

**HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS AND WATER REGIME OF THE LAKE KRASILOVSKOYE (ALTAI KRAI) IN 2013-2017**Sutorikhin I.A.<sup>1</sup>, Samoilova S.Yu.<sup>1</sup>, Kolomeitsev A.A.<sup>1</sup>, Kurakov S.A.<sup>2</sup><sup>1</sup> Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul<sup>2</sup> Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk

Corresponding authors: bastet@iwep.ru

**Citation:** Sutorikhin I.A., Samoilova S.Yu., Kolomeitsev A.A., Kurakov S.A. 2019. Hydrometeorological conditions and water regime of the basinal freshwater lake Krasilovskoye (Altai Krai) in 2013-2017 // Environmental dynamics and global climate change. V. 11. P. 49-53**DOI:** 10.17816/edgcc34019**Text of the article in English:** <https://edgccjournal.org/EDGCC/article/view/34019>

The paper presents the analysis of the data on monitoring the hydrological state of the basinal freshwater lake Krasilovskoye (Altai Krai) and hydrometeorological conditions in its catchment in 2013-2017. The data from the automated measuring complex developed at the Institute of monitoring of climatic and ecological systems of SB RAS as well as the data on snow surveys carried out by researchers from IWEP SB RAS in the catchment and water area of the lake are used. Observations of water regime in the basin lake in the years with contrasting hydro-climatic conditions made it possible to identify the dominant factor determining its spring filling and to quantify its level dynamics. The magnitude and rate of level rise in spring mainly depend on hydro-climatic conditions of air and soil of the previous cold period, which in turn determine the ratio of surface and underground runoff in spring.

It was found that in the winter of 2014 and 2016, hydro-climatic conditions of the cold period contributed to the freezing of soil and the formation of a "locking" ice layer, which prevented vertical infiltration of melt water. Intensive surface runoff induced a drastic level rise up to 1-1.5 m. In 2015 and 2017, at the absence of soil freezing, the water rise was much lower, despite large snow reserves and intensive snowmelt. In the spring of 2017, the driven out to the water surface diluted near-bottom layer enriched with hydrogen sulfide caused mass fish death after insignificant water inflow to the lake.

**Key words:** basinal lake, monitoring, lake level, snow reserves, freezing, snowmelt

Представлены данные мониторинга гидрометеорологических условий и гидрологического состояния бессточного пресноводного озера Красиловское в 2013-2017 гг., полученные с помощью автоматизированного агропромышленного измерительного комплекса (АПИК) и снегомерных съемок. Проанализировано влияние гидроклиматических условий на характер весеннего подъема уровня воды в озере. Величина и скорость подъема уровня в наибольшей степени зависит от температурного режима грунта в предшествующий холодный период. Установлено, что зимой 2014 и 2016 гг. условия холодного периода способствовали промерзанию грунта и формированию «запирающего» ледяного слоя, который препятствовал вертикальной инфильтрации талых вод. Интенсивный сток талых вод вызвал резкий подъем уровня до 1-1,5 метров. В 2015 и 2017 гг., когда промерзания грунта не наблюдалось, подъем уровня был существенно ниже, несмотря на значительные снегозапасы и высокую интенсивность снеготаяния.

**Ключевые слова:** бессточное озеро, мониторинг, уровень озера, снегозапасы, промерзание, снеготаяние**ВВЕДЕНИЕ**

В последние десятилетия в Западной Сибири наблюдается снижение водности озер лесостепной и степной зон Ишимской, Барабинской и Кулундинской равнин, связанное с процессами потепления и аридизации климата. Анализ многолетних колебаний уровня крупных озер показал их тесную связь с компонентами климата. При этом различные озерные системы реагируют на климатические изменения по-разному [Шнитников, 1950, 1957; Догановский, 1978; Адаменко, 1985; Галахов, 2011; MeLanghin and

Cohen, 2011; Харламова, 2013]. Малые бессточные озера, ввиду недостатка гидрометеорологической информации, изучены слабо.

Водный режим бессточных озер формируется под влиянием множества факторов, определяющих поступление влаги на территорию озера и водосбора. Для решения задач комплексного мониторинга водного объекта нами использован измерительный комплекс АПИК, созданный в ИМКЭС СО РАН (г. Томск) и установленный на территории базы учебных практик Алтайского государственного университета «Озеро Красилово» в 2013 г. Он позволяет в автономном

режиме получать информацию об основных метеопараметрах атмосферы и почвы, высоте снежного покрова, уровне озерных и грунтовых вод. Кроме того, сотрудниками ИВЭП СО РАН, начиная с 2015 г., проводятся ежегодные снегомерные съемки. Целью данной работы являлся мониторинг и анализ гидрометеорологических условий на водосборе бессточного озера Красиловское, а также оценка их влияния на уровень воды в период снеготаяния.

## ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Бессточное озеро Красиловское расположено на юго-востоке Западно-Сибирской равнины. Абсолютная высота местности составляет около 220 м, площади водосбора и зеркала озера – 46,11 и 0,8 км<sup>2</sup> соответственно, длина озера – 2,4 км, средняя ширина – 0,33 км, средняя глубина – 2,7 м, максимальная – 6,5 м. Озеро имеет бессточный режим, питается поверхностными и грунтовыми водами. В последние десятилетия произошло значительное сокращение озера: так, в 1978 г. его максимальная глубина составляла 12 м, в 1998 г. – 8 м. Наличие озерных террас указывает на то, что в прошлом озеро Красиловское имело еще большие размеры. Направление эволюции озера – заиливание и зарастание [Лузгин, 1998; Суторихин с соавт., 2014; Зуев с соавт., 2016].

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В основе работы – данные, полученные с измерительного комплекса АПИК. В режиме реального времени с периодическим интервалом в любом необходимом для исследователя диапазоне (в нашем случае 15 минут) им производятся измерения следующих параметров: интенсивность суммарной и рассеянной солнечной радиации, атмосферное давление, температура и относительная влажность воздуха (на высоте 2 и 4 м), величина жидких осадков, высота снежного покрова, температура грунта (до глубины 3,2 м), уровень воды в озере.

Для оценки параметров снежного покрова сотрудниками ИВЭП СО РАН, начиная с 2015 г., проводятся ежегодные снегомерные съемки по трем маршрутам: в лесу, поле и непосредственно на акватории озера. Съемки проводятся во второй половине зимы до начала снеготаяния, определяется толщина, плотность и запасы воды в снежном покрове. Полевые работы и камеральная обработка результатов наблюдений производятся в соответствии с общепринятыми требованиями [Быкови Попов, 2011]. Для

оценки среднесезонных гидроклиматических параметров района и верификации данных мониторинговых наблюдений использованы методические указания по станции Троицкое с сайта «Погода и климат» и базы данных ИВЭП СО РАН.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Авторами проанализированы ежегодные гидрометеорологические данные с начала октября по май, отражающие процессы снежного накопления, снеготаяния и связанного с ними весеннего притока воды в озеро (таблица 1). Часть результатов мониторинга, полученных в 2013 – 2015 гг., были опубликованы ранее [Зуев с соавт., 2016].

На рисунке 1 представлен ход среднесуточных температур воздуха на высоте 2 м и грунта на глубине 5 и 30 см по данным АПИК. На рисунке 2 представлена динамика высоты снежного покрова, сумма жидких осадков и уровень воды в озере. До 2015 г. высота уровня воды показана по превышению над гидростатическим датчиком. Затем летом 2015 г. была выполнена переустановка и привязка датчика к балтийской системе высот, уровень воды представлен в абсолютных отметках.

За 4 года исследований авторы имели возможность наблюдать контрастные гидрометеорологические условия. Максимальный подъем уровня – более чем на 1,5 м относительно зимнего – наблюдался весной 2014 г. (таблица 1, рис. 2, а). При этом сумма жидких осадков, высота снежного покрова и снегозапасы были существенно ниже, чем в последующие годы, когда подъем уровня не превышал 1 м. Основным фактором, определившим высокий уровень озерных вод в 2014 г., явилось значительное промерзание грунта зимой 2013-2014 гг. [Зуев с соавт., 2016].

Известно, что чем ниже температура воздуха в период установления снежного покрова и чем меньше осадков выпадает в это время, тем интенсивнее процесс промерзания почвы [Буракови Иванова, 2010]. В этот год количество осадков в октябре-ноябре было ниже среднесезонной нормы на 20%, формирование устойчивого снежного покрова произошло 22 декабря, в течение зимы наблюдались сильные и длительные заморозки, а снегозапасы были в 1,5 раза ниже среднесезонных. Промерзание грунта к середине февраля достигло глубины 30 см. (рис.1, а).

Впоследствии во время значительной оттепели 20-23 февраля 2014 г. в результате просачивания воды в верхние слои мерзлого грунта произошло образование ледяного «запирающего» слоя. Хорошо увлажненная мерзлая почва при температуре 2-3° ниже нуля становится практи-

чески водонепроницаемой [Попов, 1968]. Таким образом, в период снеготаяния произошел интенсивный сток аккумулярованных талых вод в озеро. В осенне-зимний период 2014-2015 гг., благодаря значительной высоте снежного покрова и большому количеству жидких осадков в предшествующий период промерзание грунтов отсутствовало (рис. 1, б). В результате интенсивной инфильтрации талых вод скорость и высота подъема уровня воды в озере оказались существенно ниже, чем в предыдущий год (табл. 1, рис. 2, б). Весной 2015 года в результате раннего (8 апреля) перехода среднесуточной температуры через 0°C и резкого потепления, таяние снежного покрова произошло значительно быстрее, чем обычно. Однако на наполнение озера это не повлияло — интенсивный подъем уровня начался через 7 суток после окончания снеготаяния.

В начале зимы 2015 г. произошло уменьшение температуры грунта до 0°C в слое глубиной до 5 см. Причиной подобного промерзания грунта явилось незначительное количество осадков осенью 2015 года, а также высота снежного покрова была ниже среднегодовой нормы. Чередование заморозков и оттепелей с выпадением жидких осадков способствовали формированию «запирающего» мерзлого горизонта и стоку талых вод с водосбора без существенных потерь на инфильтрацию.

В осенне-зимний период 2016-2017 гг. гидрометеорологические условия резко отличались от среднегодовой нормы. Началу зимы предшествовала дождливая осень: в октябре 2016 г. сумма осадков превысила среднегодовую в 2 раза, что способствовало насыщению водосбора водой и подъему уровня озера до отметки 214,1 м (для сравнения, осенью предыдущего 2015 г. уровень был ниже на 60-70 см (рис. 2в) и достигал не более 213,4-213,5 м). Установление снежного покрова произошло в рекордно ранние сроки — во 2 декаде октября. Даже в условиях низких (до -34,5°) температур ноября температура грунта на глубине 5 см оставалась положительной (рис. 1г). Значительная высота снежного покрова и снеготопливы препятствовали промерзанию в течение всей зимы. В таких условиях происходила постоянная инфильтрация талых вод в грунт, и поверхностный сток был минимальным. И хотя абсолютная отметка уровня воды весной 2017 г., как и в 2016 г., достигла около 214,4 м, подъем происходил медленнее, а его величина составила всего 40 см.

При послойном отборе проб воды батометром в период ледостава, было обнаружено, что придонный слой озера обогащен сероводородом. Сероводород является продуктом процес-

сов гниения в иловом слое, толщина которого, по нашим наблюдениям, достигает 50-70 см, а на отдельных участках — до 120 см. Весной 2017 года придонный слой из-за естественного температурного перемешивания был вытеснен на поверхность. Из-за недостаточного притока талых вод произошла массовая гибель рыбы.

Таким образом, первостепенное влияние на подъем уровня воды оказывает промерзание грунтов на территории водосборного бассейна.

Промерзание грунта и формирование в его поверхностных горизонтах ледяного «запирающего» слоя в 2014 и 2016 гг. способствовали интенсивному стоку талых вод и резкому подъему уровня до окончания снеготаяния на высоту до 1-1,5 м. В годы без промерзания (2015 и 2017) весенний приток воды в озеро осуществлялся в основном за счет подземного стока, а подъем уровня происходил после окончания снеготаяния и менее интенсивно. За годы наблюдений глубина промерзания не превысила 30 см.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью данных измерений комплекса АПИК и снегомерных съемок удалось проанализировать гидрометеорологические параметры водосбора оз. Красиловское, оценить весенний уровеньный режим в разные годы.

Наблюдение за режимом бессточного пресного озера Красиловское в годы с принципиально различными гидроклиматическими условиями позволило выявить главные факторы, определяющие весенний подъем уровня. В наибольшей степени приток воды и величина подъема уровня зависит от состояния грунтов на водосборе, определяющего соотношение поверхностного и подземного стока в период снеготаяния.

Мониторинг гидроклиматических параметров бассейнов малых бессточных озер с помощью автоматических комплексов типа «АПИК» дает возможность более точной оценки и прогноза их водности в условиях изменяющегося климата.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаменко В.Н. 1985. Климат и Озера. Ленинград: Гидрометеоздат, 264 с. [Adamenko V.N. 1985. Klimat i Oзера. Leningrad: Gidrometeozdat. (In Russian)].
2. Бураков Д.А., Иванова О.И. 2010. Анализ формирования и прогноз стока весеннего половодья в лесных и лесостепных бассейнах Сибири // Метеорология и гидрология. № 6. С. 87-100. [Burakov D.A., Ivanova O.I. 2010. Analysis of formation and forecast of spring snowmelt flood runoff in forest and forest-steppe basins of Siberian rivers // Russian Meteorology and Hydrology. V. 35. P. 421-431. (In Russian)].

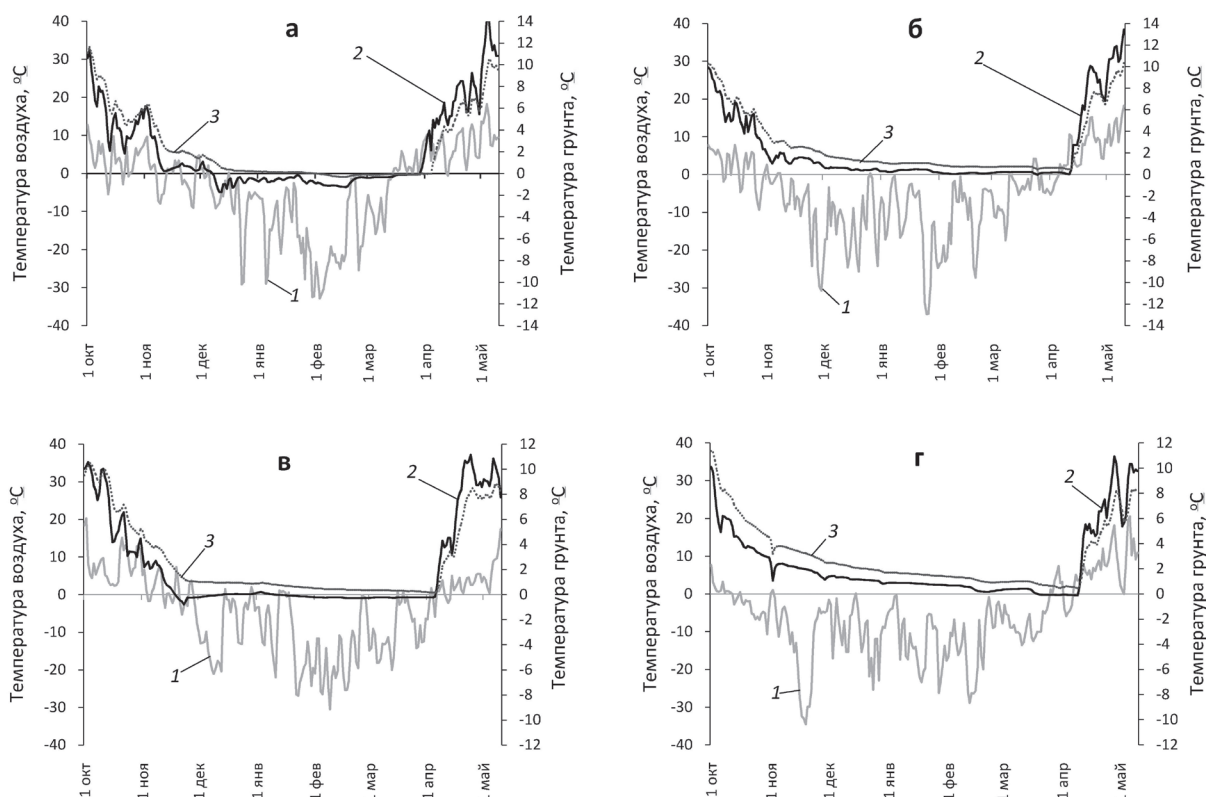
3. Быков Н.И., Попов Е.С. 2010. Наблюдения за динамикой снежного покрова в ООПТ Алтае-Саянского экорегиона. Красноярск: Город. 64 с. [Bykov N.I., Popov E.S. 2010. Nablyudeniya Za Dinamikoy Snezhnogo Pokrova v OOPT Altae-Sayanskogo Ekoregiona. Krasnoyarsk: Gorod. (In Russian)].
4. Галахов В.П. 2011. Оценка увлажнения юга Западной Сибири с помощью палеолимнологических реконструкций озера Чаны. Барнаул: Изд-во АлтГУ. 120 с. [Galakhov V.P. 2011. Otsenka Uvlazhneniya Yuga Zapadnoy Sibiri s Pomoshch'yu Paleolimnologicheskikh Rekonstruktsiy Oзера Chany. Barnaul: Izd-vo AltGU. (In Russian)].
5. Догановский А.М. 1978. Закономерности многолетних колебаний уровней оз. Кулундинского // Водные ресурсы Алтайского края, их рациональное использование и охрана. Барнаул. С. 109-112 [Doganovskiy A.M. 1978. Zakonomernosti mnogoletnikh kolebaniy urovney oz. Kulundinskogo // Vodnye Resursy Altayskogo Kraya, Ikh Ratsional'noe Ispol'zovanie i Okhrana. Barnaul. P. 109-112. (In Russian)].
6. Зуев В.В., Зуева Н.Е., Кураков С.А., Суторихин И.А., Харламова Н.Ф. 2016. Динамика весеннего подъема уровня бессточных озер (на примере озера Красиловское Алтайского края) // География и природные ресурсы. № 4. С. 126-134. [Zuev V.V., Zueva N.E., Kurakov S.A., Sutorikhin I.A., Kharlamova N.F. 2016. Dinamika vesennego pod'ema urovnya besstochnykh ozer (na primere ozera Krasilovskoe Altayskogo kraja) // Geography and Natural Resources. V. 4. P. 76-80.] doi: 10.21782/GIPRO206-1619-2016-4(76-80)
7. Лузгин Б.Н. 1998. Происхождение Красиловского озера // Изв. Алт. Ун-та. Сер. Химия, география, биология. № 4. С. 113-116. [Luzgin B.N. 1998. The origin of the Krasilovo lake // Izvestiya of Altai State University. V. 4. P. 113-116. (In Russian)].
8. Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 20.02.2019). [Weather and climate. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (the data of access: 20.02.2019).
9. Попов Е.Г. 1968. Основы гидрологических прогнозов. Гидрометеиздат, Ленинград: 294 с. [Popov E.G. 1968. Osnovy Gidrologicheskikh Prognozov. Leningrad: Gidrometeoizdat. (In Russian)].
10. Суторихин И.А., Букатый В.И., Харламова Н.Ф., Акулова О.Б. 2014. Сезонные изменения спектральной прозрачности и концентрации хлорофилла в разнотипных озерах // Оптика атмосферы и океана. № 27. С. 801-806. [Sutorikhin I.A., Bukaty V.I., Akulova O.B. 2014. Seasonal changes of water spectral transparency and concentration of chlorophyll a in different-type lakes // Atmospheric and Oceanic Optics. V. 27. P. 801-806. (In Russian)].
11. Харламова Н.Ф. 2013. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона. Барнаул: Изд-во АлтГУ. 156 с. [Kharlamova N.F. 2013. Otsenka i Prognoz Sovremennykh Izmeneniy Klimata Altayskogo Regiona. Barnaul: Izd-vo AltGU. 156 pp. (In Russian)].
12. Шнитников А.В. 1950. Внутривековые колебания уровня степных озер Западной Сибири и Северного Казахстана и их зависимость от климата // Труды лаб. озероведения. С. 28-129 [Shnitnikov A.V. 1950. Vnutrivekovye kolebaniya urovnya stepnykh ozer Zapadnoy Sibiri i Severnogo Kazakhstana i ikh zavisimost' ot klimata // Trudy Lab. Ozerovedeniya. P. 28-129 (In Russian)].
13. Шнитников А.В. 1957. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария // Зап. Геогр. о-ва СССР. Нов. серия. М.; Л.: Изд-во АН СССР. С. 264-266 [Shnitnikov A.V. 1957. Izmenchivost' obshchey uvlazhnennosti materikov Severnogo polushariya // Zapiski Geograficheskogo Obshchestva SSSR. Novaya Seriya., Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR. P. 264-266
14. MeLanghin D.L., Cohen M.J. 2011. Thermal artifacts in measurements of finescale water level variation // Water Resources. V. 47. W0901.

Таблица 1. Гидрометеорологические условия и подъем уровня воды в оз. Красиловское в 2013-2017 гг.

Показатель	Период наблюдений			
	01.10.2013-10.05.2014*	01.10.2014-10.05.2015*	01.10.2015-10.05.2016	01.10.2016-10.05.2017
Сроки установления устойчивого снежного покрова	22 декабря	17 ноября	9 ноября	12 октября
Количество жидких осадков за период установления снежного покрова (октябрь-ноябрь), мм	125,4	167,4	81	109,8
Средняя высота снежного покрова к началу снеготаяния, мм	750	825**	640**	900**
Запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния, мм	~50	249**	187**	272**
Период интенсивного снеготаяния	12-30 марта (19 сут.)	6-14 апреля (9 сут.)	23.03-08.04 (16 сут.)	25.03-12.04 (19 сут.)
Средняя температура воздуха в период интенсивного снеготаяния, °С	1,6	4,1	2,7	1,4
Количество жидких осадков за период снеготаяния, мм	0	41,6	14	14,6
Начало весеннего подъема уровня	20 марта	20 апреля	30 марта	10 апреля
Величина весеннего подъема уровня, мм.	1540	630	1000	400

Примечание: \* – данные из опубликованных ранее материалов [Зуев с соавт., 2016];  
 \*\* – по материалам снегомерных съемок

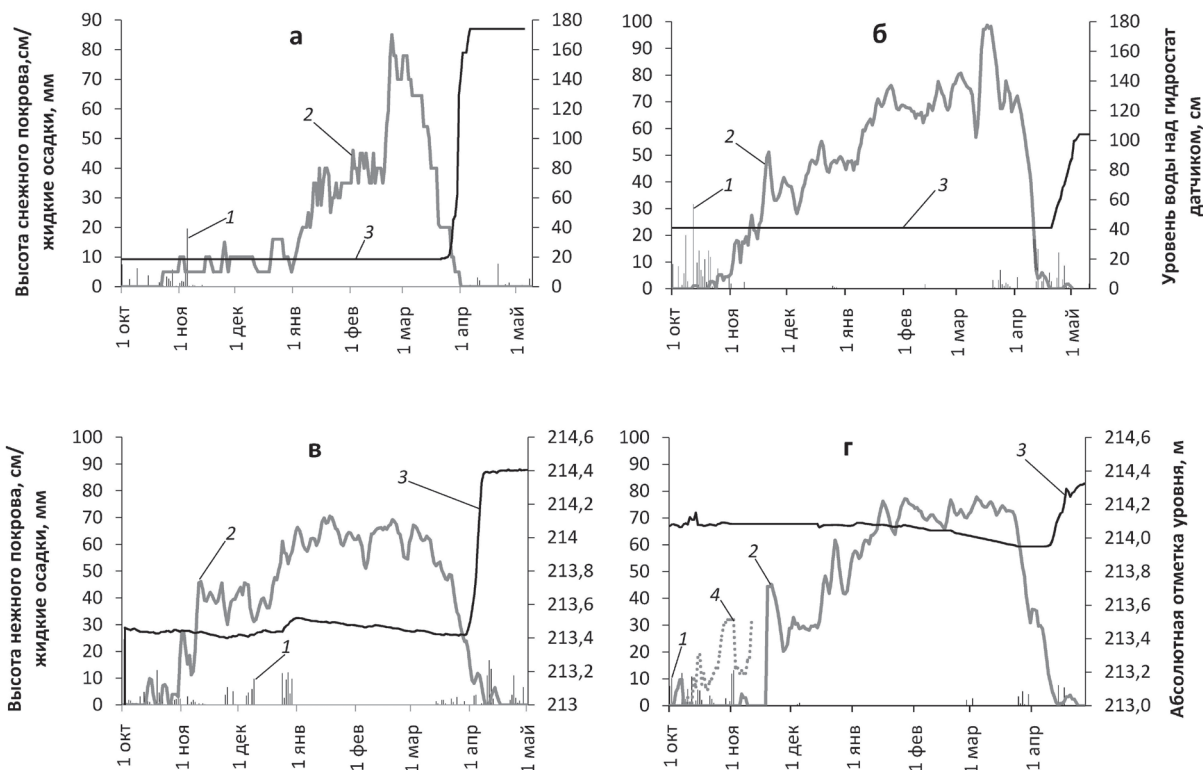




**Рис. 1.** Среднесуточные температуры воздуха и грунта:

**а** – в 2013-14 гг., **б** – в 2014-15 гг., **в** – в 2015-16 гг.; **г** – в 2016-17 гг.

**1** – температура воздуха на высоте 2 м; **2** – температура грунта на глубине 5 см; **3** – то же, на глубине 30 см.



**Рис. 2.** Динамика высоты снежного покрова, уровня воды в озере и жидкие осадки по данным АПИК:

**а** – в 2013-14 гг., **б** – в 2014-15 гг., **в** – в 2015-16 гг.; **г** – в 2016-17 гг.

**1** – жидкие осадки, мм; **2** – толщина снежного покрова, см; **3** – уровень воды; **4** – толщина снежного покрова (представлена по данным ГМС Троицкое, в связи со сбоем в работе датчика снежного покрова АПИК)