

УДК 556.048.

Ю.Н. ЖУРАВЛЁВ, С.В. КЛЫШЕВСКАЯ, П.А. НОВИКОВА,  
М.А. ГУЗЕВ, Е.Ю. НИКИТИНА, Я.О. ТИМОФЕЕВА

## К вопросу о колебаниях уровня озера Ханка

*Собран обширный объем информации о гидрологическом режиме оз. Ханка, особенно относительно его современного этапа. Предполагаемой причиной недавнего (2013–2016 гг.) повышения уровня воды в озере явилось сочетание ряда природных и антропогенных факторов. Последние данные свидетельствуют о том, что в динамике водного баланса озера, возможно, намечаются перемены. Обмеления озера в ближайшие год-два ждать не приходится. Достигнутый в последние годы объем воды в озере достаточен для ее расходования на ближайшие годы. Чтобы избежать критических ситуаций, связанных с экстремальными подъемами и спадами уровня воды в озере, на территории Приханкайской низменности необходимо срочно приступить к созданию сети гидротехнических сооружений, способных к демпфированию негативных сценариев водного режима территории.*

*Ключевые слова: гидрологический режим, поступление и сброс воды, бассейн озера, речной сток, прогноз, регулирование уровня воды.*

**Study of the Khanka Lake fluctuations.** Yu.N. ZHURAVLEV, S.V. KLYSHEVSKAYA (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok), P.A. NOVIKOVA (Far East Federal University, Vladivostok), M.A. GUZEV, E.Yu. NIKITINA (Far East Federal University, Vladivostok), Ya.O. TIMOFEEVA (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok).

*An extensive amount of information about the hydrological regime of the Khanka Lake, especially about its current stage, has been collected. The hypothetic cause of the current (2013–2016) increase in the water level in the lake was a combination of natural and anthropogenic factors. Recent data indicate that changes may be expected in the dynamics of the lake's water balance. The shallowing of the lake in the next year or two can not be expected. The volume of water in the lake reached in recent years gives a reserve of its expenditure for the next years. In order to avoid critical situations related to extreme rise and fall of the water level in the lake, on the territory of the Khanka lowlands it is necessary urgently begin to create a network of hydraulic structures capable of damping negative scenarios of the water regime of the territory.*

*Key words: the hydrological regime, water entry and discharge, enrolling, lake pool, river flow, forecast, regulation of water level.*

### Введение

Неконтролируемое повышение уровня воды в трансграничном оз. Ханка явилось одной из главных экологических и экономических проблем Приморского края в 2015–

---

ЖУРАВЛЁВ Юрий Николаевич – академик, главный научный сотрудник, \*КЛЫШЕВСКАЯ Серафима Владимировна – научный сотрудник, ТИМОФЕЕВА Яна Олеговна – кандидат биологических наук, заведующая сектором (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток), ГУЗЕВ Михаил Александрович – академик, директор (Институт прикладной математики ДВО РАН, Владивосток), НОВИКОВА Полина Алексеевна – старший преподаватель, НИКИТИНА Евгения Юрьевна – старший преподаватель (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток).

\*E-mail: klyshevskaya@ibss.dvo.ru

Работа выполнена при поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» на 2018–2020 годы, грант № 18-5-083 (научный руководитель академик Ю.Н. Журавлёв).

2017 г. Оно нанесло существенный урон хозяйственной деятельности края и состоянию прибрежных экосистем, в первую очередь на российской стороне, имеющей наиболее протяженную береговую линию и охватывающей около 91 % площади водосборного бассейна озера. Уже в 2015 г. начались широкомасштабные разрушения дамб, дорог, жилых строений и затопление сельхозугодий. На основании обращения губернатора Приморского края Дальневосточным территориальным управлением ФАНО России были инициированы работы по изучению причин повышения уровня воды в озере и оценке экологических рисков, связанных с этим явлением. Одними из первых в работу включились сотрудники ДВО РАН: ФНЦ биоразнообразия (ранее Биолого-почвенный институт), Института географии, Института водных и экологических проблем и Тихоокеанского океанологического института, которые провели ряд обзорных экспедиций на прибрежных территориях, руслах крупных впадающих в озеро рек Илистая и Спасовка и единственной вытекающей из озера р. Сунгач.

На основе анализа полученных результатов был предложен научно обоснованный проект альтернативной регулируемой системы отвода воды из оз. Ханка – «Второй Сунгач», направленный на снижение уровня воды в озере в многоводные и создание запасов воды для нужд населения в маловодные годы [7]. Различные аспекты (гидрологический, геофизический, биологический, почвенный, антропогенный) проблемы регулирования уровня оз. Ханка и обоснование проекта «Второй Сунгач» были представлены губернатору Приморского края и международному сообществу в рамках 10-го заседания рабочей группы (май 2016 г.) по вопросам трансграничных охраняемых природных территорий и сохранения биоразнообразия Подкомиссии по сотрудничеству в области охраны окружающей среды Комиссии по подготовке регулярных встреч глав правительств России и Китая и на международном форуме «Природа без границ» (2015, 2016 гг.).

Возрастающее беспокойство общественности, краевой администрации, различных ведомств и специалистов естественно-научных направлений в связи с поднятием уровня воды в бассейне оз. Ханка предопределило проведение отдельной специализированной конференции (I Дальневосточная конференция «Трансграничное озеро Ханка: причины повышения уровня воды и экологические угрозы»), которая прошла на базе ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН в апреле 2016 г. На конференции были освещены результаты геофизических, гидрологических, биологических и других исследований в бассейне озера, установлены основные факторы, определяющие современный уровеньный режим озера, определен ряд задач, требующих первоочередного решения, выработаны практические рекомендации по снижению негативных последствий от продолжающегося повышения уровня воды в оз. Ханка. По итогам проведенной работы был сформулирован ряд предложений по изменению ситуации в бассейне озера, направлены обращения с обоснованием необходимости расширения научных исследований и открытия недостающих пунктов гидрометеорологического контроля в бассейне оз. Ханка и р. Сунгач Правительству РФ (Министерство природных ресурсов и экологии РФ), Администрации Приморского края, ФАНО РФ.

В рамках реализации федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах» в исследовании гидрологических особенностей водного режима оз. Ханка в 2016 г. сотрудники Государственного гидрологического института (Санкт-Петербург) провели оценку основных элементов водного баланса оз. Ханка и рассмотрели параметры водопотребления и водоотведения в бассейне озера. Они подтвердили наши выводы о том, что важными факторами, влияющими на гидрологический режим оз. Ханка, являются не только естественные колебания водного режима бассейна, но и антропогенные изменения водного баланса в результате активного развития орошаемого земледелия в части озерного бассейна, расположенного на территории Китая [6]. Наряду с нарушениями водного режима в верховьях рек, питающих озеро, где сразу после 2001 г. начались неконтролируемые вырубки леса, не могли не повлиять на ход многолетних циклов наполненности озера заборы и сбросы воды из-за нужд сельского хозяйства. Однако вклад отдельных явлений в общий баланс остается неопределенным.

Число гидрометеостанций и постов на основных реках бассейна, сильно сократившееся в последние десятилетия, недостаточно для балансовых расчетов. Прогноз и учет метеорологических событий в бассейне не дают данных для количественного учета осадков. Большие затруднения вызывает также и оценка вклада китайской стороны, особенно ее годичная оценка, так как там в многоводные годы сбрасывают воду с полей, в засушливые – запасают. Остаются не раскрытыми и многие другие возможные причины аномального повышения уровня воды в озере, перечисленные во многих работах конференции 2016 г.

В последние годы сотрудники институтов ДВО РАН проводят исследование бассейна оз. Ханка в рамках Комплексной программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток». Значительную помощь ученым оказывает Примгидромет. С учетом данных прошлых лет собран обширный объем информации о гидрологическом режиме озера, особенно о последнем его этапе, сопровождающемся описанными выше катастрофическими последствиями. Данные минувшего и первой половины этого года свидетельствуют, что в динамике водного баланса озера, возможно, намечаются перемены.

В предлагаемой публикации мы приводим некоторые из этих результатов и обсуждаем, насколько можно быть уверенным в прогнозе изменений уровня оз. Ханка при имеющихся неполных данных.

### Результаты и обсуждение

Колебания уровня воды в озере обнаруживают многолетнюю квазициклическую, и разные авторы определяют разную продолжительность циклов [1, 3, 4]. Для четырех циклов, выявленных в течение последних ста лет, характерны медленные подъемы уровня и относительно быстрые его падения. Поэтому информацию об изменениях среднегодового значения уровня на графике многолетних колебаний может быть использована для прогнозов.

Не вдаваясь в дискуссию о точном начале 4-го многолетнего цикла, мы проанализировали динамику годичных колебаний уровня воды в озере начиная с 2007 г. Высокий уровень воды в 2015–2016 гг. был обусловлен в основном двумя сильными повышениями в 2013 и 2015 гг. В 2014 и в 2016 гг. поддерживался достигнутый уровень, а в 2017 г. началось его снижение.

Анализ колебаний уровня показывает, что как в 2013, так и в 2015 г. его резкое повышение происходило во второй половине безледного периода, что наиболее просто объясняется циклонической активностью. В самом деле, начавшееся было снижение уровня в середине лета 2016 г. прекратилось, и это совпадает со временем выхода на Приморье тайфуна Лайонрок, который, хоть и пришелся в основном на граничащие с морем районы края, сильно повлиял на водность рек, питающих Ханку. Однако тайфун Гону, вызвавший разрушительные ливни на юге Приморья, из-за фронтального раздела не предотвратил снижение уровня воды в Ханке, продолжавшееся весь безледный период 2017 г.

Конечно, не все так просто, и для исчерпывающего рассмотрения этой темы надо привлекать данные о тайфунах на китайской стороне бассейна. Кроме того, как уже не раз мы писали [5, 6], атмосферные осадки не являются единственной составляющей притока в водном балансе Ханки. Можно ли в условиях столь неполных данных сделать хотя бы краткосрочный прогноз?

Стадии повышения уровня (трансгрессии) оз. Ханка, сменявшие регрессии, происходили при потеплениях климата. С начала XX в. для оз. Ханка выявлены многолетние колебания уровней воды, имеющие примерно 30-летнюю периодичность. Однако начиная с 80-х годов минувшего столетия временной интервал между трансгрессиями существенно сокращается.

Амплитуда колебаний по среднемуголетним значениям между максимальным и минимальным уровнями воды в озере достигает 2 м, экстремальные величины – 3 м и более.

Максимальные уровни отмечались в середине 1940-х, 1970-х, 1990-х годов и с 2013 по 2016 г.

Периодически повторяющееся увеличение баланса водных масс озера обусловлено повышенной увлажненностью его бассейна и затруднением стока через р. Сунгач. Общий приток речных вод в озеро в среднемноголетнем разрезе (без учета вклада р. Мулинхэ) составляет 1,97 км<sup>3</sup>. В условиях высокого уровня воды в Ханке пропускная способность р. Сунгач недостаточна, вследствие чего сброс накопившихся в озере водных масс идет по обширной Приханкайской низменности. Ориентировочный диапазон пропускной способности р. Сунгач варьирует от 1,73–1,89 (при максимальных уровнях воды в озере) до 0,79–0,95 км<sup>3</sup> в год (при минимальных) [3]. Ограничивают пропускную способность этой реки, во-первых, песчаная отмель (бар) в ее истоке, весьма неустойчивая и подверженная деформациям, во-вторых, особенности рельефа. Долина реки расположена в обширной заболоченной Приханкайской низменности и нечетко выражена в рельефе местности. Наиболее затруднен сброс воды в зимнее время, когда исток забивается льдом, а на самой реке образуется ледостав при толщине льда до 1 м. Кроме того, в р. Сунгач сбрасывается неучтенное количество воды десятками ирригационных каналов оросительных систем со стороны КНР [3].

Дополнительный вклад в увеличение водного баланса озера вносят подземные и подводные источники, влияние которых до настоящего времени не оценивалось, и экспериментальных данных по этому вопросу, к сожалению, нет. Топографические карты указывают на эту возможность, давая изображение водотоков, не имеющих начала на возвышенных участках территории.

Помимо вышеуказанных причин изменение уровня воды в озере происходит в результате проявления ветровых сгонно-нагонных денивеляций поверхности воды. Наблюдается сложная и разнообразная сезонная динамика уровней воды на фоне их общего высокого или низкого стояния. По данным многолетних наблюдений величина положительных и отрицательных отклонений уровня от среднего значения при сгонно-нагонных денивеляциях часто достигает 0,5–0,8 м, а при экстремальных ситуациях – до 1,5 м [1].

Анализ показателей среднемноголетнего уровня воды в озере указывает на то, что современный период трансгрессии начался более 10 лет назад. Весной 2007 г. уровень воды в озере превысил среднемноголетнюю отметку (297 см) и продолжал постоянно повышаться до октября 2016 г., сделав, однако, «перерыв» в 2011–2012 гг., когда отмечались стабилизация уровня и даже незначительное его снижение. Но и в 2011–2012 гг. уровень озера был выше среднемноголетнего значения. К 2015 г. среднегодовой уровень воды в озере превысил ранее установленный исторический максимум (401 см) и составил 405 см, в 2016 г. достиг 435 см. В период с 2013 по 2016 г. преимущественные подъемы уровня воды в оз. Ханка отмечались в августе–сентябре с последующим спадом к концу года. В 2013, 2015 гг. наблюдались резкие (на 60 см) подъемы уровня воды с начала года до сентября, затем уровень снижался на 10–20 см к концу года. В 2014 и 2016 гг. уровень воды в озере плавно колебался с амплитудой 10–15 см (2014 г.), 20–25 см (2016 г.). К 2017 г. тенденция изменилась: с октября 2016 г. и до настоящего времени наблюдается устойчивое снижение уровня воды в озере.

Следует заметить, что значительная часть снижения приходится на зимний и ранневесенний (до вскрытия льда) периоды и что с началом периода дождей на Ханке отмечены колебания уровня, нарушающие тенденцию к снижению. Происхождение этих колебаний явно связано с нагонными явлениями, но трудно выяснить, являются ли нагонные явления единственной и исчерпывающей причиной колебаний уровня (рис. 1).

Означает ли это, что наблюдаемое сейчас падение уровня воды в оз. Ханка продолжится? Однозначный ответ, скорее всего, будет малообоснованным. Складывающаяся гидрологическая ситуация (наполняемость рек, осадки), неизбежный сброс воды со стороны рисоводческих предприятий КНР могут привести к подъему уровня воды в озере.

Эти наблюдения не являются основанием для уверенного прогноза последующего изменения уровня воды в Ханке. Из зарегистрированных с 1923 г. 22 среднегодовых

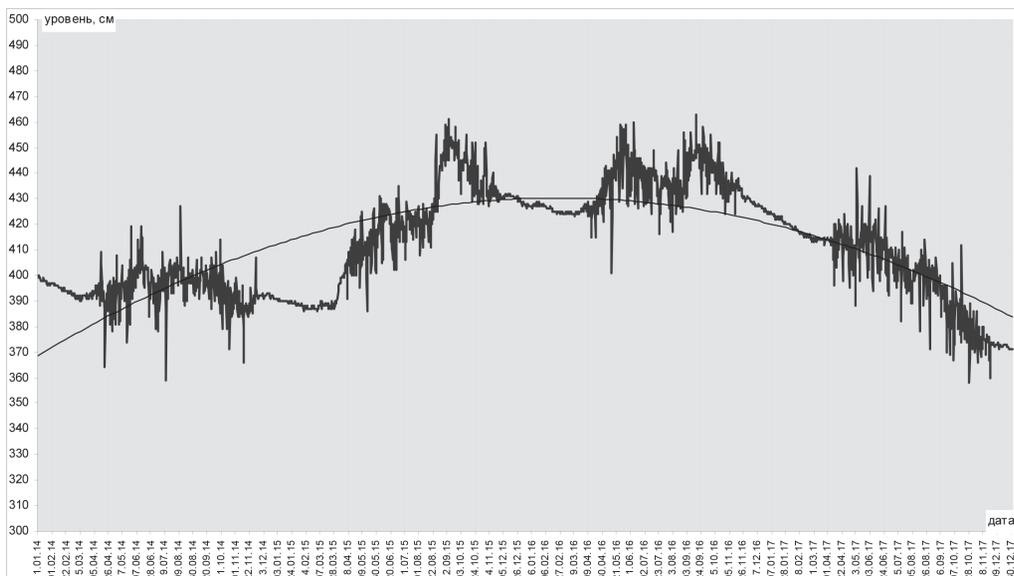


Рис. 1. Колебания и тренд уровня воды оз. Ханка с января 2014 г. по декабрь 2017 г.

снижений уровня воды 17 сменились повышением уровня воды в последующие 1-2 года и только 5 оказались началами продолжительного (многолетнего) снижения уровня (рис. 2). Конечно, и непродолжительное снижение уровня приводит к уменьшению напряженности в зонах, подверженных затоплению.

Что ожидает Ханку? Дальнейший подъем уровня при падении в 2017 г. или продолжение его снижения? Необходимо понимать, что если уровень будет снижаться заметно, то с китайской стороны сброс также уменьшится из-за необходимости делать стратегические запасы воды в водохранилищах для нужд оросительных рисовых систем.

Сотрудниками Института прикладной математики ДВО РАН было выделено три полных периода, похожих на современный, колебаний уровня воды в оз. Ханка с пиками



Рис. 2. Периодичность изменения уровня оз. Ханка с 1923 по 2017 г. и прогноз до 2032 г.

Таблица 1

## Периоды колебаний и минимальные значения уровня воды в оз. Ханка

	1925 г.	1954 г.	1980 г.	2000 г.	2021 г.
Min уровень, см	234	194	193	256	230*
Номер периода	1	2	3	4	5
Продолжительность периода, лет	28	25	19	20*	19*

\*Прогноз (здесь и в табл. 2).

показателей в 1933, 1975 и 1995 гг., в настоящее время продолжается четвертый этап (табл. 1, рис. 2).

Для построения линейного тренда изменения наибольшего уровня использовался метод наименьших квадратов (далее МНК). Суть этого метода в том, что наклон и положение линии тренда подбираются так, чтобы сумма квадратов отклонений исходных данных от построенной линии тренда была минимальной, т.е. линия тренда наилучшим образом сглаживала фактические данные. Нахождение прогнозных значений года и максимального уровня воды в оз. Ханка в следующем периоде проведено за три шага.

На первом шаге найден год, на который приходится наименьший уровень в каждом периоде, затем, пользуясь МНК, определены значения минимума в следующем периоде и год начала следующего периода (табл. 1).

На втором шаге найдены прогнозные значения продолжительности 4-го и 5-го периодов – 20 и 19 лет соответственно.

На третьем шаге строится прогноз числа лет от начала периода, когда уровень воды будет максимальным (табл. 2).

Таблица 2

## Продолжительность периодов изменения уровня воды в оз. Ханка

Номер периода	1	2	3	4	5
Год	1933	1975	1995	2016	2032*
Число лет с начала периода до max уровня	8	21	15	15	11*
Мах уровень, см	401	372	346	435	408*

С одной стороны, согласно этим расчетам, следующий максимальный подъем уровня воды в оз. Ханка следует ожидать к 2032 г. (табл. 2).

С другой стороны, если уровень продолжит снижаться, приведет ли это в ближайшее время к обмелению озера? В этом отношении можно дать более уверенный краткосрочный прогноз. Обмеления в ближайшие год-два ждать не приходится. Достигнутый в последние годы объем воды в озере дает запас для расходования на ближайшие годы. По разным данным в настоящее время объем воды в оз. Ханка составляет от 23 до 25 км<sup>3</sup> [3, 7]. В многолетнем водном балансе озера среднегодовой слой атмосферных осадков, приходящихся на его поверхность, составляет 567 мм. Это формирует 54 % приходной части баланса. Остальные 46 % – речной приток, годовой объем которого составляет 1,7–2,0 км<sup>3</sup>. Такая важнейшая составляющая приходной части баланса, как сбросы воды с китайской стороны, не учтена достоверно, по расчетным данным она составляет около 1 км<sup>3</sup> за 4 мес. работы водосбросных каналов [2, 6]. Эта цифра может оказаться еще меньше в засушливые годы и даже приблизиться к нулю, если атмосферных осадков не будет хватать для нужд на западном побережье. Расходная часть баланса, которая складывается из испарения с поверхности озера (584 мм, или 56 % общих потерь воды) и стока по р. Сунгача (44 %), что составляет в среднем 1,8 км<sup>3</sup>/год, будет в этом случае сокращена.

## Заключение

Так какие прогнозы оправдаются? На распутье находится не только оз. Ханка, но и, к сожалению, власть и наука. Власть в раздумьях: что делать? какие меры предпринимать? копать или не копать? что копать? а может быть, дожидаться, когда уровень воды снизится и проблема решится сама собой? Наука собирает данные, считает баланс, обещает выдать модель поведения озера, но без полноценного объема информации и учета всех составляющих баланса, в том числе случайных событий, это невозможно. Предполагаемой причиной современного (2013–2016 гг.) повышения уровня воды в озере явилось сочетание ряда природных и антропогенных факторов. Но проблема регулирования водного режима возникает не только в периоды затопления прибрежных территорий. В XX в. (50-е, 70-е годы) не раз отмечались периоды, когда уровень оз. Ханка падал ниже 200 см и возникала острая нехватка воды как для рисово-мелиоративных систем, так и для нужд населения. Нужно помнить и о том, что низконапорные подземные линзы пресной воды, которые используются в настоящее время для снабжения районных центров [2], тоже могут обнаруживать дефицит запасов в засушливые годы.

В настоящее время уже мало кто сомневается, что природные катаклизмы на планете меняют свою географию и увеличивают амплитуду экстремальных колебаний от минимума до максимума. Вряд ли стоит ожидать, что эти события не отразятся на водном режиме Ханки. Чтобы избежать критических ситуаций на территории Приханкайской низменности, необходимо уже сегодня приступать к созданию сети гидротехнических сооружений, способных к демпфированию негативных сценариев водного режима территории.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бакланов П.Я., Качур А.Н., Ананьева Е.Е. Проблемы 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. Болгов М.В. Экстремальные уровни озера Ханка: природные вариации или антропогенное воздействие? // Вестн. ОНЗ РАН. 2016. Т. 8. NZ 1001. DOI:10.2205/2016NZ000127.
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. Васильковский М.Г. Гидрологический режим озера Ханка. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 173 с.
5. Журавлев Ю.Н. Краткий очерк трагедии озера Ханка // Трансграничное озеро Ханка: причины повышения уровня воды и экологические угрозы. Владивосток: Дальнаука, 2016. С. 6–12.
6. Журавлев Ю.Н., Клышевская С.В. Проблема регулирования уровня воды в бассейне озера Ханка (Приморский край) // Вестн. ДВО РАН. 2015. №. 5. С. 40–53.
7. 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.