

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ ОЗЕРА ХАНКА

*А.Г. КОЛОМИЕЦ, кандидат технических наук
kolm@iam.dvo.ru*

*М.Д. ГЕРАСИМЕНКО, доктор технических наук
kolm@iam.dvo.ru*

*Н.В. ШЕСТАКОВ, кандидат технических наук
shestakov.nv@dvfu.ru*

Г.Н. ГЕРАСИМОВ, инженер

*(Институт прикладной математики ДВО РАН, Владивосток, Россия)
gregger@rambler.ru*

С 2017 г. нами начаты комплексные геофизические исследования в районе крупнейшего на Дальнем Востоке России озера Ханка. Интерес к этому гидрологическому объекту возник после 2015 г., когда уровень воды в озере поднялся на 3 м, что выше исторического максимума. Анализ собранных данных показывает, что в районе озера Ханка происходят сложные и, возможно, связанные между собой геофизические и гидрологические процессы.

***Ключевые слова:** GNSS наблюдения, уровень воды, альтиметрия, высота геоида, вертикальные движения поверхности Земли.*

GEODYNAMIC STUDIES IN THE AREA OF LAKE KHANKA

A.G. KOLOMIETS, Candidate of Technical Sciences,

M.D. GERASIMENKO, Doctor of Technical Sciences,

N.V. SHESTAKOV, Candidate of Technical Sciences,

G.N. GERASIMOV, Engineer

(IAM FEBRAS, Russia)

Since 2017, we have started comprehensive geophysical studies in the area of the largest lake in the Russian Far East, Khanka. Interest in this hydrological object arose after 2015, when the water level in the lake increased by 3 m, which is higher than the historical maximum. Analysis of the collected data shows that complex and possibly interconnected geophysical and hydrological processes are taking place in the area of Khanka Lake.

***Keywords:** GNSS observations, water level, altimetry, geoid height, vertical movements of the Earth's surface.*

Введение. Широкий интерес специалистов-исследователей к крупнейшему на Дальнем Востоке России озеру Ханка возник после 2015 г., когда уровень воды в озере поднялся на 3 м, что выше исторического максимума. Это привело к затоплению развитых сельскохозяйственных территорий и гидротехнических сооружений. В 2016 г. прошла конференция «Трансграничное озеро Ханка: причины повышения уровня воды и экологические угрозы. Владивосток 2016 г.». на конференции в частности говорилось: «Мы по-прежнему считаем, что перспективы моделирования, прогноза и мониторинга водного режима в бассейне озера Ханка ограничены недостатком данных. Минимальный перечень необходимых сведений включает 7 пунктов: <...>

7. Данные о вертикальных движениях суши по всему бассейну оз. Ханка. <...>

Обосновывая пункт 7 этого перечня, мы хотели бы процитировать то, как эту проблему понимали ещё полтора века назад: «Говоря о повышении уровня озера, мы желаем этим только выразить факт перемещения этого уровня по отношению к суше, но мы отнюдь не указываем, которая из двух стихий – вода или суша – подлежит этому перемещению; притом мы не желали бы распространять этот факт на сколько-нибудь значительную площадь; мы желали бы даже ограничить период времени, к которому применимо наше положение» (Физико-географические исследования на Байкале В. Дыбовского и В. Годлевского в 1869-1876 годах. Часть 2.)» [1].

При этом гидрологический режим озера малоизучен. Его основные характеристики, согласно работам [2-4], следующие: оз. Ханка является мелководным водоемом со средней глубиной 4,5 м.; для озера экспериментально установлены периодические колебания уровня воды с размахом 2 м по среднесуточным данным и более 3 м в максимуме. Период колебаний около 30 лет, но наблюдаются тенденции к уменьшению временного интервала. Вокруг озера Ханка расположен Приханкайский артезианский бассейн, имеющий сложную структуру – состоит из малых артезианских бассейнов и массивов третьего порядка. Разгрузка подземных вод осуществляется через дно озера, прибрежные территории и реку Сунгач. Как отмечается в [3], «...одной из наиболее сложных задач представляется оценка изменения баланса водных масс озера, так как для этого необходимо большое количество данных об уровнях озера, о притоке поверхностных и подземных вод, испарений на водной поверхности и в бассейнах притоков».

До конца 2017 года наблюдалось неуклонное повышение уровня воды в оз. Ханка, что оказывало существенное влияние на хозяйственную деятельность на прилегающих территориях. До осени 2018 года происходило

снижение уровня воды, затем начался подъём. В итоге, в 2017-2021 г. зафиксированы колебания уровня воды в озере с амплитудой до 0,5 м.

Также необходимо отметить, что район Ханки является самым сейсмически активным районом Приморского края. В 1967 г. вблизи озера произошло землетрясение, считающееся самым мощным сейсмическим ударом за историю наблюдений в крае – колебания грунта в Спасске-Дальнем достигали 6 баллов по шкале MSK-64. Последнее зарегистрированное коровое землетрясение с магнитудой 3,3 произошло в январе 2017 г. в юго-западной части озера [5-6].

Основная часть. Вышеназванные факторы могут приводить к значительным движениям и деформациям земной коры в районе оз. Ханка и рек Уссури и Сунгач. Целенаправленные геодезические GNSS измерения позволяют определить величину и направление данных деформаций, и, возможно, установить причины – вызваны деформации изменением баланса водных масс или сейсмическими процессами? Для разрешения данной задачи нами с 2017 г. начаты комплексные геофизические исследования района оз. Ханка.



Рисунок 1. – Схема расположения уровнемерных постов и GNSS пунктов на озере Ханка

В первую очередь были проанализированы доступные данные уровнемерных измерений. По данным двух уровнемерных постов, расположенных в п. Астраханка и п. Турий-Рог (см. рис. 1), на рис. 2. показано среднее значение уровня воды, существенный рост которого начался в 2008 г.

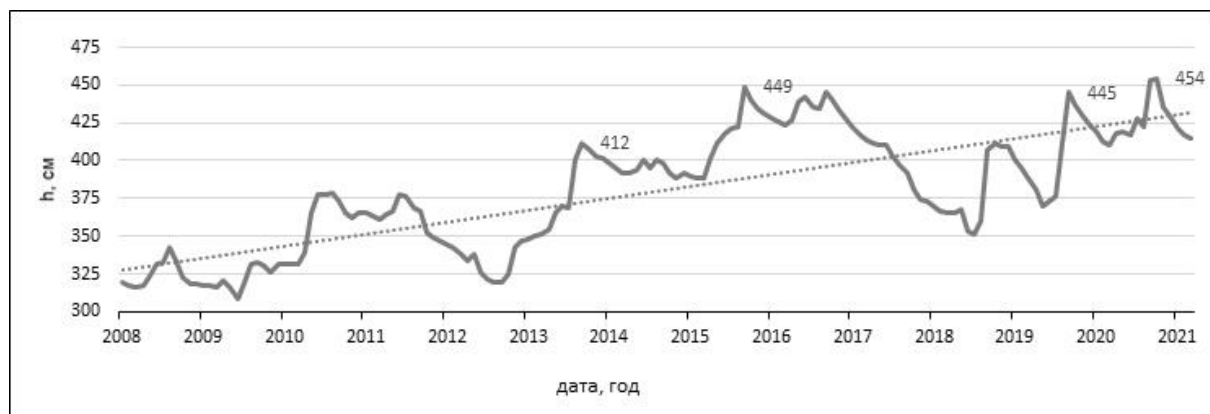


Рисунок 2. — Изменение уровня воды в озере Ханка за период 2008-2021 гг.

Для более детального анализа изменения уровня воды была рассчитана разница измеренных значений на пунктах Астраханка и Турий-Рог. Результаты представлены на рис. 3. Полученный результат можно объяснить двумя причинами: вертикальным движением грунта (или земной коры) в районе расположения одного из пунктов; или изменением наклона зеркала озера, вызванное неизвестными причинами.

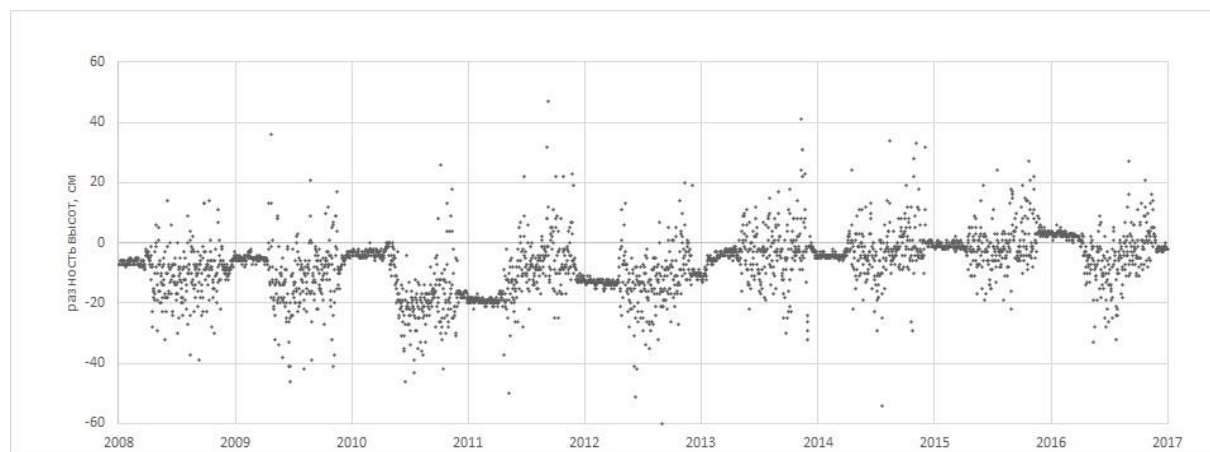


Рисунок 3. — Разность уровней воды между пунктами Астраханка и Турий-Рог

На рис. 4. представлены данные альтиметрии озера (по данным В.И. Кафтана, МИИГАиК). Вытянутая замкнутая кривая в центре говорит о наибольшей амплитуде годового-сезонного колебания уровня с 2010

по 2012 г. Существует ли связь между физическими процессами, показанными на рис. 3. и рис. 4, на данный момент сказать невозможно.

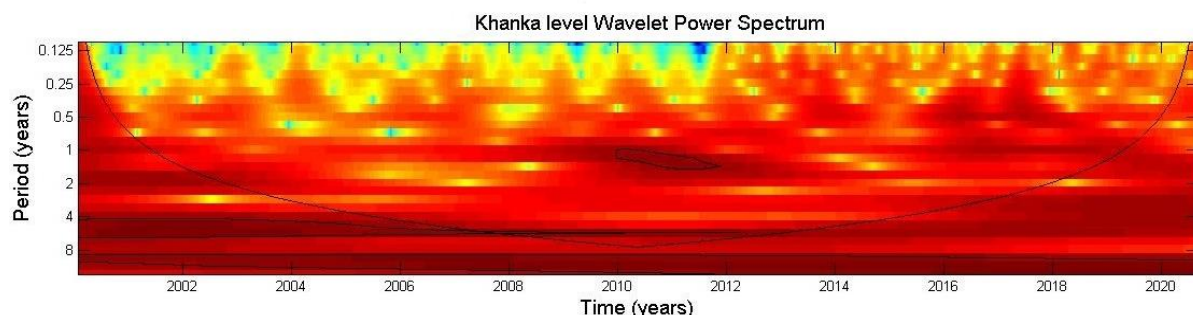


Рисунок 4. – Данные альтиметрии

На рис. 5. представлено изменение высоты геоида полученное по данным GRACE [7] и изменение уровня воды за тот же период. Из рисунка видно, что оба параметра увеличиваются с течением времени и периоды их изменения практически совпадают.

Представленные данные показывают, что в районе озера Ханка происходят сложные, и, возможно, связанные между собой геофизические и гидрологические процессы. Установить природу связи между процессами на данный момент не представляется возможным.

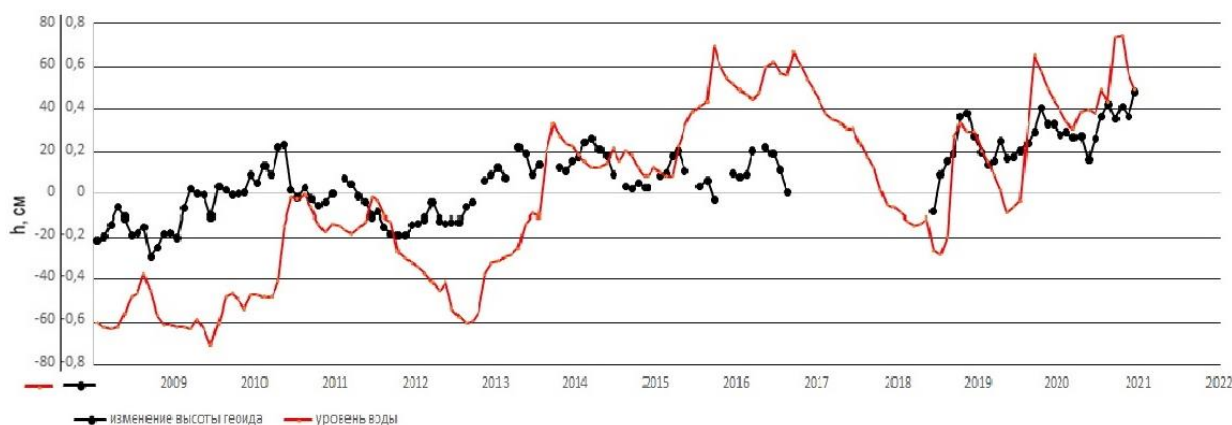


Рисунок 5. – Изменение уровня воды и высоты геоида

С 2017 г. нами начаты геодинамические GNSS наблюдения в районе озера Ханка. Наблюдения проводятся на двух пунктах, в посёлке Камень-Рыболов и на Лузановской сопке (Государственный природный биосферный заповедник «Ханкайский»), рис. 6. Анализ абсолютных вертикальных движений пунктов показывает, что опускание имеет периодический характер и согласуется с изменением уровня воды за тот же период. Средняя скорость опускания пунктов: -3 ± 1 мм/год для пункта на сопке Лузанова; -11 ± 2 мм/год для пункта в п. Камень-Рыболов.

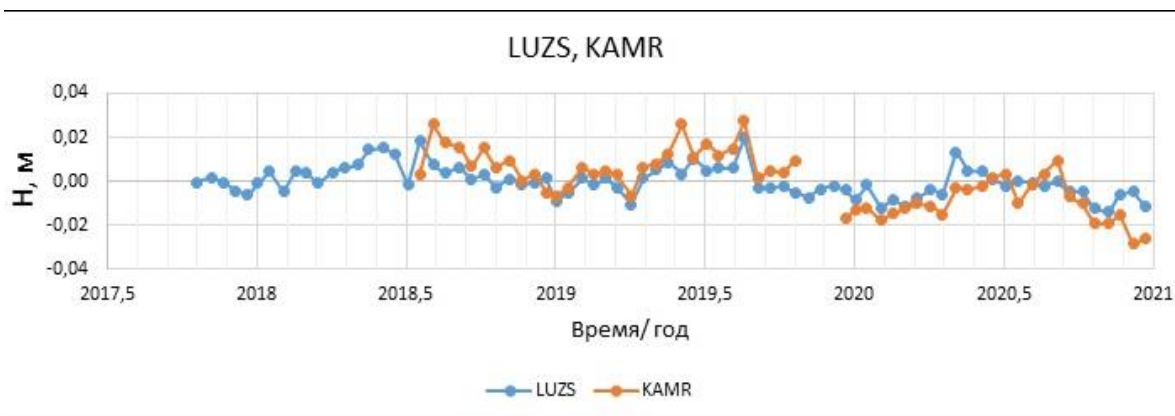


Рисунок 6. – Изменение вертикальной компоненты на GNSS пунктах
Лузановская и Камень-Рыболов

По методике [8] получена оценка влияния изменения объема воды в озере на величины вертикальных движений земной коры в его окрестностях. Проведенные расчёты показывают, что изменение уровня воды на 0,5 м должно приводить к опусканию пункта на ~4 мм. Полученное значение достаточно хорошо согласуется с данными для пункта на сопке Лузановской, но меньше для пункта в посёлке Камень-Рыболов.

Заключение. Предварительные результаты GNSS наблюдений и вычислений показали, что имеется связь вертикальных движений земной коры с изменением уровня воды в оз. Ханка. Сравнение рис. 2. и рис. 6. позволяет утверждать, что увеличение уровня воды приводит к опусканию пунктов. Полученные численные значения опускания достаточно хорошо согласуются с теоретическими расчётами вертикальных движений земной коры при изменении объема воды [8].

Анализ уровнемерных измерений, данных альтиметрии и изменения гравитационного поля показывает, что в районе озера Ханка происходят сложные, и, возможно, связанные между собой геофизические и гидрологические процессы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации 075-00771-22-00 (НИОКТР № АААА-А20-120120390006-0)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- а. Журавлёв Ю.Н. Краткий очерк трагедии озера Ханка // Трансграничное озеро Ханка: причины повышения уровня воды и экологические угрозы. – Владивосток: Дальнаука, 2016. – С. 6–12.

- b. Бакланов, П.Я., Качур, А.Н., Ананьева, Е.Е. Проблема озера Ханка и его бассейна на рубеже столетий // Трансграничное озеро Ханка: причины повышения уровня воды и экологические угрозы. – Владивосток: Дальнаука, 2016. – С.12–25.
2. Махинов, А.Н., Ким, В.И. Возможные причины колебаний уровня воды в озере Ханка // Трансграничное озеро Ханка: причины повышения уровня воды и экологические угрозы. – Владивосток: Дальнаука, 2016. – С. 25–30.
3. Бортин, Н.Н., Горчаков, А.М. Анализ факторов неустойчивости режима озера Ханка // Трансграничное озеро Ханка: причины повышения уровня воды и экологические угрозы. – Владивосток: Дальнаука, 2016. – С. 31–40.
4. Лисунов Е.В. Сейсмическая активность территории Приморского края за период 2014–2018 гг. // Материал Седьмой научно-технической конференции 29 сентября–5 октября 2019 г. г. Петропавловск-Камчатский. – С. 1-3.
5. Коваленко Н.С., Фокина Т.А., Сафонов Д.А. Приамурье и Приморье. // Сахалинский филиал ГС РАН, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН. – г. Южно-Сахалинск. – С. 148-159.
6. <http://thegraceplotter.com>
7. Тимофеев, В.Ю., Ардюков, Д.Г., Тимофеев, А.В. Периодические вертикальные смещения по геодезическим данным и упругие параметры земной коры // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5. – С.20–26.