

## РЕАКЦИЯ ВОДЫ НА ГРАВИТАЦИЮ В ГЛУБОКИХ СКВАЖИНАХ ГРУЗИИ. МЕТОДЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Г. Кобзев, З. Кереселидзе, Г. Меликадзе, Т. Джимшеладзе

Институт геофизики им. Михаила Нодиа, ТГУ

[kobzev47@gmail.com](mailto:kobzev47@gmail.com), [zurab.kereselidze@tsu.ge](mailto:zurab.kereselidze@tsu.ge), [melikadze@gmail.com](mailto:melikadze@gmail.com), [jimsheladzetamuna@gmail.com](mailto:jimsheladzetamuna@gmail.com)

### 1. Введение

Гравитационное воздействие осуществляется на любую точку Земли. Наиболее сильное воздействие на колебание воды (*water*) в глубоких скважинах Грузии оказывает вертикальная *Z*-компонента гравитации, *tidalZ*. Применяв разные способы, мы будем численно определять величину воздействия *tidalZ* на изменение уровня подземных вод для глубоких скважин, которые расположены в Марнели (41.436°N, 44.755°E), Кобулету (41.802°N, 41.772°E, берег Черного моря), Лагодехи (41.839°N, 46.282°E, Кавказские горы) [1].

### Таблица 1. Характеристики скважин

Скважина	Глубина, м	Фильтр, м	Литология
Марнеули	3505	1235-1600	Трещиноватые мергели
Кобулету	2000	187-640	Трещиноватые андезиты-базальты
Лагодехи	800	255-367	Трещиноватые сланцы

Величину гравитации *tidalZ* можно заранее прогнозировать (вычислить), используя для этого, например, программу *solid* (автор Dennis Milbert <https://geodesyworld.github.io/SOFTS/solid.htm>). Потребуется также *tidalY* – это East (восток)-компонента гравитации [2,3].

Значения уровня воды *water* и *tidalZ* будут указаны в кПа. Влияние атмосферы на уровень воды предварительно удалено.

Поскольку *tidalZ* и *water* изменяются в противофазе, то для упрощения расчетов введем понятие *tidal*.

### 1. Постановка задачи

Наша цель: на примере разных скважин вычислить уравнение связи между *water* и *tidalZ*, применяя разные способы вычислений. Мы покажем, что разные методы позволяют на порядок сократить время для нужных замеров, пригодных для расчетов, и получить при этом сопоставимые результаты.

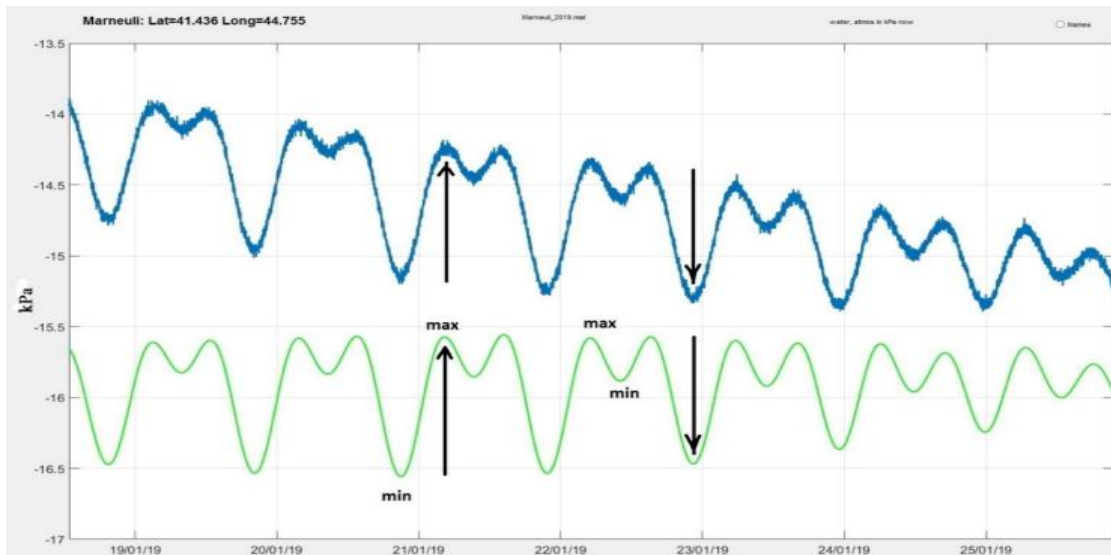


Рис. 1. Марнеули, 2019. *Water* (blue, верхняя линия) и *tidal* (green, нижняя линия).  
Здесь  $tidal = (-0.21) * tidalZ$

## 2. Определение.

“*tidal*”= “ - *tidalZ*”.

После замены *tidalZ* на *tidal* значения величин *tidal* и *water* теперь синхронно увеличиваются или уменьшаются. На рис.1 видно, как *tidal* увеличивает свои значения (min -> max), а потом уменьшается (max-> min), вызывая в *water* соответствующие изменения.

### Понятие *Jump*

**Определение.** Для переменной *X* число  $Jump = abs(max - min)$  - это величина перехода от одного экстремума к другому экстремуму, находящемуся правее на оси времени: (min -> max) или (max -> min).

Если *X* есть *tidal* или *water*, то, используя понятие *Jump*, получим *tidalJump* и *waterJump* в каждой точке экстремума,  $i=1,2,3...$ Количество точек *tidalJump* и *waterJump* одинаковое. Заметим также, что в течение 1 суток может быть получено до 4 точек *tidalJump* и *waterJump*, которые могут быть использованы для определения влияния *tidal* на *water*.

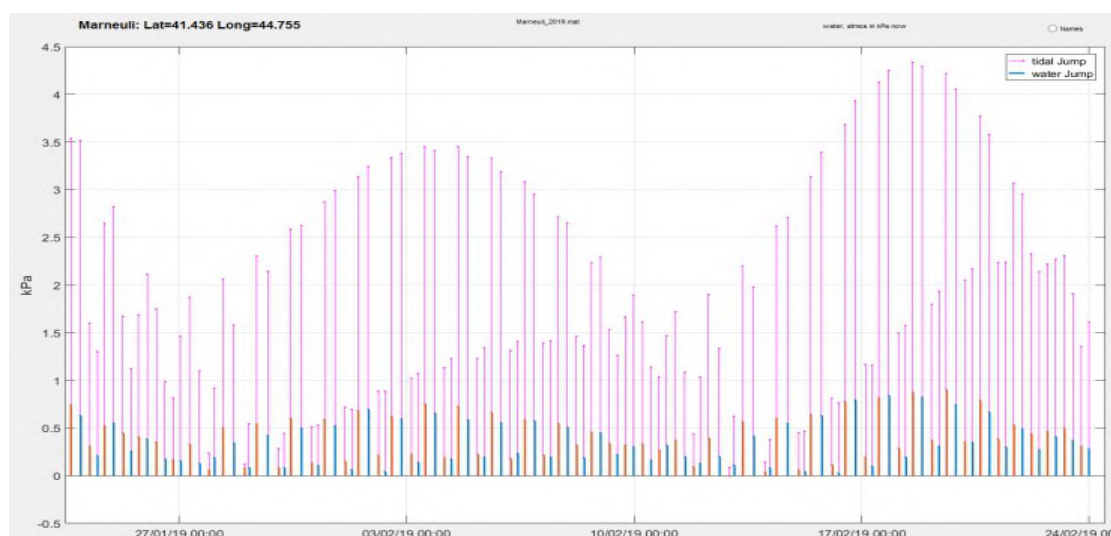


Рис. 2. Розовые линии (magenta) – это величина  $tidalJump = abs(max - min)$  для гравитации *tidalZ*. Для воды *waterJump*: а) тип (min->max) изображен синим отрезком; б) тип (max->min) изображен коричневым отрезком. Марнеули, январь-февраль 2019.

Применим следующие способы вычисления величины воздействия *tidal* на *water*:

- 1) Метод **Jump**, когда сравниваются *tidalJump* и *waterJump*.
- 2) Метод **Speed**, когда сравниваются “скорость” (определение см. ниже) гравитации *tidalSpeed* и “скорость” воды *waterSpeed* непосредственно.
- 3) Комбинация методов *Jump* и *Speed*, когда
  - а) вычисляются *tidalSpeed* и *waterSpeed*;
  - б) применяется технология *Jump* к  $X = tidalSpeed$  и *waterSpeed*.

### 3. Оценка воздействия *tidal* на *water*.

#### Способ 1.

##### Метод *Jump*

Имеем *tidalJump*(*i*) и *waterJump*(*i*), *i*=1,2,3,... На оси X указываются значения *tidalJump*(*i*), а на оси Y - соответствующие значения *waterJump*(*i*). Далее определяется тренд - аппроксимирующая прямая линия, ее наклон *slope* *A* и offset *B*.

На примере Марнеули для периода январь-февраль 2019 года получена совокупность точек (рис.3), расположенных вдоль тренд-линии (прямой линии)  $waterJump = A * tidalJump + B$ , где *slope* *A* = 0.20963, offset *B* = -0.0404. Следовательно, при таком способе подсчета величина воздействия *tidal* на *water* для Марнеули составляет 20.9% .

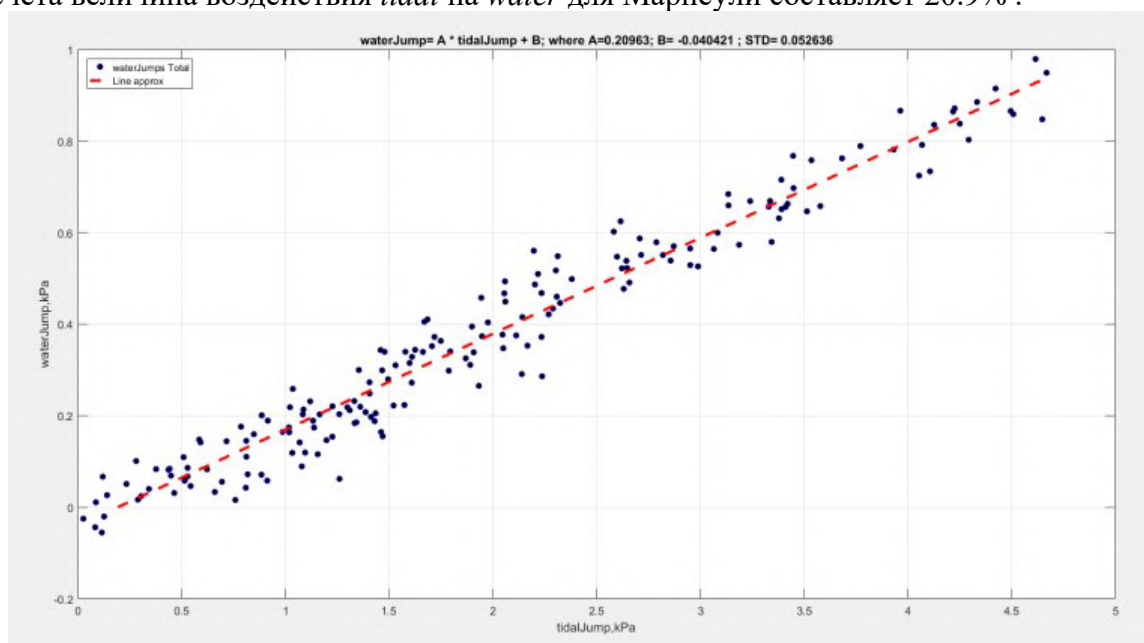


Рис. 3. Марнеули, *Jump*, *A*=0.20963, *B*=-0.040421, стандартное отклонение *STD*=0.052636

#### Понятие *Speed*

##### Определение 1.

Если  $X(t)$  – функция, зависящая от времени  $t$ , то **скорость**  $V(t) = \frac{dX}{dt}$ .

Для дискретной функции *X* понятие *скорость* можно заменить на определение #2.

Пусть для параметра *X* замеры  $x_i$  проводятся в моменты времени  $t_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$

**Определение 2.** Если параметр *X* измеряется 1 раз в 1 минуту, *k*- натуральное число и приращение времени  $n = 2k$ , то **скорость**  $v_i = (x_{i+k} - x_{i-k})/n$ , где  $i > k$ . Время  $time(v_i)$  для  $v_i$  укажем, взяв время точки  $x_i$ , т.е.  $t_i$ .

Очевидно, что при таком определении скорости вычислить  $v_i$  возможно для  $i > k$ . Отметим также, что выбирая разные *n*, мы получаем сравнительно разные значения скорости.

Если параметр  $X$  при определении  $speed$  использует  $tidal$  или  $water$ , то мы получаем  $tidalSpeed$  и  $waterSpeed$  соответственно.

### Свойства $speed V$ :

- Если  $X$  измерена в кПа, то  $speed V$  измерена в кПа/minute.
- В течение 1 дня может быть получено (“накоплено”) 1440 точек скорости  $v_i$  (напомним, 1 день=1440 минут).
- Если в переменной  $X$  присутствует медленно изменяющийся тренд (сезонная составляющая), то в порожденной переменной  $speed V$  тренд отсутствует, равен 0.

Примечание. Удаление тренда дает дополнительные возможности при сравнении поведения скважин: вместо сравнения значений  $water$  разных скважин, имеющих разнонаправленные сезонные тренды, можно сравнивать значения их  $waterSpeed$ , тренды которых равны 0.

### Скорость $speed$ и линейные коэффициенты

Предположим, что мы интересуемся коэффициентами линейного уравнения

$$water = a_1 * tidal + a_2 * atmos + \dots$$

Если дифференцировать это уравнение по времени  $t$ , то получим уравнение

$$waterSpeed = a_1 * tidalSpeed + a_2 * atmosSpeed + \dots$$

Таким образом, одни и те же коэффициенты  $a_1, a_2, \dots$  используются как в первом, так и во втором типе уравнений. Это замечание будет проверяться ниже.

### Оценка воздействия $tidal$ на $water$ .

#### Способ 2.

#### Метод $Speed$

При фиксированном  $n$  на оси  $X$  нанесем  $tidalSpeed(i)$ , а на оси  $Y$  – соответствующее значение  $waterSpeed(i)$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, N - n$  (рис. 4, для  $n = 300$ ). Через накопленные точки проводим прямую тренд-линию.

Как пример (рис. 4), для Марнеули используем данные воды,  $water$ , за 70 дней одновременно, получив  $70 * 1440$  точек для  $waterSpeed$  и  $tidalSpeed$ . Полученные точки оказываются вблизи тренд-линии  $waterSpeed = A * tidalSpeed + B$  где  $A = 0.196$  и  $B = -8 * 10^{-5}$ . Таким образом, для Марнеули влияние  $tidalSpeed$  на  $waterSpeed$  составляет 19.6%.

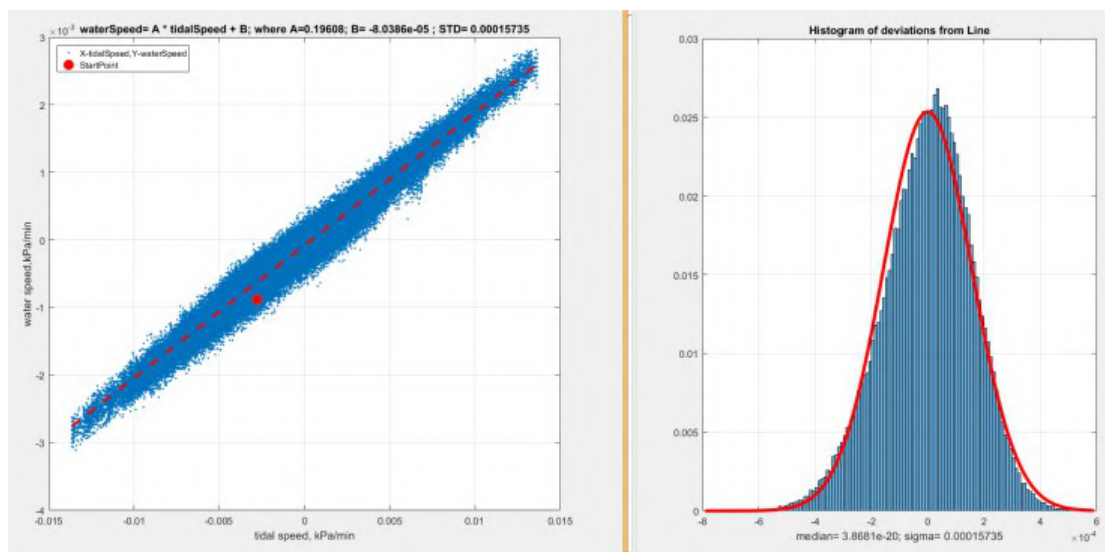


Рис. 4. Воздействие  $tidalSpeed$  на  $waterSpeed$  в Марнеули, 2019,  $n = 300$

Для Марнеули, Кобулети и Лагодехи составлена таблица 2, в которой указаны коэффициенты уравнения вида  $Y=A*X+B$ , где  $Y$  – *water*,  $X$  – *tidal* (или *waterSpeed* и *tidalSpeed*),  $STD$  – стандартное отклонение. При подсчете использовались данные замеров воды за 70 дней, начиная с января 2019.

**Таблица 2.**  $Y=A*X+B$ ,  $Y=water$  (или *waterSpeed*);  $X=tidal$  (или *tidalSpeed*), янв-фев 2019

Stations Name, method	A	B	STD
Марнеули, 2019, jump	0.20963	-4.0421e-2	5.2636e-2
speed, n=300	0.19608	-8.0386e-5	1.5735e-4
speed, n=60	0.19272	-8.7684e-5	5.6831e-4
speed, n=30	0.19309	-8.2836e-5	1.0921e-3
Кобулети, 2019, jump	0.11532	1.3129e-2	8.4384e-2
speed, n=300	0.12191	1.8617e-6	3.4514e-3
speed, n=60	0.12276	2.2117e-6	5.0723e-4
Лагодехи, 2019, jump	0.11374	-2.8775e-2	5.2042e-2
speed, n=300	0.10231	-6.4253e-5	1.9569e-4
speed, n=60	0.10141	-6.4379e-5	3.0175e-4

Из таблицы 2 видно, что:

- а) значения коэффициента  $A$  изменяются незначительно, если выбирать разные  $n$ ;
  - б) коэффициенты  $A$ , подсчитанные методом *jump* и *speed* отличаются на  $< 10\%$ .
- Следовательно, коэффициенты  $A$ , вычисленные разными способами, примерно равны и взаимозаменяемы.

#### 4. Оценка взаимодействия *tidalY* и *tidalSpeedZ*

Временно забудем о скорости воды и изучим соотношение между вертикальной составляющей гравитации, точнее ее скорости *tidalSpeedZ* и горизонтальной, East, компонентой *tidalY*.

**Таблица 3.** Взаимодействие  $tidalSpeedZ = A * tidalY + B$ , Marneuli, 2019

<i>tidalSpeedZ</i> , n	A	B	STD
n=10 минут	0.022088	6.3158e-8	3.0149e-5
n=30	0.022044	5.8778e-9	2.9708e-8
n=60	0.021896	5.3759e-9	2.82e-5
n=120	0.02131	5.3969e-9	2.28e-5
n=180	0.020357	7.66e-9	1.682e-5
n=240	0.019071	1.31e-8	1.8723e-5
n=300	0.0175	2.2476e-8	3.192e-5
n=360	0.015699	3.578e-8	5.02e-5
n=420	0.013731	5.2482e-8	7.07e-5

Из таблицы 3 видно, что коэффициент  $B \approx 0$  и, следовательно, верна более простая формула  $tidalSpeedZ = A * tidalY$ .

Укажем, что в таблицах 3 и 4 при подсчете скорости время измерялось в минутах, а значения *tidalY* и *tidalZ* взяты оригинальные, не измененные, из программы Dennis Milbert.

Зададимся вопросом: как будет изменяться коэффициент  $A$  взаимодействия *tidalSpeedZ* и *tidalY*, если бы изменилось географическое положение станции.

Оказалось, что:

- а) при перемещении от экватора к полюсу коэффициент  $A$  уменьшается (рис. 5);
- б) при перемещении с востока на запад коэффициент  $A$  остается постоянным.

В таблице 4 указаны изменения коэффициента А для станций, расположенных на расстоянии в 400 км от West (Kobuleti) до East (Lagodexi), Грузия, Кавказ.

**Таблица 4. Изменение коэффициента А, где  $tidalSpeedZ = A * tidalY + B$  в зависимости от координаты станции**

Stations, tidal 2019	n=30 minutes	n=60 minutes	n=300 minutes
Кобулети, 41.802N,41.772E	0.021906	0.021760	0.017409
Они, 42.573N,43.437E	0.021613	0.021470	0.017213
Аджамети, 42.187N,42.791E	0.021760	0.021615	0.017311
Гори, 41.862N,43.953E	0.021884	0.021737	0.017393
Ахалкалаки, 41.403N,43.500E	0.022057	0.021908	0.017508
Накалакеви, 41.424N,43.317E	0.022049	0.021900	0.017503
Марнеули, 41.436N,44.755E	0.022044	0.021896	0.017500
Лагодехи, 41.839N,46.282E	0.021892	0.021746	0.017399
Экватор, lat=0.00N, long=44.755E	0.030394	0.030149	0.022894
Гринвич, lat=41.436N, long=0.00E	0.022044	0.021896	0.017500
ПолусN, lat=89.9N, long=44.755E	4.699e-5	4.69e-5	4.39e-5

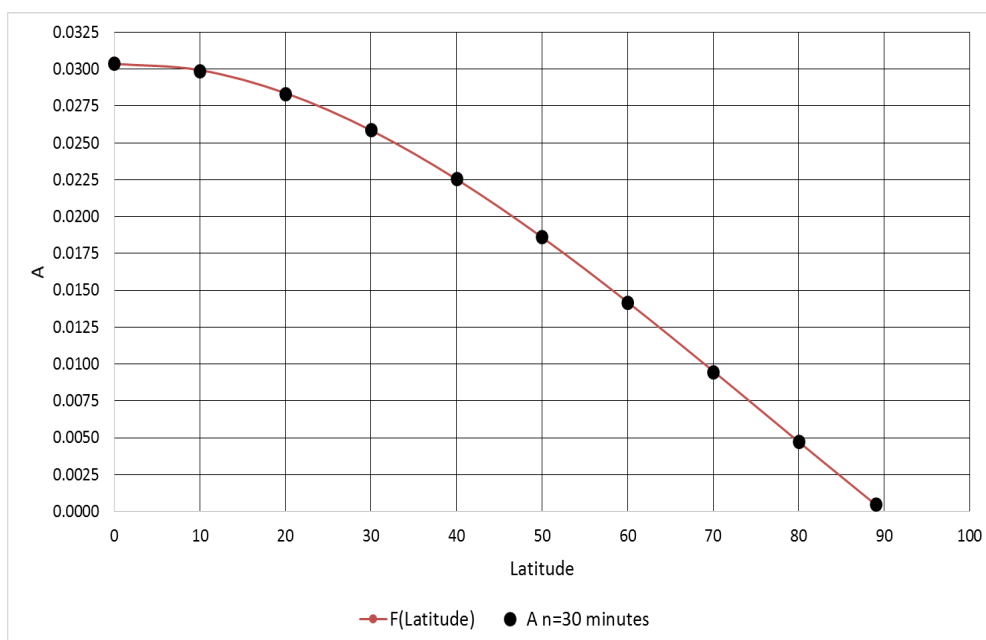


Рис. 5. Изменения коэффициента А в зависимости от Latitude (градусы)

**Формула связи.** Если мы хотим для точки Земли с координатами P=(Lat, Long) найти коэффициент А уравнения

$$tidalSpeedZ = A * tidalY,$$

то надо подставить Lat вместо X в уравнение:

$$A = F(X) = a * X^3 + b * X^2 + c * X + d,$$

где  $a = 2.837e-8$ ;  $b = -6.525e-6$ ;  $c = 2.001e-5$ ;  $d = 0.03036$ . Для построения графика (рис. 5) были вычислены значения А для Lat=0,10,20,30,...,70,80,89° при Long=0°. Далее определялась аппроксимирующая функция F(X). Величина Long в формуле не нужна.

Вернемся к изучению скорости воды и их коэффициентам.

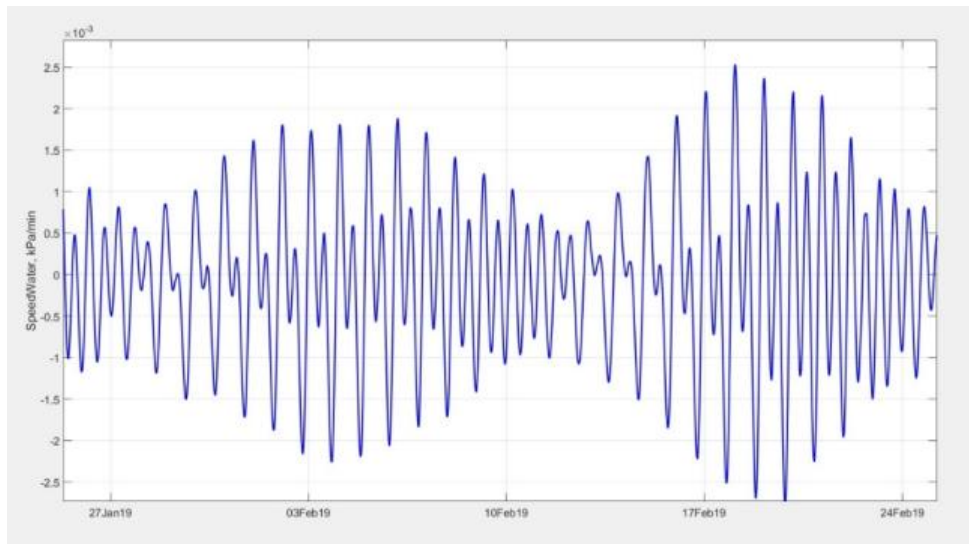


Рис. 6. *WaterSpeed* в Марнеули 2019, сглажено. Вычисления используют  $n=300$  минут. *WaterSpeed* коррелирует с *tidalSpeedZ*, но  $tidalSpeedZ=0.0175*tidalY$  (см табл.3), поэтому *waterSpeed* коррелирует с *tidalY*, т.е. *East*-компонентой гравитации.

Отметим, что если для Марнеули *water* имеет сезонную составляющую, медленно изменяющуюся со временем, то на графике *waterSpeed* сезонная составляющая отсутствует и значения совершают колебательные движения около 0. (рис. 6) .

### Оценка воздействия *tidal* на *water*.

#### Способ 3. Комбинация методов *Jump* и *Speed*

Это сочетание способа #1 и способа #2:

- а) Определяются *tidalSpeed* и *waterSpeed* (способ #2).
- б) Далее применяется технология *Jump* (способ #1) к полученным *tidalSpeed* и *waterSpeed*, учитывая, что они имеют ярко выраженную периодичность (рис. 6).

Можно показать, что влияния *tidalSpeed* on *waterSpeed* методом *Jump* для Марнеули опять составляет примерно 20%.

### 5. Накопление данных. Примеры.

#### Изменения коэффициента *A* скоростей в течение 70 дней.

Ранее было указано, что можно рассмотреть измеренные значения за 70 дней как единое множество: использовать все  $70*1440$  точек для *waterSpeed*, потом для них найти тренд-линию. При этом коэффициент наклона *A* (slope) линии составил 19.6%.

Покажем на примере, что величина *A* изменяется со временем, но при этом остается в определенных границах.

Выполним следующие процедуры.

- 1) Зафиксируем число  $n$ .
- 2) Имеем данные *water*, как пример, за 70 дней, измеренные 1 раз в минуту.
- 3) Для числа  $n$  вычислим *waterSpeed* и *tidalSpeed*.
- 4) Для каждого из 70 дней: выберем все значения *waterSpeed* и *tidalSpeed*, время которых попадает в этот день (“накапливаем” данные за 1 день, но, как вариант, и дольше, если считать от первой минуты рассматриваемого дня). Получим некоторое множество точек *tidalSpeed* и *tidalSpeed*, так называемые “накопленные” значения.
- 5) “Накопленные” значения *tidalSpeed* и *tidalSpeed*, приписанные к 1 дню, наносим на оси *X* и *Y*. Далее проводим тренд-линию и находим *A*-slope для выбранного дня.

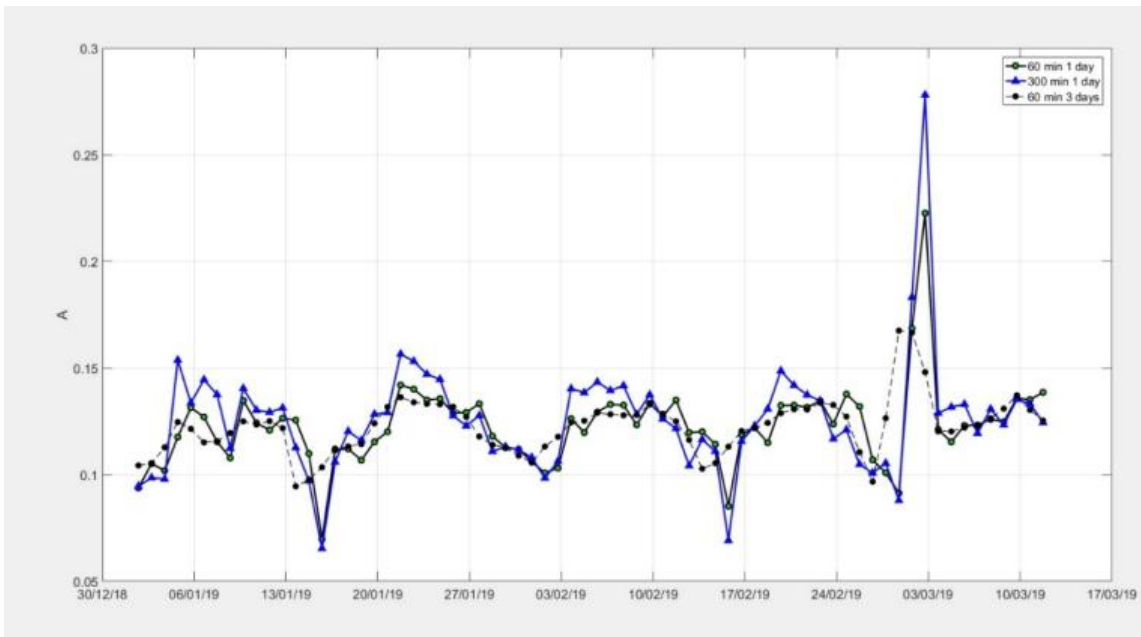


Рис. 7. Изменение коэффициента  $A$ . Накопление осуществляется в течение 1 или 3 дня, подсчет скорости при  $n=60$  мин или  $n=300$  мин. Кобулети, январь-март 2019

- На рис. 7 показаны изменения значения коэффициента  $A$  в течение 70 дней, если:
- 1) Фиксируется количество дней накопления (1 день), но изменяется число  $n$  ( $n=60$  мин,  $n=300$  мин).
  - 2) Фиксируется  $n=60$  мин, но изменяется количество дней накопления (1 день, 3 дня)

**Как изменяется коэффициент  $A$ , если, применив *накопления*, его вычислять ежедневно.**  
 Пример: Марнеули, Кобулети, Лагодехи.

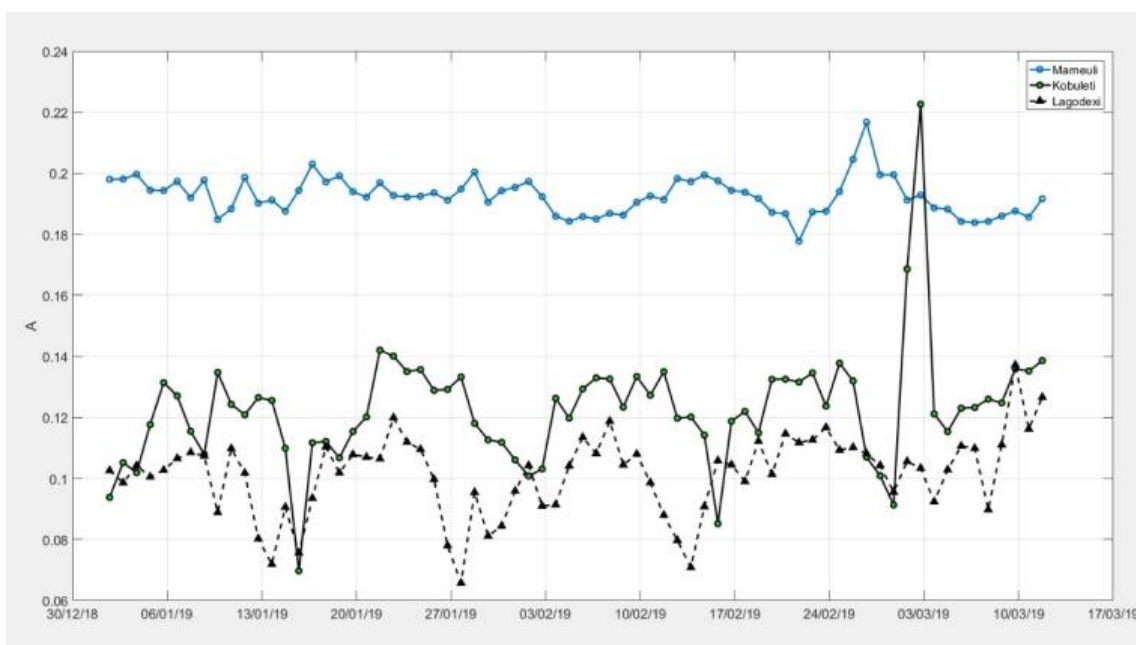


Рис. 8. Изменение коэффициента  $A$  между *tidalSpeed* и *waterSpeed*, январь-март 2019. Марнеули (верх), Кобулети (середина), Лагодехи (низ). *Speed*,  $n=60$  мин, накопление 1 день

**Запаздывание реакции воды на *tidal***



Изменяясь, уровень воды *water* повторяет колебания *tidal* с определенным запаздыванием. Для Кобулети это запаздывание может составлять до 65 минут. Попробуем искусственно уменьшить время запаздывания воды по отношению к *tidal* и посмотрим, как при этом будет изменяться коэффициент *A* между *tidalSpeed* и *waterSpeed*.

Ниже коэффициенты *A* рассчитывались для уровня воды Кобулети (январь-март 2019) для случая  $n=60$ , накопление 1 день, используются данные за 70 дней. Надпись “Kobuleti, 60 min, 1 day” означает, что время для воды не корректировалось,  $n=60$ , накопление 1 день; move 20 min - от времени воды вычиталось 20 мин.; move 40 (60) min - вычиталось 40 мин. и 60 мин. соответственно.

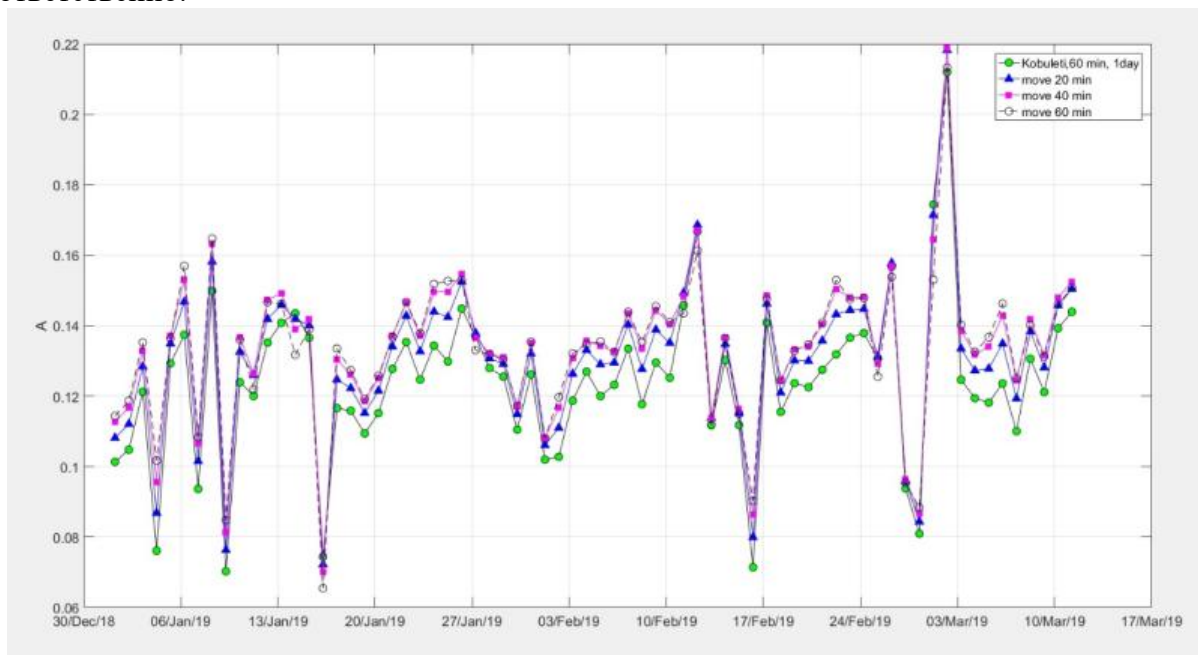


Рис. 9. Изменение коэффициента *A* между *tidalSpeed* и *waterSpeed*, если время (дата) воды искусственно уменьшалось на 20, 40, 60 минут. Кобулету, 70 дней наблюдений. На оси X – дни, на оси Y – коэффициент *A*.

## Заключение

Изучаются методы нахождения коэффициентов линейной связи между скоростью изменения уровня воды *waterSpeed* и гравитации *tidalSpeedZ* в глубоких скважинах Грузии.

Отмечена линейная связь между скоростью *tidalSpeedZ* и *tidalY*. Делается вывод: существует линейная связь между вертикальной скоростью воды *waterSpeed* и горизонтальной компонентой гравитации *tidalY* (East-направление), т.е. горизонтальным направлением “движения” Луны, Солнца.

Приводится формула, позволяющая для уравнения  $tidalSpeedZ=A*tidalY$  найти коэффициент *A* для любой точки Земли, если известна только широта точки (Latitude).

Приводится численная оценка влияния *tidalZ* на *water* в глубоких скважинах Грузии и предлагаются разные методы их вычислений.

Метод *Jump* является прямым методом при определении воздействия *tidalZ* на воду, *water*, и позволяет получить для оценок до 4 точек за 1 день наблюдения. Для более точных расчетов этот способ требует использовать, “накапливать”, значения нескольких дней.

Метод *Speed* является непрямым методом оценок и позволяет получить за 1 день до 1440 точек наблюдения. Способ можно использовать для сравнений *waterSpeed* и *tidalSpeed* в поисках различий между ними и нахождения аномального поведения воды.

Методы *Jump* и *Speed* позволяют найти значения коэффициента *A*, определяющего величину воздействия *tidal* на *water*. Эти значения отличаются на 5-10%.

Значения коэффициента  $A$  незначительно изменяются во времени, и, следовательно, радикальное его изменение можно рассматривать как аномалию. Эту аномалию можно выявить, затратив минимальное время для замеров уровня воды.

**Благодарность.** Работа выполнена при поддержке национального научного фонда Грузии им. Шота Руставели – Грант– № FR17\_633.

### ლიტერატურა

2. Kartvelishvili K., Melikadze G., Kobzev G. Influence of atmosphere pressure and tidal variation of gravity of the hydrosphere. Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, Vol. 65, 2010, pp. 169 -173.
3. Melikadze G., Jimsheladze T., Kobzev G., Tchankvetadze A. Variation of geophysical parameters during preparation of seismic events. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue A. Physics of Solid Earth, v.20A, 2017, pp.10-21.
4. Jimsheladze T., Melikadze G., Kobzev G., Benderev A., Botev E. Linear methods of studying the water level variation related with seismicity. Journal of Georgian Geophysical Society, Issue (A), Physics of Solid Earth, v.17a, 2014, pp. 65-75.

## საქართველოს ღრმა ჭაბურღილებში წყლის რეაქცია გრავიტაციაზე. გამოთვლის მეთოდები

გ. კობზევი, ზ. კერესელიძე, გ. მელიქაძე, თ. ჯიმშელაძე

### რეზიუმე

სტატიაში მოყვანილია რაოდენობრივი შეფასება გრავიტაციის ვერტიკალური  $tidalZ$  მდგენელის გავლენისა წყლის დონეზე საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებული ღრმა ჭაბურღილებისათვის და განიხილება კორელაციის კოეფიციენტის მიღების სხვადასხვა ხერხები.

შეისწავლება გრავიტაციასა და წყლის დონის ცვლილების სიჩქარეს  $waterSpeed$  შორის წრფივი დამოკიდებულების კოეფიციენტების პოვნის მეთოდები. აღნიშნულია წრფივი დამოკიდებულება  $tidalSpeedZ$  და  $tidalY$  კოეფიციენტებს შორის. შესაბამისად არსებობს წრფივი დამოკიდებულება წყლის დონის სიჩქარის ვერტიკალურ კომპონენტსა  $waterSpeed$  და გრავიტაციის ჰორიზონტალურ კომპონენტს შორის  $tidalY$ (მიმართულება - აღმოსავლეთი), ე.ი. მთვარისა და მზის ჰორიზონტალურ „მოძრაობას“ შორის. მოყვანილია ფორმულა, რომელიც საშუალებას იძლევა განტოლებისთვის  $tidalSpeedZ=A*tidalY$  ვიპოვოთ  $A$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა დედამიწის ნებისმიერი წერტილისათვის, თუ ცნობილია ამ წერტილის მხოლოდ განედი (Latitude).

მეთოდები  $Jump$  და  $Speed$  საშუალებას იძლევა სხვადასხვა გზით ვიპოვოთ  $A$  კოეფიციენტის მნიშვნელობები, რომლის საშუალებითაც განისაზღვრება მიმოქცევის  $tidal$  გავლენა წყლის დონეზე  $water$ . ეს მნიშვნელობები ერთმანეთისაგან განსხვავდება 5-10%-ით.

$A$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა უმნიშვნელოდ იცვლება დროში და შესაბამისად მისი რადიკალური ცვლილება შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ანომალია. ეს ანომალიები შეიძლება გამოვლენილი იქნას წყლის დონის მინიმალურ დროში გაზომვით.

# Реакция воды на гравитацию в глубоких скважинах Грузии. Методы вычислений

Г. Кобзев, З. Кереселидзе, Г. Меликадзе, Т. Джимшеладзе

## Реферат

Приводится численная оценка влияния вертикальной составляющей гравитации  $tidalZ$  на уровень воды  $water$  в глубоких скважинах Грузии и рассматриваются разные способы получения коэффициентов связи.

Изучаются методы нахождения коэффициентов линейной связи между скоростью изменения уровня воды  $waterSpeed$  и гравитации. Отмечена линейная связь между скоростью  $tidalSpeedZ$  и  $tidalY$ . Следовательно, существует линейная связь между вертикальной скоростью воды  $waterSpeed$  и горизонтальной компонентой гравитации  $tidalY$  (East-направление), т.е. горизонтальным направлением “движения” Луны, Солнца. Приводится формула, позволяющая для уравнения  $tidalSpeedZ=A*tidalY$  найти коэффициент  $A$  для любой точки Земли, если известна только широта точки (Latitude).

Методы *Jump* и *Speed* позволяют разными способами найти значения коэффициента  $A$ , определяющего величину воздействия  $tidal$  на  $water$ . Эти значения отличаются на 5-10%.

Значения коэффициента  $A$  незначительно изменяются во времени и, следовательно, радикальное его изменение можно рассматривать как аномалию. Эту аномалию можно выявить, затратив минимальное время при замерах уровня воды.

# The Water Response to Gravity in Deep Wells in Georgia. The Methods of Calculation

G. Kobzev, Z. Kereselidze, G. Melikadze, T. Jimsheladze

## Abstract

The work gives a numerical estimate of the effect of the vertical gravity component  $tidalZ$  on the water level in deep wells in Georgia and additionally, considers various methods for obtaining coupling coefficients.

We studied the methods for obtaining the coefficients of the linear relationship between the rate of change of the water level and gravity. We determined the linear relationship between  $tidalSpeedZ$  and  $tidalY$ . Therefore, there is a linear relationship between the vertical speed of water and the horizontal component of gravity  $tidalY$  (East-direction), i.e., the horizontal direction of the “movements” of the moon and the sun. The paper gives a formula, which enables to obtain coefficient  $A$  for equation  $tidalSpeedZ = A * tidalY$  for any point on the Earth in case only the latitude of the point is known.

The *Jump* and *Speed* methods allow us to find the values of coefficient  $A$ , which determines the values of the tidal effect on the water in different ways. These values differ from one another by 5-10%.

The values of *coefficient A* vary slightly over time. Therefore, its radical change can be considered as an anomaly. This anomaly can be detected in a short time when measuring the water level.