

УДК 556.124.1+555.2

ДИНАМИКА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ПАРАМЕТРОВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В БАССЕЙНЕ БЕССТОЧНОГО ПРЕСНОВОДНОГО ОЗЕРА КРАСИЛОВСКОЕ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ) В 2013-2017 ГОДЫ

И.А. Суторихин¹, С.Ю. Самойлова¹, А.А. Коломейцев¹, С.А. Кураков²
¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, E-mail: bastet@iwep.ru
²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

Представлены результаты наблюдений за снежным покровом, жидкими осадками и температурным режимом воздуха и грунта в водосборном бассейне бессточного озера Красиловское (Алтайский край) в 2013-2017 гг. по данным автоматического почвенного измерительного комплекса (АПИК) и снегомерных съемок. Проанализировано влияние гидрометеорологических условий на динамику весеннего подъема уровня воды в озере.

Ключевые слова: мониторинг, снегомерная съемка, толщина снежного покрова, снегозапасы, промерзание грунта.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15706
Дата поступления 9.06.2020

Бессточные озера степной и лесостепной зон Западной Сибири являются значимыми индикаторами климатических изменений. Анализ многолетних колебаний уровней подобных озер показал их тесную связь с компонентами климата, в большей степени с количеством атмосферных осадков. В то время, как связь с ходом изменения температур была менее выражена [1-5]. В этой связи, исследования гидрологического режима бессточных озер в условиях климатических изменений является актуальной задачей.

В последние десятилетия на территории Западной Сибири фиксируется значительное увеличение годовых температур с большими, чем в среднем по России, градиентами. Так, в период с 1966 по 2012 гг. средняя скорость изменения температуры воздуха на метеостанциях степной и лесостепной зон составила в среднем 0.4°C/10 лет, с наибольшими темпами повышения температуры в зимний сезон [6]. При этом на фоне общей тенденции увеличения

засушливости, наблюдается значимый положительный тренд декадной высоты (толщины) снежного покрова на метеостанциях лесостепной зоны (ГМС Барнаул). А с 2005 г. наряду с ростом температур холодного периода отмечается увеличение повторяемости многоснежных зим [7]. Все это способствует изменению гидрологического режима рек и озер. Всего на территории Алтайского края насчитывается до 13 тыс. озер. Большинство из них в степной и лесостепной зонах имеют площадь до 1 км² и глубину не более 2-3 м [8]. Водный режим малых бессточных озер края из-за недостатка гидрометеорологической информации изучен слабо.

В представленной работе приводятся результаты наблюдений за снежным покровом, температурой воздуха, грунта и жидкими осадками на водосборе бессточного пресноводного озера Красиловское (Алтайский край) за 2013-2017 гг. Данные получены с помощью атмосферно-почвенного измерительного комплекса (АПИК), разработанного в

Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН и снегомерных съемок, выполненных сотрудниками ИВЭП СО РАН. Целью данной работы является оценка гидрометеорологических условий в бассейне озера Красиловское с использованием данных натуральных наблюдений, а также выявление основных факторов, формирующих его уровенный режим в весенний период.

Объект исследований

Озеро Красиловское расположено на юго-востоке Западно-Сибирской равнины, в Косихинском районе Алтайского края (рис. 1). Абсолютная высота местности – около 220 м, площади водосбора и зеркала озера 46,11 и 0,8 км², соответственно, длина озера – 2,4 км, средняя ширина – 0,33 км, средняя глубина – 2,7 м, максимальная – 6,5 м. Водоем является бессточным, питается поверхностными и грунтовыми водами. В последние десятилетия произошло значительное сокращение площади акватории и глубины озера: в 1978 г. его максимальная глубина составляла 12 м, в 1998 – 8 м и в 2013 – 6 м.

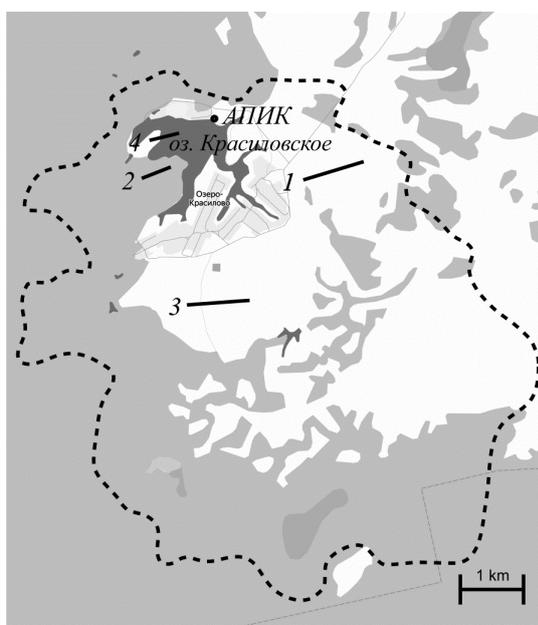


Рис. 1. Снегомерные маршруты в бассейне оз. Красиловского: 1, 3, 4 – полевые; 2 – лесной.

Наличие озерных террас указывает на то, что в прошлом это озеро имело еще большие глубины и площадь водного зеркала. Ландшафты водосбора представлены подтаежными лесами с богатым травяным ярусом, сосновыми борами на песчаных дюнах, болотами и культурными агроландшафтами [9-11]. Климат района континентальный. По данным метеостанции Троицкое средняя температура января составляет – 16,6°С, июля +19,2°С, годовое количество осадков – 569,9 мм.

Оборудование и методы исследований

Атмосферно-почвенный измерительный комплекс (АПИК). Комплекс предназначен для стационарных долговременных автоматических измерений и регистрации основных параметров атмосферы, почвы и снежного покрова. Подобные комплексы функционируют в лесо-болотных экосистемах Западной Сибири [12-13], в бассейне р. Майма (Горный Алтай) [14]. Сравнительная оценка данных совместных наблюдений, полученных с помощью АПИК и метеостанций Росгидромета показала высокую точность измерений: коэффициент корреляции температуры воздуха составил 99 %; температуры почвы на разных глубинах – более 90 %. Погрешность измерения влажности воздуха – не более 5 %, точность определения высоты снежного покрова – (+/- 5) см [15-16].

На территории базы учебных практик Алтайского государственного университета «Озеро Красиловское» комплекс функционировал с июля 2013 г. Он расположен на северном берегу озера, координаты местоположения 53,188598° с.ш. и 84,365905° в.д. В режиме реального времени с интервалом 15 минут проводятся измерения интенсивности солнечной радиации, атмосферного давления, температуры и влажности воздуха, величины жидких осадков, температуры грунта от поверхности до глубины 3,2 м, высоты снежного покрова, уровня воды в озере, а также уровня грунтовых вод. Фото комплекса представлено на рисунке 2.



Рис. 2. Автоматический атмосферно-почвенный измерительный комплекс

Комплекс состоит из двух блоков, один из которых расположен непосредственно на акватории недалеко от уреза воды (Береговой), другой – на берегу (Стационар). Блок «Береговой» включает гидростатический измеритель уровня воды в обсадной трубе длиной 10 м на основе цифрового датчика 26PC05SMT (точность $\pm 1\%$ в диапазоне 0,1-1,5 м). Блок «Стационар» включает измерители температуры и влажности воздуха на основе цифровых датчиков DS18B20 и HIH-4021-003, соответственно, установленных на мачте на высоте 2 и 4 м над поверхностью земли; также в блок входят датчики на основе DS18B20 для измерения температуры грунта на глубинах 0, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 120, 160, 240 и 320 см. Кроме этого, в комплексе имеются измеритель уровня грунтовых вод на глубине 3 м на основе датчика 26PC05SMT (точность $\pm 1\%$); измеритель атмосферного давления на основе датчика MPL115A1 (точность ± 1 кПа в диапазоне 50-115 кПа); измеритель количества жидких осадков на основе цифрового датчика Rain Collector II (точность $\pm 0,2$ мм); измеритель уров-

ня снега на основе цифровых датчиков, разработанный ИМКЭС СО РАН (точность $\pm 0,05$ м в диапазоне 0-1,5 м) [17]. Для решения задачи автоматического измерения высоты снежного покрова с высоким пространственным разрешением был выбран способ определения границы воздух-снег по перепаду температуры. Данный измеритель высоты снежного покрова состоит из большого количества (порядка 100 шт.) цифровых термометров DS18B20, закрепленных термоусадочной пленкой на пластиковом основании высотой 1,5 м, что позволяет увеличить разрешающую способность и точность проводимых измерений [18].

Для верификации данных АПИК на озере Красиловское были использованы метеоданные с электронных ресурсов «gr5» и «погода и климат» за 2013-2017 гг. [19-20] по ГМС Троицкое, расположенной в 30 км от объекта исследования. Коэффициенты корреляции температур по данным АПИК и ГМС Троицкое составили 0,95-0,97, что свидетельствует о высокой точности полученных материалов. Коэффициенты корреляции жидких осадков оказались несколько ниже (0,69-0,72), что обусловлено большей пространственной неоднородностью их распределения.

Снегомерные съемки. Для оценки параметров снежного покрова сотрудниками ИВЭП СО РАН с 2015 г. проводятся ежегодные снегомерные съемки по трем маршрутам, отражающим различные ландшафтные условия водосбора: в лесу и поле, а в 2015 и 2018-2019 гг. непосредственно на акватории озера. Полевые исследования и камеральная обработка результатов наблюдений проводятся в соответствии с общепринятыми требованиями [21]. Съемки проводились в последнюю декаду февраля в период максимального снегонакопления до начала снеготаяния. Толщина снежного покрова измерялась через каждые 10 м (лес) или 20 м (поле); один маршрут включает 40-60 точек, из

которых в 5 (лес) либо в 10 (поле) определяется плотность снега. Измерения высоты снежного покрова проводились с помощью снегомерной рейки типа РС-120М2 (изготовлена в ИВЭП СО РАН), плотности – с помощью стандартного весового снегомера ВС-43. Выполнены расчеты средних значений высоты снежного покрова, их коэффициентов вариации и среднеквадратического отклонения, плотности снега, общего запаса воды в снежном покрове и коэффициентов снегонакопления (соотношение снегозапасов «лес-поле»).

Результаты и обсуждение

Проанализированы гидрометеорологические данные, отражающие процессы снегонакопления, снеготаяния и состояния грунта на водосборе озера за 4 года (аналогично гидрологическим годам): 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016 и 2016-2017. Результаты мониторинга за 2013-2015 гг. частично опубликованы [22].

По результатам наблюдений можно выделить два малоснежных года – 2013-2014 и 2015-2016, два многоснежных – 2014-2015 и 2016-2017. Для получения представления о высоте снежного покрова и снегозапасах на водосборе приведены данные снегомерных съемок (табл. 1). Толщина снежного покрова в конце периода снегонакопления изменялась от 31 см до 122 см на полевом маршруте, от 59 до 142 см – на лесном. В разные годы толщина снежного покрова и снегозапасы в лесу превышают аналогичные параметры в поле на 26-37 % и 16-35 %, соответственно. Минимальные толщина снежного покрова и снегозапасы наблюдались в 2016 г.,

максимальные – в 2017 г. Залегание снежного покрова по территории водосбора неравномерное, что обусловлено ландшафтными условиями.

Рисунок 3 иллюстрирует динамику высоты снежного покрова, температуру воздуха и жидкие осадки с начала его формирования и до полного разрушения по данным АПИК. Для зимы 2013-2014 г. характерно позднее образование устойчивого снежного покрова – 22 декабря (по данным ГМС Троицкое). До его установления наблюдались заморозки до -10°C . В целом, высота снежного покрова была существенно ниже среднепогодной. Значительной отметки (до 800 мм по данным АПИК) она достигла после сильных снегопадов к концу 2 декады февраля.

Октябрь 2014 г. характеризуется значительным количеством жидких осадков. Значительное понижение среднесуточной температуры (ниже -20°C) произошло в третьей декаде ноября при наличии устойчивого снежного покрова высотой до 50 см. В начале апреля в связи с резким ростом положительных температур и выпадением дождей произошло быстрое таяние снежного покрова – период интенсивного снеготаяния составил всего 9 суток [22].

Период формирования устойчивого снежного покрова в 2015-2016 гг. характеризуется чередованием заморозков и потеплений с выпадением жидких осадков. В третьей декаде ноября после заморозков со среднесуточной температурой до -21°C наблюдались оттепели с температурами выше 0°C и жидкими осадками, что обусловило таяние снежного покрова.

Таблица 1

Результаты снегомерных съемок, 2015-2017 гг.

Тип маршрута	2015 ¹		2016 ²		2017 ³	
	П	Л	П	Л	П	Л
Средняя высота снежного покрова, мм	700	950	530	750	690	1100
Средняя плотность снега, г/см ³	0,30	0,30	0,32	0,27	0,31	0,30
Общий запас воды в снежном покрове, мм	213	285	170	203	214	330
Коэффициент вариации C_v	11	11	15	11	25	11
Среднеквадратическое отклонение	8	10	8	8	18	13
Коэффициент снегонакопления K_c	1,34		1,19		1,54	

Примечание: 1 – 17 февраля; 2 – 24-25 февраля; 3 – 18 февраля. П – полевой; Л – лесной.

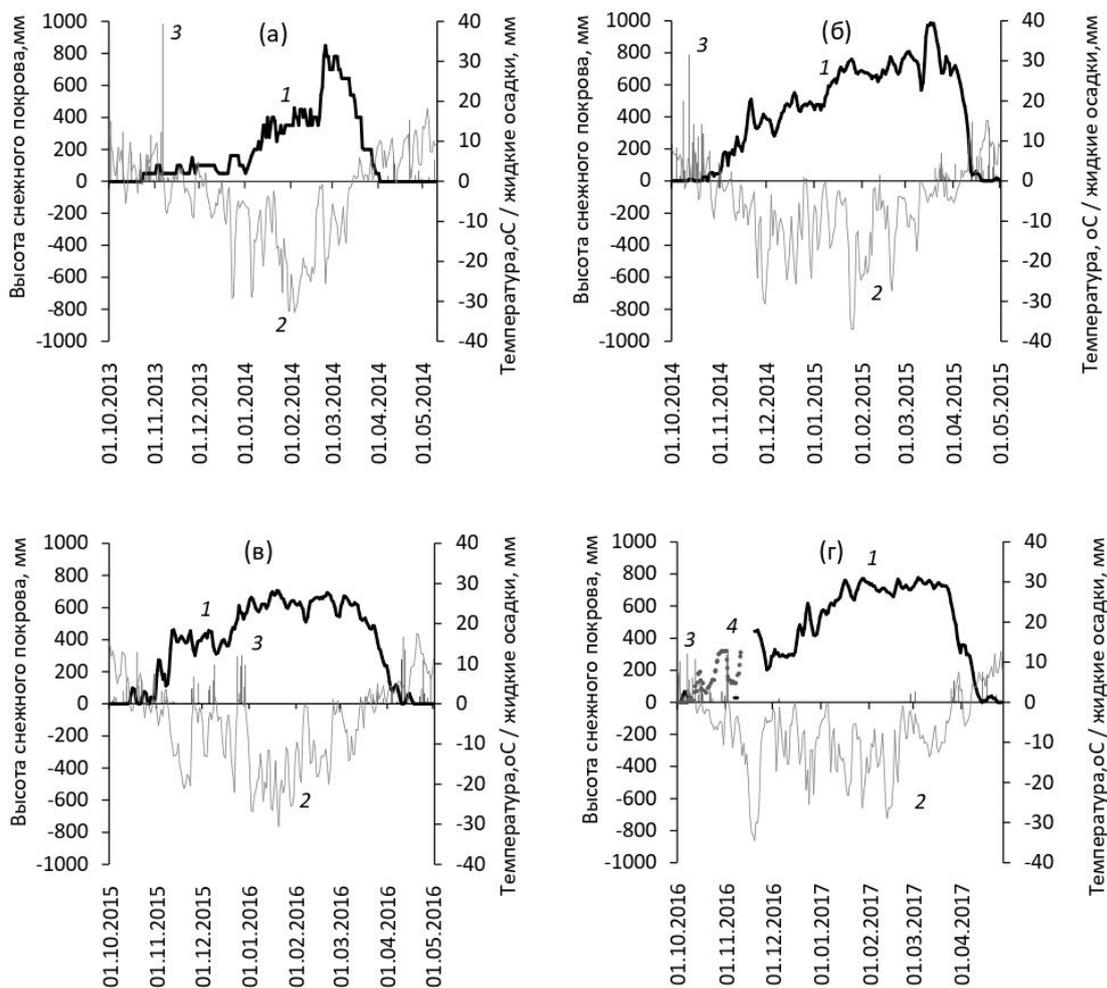


Рис. 3. Динамика высоты снежного покрова, температуры воздуха и жидких осадков: а – 2013-2014; б – 2014-2015; в – 2015-2016; г – 2016-2017 гг. (по данным АПИК); 1 – высота снежного покрова, мм; 2 – температура воздуха на высоте 2-х метров; 3 – жидкие осадки, мм; 4 – высота снежного покрова (по данным ГМС Троицкое).

Начало зимнего периода 2016-2017 гг. характеризуется ранним формированием устойчивого снежного покрова (12 октября, по данным метеостанции Троицкое, на месяц раньше среднемноголетнего) и сильными (до -35°C) ноябрьскими морозами. В октябре 2016 г. в работе датчиков высоты снежного покрова произошел сбой, связанный, вероятно, с образованием ледяной корки на цифровых термометрах. Лишь в период резкого понижения температур до -35°C во второй декаде ноября датчики возобновили свою работу. Для получения представления о динамике снежного покрова в этот период были использованы данные метеостанции Троицкое (кривая 4 на рис. 3г).

Известно, что температура воздуха, количество осадков и высота снежного покрова определяют глубину промерзания грунта. На рисунке 4 представлен ход среднесуточных температур воздуха на высоте 2 м от земной поверхности и грунта на глубинах 5, 30, 120 и 320 см. За период наблюдений промерзание грунта наблюдалось зимой 2013-2014 и 2015-2016 гг. Минимальные температуры грунта зафиксированы зимой 2013-2014 г. По данным АПИК в первой декаде декабря при среднесуточных температурах воздуха около -10°C в отсутствие снежного покрова произошло промерзание грунта до глубины 20 см.

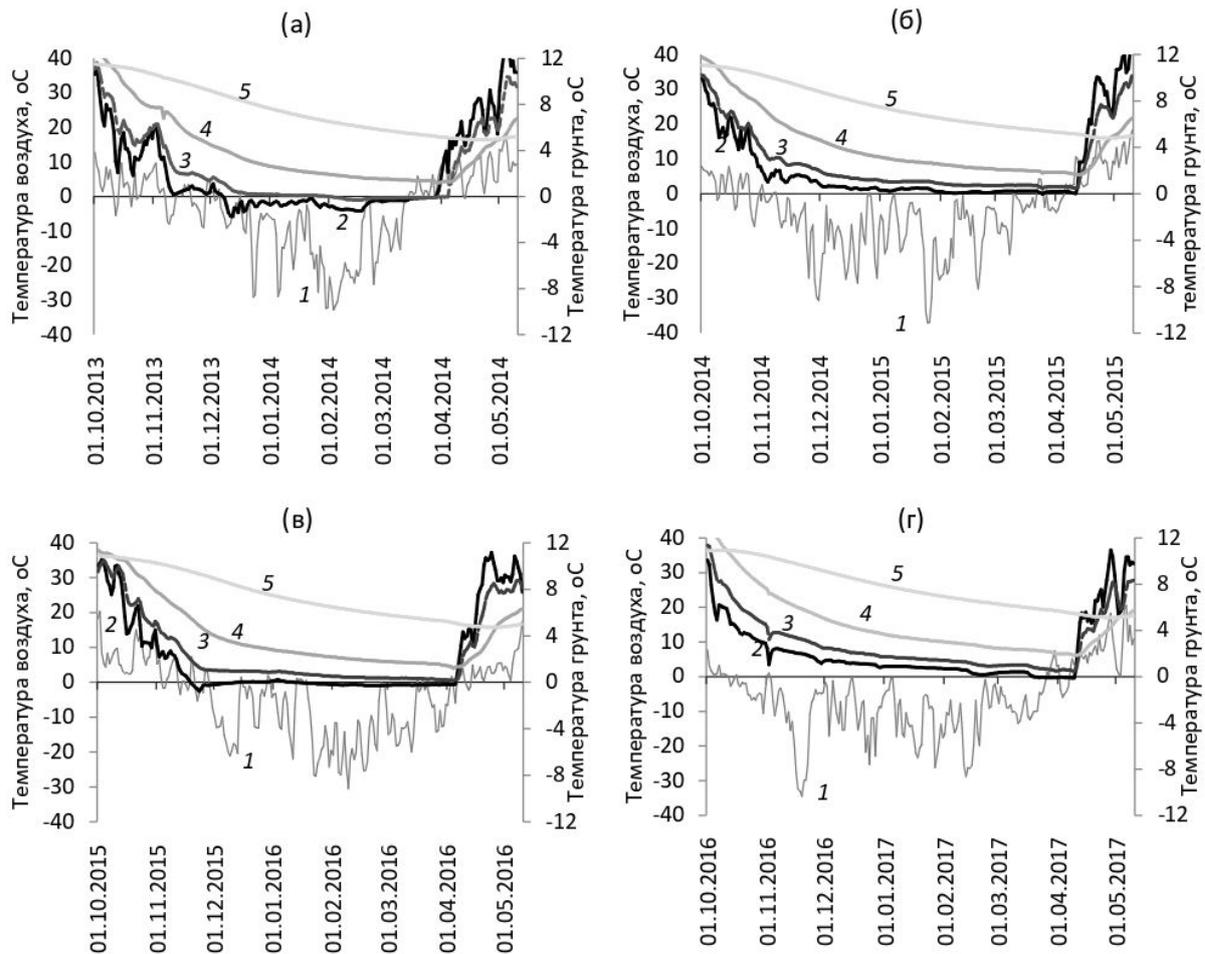


Рис. 4. Среднесуточные температуры воздуха и грунта

а – 2013-2014; *б* – 2014-2015; *в* – 2015-2016; *г* – 2016-2017 гг. (по данным АПИК); 1 – температура воздуха на высоте 2-х метров; 2 – температура грунта на глубине 5 см, 3 – 30, 4 – 120, 5 – 320 см.

Позднее длительный холодный период с конца января до середины февраля со среднесуточной температурой ниже -24°C при небольшой высоте снежного покрова спровоцировали дальнейшее понижение температуры грунта и его промерзание на глубину до 30 см. Во время оттепели 20-23 февраля в результате попадания талой воды в верхние слои мерзлого грунта произошло формирование ледяного запирающего слоя – в период снеготаяния он препятствовал проникновению талых вод в нижележащие слои. Об этом свидетельствует практически нулевой тренд температур грунта в этот период [22].

В третьей декаде ноября 2015 г. в результате чередования заморозков со

среднесуточной температурой до -21°C и оттепелей произошло понижение температуры грунта ниже 0°C в слое глубиной до 5 см. К началу января температура вновь поднялась выше нуля, однако после оттепели 14-18 января, сопровождающейся жидкими осадками и таянием снежного покрова, при возврате холодов температура верхних слоев грунта вновь опустилась ниже 0°C , оставаясь отрицательной до схода снежного покрова.

Зимой 2014-2015 и 2016-2017 гг. температура грунта не опускалась ниже 0°C , т.е. промерзания не наблюдалось. Очевидно, это связано с большим количеством жидких осадков осенью, значительной высотой снежного покрова и

его установлением до наступления сильных морозов.

До формирования и после схода снежного покрова ход температур грунта в приповерхностном слое и температур воздуха, в целом, синхронны. В период устойчивого снежного покрова температура грунта меняется уже незначительно. На глубине 120-320 см ход температур в разные годы практически аналогичен, а минимум наблюдается в апреле. За годы наблюдений глубина промерзания не превышала 30 см.

Полученные материалы о температурном режиме воздуха и почвы, снежном покрове и снеготаяниях позволили оценить влияние каждого из факторов на сток талых вод в озере и подъем его уровня.

Главным фактором, формирующим основную приходную часть водного баланса, является снежный покров, в меньшей степени – жидкие осадки, выпадающие в период снеготаяния. С другой стороны, процесс формирования устойчивого снежного покрова определяет водно-физические свойства почвогрунтов – степень их увлажнения и промерзания, определяющие суммарные потери талого стока. Чем ниже температура воздуха в период установления снежного покрова и чем меньше осадков выпадает в это время, тем интенсивнее процесс промерзания почвы. А наиболее высокие коэффициенты талого стока и малые потери имеют место при сочетании глубокого промерзания с сильным увлажнением почвы [23-25].

Ранее [22] по результатам наблюдений 2013-2015 гг. было отмечено, что для озера Красиловское главным фактором, формирующим уровень наполнения озера, является состояние подстилающей поверхности, а именно – промерзание грунтов, которое определяет их инфильтрационную способность. Последующие годы наблюдений полностью подтвердили это предположение.

Максимальный подъем уровня воды озера относительно его зимней отметки

наблюдался весной 2014 и 2016 гг. – на 1 и 1,5 м, соответственно. Гидрометеорологические условия в период установления снежного покрова способствовали промерзанию грунта с формированием «запирающего» мерзлого горизонта. В таких условиях происходят поверхностный сток талых вод с водосбора без существенных потерь на инфильтрацию и резкий подъем уровня в процессе снеготаяния. В годы без промерзания (2015 и 2017) в результате интенсивной инфильтрации талых вод в нижележащие слои грунта, высота подъема уровня воды в озере оказалась существенно ниже – 0,6 м и 0,4 м, соответственно; подъем уровня озера начался после окончания снеготаяния и происходил медленнее. Особенно характерным в этом отношении является 2017 г. с максимальными снеготаяниями и минимальным подъемом уровня воды.

Заключение

Данные мониторинга, полученные с комплекса АПИК, и материалы снеготаяний позволили проанализировать условия формирования устойчивого снежного покрова в разные годы, его динамику в течение зимы до полного схода. В течение четырех лет наблюдались контрастные гидрометеорологические условия, что позволило выявить следующие закономерности.

1. Гидрометеорологические условия в период установления снежного покрова и его динамика в течение зимы определяют термический режим грунта. В годы с большим количеством жидких осадков осенью и значительными снеготаяниями зимой промерзания грунта не наблюдалось. Максимальная глубина промерзания составила 30 см, что характеризуется поздним установлением снежного покрова в зимний период и его малой (до 40 см) высотой вплоть до третьей декады февраля.

2. Состояние грунтов на водосборе является главным фактором, определяющим соотношение поверхностного и

подземного стока в период снеготаяния. Промерзание грунта и формирование в его поверхностных слоях после оттепелей ледяного «запирающего» слоя способствуют интенсивному стоку талых вод в озеро и резкому подъему его уровня до 1-1,5 м. В годы без промерзания весенний приток воды в озеро осуществляется в основном за счет подземного стока, а подъем уровня происходит

Работа выполнена в рамках финансирования задания Минобрнауки РФ № 5.3279.2017/4.6 и госбюджетного проекта ИВЭП СО РАН № 0383-2016-0002 «Изучение гидрологических и гидрофизических процессов в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование для решения имитационных и прогнозных задач водопользования и охраны водных ресурсов».

Список литературы

1. Адаменко В.Н. Климат и Озера. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 264 с.
2. Барышникова О.Н., Харламова Н.Ф., Козырева Ю.В., Ненашева Г.И. Физико-географическая характеристика комплексного учебно-научного стационара АлтГУ «Озеро Красилово». – Барнаул, 2013. – 112 с.
3. Быков Н.И., Попов Е.С. Наблюдения за динамикой снежного покрова в ООПТ Алтае-Саянского экорегиона (метод. руководство). – Красноярск, 2011. – 64 с.
4. Галахов В.П. Оценка увлажнения юга Западной Сибири с помощью палеолимнологических реконструкций озера Чаны. – Барнаул: Изд-во Алтайского госуниверситета, 2011. – 120 с.
5. Догановский А.М. Закономерности многолетних колебаний уровней оз. Кулундинского // Водные ресурсы Алтайского края, их рациональное использование и охрана. – Барнаул, 1978. – С. 109-112.
6. Дубровская Л.И., Дроздова Д.В., Кураков С.А. Оценка элементов водного баланса и их динамика на заболоченных водосборах васюганского болота // Вестн. Томского государственного педагогического ун-та. – 2011. – № 5 (107). – С. 112-116.
7. Дюкарев Е.А., Кураков С.А., Ушаков В.Г., Киселев М.В., Макеев Е.А. Использование автоматических измерителей температуры для исследования характеристик снежного покрова // Современные проблемы географии и геологии: матер. IV Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием – Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 2017. – С. 246-248.
8. Зуев В.В., Зуева Н.Е., Кураков С.А., Суторихин И.А., Харламова Н.Ф. Динамика весеннего подъема уровня бессточных озер (на примере оз. Красиловское Алтайского края) // География и природные ресурсы. – 2016. – № 4. – С. 126-134.
9. Зуев В.В., Короткова Е.М., Уйманова В.А., Кураков С.А. Сравнительный анализ гидрометеорологических наблюдений Росгидромета и автономного измерительного комплекса «Майма» в бассейне р. Майма (Горный Алтай) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2018. – № 5. – С. 65-74.
10. Калюжный И.Л., Лавров С.А. Гидрофизические процессы на водосборе: экспериментальные исследования и моделирование. – Санкт-Петербург: Нестор-История, 2012. – 615 с.
11. Киселев М.В., Воропай Н.Н., Дюкарев Е.А., Кураков С.А., Куракова П.С., Макеев Е.А. Автоматические метеорологические измерительные комплексы для микроклиматического мониторинга // Китай-Монголия-Россия: географические и экологические

факторы и возможности территориального развития: тез. междунар. географ. конф. «Экономический коридор». – Иркутск: ИГ СО РАН, 2018. – С. 81-82.

12. Китаев Л.М., Аблеева В.А., Асаинова Ж.А., Желтухин А.С., Коробов Е.Д. Сезонная динамика температуры воздуха, снеготопливных запасов и промерзания почвы в центральной части восточно-европейской равнины // *Лед и снег*. – 2017. – Т. 57. – № 4. – С. 518-526.

13. Кураков С.А., Дюкарев Е.А. Автономные измерительные комплексы для мониторинга состояния окружающей среды в удаленных горных районах // *Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность* – 2018: сб. статей по материалам междунар. научно-практ. конф. – Севастополь: Изд-во Севастопольского гос. ун-та, 2018. – С. 684-688.

14. Лузгин Б.Н. Происхождение Красиловоозерного озера // *Изв. Алт. Ун-та. Сер. Химия, география, биология*. – 1998. – С. 113-116.

15. Попов Е.Г. Основы гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеорологическое изд-е, 1968. – 294 с.

16. Суторихин И.А., Букатый В.И., Харламова Н.Ф., Акулова О.Б. Климатические условия и гидрооптические характеристики пресноводных озер Алтайского края. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. – 162 с.

17. Суторихин И.А., Янковская У.И. База данных метеорологических и гидрофизических характеристик для бессточного водного объекта // *Изв. Алт. государственного ун-та*. – 2015. – № 1-2 (85). – С. 66-69.

18. Харламова Н.Ф., Казарцева О.С., Дьякова Г.С. Изменчивость толщины снежного покрова, снеготопливных запасов и снежности зим на территории Алтайского края за период 1966-2015 гг. // *Географические исследования молодых ученых в регионах Азии: матер. Всерос. молодежной конф. с междунар. участием*. – Барнаул, 2016. – С. 41-45.

19. Харламова Н.Ф., Плехова А.В. Изменения климата Алтайского края со второй половины XX в. // *Эколого-географические проблемы регионов России: матер. VII всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием*. – 2016. – С. 103-108.

20. Шнитников А.В. Внутривековые колебания уровня степных озер Западной Сибири и Северного Казахстана и их зависимость от климата // *Тр. лаб. озероведения*. Т. 1. – М., 1950. – С. 28-129.

21. Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария // *Зап. Геогр. об-ва СССР. Нов. серия*. Т.16. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1957. – С. 264-266.

22. Расписание погоды rp5.ru [Электронный ресурс]. – URL: <https://rp5.ru>.

23. Погода и Климат [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/>.

24. Энциклопедия Алтайского края. Т. 1. – Барнаул: Пикет, 1997. – 366 с.

25. Kiselev M.V., Voropay N.N., Dyukarev E.A., Kurakov S.A., Kurakova P.S., Makeev E.A. Automatic meteorological measuring systems for microclimate monitoring // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 190 (2018).

References

1. Adamenko V.N. *Klimat i Oзера*. – L.: Gidrometeoizdat, 1985. – 264 s.

2. Baryshnikova O.N., Kharlamova N.F., Kozyreva Yu.V., Nenasheva G.I. *Fiziko-geograficheskaya kharakteristika kompleksnogo uchebno-nauchnogo statsionara AltGU «Ozero Krasilovo»*. – Barnaul, 2013. – 112 s.

3. Bykov N.I., Popov Ye.S. *Nablyudeniya za dinamikoy snezhnogo pokrova v OOPT Altaye-Sayanskogo ekoregiona (metod. rukovodstvo)*. – Krasnoyarsk, 2011. – 64 s.

4. Galakhov V.P. *Otsenka uvlazhneniya yuga Zapadnoy Sibiri s pomoshchyu paleolimnologicheskikh rekonstruktsiy ozera Chany*. – Barnaul: Izd-vo Altayskogo gosuniversiteta, 2011. – 120 s.

5. Doganovsky A.M. Zakonomernosti mnogoletnikh kolebany urovney oz. Kurlundinskogo // Vodnye resursy Altayskogo kraya, ikh ratsionalnoye ispolzovaniye i okhrana. – Barnaul, 1978. – S. 109-112.
6. Dubrovskaya L.I., Drozdova D.V., Kurakov S.A. Otsenka elementov vodnogo balansa i ikh dinamika na zabolochennykh vodosborakh vasyuganskogo bolota // Vestn. Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo un-ta. – 2011. – № 5 (107). – S. 112-116.
7. Dyukarev Ye.A., Kurakov S.A., Ushakov V.G., Kiselev M.V., Makeyev Ye.A. Ispolzovaniye avtomaticheskikh izmeriteley temperatury dlya issledovaniya kharakteristik snezhnogo pokrova // Sovremennyye problemy geografii i geologii: mater. IV Vseros. nauchno-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem – Tomsk: Izd-vo Tomskogo gos. un-ta, 2017. – S. 246-248.
8. Zuyev V.V., Zuyeva N.E., Kurakov S.A., Sutorikhin I.A., Kharlamova N.F. Dinamika vesennogo podyema urovnya besstochnykh ozer (na primere oz. Krasilovskoye Altayskogo kraya) // Geografiya i prirodnye resursy. – 2016. – № 4. – S. 126-134.
9. Zuyev V.V., Korotkova Ye.M., Uymanova V.A., Kurakov S.A. Sravnitelny analiz gidrometeorologicheskikh nablyudeny Rosgidrometa i avtonomnogo izmeritelnogo kompleksa «Mayma» v bassejne r. Mayma (Gorny Altay) // Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye. – 2018. – № 5. – S. 65-74.
10. Kalyuzhny I.L., Lavrov S.A. Gidrofizicheskiye protsessy na vodosbore: eksperimentalnye issledovaniya i modelirovaniye. – Sankt-Peterburg: Nestor-Istoriya, 2012. – 615 s.
11. Kiselev M.V., Voropay N.N., Dyukarev Ye.A., Kurakov S.A., Kurakova P.S., Makeyev Ye.A. Avtomaticheskkiye meteorologicheskkiye izmeritelnye komplekсы dlya mikroklimaticheskogo monitoringa // Kitay-Mongoliya-Rossiya: geograficheskkiye i ekologicheskkiye faktory i vozmozhnosti territorialnogo razvitiya: tez. mezhdunar. geograf. konf. «Ekonomicheskyy koridor». – Irkutsk: IG SO RAN, 2018. – S. 81-82.
12. Kitayev L.M., Ableyeva V.A., Asainova Zh.A., Zheltukhin A.S., Korobov Ye.D. Sezonnaya dinamika temperatury vozdukhа, snegozapasov i promerzaniya pochvy v tsentralnoy chasti vostochno-evropeyskoy ravniny // Led i sneg. – 2017. – T. 57. – № 4. – S. 518-526.
13. Kurakov S.A., Dyukarev Ye.A. Avtonomnyye izmeritelnye komplekсы dlya monitoringa sostoyaniya okruzhayushchey sredy v udalennykh gornyykh rayonakh // Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost – 2018: sb. statey po materialam mezhdunar. nauchno-prakt. konf. – Sevastopol: Izd-vo Sevastopolskogo gos. un-ta, 2018. – S. 684-688.
14. Luzgin B.N. Proiskhozhdeniye Krasilovskogo ozera // Izv. Alt. Un-ta. Ser. Khimiya, geografiya, biologiya. – 1998. – S. 113-116.
15. Popov Ye.G. Osnovy gidrologicheskikh prognozov. – L.: Gidrometeorologicheskoye izd-e, 1968. – 294 s.
16. Sutorikhin I.A., Bukaty V.I., Kharlamova N.F., Akulova O.B. Klimaticheskkiye usloviya i gidroopticheskkiye kharakteristiki presnovodnykh ozer Altayskogo kraya. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2016. – 162 s.
17. Sutorikhin I.A., Yankovskaya U.I. Baza dannykh meteorologicheskikh i gidrofizicheskikh kharakteristik dlya besstochnogo vodnogo obyektа // Izv. Alt. gosudarstvennogo un-ta. – 2015. – № 1-2 (85). – S. 66-69.
18. Kharlamova N.F., Kazartseva O.S., Dyakova G.S. Izmenchivost tolshchiny snezhnogo pokrova, snegozapasov i snezhnosti zim na territorii Altayskogo kraya za period 1966-2015 gg. // Geograficheskkiye issledovaniya molodykh uchenykh v regionakh Azii: mater. Vseros. molodezhnoy konf. s mezhdunar. uchastiyem. – Barnaul, 2016. – S. 41-45.
19. Kharlamova N.F., Plekhova A.V. Izmeneniya klimata Altayskogo kraya so vtoroy poloviny XX v. // Ekologo-geograficheskkiye problemy regionov Rossii: mater. VII vseros. nauchno-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem. – 2016. – S. 103-108.

20. Shnitnikov A.V. Vnutrivenkovye kolebaniya urovnya stepnykh ozer Zapadnoy Sibiri i Severnogo Kazakhstana i ikh zavisimost ot klimata // Tr. lab. ozerovedeniya. T. 1. – M., 1950. – S. 28-129.

21. Shnitnikov A.V. Izmenchivost obshchey uvlazhnennosti materikov Severnogo polushariya // Zap. Geogr. ob-va SSSR. Nov. seriya. T.16. – M., L.: Izd-vo AN SSSR, 1957. – S. 264-266.

22. Raspisaniye pogody rp5.ru [Elektronnyy resurs]. – URL: <https://rp5.ru>.

23. Pogoda i Klimat [Elektronnyy resurs]. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/>.

24. Entsiklopediya Altayskogo kraya. T. 1. – Barnaul: Piket, 1997. – 366 s.

25. Kiselev M.V., Voropay N.N., Dyukarev E.A., Kurakov S.A., Kurakova P.S., Makeev E.A. Automatic meteorological measuring systems for microclimate monitoring // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 190 (2018).

DYNAMICS OF HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS AND SNOW COVER PARAMETERS IN LAKE KRASILOVSKOYE BASIN (ALTAI KRAI)

I.A. Sutorikhin¹, S.Yu. Samoilova¹, A.A. Kolomeitsev¹, S.A. Kurakov²

¹*Institute for Water and Environmental Problems of SB RAS, Barnaul, bastet@iwep.ru*

²*Institute of monitoring of climatic and ecological systems of SB RAS, Tomsk*

Results of monitoring (2013-2017) of snow cover, air temperature and soil in the basin of basinal freshwater lake Krasilovskoye (Altai Krai) are presented. The data were obtained with the use of the automated measuring complex (AMC) developed by IMCES SB RAS, whereas IWEP SB RAS performed snow surveys. The intra- and interannual dynamics of snow thickness and soil temperature in winter (2013-2017) was analyzed.

Key words: monitoring, snow survey, snow cover thickness, snow reserves, depth of frost zone.

Received June 9, 2020