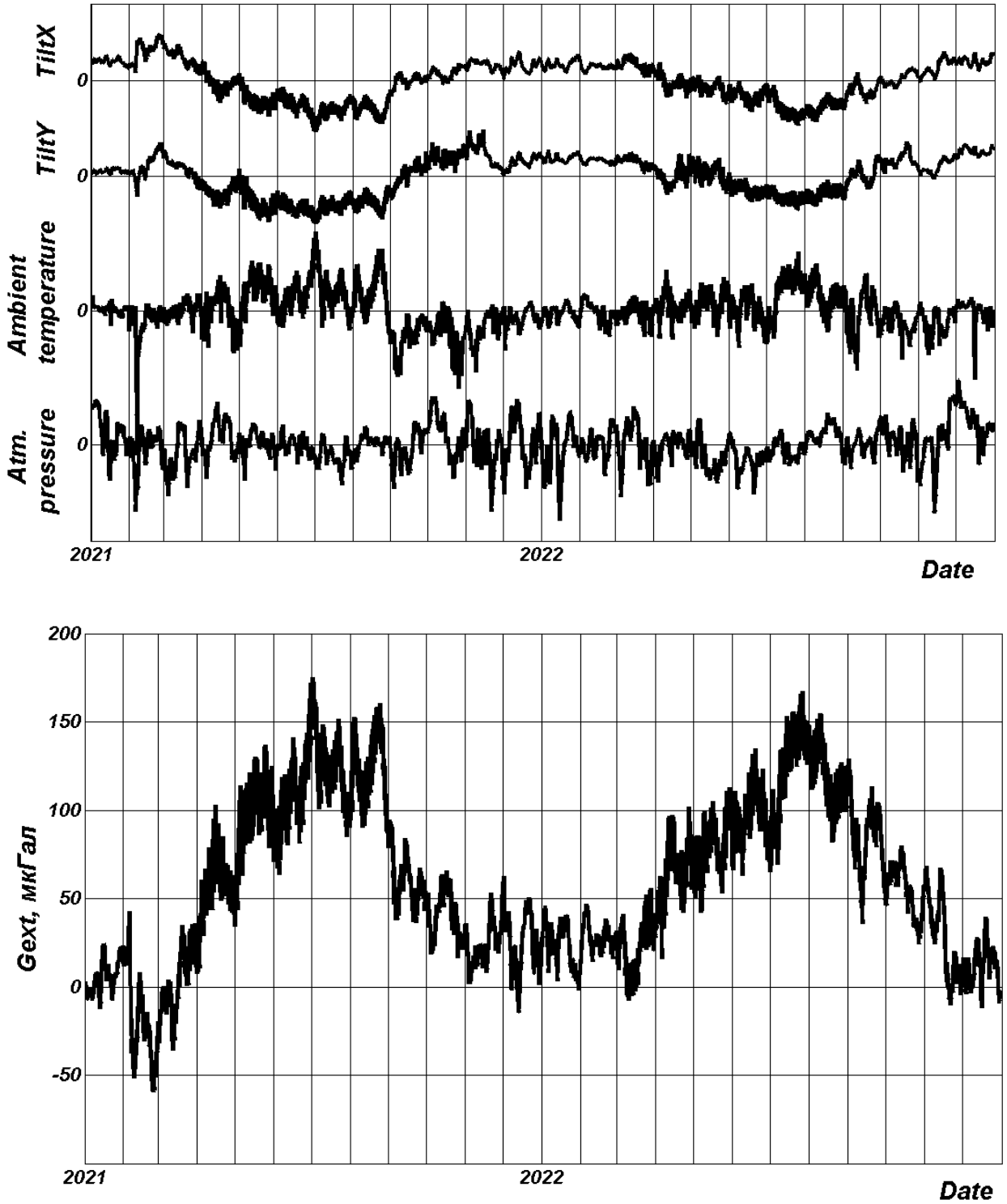


Рис.1. Изменение условий наблюдения (верхняя панель) и отклик измерительной системы на эти изменения (нижняя панель). Для наглядности значения параметров, характеризующих внешние условия наблюдения (окружающая температура, продольные и поперечные наклоны, атмосферное давление), центрированы и нормированы

Gext, которая возникла вследствие изменения окружающих условий наблюдения, о чем свидетельствует изменение параметров на верхней панели. Пока мы относим эту часть сигнала к аппаратурным искажениям (т.е. к появлению этой части сигнала привели не изменения гравитационного поля, это лишь реакция чувствительной системы на изменение внешних условий наблюдения), тем не менее эта часть сигнала может содержать в себе какой-то полезный сигнал, который будет отражать изменение притяжения. Во-первых, эта часть результирующего сигнала содержит изменение притяжения атмосферных масс. Этот гравитационный эффект известный, его можно оценить, умножив изменение атмосферного давления на четвертый передаточный коэффициент из ***Kext***. Во-вторых, в этих «искажениях» может быть скрыт еще один гравитационный эффект, но оценить его величину и выделить из этих «искажений» представляется очень сложной задачей. Изменение показаний цифрового наклономера (в особенности долговременные в течение года) свидетельствуют о движениях постамента, а сами движения постамента (его наклоны) так или иначе связаны с деформацией грунта в окрестностях места установки. И в этом случае ожидаемый гравитационный эффект может быть обусловлен как перемещением точки наблюдения относительно притягивающих масс (например, изменением расстояния до начала координат – центра Земли), так и появлением дополнительных масс (динамика подземных вод). Кроме того, даже при отсутствии дополнительных масс притяжение может измениться просто из-за изменения геометрической формы источника (деформация).

На рис.2 представлен дрейф гравиметра ***Gdrift*** (черная кривая). За 2021-2022 гг. смещение нуль-пункта составило около 2.5 мГал. Пользователям следует иметь в виду, что в этой характеристике тоже могут содержаться гравитационные эффекты, но выделить и извлечь их для нас не представляется возможным, поэтому пока мы относим это к искажениям инструментальной природы.

На рис.3 представлены остатки после удаления всех искажений (столбец 19 базы данных). В данном случае пользователи сталкиваются с еще одним негативным эффектом – резкое ступенчатое изменение уровня показаний гравитационного датчика. Первая такая ступень

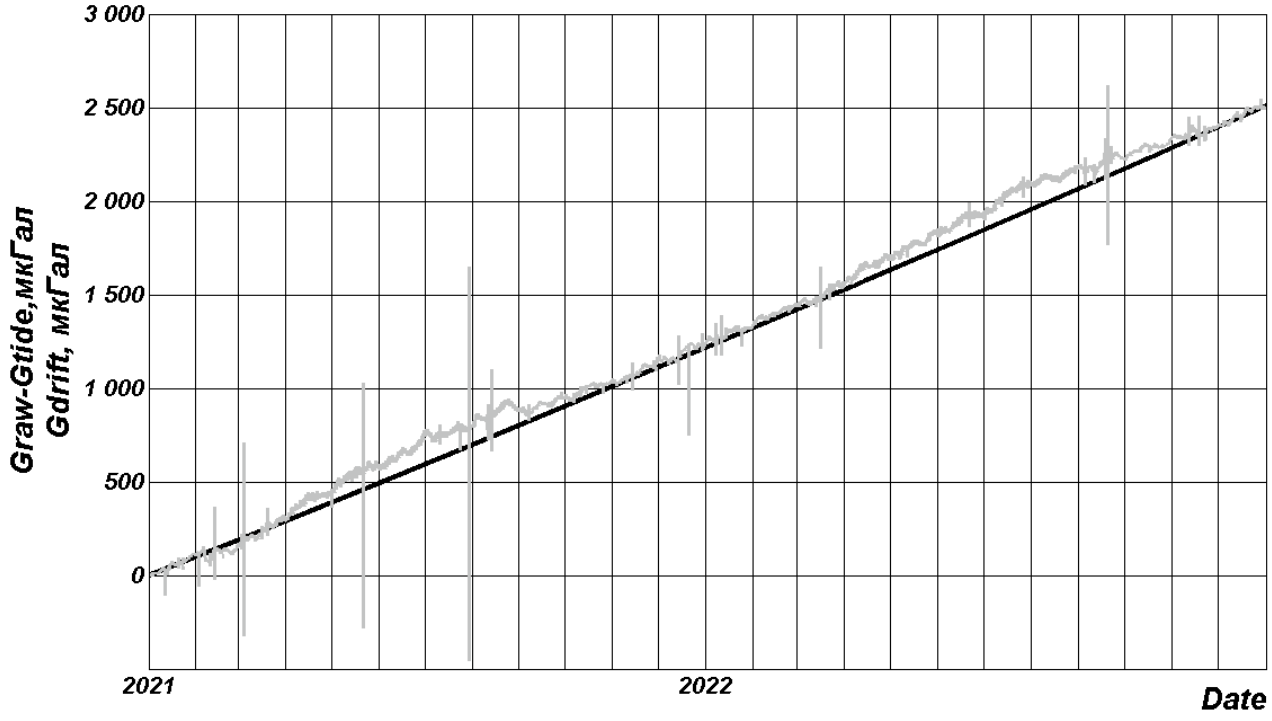


Рис.2. Показания гравитационного датчика за вычетом приливных возмущений **G-G*tide*** (серая кривая) и смещение нуль-пункта гравиметра ***Gdrift*** (черная кривая)

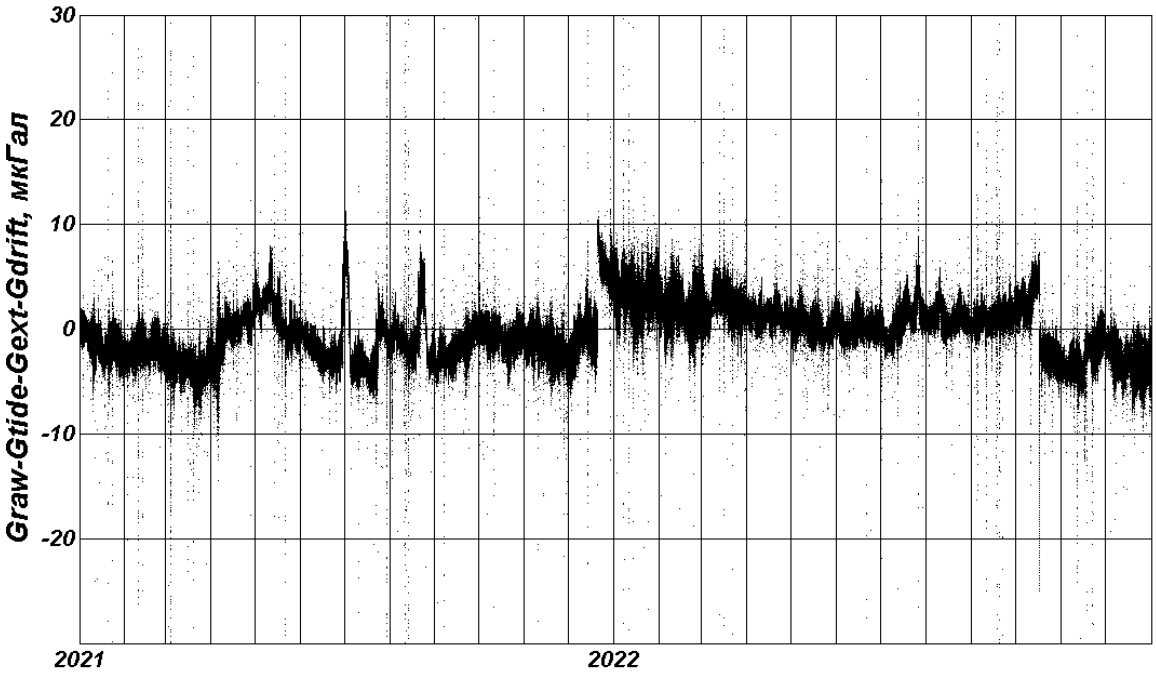


Рис.3. Остатки после удаления приливных возмущений и аппаратурных искажений $G_{corr}=G-G_{tide}-G_{ext}-G_{drift}$ (столбец 19)

величиной +4-5 мкГал отмечается в декабре 2021 года. Она появилась после техногенного воздействия – пролета вертолета санитарной авиации на низкой высоте над техническим зданием обсерватории. Вторая ступень величиной -5 мкГал отмечается в октябре 2022 года и вызвана остановкой и перезапуском регистрации.

В очередной раз отметим, что, к сожалению, иногда непрерывная регистрация данных прерывается. В подавляющем большинстве случаев это происходит по причине каких-либо технических сбоев. В этом случае гравиметр перезапускается, и с этого момента начинает формироваться новый временной ряд, который продолжается до следующей остановки прибора. Таким образом, чтобы получить базу данных за целый год, приходится объединять отдельные куски в единое целое.

При остановке и перезапуске прибора могут проявляться некоторые нежелательные явления. Во-первых, в начальный период может наблюдаться повышенный дрейф. Продолжительность периода повышенного дрейфа может быть от одного или нескольких часов до двух-трех дней. Во-вторых, на записях могут появиться подобные ступени. В обоих случаях причины не понятны, при этом «заморозке» прибор ни разу за время работы не подвергался («печь» никогда не отключалась, прерывался только процесс измерения), и не производились никакие перемещения. Данное обстоятельство нужно иметь в виду.

На рис.4 представлен график величины ***SD*** – минутное стандартное отклонение, которое характеризует гравиметрический шум. Эта, казалось бы, помеха сама по себе может быть предметом изучения и послужить источником новых знаний о внутренних процессах либо о процессах, протекающих как в атмосфере, так и в ближнем космосе (в радиационных поясах, на магнитопаузе). С некоторыми результатами исследований гравиметрического шума можно ознакомиться в работах (Абрамов и др., 2020, Антонов, 2017, Соболев, 2020, Овчаренко, 2019, Бебнев, 2019, Бебнев, 2020).

Заключение

Приведены комментарии к базам данных минутных значений непрерывных мониторинговых гравиметрических наблюдений на обсерватории «Арти» за 2021 и 2022 гг. Базы данных содержат измеренные значения собственно гравитационного датчика, а также вспомогательных датчиков, входящих в комплекс гравиметра. Помимо измеренных значений

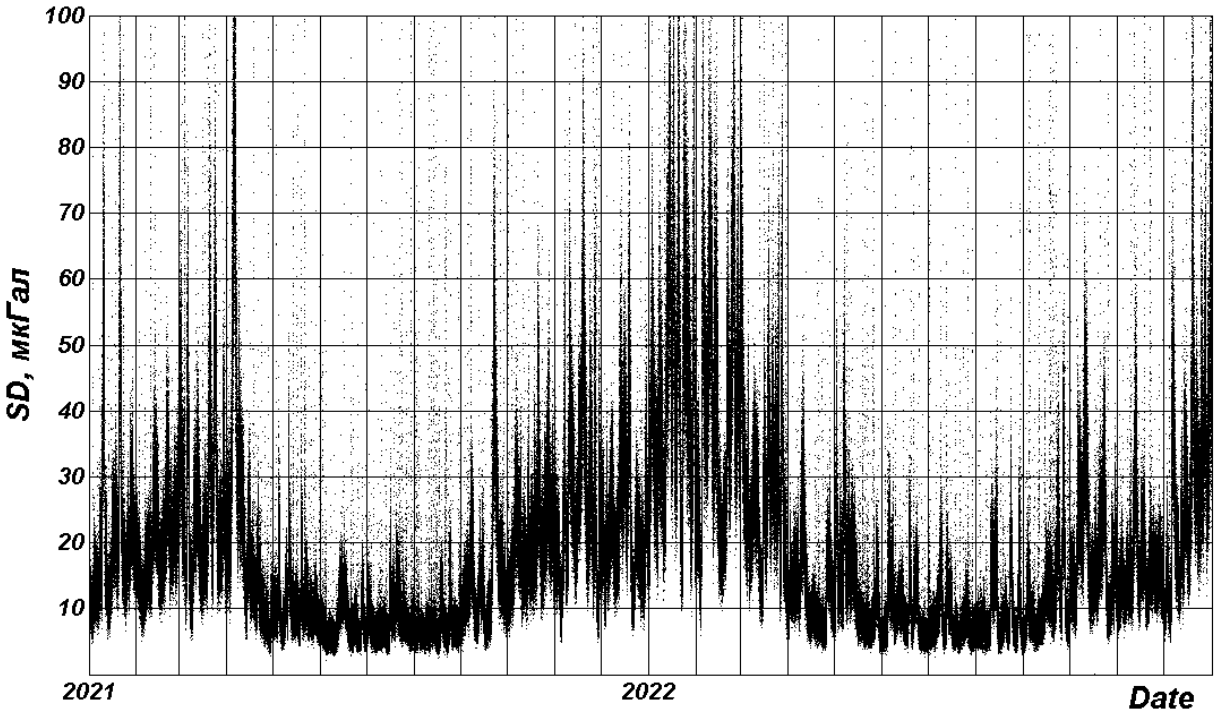


Рис.4. Гравиметрический шум на обсерватории «Арти» в 2021-2022 гг. (столбец 16)

в базы данных включены дополнительные параметры, полученные при обработке результатов измерений, которые способны значительно упростить задачу заинтересованному пользователю по поиску и идентификации возможных гравитационных эффектов. Базы данных размещены по ссылке *http://igfuroran.ru/struktura/observatoriya-arti/bazy-dannykh*

Литература

Абрамов Д.В., Бебнев А.С., Бычков С.Г., Горожанцев С.В., Герман В.И., Дробышев М.Н., Конешов В.Н., Красилов С.А., Овчаренко А.В., Юшкин В.Д. Одна из возможных причин синхронных континентальных микросейсм Северной Евразии // Физика Земли. 2020. №4. С.123–131.

Антонов Ю.В. Всплески неприливных вариаций силы тяжести // Геофизика, 2017, №1. С. 28–34.

Бебнев А.С. О связи гравиметрического шума с возмущениями геомагнитного поля // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей : Материалы всероссийской конференции с международным участием, Екатеринбург, 23–27 сентября 2019 года. – Екатеринбург: Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, 2019. – С. 33–37. – EDN CUCSKK.

Бебнев А.С. О возможной причине сезонного повышения гравиметрического шума по результатам наблюдений на обсерватории «Арти» // Уральский геофизический вестник. – 2020. – № 3(41). – С. 44–49. – DOI 10.25698/UGV.2020.3.6.44. – EDN NYFXMT.

Бебнев А.С. Методика учета аппаратурных искажений при проведении непрерывных мониторинговых гравиметрических наблюдений на обсерватории «Арти» // Уральский геофизический вестник. – 2022. – № 4(50). – С. 9–19. – DOI 10.25698/UGV.2022.4.2.09. – EDN TLIHIA.

Овчаренко А.В. Результаты мониторинга гравитационного поля в Екатеринбурге и обсерватории «Арти» в 2014-2019 гг // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей : Материалы всероссийской конференции с международным участием, Екатеринбург, 23–27 сентября 2019 года. – Екатеринбург: Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, 2019. – С. 194–199. – EDN DPVJXQ.

Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Мигунов И.Н., Соболев Д.Г., Бойко А.Н. Влияние магнитных бурь на низкочастотный сейсмический шум // Физика Земли. 2020. №3. С.3–28.

1-MINUTE DATABASES OF THE GRAVITY MEASUREMENTS AT THE OBSERVATORY "ARTI" FOR 2021 AND 2022

Bebnev A.S. **–** Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg.

Abstract. Some comments and results on 1-minute databases of the gravity measurements at the observatory "Arti" for 2021 and 2022 are provided in this paper.

Gravimeter, gravity measurements, databases

References

Abramov D.V., Drobyshev M.N., Koneshov V.N., Bebnev A.S., Bychkov S.G., Gorozhantsev S.V., Krasilov S.A., German V.I., Ovcharenko A.V., Yushkin V.D. One Probable Cause of Synchronous Continental Microseisms in Northern Eurasia // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. – 2020. – Vol. 56, No. 4. – P. 550–557. – DOI 10.1134/S1069351320040023. – EDN VPSZWO.

Antonov Ju.V. Vspleski neprilivnyh variacij sily tjazhesti // Geofizika, 2017, №1. S. 28–34.

Bebnev A.S. O svjazi gravimetricheskogo shuma s vozmushhenijami geomagnitnogo polja // Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretacija geofizicheskih polej : Materialy vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Ekaterinburg, 23–27 sentjabrja 2019 goda. – Ekaterinburg: Institut geofiziki im. Ju.P. Bulashevicha UrO RAN, 2019. – S. 33–37. – EDN CUCSKK.

Bebnev A.S. O vozmozhnoj prichine sezonnogo povyshenija gravimetricheskogo shuma po rezul'tatam nabljudenij na observatorii "Arti" // Ural'skij geofizicheskij vestnik. – 2020. – № 3(41). – S. 44–49. – DOI 10.25698/UGV.2020.3.6.44. – EDN NYFXMT.

Bebnev A.S. Metodika ucheta apparaturnyh iskazhenij pri provedenii nepreryvnyh monitoringovyh gravimetricheskih nabljudenij na observatorii «Arti» // Ural'skij geofizicheskij vestnik. – 2022. – № 4(50). – S. 9–19. – DOI 10.25698/UGV.2022.4.2.09. – EDN TLIHIA.

Ovcharenko A.V. Rezul'taty monitoringa gravitacionnogo polja v Ekaterinburge i observatorii "Arti" v 2014-2019 gg // Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretacija geofizicheskih polej : Materialy vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Ekaterinburg, 23–27 sentjabrja 2019 goda. – Ekaterinburg: Institut geofiziki im. Ju.P. Bulashevicha UrO RAN, 2019. – S. 194–199. – EDN DPVJXQ.

Sobolev G.A., Zakrzhevskaya N.A., Migunov I.N., Sobolev D.G., Boiko A.N. Effect of Magnetic Storms on Low-Frequency Seismic Noise // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. – 2020. – Vol. 56, No. 3. – P. 291–315. – DOI 10.1134/S106935132003009X. – EDN UCLCHV.