

ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФНЫХ НЕРАВНОМЕРНОСТЕЙ НА ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ В РЕЖИМЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Кобзев Г., Меликадзе Г., Джимшеладзе Т., Чанкветадзе А.

Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского Государственного Университета

Резюме

Проведен пространственно-временной анализ режимосоставляющих факторов подземных вод, выделена геодинамическая составляющая из мультипараметрического сигнала, установлена причинно-следственная связь геодеформационных и гидродинамических процессов и влияние рельефа на их вариации.

Введение

Корреляция между гидродинамическими и геодинамическими процессами давно зафиксирована исследователями (1-2). Понятен физический смысл этого явления: породы литосферы содержат трещины и поры, которые реагируют на механические напряжения. Как известно, вода - несжимаемая среда и в случае открытости системы во время изменения напряжения вода вытесняется из напряженно-деформированной среды, а это даёт возможность наблюдать за изменением напряжённости, в том числе при подготовке землетрясений. Выявление механизма взаимосвязи деформационных процессов и гидродинамики подземных вод позволяет объяснить изменчивость гидродинамического поля. При этом огромное значение имеет учет геологического и гидродинамического строения среды.

Анализ данных

Институтом Геофизики проводится мониторинг "гидрогеодеформационного поля Земли", позволяющий фиксировать быстрые изменения напряженно-деформированного состояния среды на режимных скважинах Грузии с 80х годов прошлого столетия (3). Эти глубокие скважины, как объемные деформографы, чутко реагируют на деформации различного характера, как экзогенные, так и эндогенные (4-7). Точность наблюдений достигала 10^{-7} - 10^{-9} величин.

При обработке данных нами использовались ежеминутные данные об изменении уровня воды и атмосферного давления на режимных скважинах. В среде MatLab была разработана специальная программа "StationsMany", позволяющая осуществить визуализацию графиков уровня воды, атмосферного давления и приливных влияний, а также провести необходимые вычисления при решении систем линейных уравнений.

Для получения лунно-солнечных приливных вариаций была также модифицирована программа "solid" (автор Dennis Milbert, <http://home.comcast.net/~dmilbert/softs/solid.htm>). генерирующая приливные вариации для всех трех компонент (X, Y, Z) (8).

На базе экзогенных параметров новым методом синтезируется теоретический сигнал и сравнивается с реальными данными уровня воды. Программа "StationsMany" дает дополнительную возможность изучить влияние атмосферного давления и приливных.

Чтобы продемонстрировать методику анализа данных и показать влияние геологических особенностей, рассмотрим изменение параметров для скважин Лагодехи и Марнеули, расположенных в разных геологических регионах Грузии и с разным геологическим строением. Скважина Лагодехи, глубиной 800 метров, расположена в сланцах Южного склона Большого Кавказа, а 3500-метровая скважина Марнеули расположена в вулканогенах Грузинской глыбы.

Возьмем значения уровня воды, атмосферы и приливных вариаций для скважины за одни сутки. Поскольку они фиксировались ежеминутно, то каждый параметр за сутки имеет $24*60=1440$ значений. Делаем предположение, что существует линейная связь в виде формулы 1 между параметрами. В результате появляется необходимость решить систему линейных уравнений типа формулы 1, содержащую 1440 уравнений.

$$water = aX * tidalX + bY * tidalY + cZ * tidalZ + d * atmos + e(1)$$

Здесь *water* – измеренное значение уровня воды, *atmos* – атмосферное давление, коэффициенты *a*, *b*, *c*, *d* для гравитационных составляющих X, Y и Z и атмосферы, *e* – константа.

После подбора коэффициентов *aX*, *bY*, *cZ*, *d*, *e* проводим графическое построение теоретического значения уровня воды:

$$water_{theory} = aX * tidalX + bY * tidalY + cZ * tidalZ + d * atmos + e \quad (2)$$

Следующий этап – визуальное сравнение реального *water* и теоретического *water_{theory}* сигналов уровня воды.

В уравнении (1) необходимо вычислить пять неизвестных параметров (*aX*, *aY*, *aZ*, *d*, *e*). Для этого достаточно составить 5 линейных уравнений. Однако "StationsMany", используя среду MatLab, позволяет решать 1440 линейных уравнений с 5 неизвестными переменными, тем самым увеличивая "достоверность" решения системы линейных уравнений.

Изменение уровня воды является отражением объемной деформации в водоносном горизонте. При этом для вариаций воды доминирующей является Z-компонента (рис. 1).

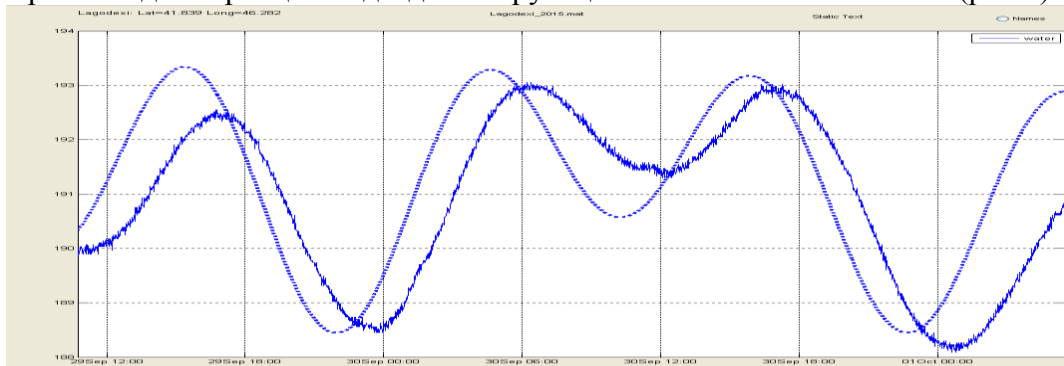


Рис.1

Изменение уровня воды (синяя линия) на скважине Лагодехи и $tidalZ * (-14.064)$ (пунктирная линия), 30 сентября 2015

На рис.1 видно, что амплитуда вариаций уровня воды полностью обусловлена вариациями Z-составляющей приливных. При этом минимум уровня воды существенно позднее минимума Z-составляющей, что означает влияние и других факторов.

Для изучения влияния этих составляющих будем заменять $tidalX$ или $tidalY$ на константу: сначала $tidalX=1$; потом $tidalY=1$ и, наконец, $tidalX=tidalY=1$.

После подбора программой коэффициентов ($aX=-16.0986, bY=25.1322, cZ=-12.524, dAtmos=-0.4694$), построены графики $water$ (синий цвет) и $water_{theory}$ (розовый цвет). Как видно, наблюдается полное совпадение графиков и отсутствует запаздывание по времени.

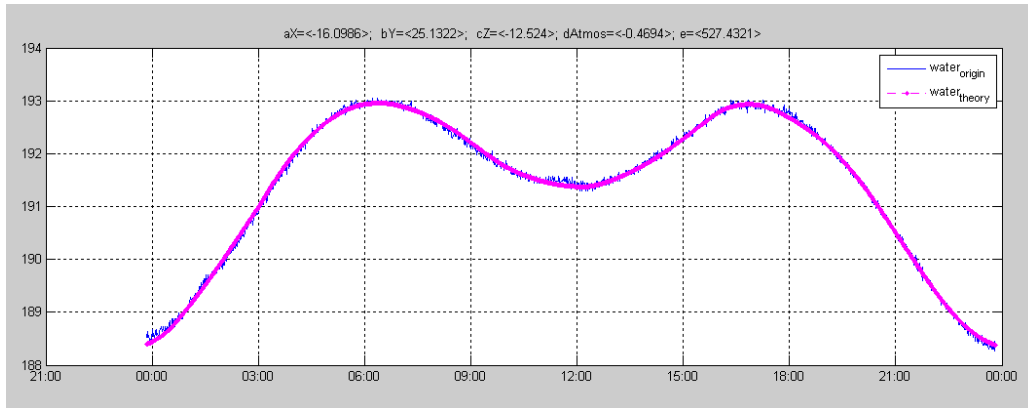


Рис.2

Вариации теоретического и реального значений уровня воды на Лагодехской скважине для подобранных коэффициентах

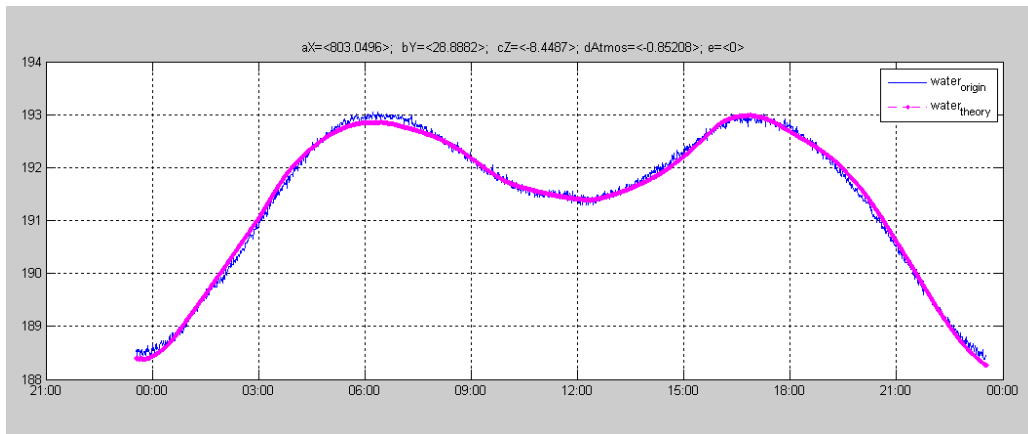


Рис.3

Вариации теоретического и реального значений уровня воды на Лагодехской скважине при $tidalX=1$

При искусственной замене значений для $tidalX$ на 1 на рис. 3 мы опять наблюдаем хорошее совпадение $water$ и $water_{theory}$ (розовый цвет). Это говорит о том, что влияние $tidalX$ несущественно.

При замене $tidalY$ на 1 сходство $water$ и $water_{theory}$ (розовый цвет) стало существенно хуже (рис. 4).

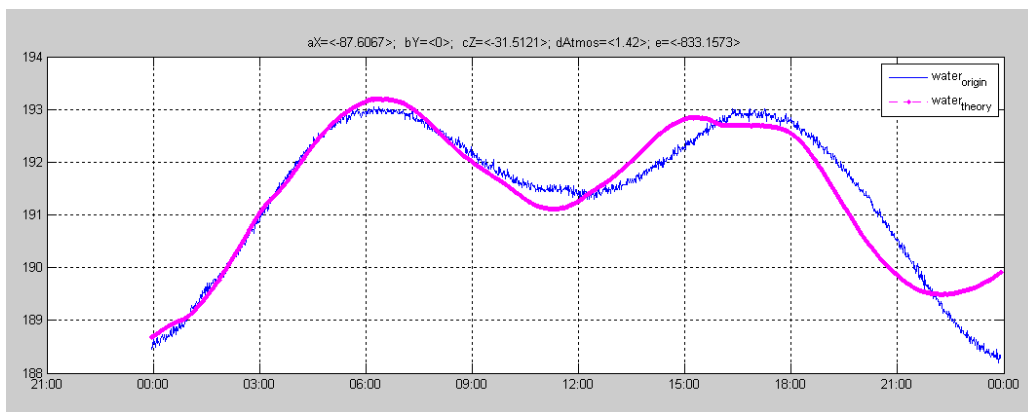


Рис.4

Вариации теоретического и реального значений уровня воды на Лагодехской скважине при $\text{tidalY}=1$

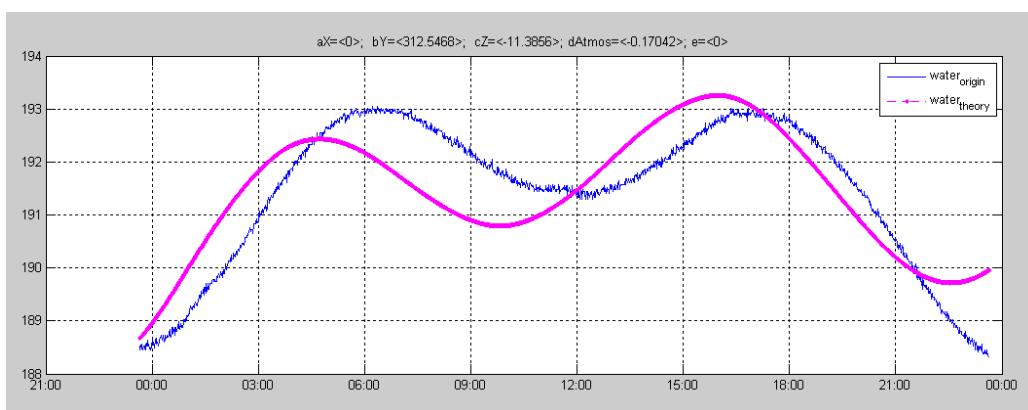


Рис.5

Вариации теоретического и реального значений уровня воды на Лагодехской скважине при $\text{tidalX}=\text{tidalY}=1$

Пусть теперь $\text{tidalX}=\text{tidalY}=1$. Наблюдается визуальное сходство water и $\text{water}_{\text{theory}}$, но сдвиг по времени минимумов этих графиков составляет 99.5 минут (рис. 5).

При несомненной значимости Z-составляющей видно, что горизонтальные составляющие X и Y играют немаловажную роль при расчетах влияния приливных вариаций на водоносный горизонт и соответственно на уровень воды в скважине Лагодехи.

Для сравнения рассмотрим аналогичные вариации для скважине в Марнеули (рис.7).

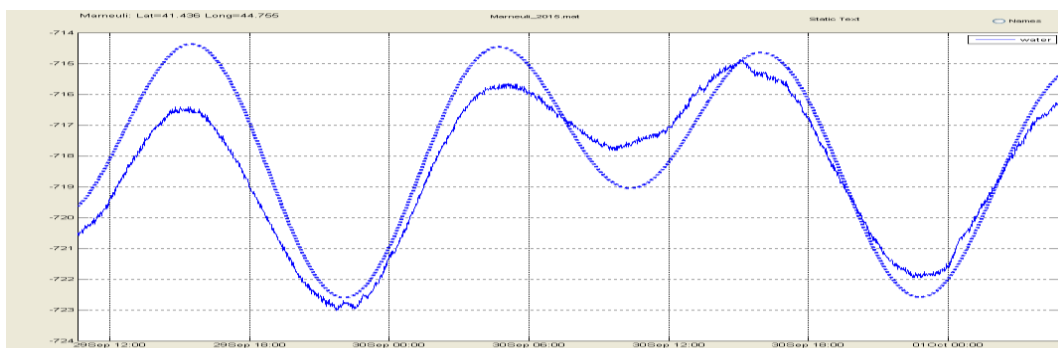


Рис.7

Оригинальные вариации уровня воды (синяя линия) и приливных Z-волн (пунктирная линия).
Марнеули, 30 сентября 2015

Приведем пример подбора коэффициентов по всем трем случаям поочередно.

На рис.8 приведен пример использования всех трех приливных компонент. Наблюдается превосходное совпадение оригинальных и теоретических значений уровня воды.

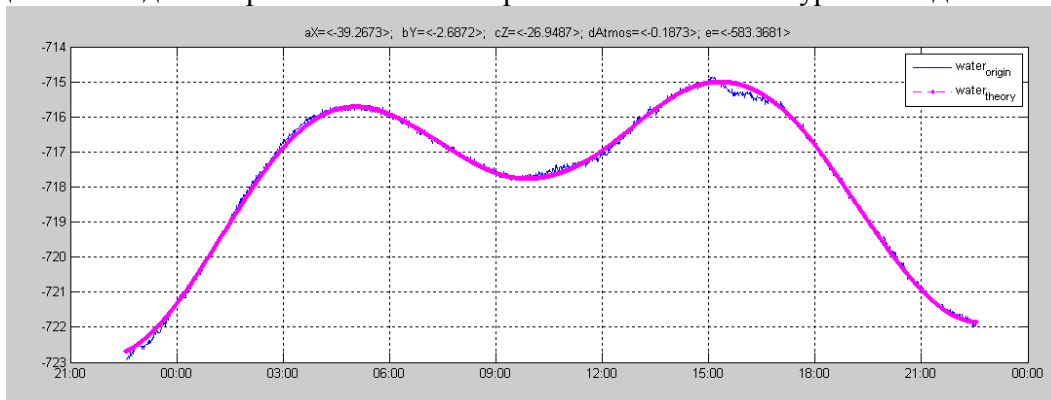


Рис.8

Изменения уровня воды при наличии всех трех приливных вариаций и атмосферного давления

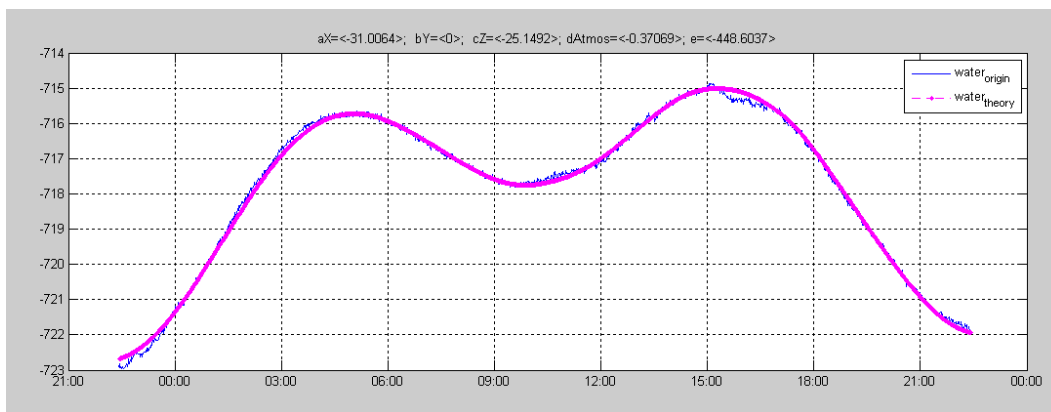


Рис.9

Изменения уровня воды при tidalY=1

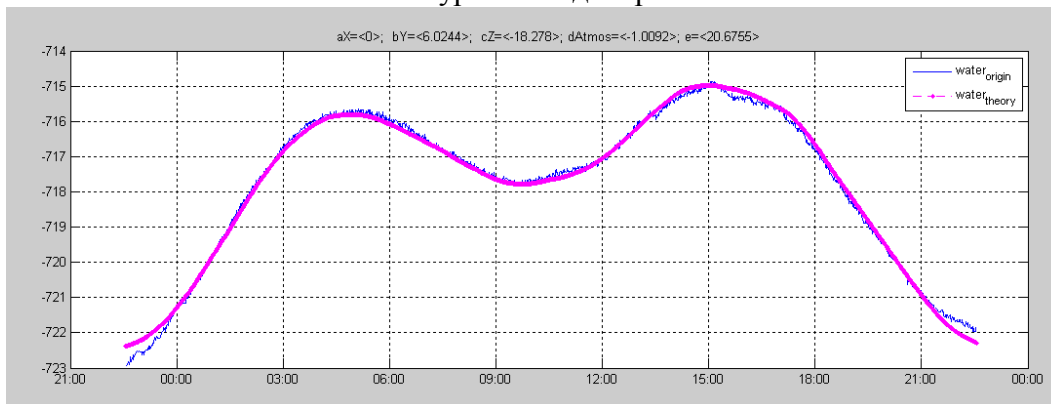


Рис.10

Изменения уровня воды при tidalX=1

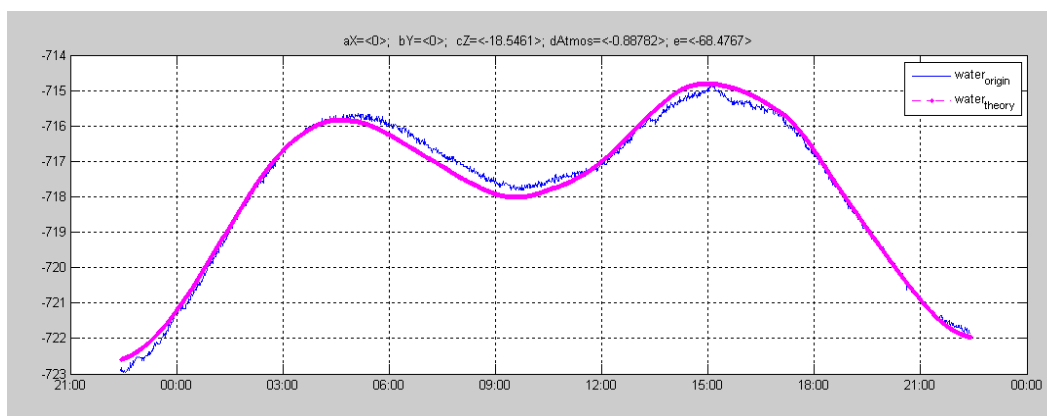


Рис.11
Изменения уровня воды при $\text{tidalX}=\text{tidalY}=1$

Вывод. Для водоносного горизонта дренируемой скважины Марнеули доминирующим фактором, обуславливающим вариации уровня воды, является Z-компонента. При неучете X- и Y-компонент отсутствуют значительный временной сдвиг.

Однако для скважины в Лагодехи без учета горизонтальных приливных составляющих наблюдается запаздывание изменения уровня воды на 99.5 минут. Причиной такого запаздывания может являться сильное воздействие на реальные значения гравитационного поля по сравнению с теоретическими, огромной массы Главного Кавказского хребта, находящейся в непосредственной близости от скважины. В то же время, Марнеульская скважина находится на Нижне Карталинской равнине и его X- и Y- составляющие не подлежат поправкам на горизонтальные рельефные флюктуации.

З а к л ю ч е н и е

Во время режимных геодинамических наблюдений установлено влияние рельефа на реальные значения горизонтальных составляющих гравитационного поля. Необходимо учитывать этот фактор при анализе многопараметрических данных и влиянии геодинамического сигнала.

Благодарность: Авторы благодарят Национальный научный фонд им. Руставели за финансовую поддержку проекта # 156/13 "пространственно-временная изменчивость геодинамического поля и его влияние на глубокие водоносные горизонты и геомагнитное поле".

Литература

1. Kumpel H. (1992) About potential of wells to reflect stress variations within inhomogeneous crust. *Tectonophysics*. 211, 317-336.
2. Hsieh P., Bredehoeft J. and Farr J. (1987) Determination of aquifer transmissivity from Earth tide analysis. *Water Resources Res.* 23, 1824-1832.
3. Вартанян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли. - Доклад АН СССР, 262, N 2, 1982.
4. Gavrilenko, P., G. Melikadze, T.Chelidze, D. Gibert & G. Kumsiashvili (2000) Permanent water level drop associated with Spitak Earthquake: Observations at Lisi Borehole (Republic of Georgia) and modelling. *Geophys. J. Int.*, 143, 83-98.
5. Hsieh, P. A., I. D. Bredehoeft, S. A. Rojstaczer. Response of Well-Aquifer Systems to Earth Tides: Problems Revisited. *Water resources Research* vol. 24. No. 3. 1988, p.p. 468-472.
6. Rojstaczer, S. 1988. Intermediate period response of water wells to crustal strain: Sensitivity and noise level, *J. Geophys. Res.*, 93, 13,387-12,402.

7. Melikadze G., Matcharashvili T., Chelidze T., Ghloni E. Earthquake related disturbance in stationarity of water level variation. Bulletin of the Academy of sciences of the Georgian, 165 № 1, 2002

**მიწისქვეშა წყლების რეჟიმში გრავიტაციულ ველზე რელიეფის
არაერთგვაროვნების გავლენა**

კობზევი გ., მელიქაძე გ., ჯიმშელაძე თ., ჩანკვეტაძე ა.

აბსტრაქტი

განხორციელდა მიწისქვეშა წყლების რეჟიმშემადგენელი ფაქტორების სივცულ-დროითი ანალიზი, მულტიპარამეტრული სიგალიდან გამოყოფილი იქნა გეოდინამიკური მდგენელი, დადგენილი იქნა მიზეზ-შედეგობრივი კავშირი გეოდეფორმაციულ და ჰიდროდინამიურ პროცესებს შორის და რელიეფის გავლენა მათ სვლილებაზე.

**INFLUENCE INHOMOGENEOUS OF RELIEF ON THE GRAVITY FIELD IN
THE UNDERGROUND WATER REGIME**

Kobzev G., Melikadze G., Jimsheladze T., Chankvetadze A.

Abstract

Curry out a spatial and temporal analyze of malty-components variation in the underground water, highlighted geodynamic component of malty-parametrical signal, fixed causal relationship between geodynamic and hydrodynamic processes and relief's influences of it variation.