

УДК 53.087.45, 556

В. В. ЗУЕВ*, Н. Е. ЗУЕВА*, С. А. КУРАКОВ*, И. А. СУТОРИХИН**, Н. Ф. ХАРЛАМОВА***

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск

**Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

***Алтайский государственный университет, г. Барнаул

ДИНАМИКА ВЕСЕННЕГО ПОДЪЕМА УРОВНЯ БЕССТОЧНЫХ ОЗЕР (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА КРАСИЛОВСКОЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ)

Представлены результаты комплексного анализа данных мониторинга гидрологического состояния бессточного оз. Красиловского Алтайского края. Проанализировано влияние метеорологических условий региона в осенне-весенний период 2013–2014 и 2014–2015 гг. на характер уровня подъема озера. Установлено, что комплексная система наблюдений гидротермического режима воздуха и почвы на водосборной площади бессточного водоема, осуществляемая посредством многопараметрического автоматизированного агропромышленного измерительного комплекса, разработанного в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, дает возможность повысить точность прогноза уровня весеннего наполнения водоема. Выявлено, что для бессточных озер соотношение объемов стоков с водосборной площади поверхностных и грунтовых талых вод, формирующих уровень весеннего наполнения, определяется преимущественно гидроклиматическими условиями воздуха и почвы в предшествующий холодный период. Показано, что детализация динамики метеоэлементов, таких как температура воздуха, количество осадков в период формирования постоянного снежного покрова и весеннего снеготаяния, температурный режим почвы, высота и плотность снежного покрова, позволяет установить доминирующий фактор, который в период весеннего снеготаяния будет определять интенсивность и высоту уровня подъема. Определено, что интенсивный поверхностный сток в озеро весной 2014 г. при относительно низкой интенсивности снеготаяния после холодной малоснежной зимы с невысоким запасом воды в снежном покрове произошел вследствие образования в почве ледяного запирающего слоя на глубину до 30 см, препятствовавшего вертикальной инфильтрации талых вод и формированию их подземного стока.

Ключевые слова: бессточное озеро, подъем уровня воды, метеорологические параметры, состояние снежного покрова, состояние грунта.

Presented are the results from a comprehensive analysis of monitoring data on the hydrological state of drainless Lake Krasilovskoe in Altai kraï. An analysis is made of the influence of the region's meteorological conditions during the autumn-spring period 2013–2014 and 2014–2015 on the character of the lake's water table rise. It is established that a comprehensive system for the observations of the hydrothermal air and soil regime in the catchment area of the drainless water body, implemented by use of the multiparametric automated agro-industrial measuring facility as developed in the Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, provides a possibility of improving the forecast accuracy for the spring water level of the water body. It is found that for drainless lakes the relationship of the volumes of runoff of surface water and melt ground water from the catchment area that is responsible for the spring water table is determined largely by hydroclimatic air and soil conditions for the preceding cold period. It is shown that by detailing the dynamics of meteo-elements, such as air temperature and precipitation amounts at the period of formation of constant snow cover and spring snowmelt, the soil temperature regime, and the depth and density of snow cover, it is possible to determine the dominant factor which, during spring snowmelt, will govern the rate and height of water table rise. It is found that an intense overland runoff into the lake during spring 2014 (with a relatively low rate of snowmelt after a cold snow-deficient winter with low water reserves in snow cover) occurred due to the formation of a confining ice layer to a depth of 30 cm retarding vertical infiltration of snowmelt water and the formation of its runoff in depth.

Keywords: drainless lake, water table rise, meteorological parameters, state of snow cover, state of subsoil.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Озера — один из наиболее динамичных элементов ландшафта. Однако состояние озерных ресурсов зависит не только от гидрологических условий самих водоемов и ландшафта их водосборных территорий. Прежде всего, изменение водности является значимым индикатором климатических изменений [1]. Известно, что трансгрессивные и регрессивные фазы циклических колебаний уровней озер обусловлены долговременными изменениями температуры и влажности региона [2–5].

Актуальность исследований гидрологических процессов не только крупных, но и относительно небольших озер юга Западной Сибири определяется более значимыми, чем в среднем по России, темпами наблюдаемых здесь климатических изменений [6]. Потепление и аридизация современного

климата в этом регионе проявляются в снижении водности сточных и особенно бессточных озер. В поддержании уровня режима таких водоемов определяющую роль играют осадки теплого периода [2, 7]. В более засушливых (аридных) областях гидрологически эффективны также зимние положительные аномалии осадков, способные удержать уровень озера даже при наличии дефицита летних осадков [8]. В целом весенний уровень режим характеризуется совокупностью факторов, таких как влагосодержание и высота снежного покрова, температурный режим воздуха в зимний период, степень увлажненности почвы при установлении постоянного снежного покрова и глубина ее промерзания, температурный режим воздуха и наличие жидких атмосферных осадков в период снеготаяния. Вследствие многопараметрической зависимости весеннего подъема уровня воды в озерах точность его прогноза до сих пор остается сложной задачей.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

К категории водоемов, на которых в течение последних десятилетий регистрируется выраженное устойчивое снижение водности, относится бессточное оз. Красиловское ($53^{\circ}10'$ с. ш.; $84^{\circ}26'$ в. д.; абс. высота 220 м) в Косихинском районе Алтайского края. По своему происхождению оно является подпрудным [9] и образовалось не позднее нескольких тысяч лет назад в результате подпора малого водотока песчаной грядой (дюной), сформированной ветровыми потоками, перемещавшимися с юго-запада на северо-восток. Песчаные дюны перекрыли не только водотоки, но и высокие террасы Оби, где «заползли» на суглинистые отложения. Современный рисунок ландшафта и рельеф местности обусловлены всей историей развития данного природного комплекса. Здесь на протяжении всего нескольких километров сочетаются уникальные естественные подтаежные леса с богатым травяным ярусом, сосновые боры на песчаных дюнах, болота и культурные агроландшафты. Площади водосбора и зеркала озера составляют 46,11 и 0,8 км² соответственно [10], однако наличие озерных террас свидетельствует о том, что в прошлом Красиловское имело значительно большие размеры. По данным батиметрических исследований, максимальная глубина его центральной зоны в 1978 г. составляла 12 м, в 1998 г. — 8,3 м [9]. Сегодня наибольшая глубина озера не превышает 6 м.

С июля 2013 г. контроль динамики гидрологического режима озера осуществляется посредством разработанного в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН многопараметрического автоматизированного агропромышленного измерительного комплекса (АПИК) [7], установленного на территории учебно-научного стационара Алтайского госуниверситета «Озеро Красиловое». Комплекс дает возможность в мониторинговом режиме получать информацию о метеорологических условиях в пределах водосборного бассейна и гидрологическом состоянии озера, проводить детализацию динамики основных параметров, характеризующих процессы снегонакопления и снеготаяния, температурного режима воздуха и грунта в течение всего осенне-весеннего периода. Результаты снегомерной съемки, выполненной в первой декаде февраля 2015 г. по трем линейным снегомерным профилям, относящимся к наиболее характерным ландшафтам водосборного бассейна (акватория озера, лес, поле), показали, что данные, полученные на площадке измерительного комплекса, соответствуют средним значениям параметров и могут быть использованы для анализа весеннего уровня режима на всей территории водосбора оз. Красиловского.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительно небольшой период наблюдений охватывает два временных интервала (сентябрь–май 2013–2014 и 2014–2015 гг.), контрастных по динамике процессов снегонакопления и снеготаяния, температурного режима воздуха и грунта, по интенсивности весеннего подъема уровня воды. Представленные в таблице результаты отражают принципиальные различия гидрометеорологических условий, определивших поверхностный приток озера весной 2014 и 2015 гг., прежде всего по снегозапасу и интенсивности снеготаяния, а также по количеству жидких осадков в период формирования устойчивого снежного покрова и во время снеготаяния. В 2015 г. к началу снеготаяния запас воды в снежном покрове в 3,6 раза превышал аналогичный параметр 2014 г. Период интенсивного снеготаяния в 2015 г. был в 2 раза короче, а его скорость в 1,7 раза выше, чем в 2014 г.

Таким образом, можно было ожидать, что в 2015 г. склоновые стоки талых вод приведут к более значимому по сравнению с 2014 г. подъему уровня водоема. Однако весной 2015 г. рост уровня происходил фактически в 2 раза медленнее и оказался в 2,6 раза ниже аналогичного показателя 2014 г. При этом в 2014 г. уровень воды поднялся на 1593 мм (от отметки 162 до 1755 мм над гидростатическим датчиком), а в 2015 г., несмотря на значительно большие снегозапасы, — только на 610 мм (от 410 до

Гидрометеорологические условия, предшествующие подъему уровня оз. Красиловского весной 2014 и 2015 гг.

Показатель	Период наблюдений	
	01.09.2013–10.05.2014	01.09.2014–10.05.2015
Сроки установления устойчивого снежного покрова	22 декабря	17 ноября
Период ледостава	21.11.2013–20.03.2014	17.11.2014–20.04.2015
Количество жидких осадков за период установления устойчивого снежного покрова (октябрь–ноябрь), мм	125,4	167,4
Высота снежного покрова к началу снеготаяния, мм	750	950
Запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния, мм	~50 [11]	181
Период интенсивного снеготаяния	12–30 марта (19 сут)	6–14 апреля (9 сут)
Средняя температура воздуха в период интенсивного снеготаяния на высоте 2 м, °С	1,6	4,1
Интенсивность снеготаяния, мм/сут	13	22
Количество жидких осадков за период снеготаяния, мм	0	41,58

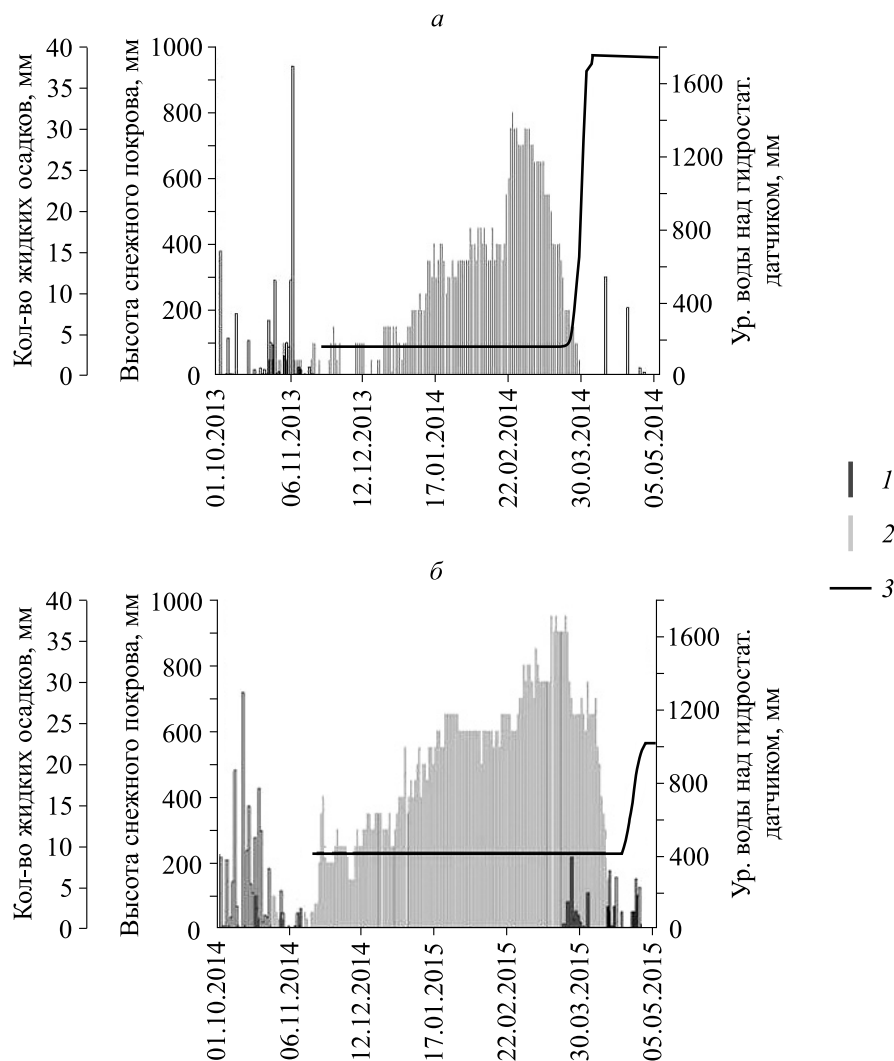


Рис. 1. Среднесуточные данные количества жидких осадков, высоты снежного покрова, уровня воды над гидроstaticким датчиком:

a — в 2013–2014 гг.; *б* — в 2014–2015 гг.

1 — количество жидких осадков; 2 — высота снежного покрова, 3 — уровень воды.

1020 мм). Отметим, что по срокам подъем воды в 2014 г. произошел почти на месяц раньше, чем в 2015 г. (22 марта–6 апреля в 2014 г. и 20 апреля–2 мая в 2015 г.).

На рис. 1 приведены среднесуточные данные количества жидких осадков, высоты снежного покрова, уровня воды над гидростатическим датчиком в период ледостава и весеннего снеготаяния за 2013–2014 и 2014–2015 гг. Известно, что способность мерзлой почвы впитывать воду оказывает существенное влияние на формирование поверхностных стоков при снеготаянии. Следовательно, одним из факторов, определяющих характер весеннего подъема уровня озера, выступает состояние грунта. На рис. 2 для тех же временных интервалов показана динамика среднесуточных температур грунта на глубине 5 и 30 см. Здесь же приведен временной ход среднесуточных температур воздуха на высоте 2 м от поверхности земли.

Почвы в районе озера сложены преимущественно из песков и суглинков, промерзание которых начинается при температуре 0 °С. По данным АПИК, в первой декаде декабря 2013 г. при среднесуточных температурах воздуха около –10 °С в отсутствие снежного покрова произошло промерзание грунта до глубины 20 см (см. рис. 1, а и 2, а). В 1,5 раза более низкая по сравнению с многолетней нормой высота снежного покрова и длительный холодный период с 24 января по 17 февраля 2014 г. со среднесуточной температурой –24,2 °С спровоцировали понижение температуры грунта и его дальнейшее промерзание на глубину до 30 см (см. рис. 2, а). Во время оттепели 20–23 февраля 2014 г. в результате попадания талой воды в верхние слои мерзлого слоя грунта произошло образование ледяного запирающего слоя. Следствием льдообразования стало некоторое повышение температуры грунта. В период интенсивного снеготаяния (см. таблицу) приповерхностный слой почвы оставался мерзлым, препятствуя проникновению талых вод на большую глубину, о чем свидетельствует практически нулевой тренд температур грунта в этот период. В сложившейся ситуации произошел интенсивный сток талых вод в водоем. Устойчивый переход температуры слоя грунта на глубину 30 см через 0 °С был зарегистрирован 5 апреля 2014 г., т. е. через неделю после полного схода снега на площадке АПИК и фактически одновременно с завершением подъема воды в озере (см. рис. 1, а и 2, а).

В осенне-зимний период 2014–2015 гг. динамика температур грунта была совершенно иной (см. рис. 1, б и 2, б). Большое количество жидких осадков, выпавшее в последний месяц перед формированием устойчивого снежного покрова, способствовало увлажнению почвы и предохранило ее от промерзания в период осенних заморозков. Благодаря значительной мощности снежного покрова (см. рис. 1, б) температура верхних слоев грунта в течение всего зимнего сезона оставалась выше 0 °С (см. рис. 2, б). Весной 2015 г. ее снижение, вызванное проникновением талых вод, было зарегистрировано в начальной стадии процесса снеготаяния во время оттепели 23–25 марта, сопровождающейся выпадением жидких осадков, а также в период интенсивного снеготаяния, когда изменение температур грунта наблюдалось по крайней мере до глубины 2,4 м, с некоторым временным лагом. В резуль-

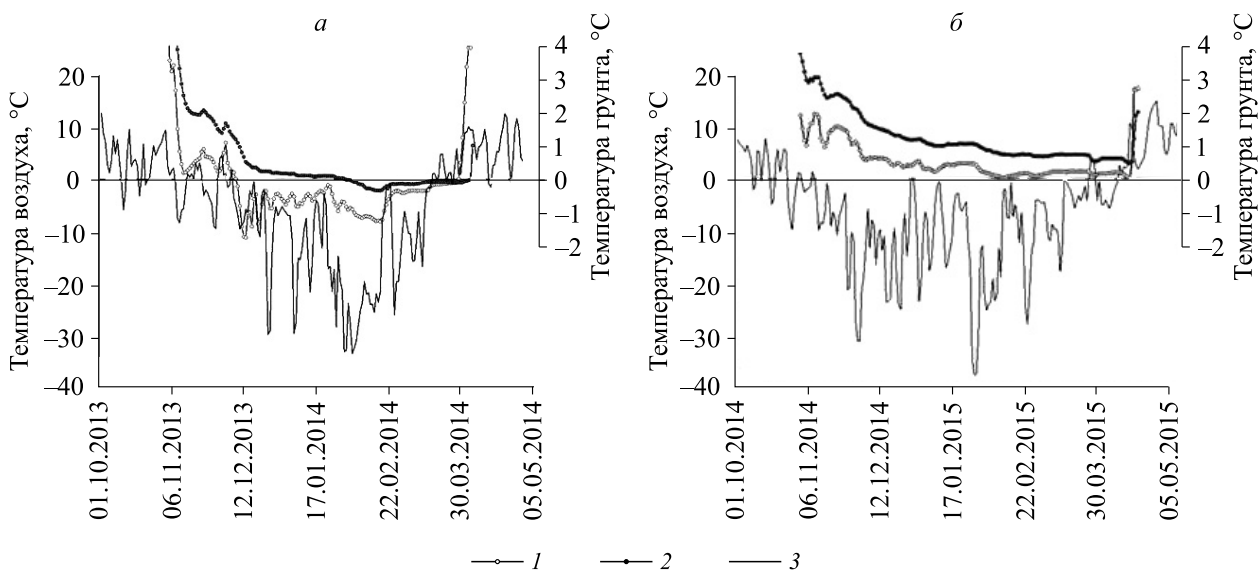


Рис. 2. Временной ход среднесуточных температур грунта и воздуха: а — в 2013–2014 гг.; б — в 2014–2015 гг.

Температура грунта: 1 — на глубине 5 см, 2 — на глубине 30 см; 3 — температура воздуха на высоте 2 м.

тате интенсивной вертикальной инфильтрации талых вод в почву скорость подъема уровня воды в озере оказалась существенно ниже, чем в 2014 г., при этом повышение началось через семь суток после полного схода снега на площадке измерительного комплекса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для бессточных озер, емкость которых невелика по сравнению с объемом поверхностного и подземного притока с площади бассейна, максимальный уровень весеннего наполнения почти всецело зависит от объема весеннего притока того же года. На примере бессточного оз. Красиловского Алтайского края показано, что детализация динамики гидроклиматических параметров, характеризующих уровеньный режим озер в период снеготаяния, позволяет выявить факторы, обуславливающие приток талой воды в водоем. Установлено, что значительный подъем уровня воды весной 2014 г. при относительно низкой интенсивности снеготаяния после малоснежной зимы с невысоким запасом воды в снежном покрове был предопределен условиями температурного режима воздуха в осенне-зимний период, а также состоянием грунта перед началом снеготаяния. Масштабный поверхностный сток в озеро произошел вследствие образования в почве ледяного запирающего слоя на глубину до 30 см, препятствовавшего инфильтрации талых вод в более глубокие слои и развитию обильного грунтового стока. По сути, гидроклиматическими условиями воздуха и почвы в холодный период в бассейнах бессточных озер определяется эффективный объем водосборной площади, из которого впоследствии осуществляется поверхностный и подземный сток талых вод, формирующих максимальный уровень весеннего наполнения водоема.

Мониторинг гидротермического режима воздуха и почвы, особенностей снегонакопления и снеготаяния, глубины промерзания грунта на водосборной площади с использованием автоматических комплексов АПИК дает возможность повысить точность прогноза водности бессточных озер, что является важной задачей для регионов с недостаточным увлажнением или при наличии долговременного тренда снижения влагообеспеченности.

Работа поддержана Соглашением № 14.607.21.0030 (уникальный идентификатор ПНИ RFME-FI60714X0030) в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаменко В. Н. Климат и озера. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 264 с.
2. Шнитников А. В. Внутривековые колебания уровня степных озер Западной Сибири и Северного Казахстана и их зависимость от климата // Труды лаборатории озероведения. — М.: Изд-во АН СССР, 1950. — Т. 1. — С. 28–129.
3. Шнитников А. В. Изменчивость общей увлажненности материков северного полушария // Зап. Геогр. о-ва СССР. Нов. серия. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957. — Т. 16. — С. 264–266.
4. Шнитников А. В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. — Л.: Наука, 1969. — 243 с.
5. Дергачёв В. А. О крупномасштабных природных процессах // Изв. РГО. — 1998. — Т. 130, вып. 6. — С. 58–71.
6. Харламова Н. Ф. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона. — Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013. — 156 с.
7. Зуев В. В., Суторихин И. А., Шелехов А. П., Кураков С. А., Залаева У. И. Измерительный комплекс для регистрации параметров окружающей среды на водном объекте // Ползуновский вестн. — 2014. — № 2. — С. 188–190.
8. Харламова Н. Ф. Колебания уровней степных озер Алтайского края в XX — начале XXI вв. // Экономика природопользования Алтайского региона: история, современность, перспективы: Материалы регион. науч.-практ. конф. (12–13 окт. 2000 г.). — Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2000. — С. 249–255.
9. Лузгин Б. Н. Происхождение Красиловского озера // Изв. Алт. ун-та. Сер. Химия, география, биология. — 1998. — № 4 (9). — С. 113–116.
10. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Вып. 6: Равнинные районы Алтайского края и южная часть Новосибирской области / Ред. В. А. Урываев. — Л.: Гидрометеиздат, 1962. — С. 380–410.
11. Долгосрочный прогноз циклических ЧС, обусловленных весенним половодьем в 2014 году. Главное Управление МЧС по Алтайскому краю [Электронный ресурс]. — <http://www.22.mchs.gov.ru> (дата обращения 11.04.2015).

Поступила в редакцию 13 апреля 2016 г.