

Научная статья
УДК 556.124.2(571.151)
doi: 10.17223/25421379/25/7

СНЕГОВОЕ ПОЛОВОДЬЕ В НИЗКОГОРЬЯХ БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ ОБИ (НА ПРИМЕРЕ МАЛОГО ВОДОСБОРА Р. МАЙМА)

Лилия Федоровна Лубенец¹, Дмитрий Владимирович Черных²,
Андрей Алексеевич Коломейцев³, Светлана Юрьевна Самойлова⁴,
Дмитрий Константинович Першин⁵



^{1, 2, 3, 4, 5} *Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия*
² *Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия*
⁵ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*
¹ *lilia_lubenets@mail.ru*
² *chernykh@mail.ru*
³ *kolomeycev@iwep.ru*
⁴ *bastet05@list.ru*
⁵ *dmitrypersh@gmail.com*

Аннотация. Выполнен анализ снегового половодья на р. Майма за период 1997–2017 гг. Изложены результаты анализа скорости и длительности нарастания суточной температуры воздуха в период весеннего снеготаяния. Изучено влияние метеорологических параметров на объем половодья и динамику расходов воды. На основании данных снегомерных съемок 2015–2017 гг. выполнена оценка роли талых вод в формировании стока половодья, рассчитаны коэффициенты талого стока.

Ключевые слова: Алтай, низкогорный бассейн р. Майма, снеготаяние, снеговое половодье, слой стока, коэффициент стока

Источник финансирования: работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (№ FUFZ-2021-0007) при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-05-00007-а). База данных снегомерных наблюдений сформирована в рамках проекта РФФИ № 19-35-60006.

Для цитирования: Лубенец Л.Ф., Черных Д.В., Коломейцев А.А., Самойлова С.Ю., Першин Д.К. Снеговое половодье в низкогорьях бассейна Верхней Оби (на примере малого водосбора р. Майма) // Геосферные исследования. 2022. № 4. С. 109–122. doi: 10.17223/25421379/25/7

Original article
doi: 10.17223/25421379/25/7

SNOWMELT-RUNOFF IN LOW MOUNTAINS OF THE UPPER OB BASIN (BY THE EXAMPLE OF A SMALL LOW-MOUNTAIN MAIMA CATCHMENT)

Lilia F. Lubenets¹, Dmitry V. Chernykh², Andrey A. Kolomeyev³,
Svetlana Yu. Samoylova⁴, Dmitry K. Pershin⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} *Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia*
² *Altai State University, Barnaul, Russia*
⁵ *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*
¹ *lilia_lubenets@mail.ru*
² *chernykh@mail.ru*
³ *kolomeycev@iwep.ru*
⁴ *bastet05@list.ru*
⁵ *dmitrypersh@gmail.com*

Abstract. For analysis of a snowmelt runoff of the low-mountain Maima catchment (Russian Altai) we used the daily data from the Kyzyl-Ozek weather station (air temperature, precipitation), the Maima gauge (water discharge) for 1997–2017 and the data on snow measurement works (2015–2017). Dynamics of major climatic parameters of winter (air temperature, precipitation)

and characteristics of floods over the period of observations (since 1939) were studied. Hydrometeorological processes of spring snowmelt (1997–2017) were analyzed, and flood flow hydrographs with specified melt, rain and ground water were constructed and analyzed as well. The linear dependence (correlation coefficient: 0,84) of snowmelt runoff depth and total solid precipitation for the cold period was obtained. A quantitative assessment of heat and cold waves responsible for a timeframe and intensity of snowmelt was performed. The analysis of dynamics of water discharge caused by rainfalls after the beginning of snow cover melt as well as characteristics of heat and cold waves made it possible to estimate the time lag of melt- and rainwater to the river network during the high water period (1–2 days). Maximum discharge (20,6–110 m³/s) usually occurred after rise in average daily temperature above 20 °C, or it was associated with heavy rains. On average, the peak of high water was observed in 24 days after its beginning. In the Maima basin and in Altai as a whole, the rise in temperature and reduction in precipitation amount during the cold period was recorded for the whole period of observation (since 1939). During the cold period of 1997–2017, precipitation increased slightly, while average temperature-by 0.7 °C. Due to climate changes, a shift in dates of high water and maximum discharges occurred 5–6 days earlier in 1997–2017, as compared to 1940–1975 (before sharp warming onset in the region). This was due to temperature rise and reduced cold period. A significant change in intra-annual distribution of runoff (i.e. reduction in share of flood runoff in annual runoff from 49.2 to 36%) was noted. From the beginning of observations, annual runoff, total runoff depth for the flood period and maximum flood discharge fell by 3.5%, 28.8% and 31.8%, respectively. Using the snow survey data (2015–2017), we assessed the meltwater role in the formation of flood and annual runoff. The share of snowmelt runoff in annual one ranged from 27 to 41%. The coefficient of meltwater runoff made up 0,59–0,81 thus correlating well with the previously obtained data for other Altai rivers. Maximum snowmelt runoff (0.81) was marked in the spring of 2016 after a snowless winter. This was induced by greater soil freezing and less infiltration loss of snowmelt runoff.

In the period of high water recession, the coefficients of rain flood-induced runoff were 3–3,5 times lower showing less changeability.

Keywords: Altai, low-mountain, Maima River basin, snow water equivalent, snowmelt-runoff, runoff depth, runoff coefficient

Source of financing: The study was carried out within the framework of the Research Program of IWEP SB RAS (№ FUFZ-2021-0007) with a partial support from the Russian Foundation for Basic Research (projects No. 18-05-00007-a). The snow surveys database was formed in the framework of RFBR project № 19-35-60006.

For citation: Lubenets L.F., Chernykh D.V., Kolomeizev A.A., Samoylova S.Yu., Pershin D.K. (2022) Snowmelt-runoff in low mountains of the Upper Ob basin (by the example of a small low-mountain Maima catchment). *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 4. pp. 109–122. (In Russian). doi: 10.17223/25421379/25/7

Введение

Основной целью снежной гидрологии является изучение вклада снега в речной сток, точное прогнозирование сроков и объемов снегового половодья [Holko, Gorbachova, Kostka, 2011]. При этом водный цикл, в котором преобладают талые воды, чрезвычайно чувствителен к климатическим изменениям. Основные последствия современного потепления климата, которые могут оказать влияние на снеговое половодье в средних широтах, – это замена твердых осадков жидкими и более раннее таяние снега весной [Berghuijs, Woods, Hrachowitz, 2014; Brown, Robinson, 2011].

Именно снеготалы играют ведущую роль (более 50 %) в колебаниях годового стока в бассейнах крупнейших сибирских рек – Оби и Енисея [Попова, 2011; Галахов, 2009]. Снеговые наводнения по причиняемому ущербу находятся на втором месте в Сибири, уступая лишь наводнениям, формирующимся в результате дождевых паводков [Таратунин, 2008], аналогичных катастрофическому паводку, имевшему место на Алтае в мае–июне 2014 г. Особо острая ситуация складывается в горных водосборах, где снежный покров оказывает максимальное влияние на сток. В китайском Алтае в последние годы фиксируется увеличение снеготалы за счет большего количества зимних осадков [Han et al., 2014]. На некоторых реках бассейна верхне-

го Иртыша, где на талый сток приходится до 70 % годового стока, пиковые расходы с июня по май увеличились за период с 1960 по 2010 г. [Shen et al., 2007].

На Русском Алтае около 70 % стока половодья формируется талыми водами [Аполлов, Калинин, Комаров, 1974; Галахов, 2015], поэтому главной задачей при прогнозировании объема и сроков половодья является оценка снеготалы в речном бассейне и исследование гидрометеорологических процессов, определяющих интенсивность поступления талых вод в речную сеть в процессе снеготаяния.

Проведенное исследование представляет собой очередной этап работ по изучению пространственной дифференциации снеготалы в низкогорном бассейне р. Майма [Лубенец, Черных, Першин, 2018; Лубенец, Черных, 2019]. Основная его цель – анализ динамики снегового половодья в бассейне р. Майма за период с 1997 по 2017 г.

Задачи исследования:

1) анализ динамики основных метеопараметров в холодный период, предшествующий снеговому половодью и во время снегового половодья;

2) расчет и анализ динамики основных гидрологических характеристик во время снегового половодья 1997–2017 гг. в сравнении с более ранним периодом, предшествующим значительному росту глобальной и региональной температуры (1940–1970-е гг.);

3) выявление зависимости между метеопараметрами и характеристиками стока за период снегового половодья.

Территория исследования

Река Майма является притоком второго порядка р. Обь и правым притоком первого порядка р. Катунь. Бассейн р. Майма находится на территории Республики Алтай в низкогорной части Русского Алтая на северном окончании хребта Иолго [Атлас, 1978]. Длина реки – 57 км, средний уклон – 10 ‰. Абсолютные высоты бассейна изменяются от 260 до 1 140 м, средняя высота – 670 м. Площадь водосбора – 780 км².

Рассматриваемый бассейн расположен преимущественно в горно-лесном поясе: по площади преобладают чернево-таежные субнеморальные (31,9 % общей площади; диапазон высот 518–1104 м) и подтаежные (62 %; 386–586 м) ландшафты. Незначительную площадь в пределах бассейна занимают лесостепные ландшафты (6,1 %; 327–577 м) [Черных, Самойлова, 2011]. Ландшафтная структура бассейна является типичной для северной периферии Алтая. Спецификой бассейна является то, что его территория является наиболее освоенной и заселенной частью Республики Алтай. Кроме этого, в бассейне имеется метеостанция, расположенная в с. Кызыл-Озек (наблюдения с 1940 г.), абсолютная высота 324 м, и гидрологический пост в с. Майма (наблюдения с 1939 г.), абсолютная высота нуля графика 251,98 м. Средняя годовая температура воздуха составляет +1,0 °С, средняя годовая сумма осадков – 795 мм [http://www.meteo.ru].

Исходные данные и методы исследования

Термины и понятия, используемые в исследовании. Опираясь на разработки С.П. Хромова и Л.И. Мамонтовой [Хромов, Мамонтова, 1974] и с учетом анализа метеоусловий в период прохождения снегового половодья в низкогорной части бассейна Верхней Оби, авторами приняты понятия: «снеговое половодье», «волна тепла», «волна холода» и «период постепенного потепления».

«Снеговое половодье» – период, характеризующийся высоким и длительным подъемом воды на реках, вызванным таянием снега [https://geography_ru.academic.ru/6511/].

«Волна тепла» – значительное потепление во время снегового половодья со средней суточной температурой воздуха выше 0 °С от трех и более дней, связанное с адвекцией теплой воздушной массы.

«Волна холода» – резкое понижение температуры во время снегового половодья, связанное с вторжени-

ем холодной воздушной массы, средняя суточная температура воздуха при этом резко падает ниже 0 °С от трех и более дней и затем, по прохождении волны холода, снова возвращается к прежней. Минимальная продолжительность волны холода может быть два дня при минимальной суточной температуре ниже –5 °С.

«Период постепенного потепления» – устойчивый и длительный переход средних суточных температур выше 0 °С.

При условии отсутствия волн холода и наступления периода постепенного потепления с начала снегового половодья периодически наблюдается температурный скачок, характеризующий резким повышением максимальной суточной температуры воздуха выше 20 °С.

«Слой стока» – количество воды, стекающее с водосбора за интервал времени, равное толщине слоя (в мм), равномерно распределенного по площади этого водосбора [ГОСТ 19179–73..., 1988].

«Коэффициент стока» – отношение величины стока к величине выпавших на площадь водосбора осадков, обусловивших возникновение этой порции стока [Чеботарев, 1978].

Под «холодным периодом» понимается период, когда осадки выпадают на земную поверхность в твердой фазе и отсутствует поверхностный сток на водосборе.

Исходные данные и методика расчета параметров снегового половодья. Для анализа стока снегового половодья использовались данные по ГМС Кызыл-Озек (за период наблюдений 1940–2017 гг.), по гидрологическому посту Майма (1997–2017 гг.) и материалы снегомерных работ, выполненных авторами в 2015–2017 гг. и объединенные в базу данных [Pershin et al., 2020]. Для оценки динамики гидрологических характеристик периода 1997–2017 гг. в сравнении с периодом до начала потепления в конце XX в. использовались имеющиеся данные основных гидрологических характеристик (ОГХ) за период 1940–1975 гг. [Ресурсы..., 1979].

Выделение волн тепла и холода осуществляли на основе расчета суммы суточной температуры воздуха за волну при сопоставлении ее с минимальной и максимальной.

Волна тепла – период от трех и более дней, когда на фоне относительно ровного хода средней суточной температуры воздуха около 0 °С наблюдается всплеск ее значений в среднем на 7 °С (пик) с интенсивностью 4 °С в сутки. На графике этот всплеск принимает форму волны. При данном критерии процесс постепенного потепления (с монотонным увеличением температуры от 0 °С) мы не считаем волной тепла.

Волна холода – период от трех и более дней, когда средняя суточная температура воздуха опускается

ниже 0 °С в среднем на 6 °С (пик) с интенсивностью 4 °С/сут.

Параметры снегового половодья – даты начала и окончания, продолжительность, максимальный расход и дата его наступления, объем и слой стока – определяли на основе следующих данных: среднесуточные расходы воды в р. Майма, суточная температура воздуха и количество осадков, характеристики снежного покрова. Для каждого года строились комплексные графики [Руководство..., 1989], включающие гидрограф половодья, график хода суточных температур воздуха и сумм осадков.

За начало половодья нами в данной работе принималась дата с повышением расходов воды $\delta Q > 15\%$ от значения расхода предшествующей даты. Окончание половодья нами определялось как момент, во время которого происходит нарушение соответствия на комплексном графике между ходом температур и расходов воды, когда дальнейший рост температур не вызывает увеличения расходов [Харшан, 1970], с учетом периода добегания талых вод в речную сеть. Такой подход дает возможность сравнительного анализа характеристик половодья в современный период с более ранними, данные о которых опубликованы в гидрологических справочниках за период 1940–1975 гг. [Ресурсы..., 1979].

Оценка доли талого, дождевого и подземного стока в общем стоке половодья выполнялась путем расчленения гидрографа. Величину подземного стока выделяли путем «срезки» гидрографа по значению устойчивого предвесеннего расхода [Руководство..., 1989]. В талый сток, помимо вод, вызванных таянием снега, были включены жидкие осадки, выпадающие до окончания таяния снежного покрова, поскольку условия их стекания в целом схожи и отделить сток этих осадков от стока талых вод затруднительно [Аполлов, Калинин, Комаров, 1974; Бураков, Иванова, 2010]. На спаде половодья выделялись дождевые паводки, формируемые жидкими осадками, выпавшими после окончания снеготаяния. Выделение дождевых паводков на спаде половодья осуществляется с помощью типовых кривых спада (различные способы их построения представлены в ряде работ [Комлев, Титова, 1966; Аполлов, Калинин, Комаров, 1974; Руководство..., 1989]) либо путем «срезки» отдельных пиков с привлечением гидрометеорологической информации о температуре и осадках.

В данной работе использовался второй подход. В расчетах из объема талого стока исключался не только объем единичных ярко выраженных в гидрографе дождевых паводков, но и общий объем близко расположенных нескольких паводков и разделяющих их дней (1–3, в редких случаях 5) и, возможно, отделяющихся короткими волнами тепла или температур-

ными скачками выше 20 °С [Руководство..., 1989]. В анализе, наряду с датами выпадения дождей в период половодья, в расчет принималось и количество выпавших жидких осадков. Величиной, определяющей значимость паводка, принят слой стока 5 мм.

Время добегания талых вод в речную сеть оценивалось на основе динамики расходов воды в связи с выпадением жидких осадков в период половодья. Анализировались дожди, перед проявлением и в процессе прохождения которых не было волн тепла, либо наблюдающиеся после волны холода.

Расчет коэффициентов стока талых и дождевых вод производился при помощи стандартной методики, применяемой для горных бассейнов [Аполлов, Калинин, Комаров, 1974], с использованием формул:

$$\eta_T = \frac{y_T}{\sum_1^n s_i f_i + \sum_1^n x_{1i} f_i + (h_T + x_{1n}) f_n}, \quad (1)$$

$$\eta_D = \frac{y_D}{\sum_1^n x_{2i} f_i}, \quad (2)$$

где η_T и η_D – коэффициенты стока талых и дождевых вод, y_T и y_D – слой стока талых и дождевых вод, индекс i обозначает высотную зону; s_i – запасы воды в снежном покрове, x_{1i} – количество осадков за время снеготаяния, x_{2i} – количество осадков за время от схода снега в зоне до окончания половодья в расчетном створе; h_T и x_{1n} – соответственно слой стаивания и слой жидких осадков за время снеготаяния на площади f_n , занятой ледниками (для бассейнов с современным оледенением).

В расчетах использовались средневзвешенные снеготалопопасы по бассейну, полученные на основе статистической обработки данных полевых снегомерных работ (2015–2017 гг.) и алгоритма картографического моделирования снеготалопопасов с использованием ландшафтной картографической основы, с учетом разнообразия наземных покровов и особенностей рельефа [Лубенец, Черных, Першин, 2018; Лубенец, Черных, 2019].

При установлении даты окончания снеготаяния использовались следующие данные: 1) дата схода снежного покрова на площадке гидрометеостанции Кызыл-Озёк; 2) сокращение относительной площади бассейна, покрытой снегом, на основе данных космических снимков Landsat-8 и Sentinel-2. Дата схода снега определялась при сокращении его площади до 10–15 % от общей площади бассейна [Аполлов Калинин, Комаров, 1974].

В связи с тем, что в пределах изучаемого бассейна статистически значимой связи снеготалопопасов и абсолютной высоты не установлено, при расчете жидких осадков их распределение принято безградиентным. В качестве аналога при анализе зависимости осадков от высоты был принят смежный и схожий по физико-географическим условиям бассейн р. Сема, в пределах которого проводились инструментальные наблюдения за твердыми и жидкими осадками в раз-

ных высотных зонах. Материалы показали, что четкая вертикальная зональность осадков наблюдается лишь в верховьях бассейна, а в нижней части бассейна до с. Топучая (абсолютная высота 1 100 м) сумма осадков с высотой практически не изменяется [Комлев, Титова, 1966]. Формулы для расчета коэффициентов талого и дождевого стока в таком случае выглядят следующим образом:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{y_{\Gamma}}{s+x_1}, \quad (3)$$

$$\eta_{\text{д}} = \frac{y_{\text{д}}}{x_2}, \quad (4)$$

где s – средние по бассейну запасы воды в снежном покрове, x_1 – количество осадков за время снеготаяния, x_2 – количество осадков за время от схода снега до окончания половодья (по данным гидрометеостанции Кызыл-Озёк).

Результаты и обсуждение

Река Майма и ее притоки имеют преимущественно снеговое питание с участием дождевого и грунтового [Ресурсы..., 1969; Галахов, 2015]. Половодье достаточно отчетливо выделяется на фоне зимней и летней межени. Объем половодья, сроки его начала и окончания, форма гидрографа для каждого конкретного года во многом определяются динамикой основных метеопараметров в холодный период, предшествующий снеговому половодью; датами начала и окончания снеготаяния, особенностями хода температур и количества осадков в период снеготаяния.

Тенденции изменения температуры воздуха и количества осадков холодных периодов 1997–2017 гг. Современная динамика среднегодовой температуры на территории Западной Сибири выражается устойчивым положительным трендом (0,34 °C / 10 лет) [Ипполитов и др., 2014; Доклад..., 2018]. При этом процесс потепления неодинаков в различные сезоны: с середины 1990-х гг. после быстрого потепления для зим появилась обратная тенденция, что обусловило некоторое замедление темпов роста годовой температуры. На большей части территории наблюдается рост годового количества осадков. В отличие от изменений температуры, имеющих глобальный характер, динамика жидких и твердых осадков часто имеет противоположные тренды в различных регионах [Ипполитов и др., 2014]. На Алтае с конца 1960-х гг. наблюдается снижение годовой суммы осадков, в основном за счет зимних месяцев [Сухова, Модина, 2007]. При этом в последнее десятилетие наблюдается увеличение повторяемости многоснежных зим [Харламова, Казарцева, Дьякова, 2016].

По результатам анализа на гидрометеостанции Кызыл-Озёк к концу всего периода наблюдений (1940–2017 гг.) просматривается монотонное увели-

чение значений средней суточной температуры воздуха в холодные периоды (рис. 1). Период с 1997 по 2017 г. характеризуется превышением средней температуры холодного периода на 0,7 °C (средняя температура –10,6 °C) по сравнению со средней температурой за весь период исследований на метеостанции (–11,3 °C). Наблюдается четыре наиболее холодные зимы (1997/98, 2011/12, 2010/11, 2009/10) с температурой на 3,1–3,6 °C ниже средней за период наблюдений; четыре менее холодные зимы (1998/1999, 2004/05, 2005/06, 2012/13) – на 0,1–0,4 °C. Больше половины зим из периода исследований (1996/97, 1999/00, 2000/01, 2002/03, 2003/04, 2006/07, 2007/08, 2008/09, 2013/14, 2014/15, 2015/16, 2016/17) относятся к теплым (значения средней суточной температуры равно (–11,3 °C) или выше (–6,3...–11,2 °C) на 0,1–5 °C средней температуры за период наблюдений). Нет очень холодных зим (со средней температурой ниже –14 °C), как свойственно девяти зимам из всего периода наблюдений на гидрометеостанции (рис. 1).

Зимы первой половины исследуемого периода в целом теплее (средние температуры от –6,3 до –11,7 °C), чем зимы с 2007/08 по 2013/14 гг. (–10,2...–13,9 °C), за исключением 1997/98 и 1998/99 (–13,4 и –11,5 °C соответственно). С 2014/15 г. и до окончания периода изучения начинается вновь повышение средней суточной температуры (–8,2...–9,3 °C).

За исследуемый период с 1997 по 2017 г. наблюдалось незначительное повышение количества осадков. Близкое к среднему (142 мм) от 124 до 161 наблюдалось в 30 % из изучаемых зим (1998/99, 2001/02, 2002/03, 2003/04, 2004/05, 2007/08). Количество осадков выше среднего (161–223 мм) отмечалось в 35 % случаев: 2000/01, 2005/06, 2008/09, 2009/10, 2012/13, 2014/15, 2016/17; ниже среднего (69–124 мм) – в 35 %: 1997/98, 1999/00, 2006/07, 2010/11, 2011/12, 2013/2014, 2015/16. Наиболее снежными являются зимы 2016/17 (сумма осадков 223 мм) и 2009/10 гг. (223 мм). Резкое уменьшение количества осадков по сравнению с другими зимами периода исследования характерно для зим 2006/07 (80 мм) и 2011/12 (69 мм).

Особенности проявления волн тепла и холода во время снегового половодья (1997–2017 гг.). Сход снежного покрова на метеостанции Кызыл-Озёк наблюдается в период с 24 марта по 27 апреля. Чаще это происходит в первой (35 % от общего количества рассматриваемых лет), второй (30 %) и в третьей (30 %) декадах апреля. Наиболее ранние сроки схода снега (10 %) приходятся на третью декаду марта. Продолжительность и интенсивность снеготаяния зависят от величины снеготалого перед началом таяния и от хода температур в начале весеннего сезона. Кроме того, важнейшей характеристикой, имеющей нередко определяющее значение в установ-

лении максимальных расходов воды в реке, является проявление во время прохождения волны тепла рез-

кого повышения (близкое 20 °С и выше) максимальной суточной температуры воздуха.

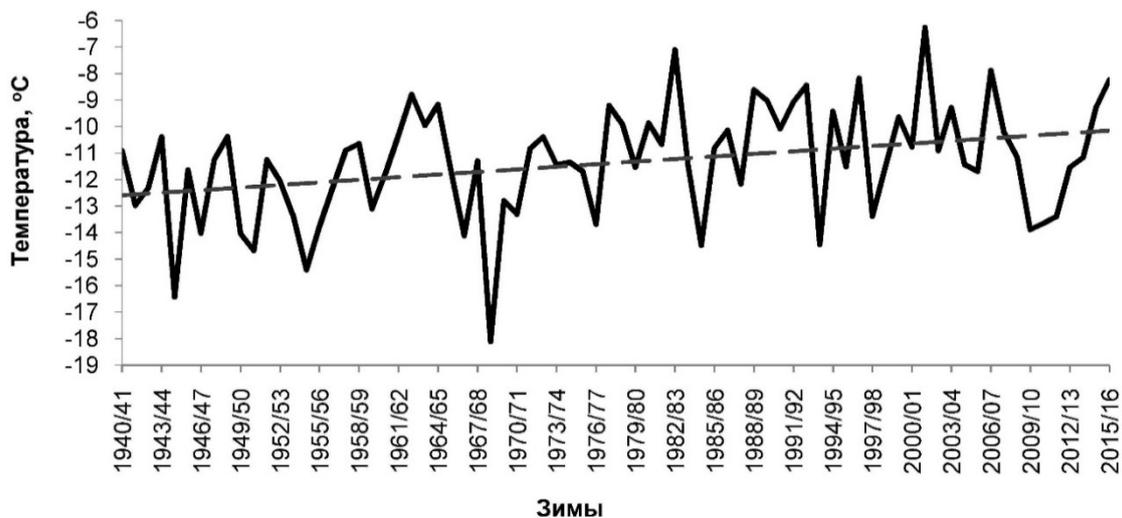


Рис. 1. Тенденция изменения средней суточной температуры воздуха за холодный период на метеостанции Кызыл-Озёк (1940–2017 гг.)

Fig. 1. Tendency in average daily temperatures for the cold period at the Kyzyl-Ozek weather station (1940–2017)

Проведенный на основе данных [http://www.meteo.ru] анализ суточных температур воздуха (средних и максимальных) за период с 1997 по 2017 г. показывает, что за половодье проявляются в среднем четыре волны тепла (включая кратковременные скачки максимальной температуры воздуха выше 20 °С на фоне постепенного потепления); минимальное количество проявлений – 1 (2016 г.), максимальное – 8 (2000 г.). Средняя продолжительность волны составляет 7 дней. Средняя за рассматриваемый период дата образования волны тепла, при условии последующей ее смены волной холода, наблюдается в первой фазе половодья (11-й день

после начала). Максимально позднее проявление отмечается на 24-й день от начала половодья (например, в 2003 г.). В большинстве изучаемых лет волны тепла образуются в третьей декаде марта (35 % от общего количества рассматриваемых лет) и в первой декаде апреля (30 %). Наименьшее количество (5 %) отмечается в первой декаде мая.

Во время прохождения волны тепла нередко проявляется резкий рост максимальной суточной температуры воздуха близкий или выше 20 °С продолжительностью от двух дней. Это наблюдается в среднем в третьей фазе половодья на 36-й день (табл. 1).

Таблица 1
Характеристика наибольшего расхода воды и волн тепла в снеговое половодье в бассейне р. Майма (рассчитано по материалам [http://www.meteo.ru; Ежегодные..., 1997–2017])

Table 1
Characteristics of maximum water discharge and heat waves during snowmelt flood in the Maima river basin (calculated from the materials [http://www.meteo.ru; Annual..., 1997–2017])

Период	Наибольший расход воды		Волна тепла			
	Дата	м ³ /с	Дата начала и окончания	Длительность, сут	Колебания температуры воздуха за волну, °С	Сумма температур за волну, °С
<i>С повышением максимальной суточной температуры воздуха (близкой или выше 20 °С)</i>						
1998	30.04	39,7	30.04–01.05	2	20,4–21,0	41,4
1999	30.04	47,4	30.04–07.05	8	19,8–30,0	213,7
2003	25.04	59,0	25.04–29.04	5	19,7–29,7	116,5
2004	15.04	110,0	15.04–16.04	2	19,5–20,9	40,4
2005	22.04	71,5	19.04–22.04	9	20,7–27,7	218,2
2006	19.04	83,5	18.04–19.04	2	21,3–23,4	44,7
2007	08.04	28,1	06.04–08.04	3	20,3–23,5	66,1
2010	28.04	86,1	25.04–30.04	6	22,9–30,5	157,1

Период	Наибольший расход воды		Волна тепла			
	Дата	м ³ /с	Дата начала и окончания	Длительность, сут	Колебания температуры воздуха за волну, °С	Сумма температур за волну, °С
2011	13.04	41,6	10.04–16.04	8	21,1–29,3	191,7
2013	14.04	91,4	13.04–14.04	2	26,7–27,5	54,2
2014	02.04	37,4	01.04–03.04	3	24,5–27,5	77,8
2015	14.04	77,5	11.04–12.04	2	23,8–27,2	51,0
2000*	17.04	53,9	14.04–15.04	2	20,6–22,2	44,8
<i>С повышением средней суточной температурой воздуха выше 0 °С</i>						
2001*	17.04	81,7	10.04–16.04	7	2,2–12,8	57,3
2002*	11.04	24,9	08.04–11.04	4	0,6–7,0	15,9
2008	08.04	36,3	28.03–05.04	8	9,5–15,3	35,1

Примечание. Наибольший расход воды в реке сформировался при влиянии двух факторов: 1) прохождение волны тепла; 2) проявление периода дождей.

Note. Maximum water discharge in the river was formed under the influence of two factors: 1) heat waves; 2) rainy season.

Средняя минимальная сумма положительных температур воздуха за волну тепла 27,0 °С, средняя максимальная – 189,2 °С. При этом максимальная суточная температура за одну волну тепла колеблется в интервале 21–35,5 °С (максимум 35,5 °С наблюдался в 2004 г. в третьей фазе половодья; близкое к максимальному значению (34,6 °С) – в 1999 г. во второй фазе).

Волна холода в среднем проявляется один раз, максимально – три. Для четырех лет из двадцатилетнего периода нехарактерно проявление волн холода. Начало волн холода отмечается во второй (31 %) – третьей (25 %) декадах марта и в первой декаде апреля (38 %); редко (6 %) – во второй и третьей декадах апреля. Продолжительность волн холода незначительная – в среднем 3 дня. Наиболее длинная волна (9 дней) отмечалась весной 2005 и 2006 гг.

Максимальные суммы отрицательных температур воздуха колеблются в пределах от –3 до –48,9 °С; минимальные – от –1,1 до –41,7 °С. Наибольшие значения суммы температур (–48,9 °С) характерны для волны холода, отмеченной весной 2010 г. во второй фазе половодья (с 18-го по 24-й день от начала половодья); близкое к наибольшему со значением более –30 °С – в 2002 (волна длится 5 дней), 2003 (9 дней) и 2006 (9 дней) гг.

Волны холода с наиболее низкими температурами (минимальная температура за сутки ниже –15 °С) наблюдаются в первую-вторую фазу половодья 2001 (–17,8 °С), 2005 (–16,2 °С), 2009 (17,7 °С) и 2011 гг. (17,0 °С).

Динамика основных гидрологических характеристик снегового половодья. Анализ динамики расходов половодья на р. Майма по данным гидропоста в с. Майма в 1997–2017 гг. [Ежегодные..., 1997–2017] и сравнение полученных данных с характеристиками половодья в период 1940–1975 гг. [Ресурсы..., 1979], предшествующий началу значительного потепления,

позволил выявить ряд особенностей (см. табл. 1). Половодье на реке в период 1997–2017 гг. начинается обычно в третьей декаде марта (60 % случаев за период наблюдений), реже – во второй декаде марта (25 %) и первой декаде апреля (15 %). Средняя дата начала половодья – 24 марта. Окончание приходится на май (вторая–третья декады), нередко сопровождается осадками, вызывающими пиковые повышения расходов воды. По сравнению с периодом 1940–1975 гг. [Ресурсы..., 1979], происходит смещение сроков начала и окончания половодья, а также даты наибольшего расхода воды на 5–6 дней на более ранние сроки при сохранении продолжительности половодья. Очевидно, это связано с повышением температуры и сокращением холодного периода. В период 1997–2017 гг. относительно предыдущего, отмечается незначительное (на 3,5 %) сокращение годового стока, связанное с уменьшением количества осадков, в том числе в зимний период. Наиболее показательное изменение внутригодового распределения стока. Суммарный слой стока половодья в период с 1997–2017 гг. сократился на 28,8 % по сравнению с периодом 1940–1975 г. С начала наблюдений доля стока половодья в годовом стоке сократилась с 49,2 до 36 % (табл. 2).

Подобное перераспределение стока рек, выраженное в увеличении меженного стока, особенно зимнего, за счет уменьшения доли стока половодья в последние десятилетия наблюдается повсеместно на территории России и Западной Сибири [Водные ресурсы..., 2008; Попова, Шмакин, Симонов, 2010]. Механизм внутригодового перераспределения стока связан, в первую очередь, с повышением температур в холодный период и, как следствие, уменьшением глубины промерзания почвы. Эти процессы вызывают увеличение зимнего стока и уменьшение талого стока весной за счет потерь на инфильтрацию [Калюжный, Лавров, 2012].

Основные характеристики половодья в 1940–1975 гг. [Ресурсы..., 1979] и 1997–2017 гг.
(рассчитано авторами по материалам [http://www.meteo.ru])

Main flood characteristics of 1940–1975 [Resources..., 1979] and 1997–2017
(calculated by the authors from the materials [http://www.meteo.ru])

Характеристика	Период	
	1940–1975	1997–2017
Средняя дата начала половодья	30.03	24.03
Средняя дата окончания половодья	23.05	18.05
Средняя дата наибольшего срочного расхода воды	21.04	15.04
Наибольший среднесуточный расход воды за половодье, м ³ /с	88	60
Средняя продолжительность половодья, сут	55	56
Годовой слой стока, мм	352	340
Суммарный слой стока за половодье, мм	170	121
Сток за половодье, % от годового	47,5	36

Расходы воды и сток половодья за период 1997–2017 гг. Наибольшие значения средних расходов воды за половодье (более 24 м³/с при среднем за период 19,4 м³/с) наблюдались в 2001, 2005, 2006, 2015, 2017 гг., наименьшие (менее 15 м³/с) – в 2007, 2008, 2012 и 2014 гг.; близкие к средним – в 1999, 2004, 2010 и 2016 гг.

Средняя дата наступления максимального расхода половодья – 15 апреля. Максимальные расходы (20,6–110 м³/с) на реке наблюдаются в среднем через 24 дня после начала половодья (минимально – через 7, максимально – через 45 дней). Максимальный за исследуемый период расход (110 м³/с) отмечен 15 апреля 2004 г. Интересной особенностью является то, что многоводные годы характеризуются более поздним началом половодья – на 3–13 дней позже средней даты наступления.

Выделяются основные факторы, определяющие время прохождения максимальных расходов воды р. Майма. Больше чем в половине исследуемых лет (1998, 1999, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015) максимальные расходы формируются в результате проявления первой за половодье волны тепла с резким повышением суточной температуры воздуха – максимальная температура около 20 °С и выше (за исследуемый период колебания от 19,5 до 30,5 °С) и сумма за всю волну более 40 °С (40,4–218,2 °С) и наблюдаются в первые-вторые, реже третьи сутки после роста температуры (см. табл. 2). Например, в период половодья в 2007 г. максимальный расход 28,1 м³/с был зафиксирован в конце трехдневной волны тепла с выраженным резким подъемом максимальной суточной температуры от 20,3 до 23,5 °С и суммой за всю волну 66,1 °С.

Формирование высоких расходов во многом зависит от выпадения жидких осадков во время половодья. Так, в 2009, 2012, 2016 и 2017 гг. максимальные

расходы воды проявились в середине или конце периода дождей (табл. 3). При этом величина расходов зависит от суммы выпавших осадков: меньшее количество (8,8 мм) соответствует низкому значению расходов – 20,6 м³/с (2012 г.) и наоборот: 63,2 и 49,2 мм – 73,9 и 92,4 м³/с (2016 и 2017 гг. соответственно). Пик максимальных расходов в большинстве случаев наблюдается на вторые–третьи сутки после начала дождей. Так, например, 13–19 апреля 2017 г. дожди с суммой 49,2 мм на спаде половодья вызвали с 13-го по 20-е апреля резкое увеличение расходов воды в реке (максимальный расход 77,1 м³/с) (табл. 3).

В некоторых случаях максимальные расходы воды в р. Майма наблюдаются во время или после прохождения волны тепла, следующей за выпадением жидких осадков. Такая ситуация характерна для четырех из изучаемых половодий – 2000, 2001, 2002, 2015 гг. (см. табл. 1, 3). В 2001 г. наибольший расход воды зафиксирован после длительной (7 сут) волны тепла со средней суточной температурой воздуха от 2,2 до 12,8 °С и ее суммой 57,3 °С, и на вторые сутки дождей с суммой осадков за два дня 14,5 мм.

Анализ динамики расходов воды после начала снеготаяния в результате выпавших жидких осадков и с учетом условий проявления волн холода позволил определить период добегающих вод в речную сеть. При этом исключалось влияние сопутствующих факторов, в первую очередь, повышения температуры воздуха, усиливающего снеготаяние и дополнительный приток воды в реку.

После периода дождей с суммой осадков более 5 мм, а также при быстром нарастании положительных температур воздуха (минимальные значения средней суточной температуры воздуха за волну 5 °С), поступление вод в речную сеть наблюдается чаще всего в первые сутки. Так, например, в половодье 2005 г. значительное повышение расходов воды

(61 % от предыдущих суток) с 15-го по 18-е апреля спровоцировано дождями суммой 35,8 мм. При этом до дождей проявлялась 9-дневная волна холода, а во время дождей повышения суточных температур не наблюдалось.

Оценка доли талых вод в общем объеме стока половодья (1997–2017 гг.). С помощью расчленения гидрографа нами был рассчитан слой стока половодья каждого года с выделением талого стока (табл. 4, рис. 2, приведен пример за 2015 г.).

Доля талого стока в общем стоке половодья изменяется в разные годы от 59 до 92 %, составляя в среднем 80 %. Как правило, для рек, имеющих значительную долю талых вод в стоке половодья, статистические зависимости стока половодья от снего-

запасов (либо сумм осадков) имеют линейный характер с коэффициентами корреляции от 0,7 до 0,9 и выше [Аполлов, Калинин, Комаров, 1974]. Для периода с 1997–2017 гг. было проанализировано соотношение сумм твердых осадков и талого стока с использованием данных наблюдений на гидрометеостанции Кызыл-Озёк. Получена линейная зависимость (коэффициент корреляции 0,84) слоя талого стока от суммы твердых осадков за холодный период (рис. 3). Значимый коэффициент корреляции показывает наличие связи между этими двумя параметрами. При уточнении этой статистической связи и проверке на независимом материале возможно использовать полученные материалы для долгосрочных прогнозов стока половодья.

Таблица 3

Характеристика периода дождей и наибольшего расхода воды в снеговое половодье в бассейне р. Майма (рассчитано по материалам [http://www.meteo.ru; Ежегодные..., 1997–2017])

Table 3

Characteristics of a rainy season and maximum water discharge during snowmelt flood in the Maima River basin (calculated from the materials [http://www.meteo.ru; Annual..., 1997–2017])

Период*	Наибольший расход воды		Период дождей		
	Дата	м ³ /с	Дата начала и окончания	Длительность, сут	Сумма осадков, мм
2000**	17.04	53,9	16.04–17.04	2	15,7
2001**	17.04	81,7	16.04–17.04	2	14,5
2002**	31.03/11.04	24,9	25.03–31.03/11.04	5/1	23,3/9,4
2009	08.04	47,8	05.04–07.04	3	22,2
2012	08.04	20,6	06.04–08.04	3	8,8
2015**	14.04	77,5	13.04–14.04	2	17,1
2016	13.04	73,9	07.04–13.04	7	63,2
2017	19.04	92,4	13.04–19.04	7	49,2

Примечание. * Взяты годы с «чистыми» дождевыми паводками – классические формы, четко обособленные на гидрографе, не осложненные многопиковыми структурами; ** наибольший расход воды в реке сформировался при влиянии двух факторов: 1) прохождение волны тепла (табл. 1); 2) выпадение дождей.

Note. * Years with "pure" rain floods are taken into account – classic forms, clearly separated on the hydrograph, not complicated by multi-peak structures; ** maximum water discharge in the river was formed under the influence of two factors: 1) heat wave (table 1); 2) rains.

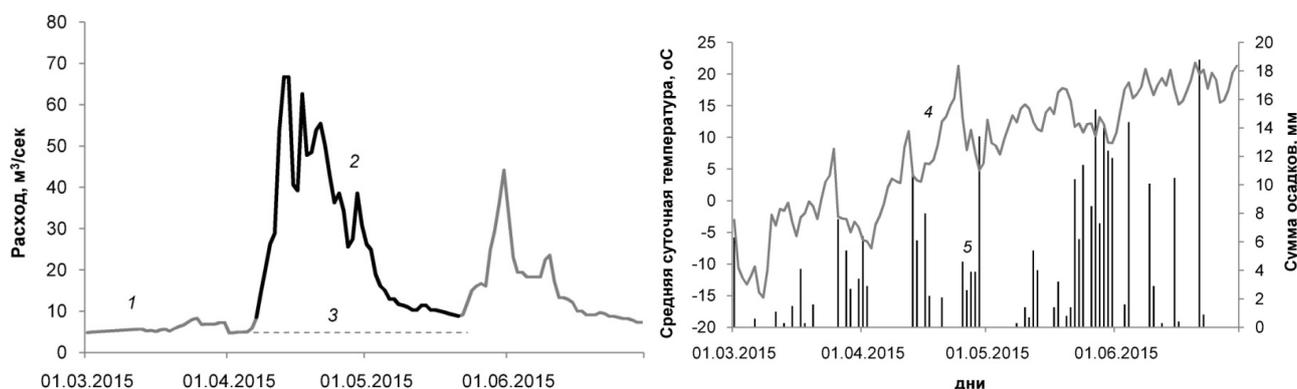


Рис. 2. Ход гидрометеорологических элементов в 2015 г.

1 – средние суточные расходы воды, м³/с; 2 – отдельно выделены период половодья (2) и подземный сток (3); 4 – средние суточные температуры, °С; 5 – суточные суммы осадков, мм (гидропост р. Майма – с. Майма, метеостанция Кызыл-Озек)

Fig. 2. A graph hydrometeorological parameters, 2015

1 – average daily discharges, м³/s; 2 – average daily discharges during high water, м³/s; 3 – underground runoff, м³/s; 4 – average daily temperatures, °C; 5 – precipitation total, mm (the Maima gauge at Maima village, to the Kyzyl-Ozek)

Таблица 4

Характеристики холодного периода и снегового половодья в бассейне р. Майма (1997–2017 гг.)
(рассчитано по материалам [http://www.meteo.ru; Ежегодные..., 1997–2017])

Table 4

Characteristics of a cold period and snowmelt flood in the Maima river basin (1997-2017)
(calculated from the materials [http://www.meteo.ru; Annual..., 1997–2017])

Гидрологический год	Холодный период			Коэффициент снежности	Половодье			Сумма осадков, мм		Слой стока, мм		Средний расход воды за половодье, м ³ /с	Доля талого стока в стоке половодья, %
	Начало, дата	Окончание, дата	Продолжительность, сут		Начало, дата	Окончание, дата	Продолжительность, сутки	Холодный период	Расчетное половодье	Общий за половодье	Слой талого стока		
1997/98	12.11	27.03	136	0,84	1.04	15.05	45	119,5	106,4	81,4	66,0	16,3	81,1
1998/99	12.11	31.03	140	0,90	3.04	24.05	52	128,0	93,6	108,4	94,0	18,8	86,7
1999/00	10.11	21.03	133	0,84	29.03	25.05	57	119,3	139,1	148,0	115,0	23,0	77,7
2000/01	19.10	13.03	149	1,38	26.03	26.05	64	195,3	140,6	191,6	170,0	27,0	88,7
2001/02	28.10	13.03	137	0,91	13.03	8.05	57	128,4	99,4	101,3	72,0	16,0	71,1
2002/03	8.11	24.03	137	0,95	27.03	29.05	65	134,3	78,6	108,1	88,0	15,3	81,4
2003/04	30.10	26.03	149	1,14	31.03	20.05	50	161,2	134,8	138,5	124,0	21,8	89,5
2004/05	1.11	20.03	140	0,90	24.03	20.05	58	127,9	153,5	140,1	124,0	24,7	88,5
2005/06	3.11	20.03	138	1,40	27.03	25.05	60	197,7	223,7	181,1	140,0	27,2	77,3
2006/07	21.11	12.03	112	0,56	20.03	27.04	39	79,7	55,4	47,5	35,0	11,0	73,6
2007/08	24.10	16.03	145	0,88	19.03	17.05	60	124,1	78,5	95,1	78,0	14,3	82,0
2008/09	14.11	20.03	127	1,21	21.03	17.05	58	171,8	80,8	111,4	95,0	17,4	85,2
2009/10	23.10	17.03	146	1,57	19.03	14.05	57	222,5	60,4	126,7	113,0	20,1	89,2
2010/11	19.11	19.03	119	0,83	25.03	14.05	51	118,3	58,0	91,3	72,0	16,2	78,8
2011/12	30.10	15.03	138	0,49	21.03	15.05	56	68,9	84,7	61,1	41,0	9,9	67,1
2012/13	1.11	10.03	130	1,20	11.03	14.05	65	169,6	85,9	161,4	148,0	22,4	91,7
2013/14	21.11	9.03	109	0,53	21.03	7.05	48	75,0	79,2	76,3	57,0	14,4	74,7
2014/15	9.11	2.04	109	1,15	7.04	21.05	45	163,5	76,4	136,3	105,0	27,3	77,1
2015/16	2.11	3.03	123	0,75	12.03	11.05	61	106,2	176,5	127,7	75,0	18,9	58,7
2016/17	13.10	16.03	155	1,58	27.03	27.05	62	223,4	144,2	177,0	147,0	25,9	83,1
<i>Среднее</i>	<i>5.11</i>	<i>19.03</i>	<i>134</i>	<i>–</i>	<i>24.03</i>	<i>18.05</i>	<i>56</i>	<i>141,7</i>	<i>107,5</i>	<i>120,5</i>	<i>98,0</i>	<i>19,4</i>	<i>80,2</i>

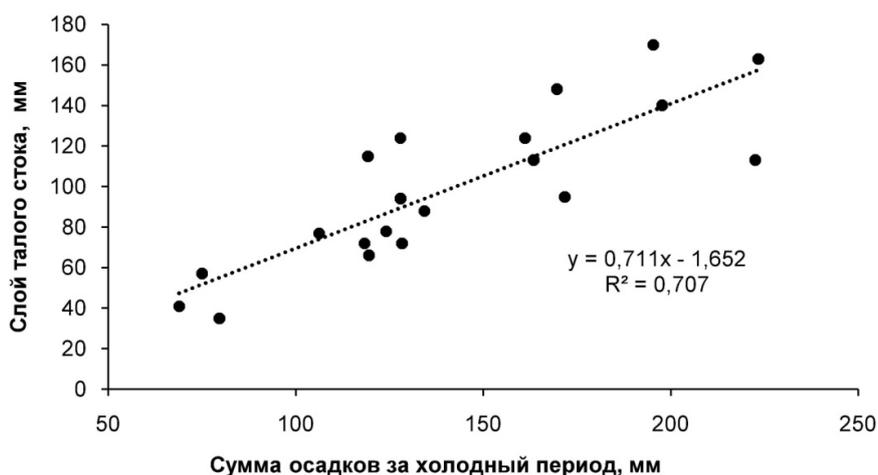


Рис. 3. Зависимость слоя талого стока от суммы осадков за холодный период (1997–2017 гг.) по ГМС Кызыл-Озек и гидрологическому посту р. Майма – с. Майма

Fig. 3. Dependence of snowmelt-runoff depth and winter precipitation total according to the Kyzyl-Ozek weather station, the Maima gauge at Maima village (1997–2017)

Коэффициенты стока талых и дождевых вод рассчитаны на основе расчленения гидрографа и выполненной приближенной оценки слоя талого и дождевого стока. Для этого отдельно анализировались годы, для которых имеются средневзвешенные снегозапасы по бассейну, полученные в результате снегомерных съемок (табл. 5). В период половодья с 2015 по 2017 г. коэффициент талого стока изменялся от 0,59 до 0,81, в среднем составив 0,69. Эта величина близка к оценкам А.М. Комлева для бассейна р. Семы (0,65–0,87) [Комлев, Титова, 1966] и Ш.А. Харшана в целом для рек Алтая (0,7–0,9) [Харшан, 1970]. Межгодовые различия в коэффициентах талого стока объясняются неодинаковыми синоптическими условиями каждого конкретного года, определяющими суммар-

ные потери талого стока на инфильтрацию (степень увлажнения и промерзания грунтов) и испарение со снежного покрова и почвы. Наиболее высокий коэффициент талого стока 0,81 отмечен весной 2016 г. Вероятно, это связано с тем, что предшествующая зима, в отличие от двух других, была малоснежной, что способствовало большему промерзанию почвогрунтов и уменьшению потерь талого стока. На спаде половодья, после окончания снеготаяния и оттаивания почвогрунтов, коэффициенты стока закономерно уменьшаются [Комлев, Титова, 1966; Харшан, 1970; Аполлов, Калинин, Комаров, 1974]. Установлено, что в 2015–2017 гг. коэффициенты дождевого стока в 3–3,5 раза ниже и меняются из года в год менее значительно, чем коэффициенты талого стока.

Таблица 5

Характеристики стока половодья в 2014/15–2016/17 гг. и суммы осадков, участвующих в его формировании (рассчитано по материалам [<http://www.meteo.ru>; Ежегодные..., 1997–2017] и данным снегомерных съемок)

Table 5

Characteristics of flood runoff in 2014/15–2016/17 and precipitation involved (calculated from the materials [<http://www.meteo.ru>; Annual..., 1997–2017] and data from snow surveys)

Гидрологический год	Сумма осадков, мм			Слой стока половодья, мм			Коэффициенты стока		Доля талого стока, %	
	s	x ₁	x ₂	У _т	У _д	У _{общ}	η _т	η _д	В стоке половодья	В годовом стоке
2014/15	110	67,3	47	105,0	9,0	136,3	0,59	0,19	77	41
2015/16	70	22,6	153,9	75,0	36,0	127,7	0,81	0,23	59	27
2016/17	152	66,8	81,4	147,0	18,0	177,0	0,67	0,22	83	40

Примечание. s – средние по бассейну снегозапасы; x₁ – количество осадков за время снеготаяния; x₂ – количество осадков за время от схода снега до окончания; у_т и у_д – слой стока талых и дождевых вод; у_{общ} – слой стока половодья, включая талый, дождевой и подземный сток; η_т и η_д – коэффициенты стока талых и дождевых вод.

Note. s – average snow-water equivalent reserves in the basin; x₁ – precipitation amount for a snowmelt period; x₂ – precipitation amount for the period from start to end of snow melting; у_т and у_д – melt and rainwater runoff depth; у_{total} – flood runoff depth, including snowmelt, rain and underground runoff; η_т and η_д – coefficients of snowmelt and rainwater runoff.

Выводы

1. На р. Майма максимальные расходы (20,6–110 м³/с) фиксируются в среднем на 24-й день после начала снегового половодья в результате проявления первой за половодье волны тепла с резким повышением суточной температуры воздуха близкой и выше 20 °С, и наблюдаются чаще всего в первые–вторые сутки после роста температуры либо на вторые–третьи сутки после выпадения сильных дождей.

2. Период 1997–2017 гг. характеризуется значительным сокращением годового стока, что связано с уменьшением годовой суммы осадков, в первую очередь за счет зимних месяцев. При этом наблюдается внутригодовое перераспределение стока, выраженное в уменьшении доли стока половодья в годовом стоке и смещении сроков половодья, обусловленное ростом температур и сокращением продолжительности холодного периода.

С начала наблюдений доля стока за половодье в годовом стоке сократилась с 49,2 до 36 %. Сроки начала, окончания половодья и даты наибольшего расхода воды наблюдаются на 5–6 дней раньше. По сравнению с периодом 1940–1975 гг. суммарный слой стока за половодье сократился на 28,8 %; наибольшие среднесуточные расходы половодья уменьшились на 31,8 %.

3. Во время половодья 2015–2017 гг. коэффициент талого стока составил от 0,59 до 0,81, в среднем 0,69. Наиболее высокий коэффициент талого стока (0,81) отмечен весной 2016 г. после малоснежной зимы. Вероятно, это связано с большим промерзанием почвогрунтов и меньшими потерями талого стока на инфильтрацию. Коэффициенты дождевого стока в 3–3,5 раза ниже и меняются из года в год менее значительно, чем коэффициенты талого стока. Доля талого стока в годовом стоке в эти годы составила от 27 до 41 %.

Список источников

- Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д.** Курс гидрологических прогнозов. Л. : Гидрометеорологическое издание, 1974. 420 с.
- Атлас Алтайского края.** Т. 1. Москва ; Барнаул : Изд-во ГУГК, 1978. 226 с.
- Бураков Д.А., Иванова О.И.** Анализ формирования и прогноз стока весеннего половодья в лесных и лесостепных бассейнах рек Сибири // *Метеорология и гидрология*. 2010. № 6. С. 87–1100.
- Водные ресурсы России и их использование.** СПб. : Государственный гидрологический институт, 2008. 598 с.
- Галахов В.П.** Оценка объема стока периода половодья в бассейне Томи по ежегодным снегозапасам // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2009. Т. 17. С. 292–295.
- Галахов В.П.** Условия формирования половодья малой горной реки (по исследованиям в бассейне реки Майма) // *Известия Алтайского отделения географического общества*. 2015. № 3 (38). С. 35–40.
- ГОСТ 19179–73.** Гидрология суши. Термины и определения. М. : Издательство стандартов, 1988. 110 с.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год.** М., 2018. 69 с.
- Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши.** Ч. 1: Реки и каналы. Т. 1: Российская Федерация. Вып. 10: Бассейны Оби (от верховьев до с. Александровского), Оми, Тары (в пределах Новосибирской обл.). Новосибирск, 1997–2017.
- Ипполитов И.И., Логинов С.В., Харюткина Е.В., Морару Е.И.** Изменчивость климата азиатской территории России в 1975–2012 гг. // *География и природные ресурсы*. 2014. № 4. С. 13–21.
- Калюжный И.Л., Лавров С.А.** Основные физические процессы и закономерности формирования зимнего и весеннего стока рек в условиях потепления климата // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 1. С. 68–81.
- Комлев А.М., Титова Ю.В.** Формирование стока в бассейне Катунь (Горный Алтай). Новосибирск : Наука, 1966. 155 с.
- Лубенец Л.Ф., Черных Д.В.** Внутриландшафтное распределение снегозапасов в бассейне р. Майма (низкогорья Русского Алтая) // *Лед и Снег*. 2019. Т. 59, № 3. С. 319–332.
- Лубенец Л.Ф., Черных Д.В., Першин Д.К.** Особенности пространственной дифференциации снежного покрова в низкогорных ландшафтах Русского Алтая (на примере бассейна р. Майма) // *Лед и Снег*. 2018. Т. 58, № 1. С. 56–64.
- Попова В.В.** Вклад снегозапасов в изменения стока крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана в период современного потепления // *Лед и Снег*. 2011. № 3 (115). С. 69–78.
- Попова В.В., Шмакин А.Б., Симонов Ю.А.** Изменения снегозапасов и жидких осадков и их роль в колебаниях стока крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана при современном потеплении // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2010. Т. 23. С. 109–127.
- Ресурсы поверхностных вод СССР.** Т. 15: Алтай и Западная Сибирь, вып. 1: Горный Алтай и Верхний Иртыш / под ред. В.А. Семенова. Л. : Гидрометеорологическое издательство, 1969. 308 с.
- Ресурсы поверхностных вод.** Основные гидрологические характеристики. Т. 15: Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан. Вып. 1. Верхняя и Средняя Обь. Л. : Гидрометеорологическое издание, 1979. 487 с.
- Руководство по гидрологическим прогнозам.** Вып. 1. Долгосрочные прогнозы элементы водного режима рек и водохранилищ. Л. : Гидрометеорологическое издание, 1989. 357 с.
- Сухова М.Г., Модина Т.Д.** Современные изменения температурного режима воздуха и режима увлажнения на Алтае как проявление регионального изменения климата // *Мир науки, культуры, образования*. 2007. № 2 (5). С. 14–18.
- Таратунин А.А.** Наводнения на территории Российской Федерации. Екатеринбург : Изд-во Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, 2008. 432 с.
- Харламова Н.Ф., Казарцева О.С., Дьякова Г.С.** Изменчивость толщины снежного покрова, снегозапасов и снежности зим на территории Алтайского края за период 1966–2015 гг. // *Географические исследования молодых ученых в регионах Азии. Материалы Всерос. молодежной конф. с междунар. участием (Барнаул – Белокуриха, 7–11 ноября 2016 г.)* / ред. О.В. Останин. Барнаул : Пять плюс, 2016. С. 41–45.
- Харшан Ш.А.** Долгосрочные прогнозы стока горных рек Сибири // *Труды Гидрометцентра СССР*. Вып. 65. Л. : Гидрометеорологическое издание, 1970. 211 с.
- Хромов С.П., Мамонтова Л.И.** Метеорологический словарь. Л. : Гидрометеорологическое издание, 1974. 568 с.
- Чебогарев А.И.** Гидрологический словарь. Л. : Гидрометеорологическое издание, 1978. 308 с.
- Черных Д.В., Самойлова Г.С.** Ландшафты Алтая (Республика Алтай и Алтайский край). Карта. М-б 1 : 500 000. Новосибирск : Новосибирская картографическая фабрика, 2011.
- URL: <http://www.meteo.ru>
- URL: https://geogra-phy_ru.academic.ru/6511/
- Словарь по географии** // *Словари и энциклопедии на Академике*. URL: https://geography_ru.academic.ru/6511/.
- Berghuijs W.R., Woods R.A., Hrachowitz M.A.** Precipitation shift from snow towards rain leads to a decrease in streamflow // *Nature Climate Change*. 2014. V. 4 (7). P. 583–586.
- Brown R.D., Robinson D.A.** Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922–2010 including an assessment of uncertainty // *The Cryosphere*. 2011. V. 5. P. 219–229.
- Han L.J., Tsunekawa A., Tsubo M. et al.** Spatial variations in snow cover and seasonally frozen ground over northern China and Mongolia, 1988–2010 // *Global and Planetary Change*. 2014. V. 116. P. 139–148.
- Holko L., Gorbachova L., Kostka Z.** Snow Hydrology in Central Europe // *Geography Compass*. 2011. No. 5 (4). P. 200–218.
- Pershin D., Chernykh D., Lubenets L., Biryukov R., Zolotov D.** Snow surveys in the south of the Western Siberia (Russia) // *Mendeley Data*. 2020. V. 4. doi: 10.17632/8f4ky92by9.4.
- Shen Y.P., Wang G.Y., Su H.C. et al.** Hydrological processes responding to climate warming in the upper reaches of Kelan River basin with snow-dominated of the Altay Mountains region, Xinjiang, China (Chinese) // *Journal of Glaciology and Geocryology*. 2007. No. 29 (06). P. 845–854.

References

- Apollov B.A., Kalinin G.P., Komarov V.D. *Kurs gidrologicheskikh prognozov* [Course of hydrological forecasts]. Leningrad: Hydrometeorological edition, 1974. 420 p. In Russian
- Atlas Altayskogo kraja. Tl.* [Atlas of Altai Krai. Vol. 1.]. Moscow-Barnaul: Head office of Geodesy and Cartography at the USSR Council of Ministers, 1978: 226 p. In Russian
- Burakov D.A., Ivanova O.I. Analysis of formation and forecast of spring snowmelt flood runoff in forest and forest-steppe basins of Siberian rivers // *Russian Meteorology and hydrology*. 2010. V. 35. No 6. pp. 421–431. In Russian.
- Vodnye resursy Rossii i ih ispol'zovanie* [Water resources of Russia and their use]. St Petersburg, State Hydrological Institute. 2008: 598 p. In Russian
- Galakhov V.P. *Ocenka ob'ema stoka perioda polovod'ya v bassejne Tomi po ezhegodnym snegozapasam* [Runoff volume estimation during the flood period in the Tom basin according to annual snow reserves]. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'* [Mountainous information and analytical bulletin], 2009, 17: pp. 292–295. In Russian
- Galakhov V.P. *Usloviya formirovaniya polovod'ya maloj gornoj reki (po issledovaniyam v bassejne reki Majma)* [Conditions for flood formation in a small mountain river (investigations of the Maima river basin)] // *Izvestiya Altayskogo otdeleniya geograficheskogo obshchestva* [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society], 2015, 3 (38): pp. 35–40. In Russian
- GOST 19179-73. Gidrologiya sushy. Terminy i opredeleniya* [Hydrology of land. Terms and definitions]. Moscow: Publishing house of standards, 1980: 110 p. In Russian
- Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2017 god* [Report on climate features of the Russian Federation for 2017]. Moscow: 2018: 69 p. In Russian
- Ezhegodnyye dannyye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushy. Chast' I. Reki i kanaly. Tom. 1. Rossiyskaya Federatsiya. Vypusk 10. Bassejny Obi (ot verkhov'yev do s. Aleksandrovsogo), Omi, Tary (v predelakh Novosibirskoy obl.)*. [Annual data on regime and resources of inland surface waters Part 1. Rivers and canals. Vol. 1. Russian Federation. Issue 10. Basins of rivers Ob (from the upper reaches to Alexandrovskoye village), Om, and Tara (within the Novosibirsk region) for 1997–2017]. Novosibirsk. 1997–2017. In Russian
- Ippolitov I.I., Logingov S.V., Haryutkina E.V., Morau E.I. Climate variability over the Asian territory of Russia during 1975–2012// *Geography and natural resources*. 2014. T.35. No 4. pp. 310–318. In Russian
- Kalyuzhnyj I.L., Lavrov S.A. Basic physical processes and regularities of winter and spring river runoff formation under climate warming conditions // *Russian Meteorology and hydrology*. 2012: T. 37. No 1. pp. 68–81. In Russian
- Komlev A.M., Titova Yu.V. *Formirovaniye stoka v bassejne Katuni (Gornyy Altay)*. [Runoff formation in the Katun basin (Mountainous Altai)]. Novosibirsk: Nauka, 1966: 155 p. In Russian
- Lubeneц L.F., Chernykh D.V. *Vnutrilandshaftnoye raspredeleniye snegozapasov v bassejne r. Mayma (nizkogor'ya Russkogo Altaya)* [Intra-landscape distribution of snow reserves in the basin of the Maima river (low mountains of the Russian Altai)] // *Ice and Snow*. 2019, 59 (3): pp. 319–332. In Russian
- Lubeneц L.F., Chernykh D.V., Pershin D.K. *Osobennosti prostranstvennoy differentsiatsii snezhnogo pokrova v nizkogornyykh landshaftakh Russkogo Altaya (na primere bassejna r. Mayma)* [Features of spatial differentiation of a snow cover in low-mountain landscapes of the Russian Altai (by the example of the Maima river basin)]. // *Ice and Snow*. 2018, 58 (1). pp. 56–64. In Russian
- Popova V.V. *Vklad snegozapasov v izmeneniya stoka krupneyshikh rek bassejna Severnogo ledovitogo okeana v period sovremenno potepleniya* [Contribution of snow reserves to runoff changes in the largest rivers of the Arctic basin under climate warming conditions] // *Ice and snow*. 2011. 3(115). pp. 69–78. In Russian
- Popova V.V., SHmakin A.B., Simonov YU.A. *Izmeneniya snegozapasov i zhidkih osadkov i ih rol' v kolebaniyah stoka krupneyshikh rek bassejna Severnogo Ledovitogo okeana pri sovremennom poteplenii* [Changes in snow reserves and liquid precipitation and their role in flow fluctuations of the largest rivers of the Arctic basin under climate warming conditions] // *Problems of ecological monitoring and ecosystem modeling*. 2010. 23. pp. 109–127. In Russian
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR, T. 15 – Altaj i Zapadnaya Sibir', vyp. 1 – Gornyy Altaj i Verhnij Irtysh (pod red. V.A. Semenova)* [Resources of surface waters of the USSR, V. 15 – Altai and Western Siberia, no. 1 – Gorny Altai and Upper Irtysh] Leningrad: Hydrometeorological edition, 1969. 308 p. In Russian
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: Osnovnye gidrologicheskie karakteristiki. Tom 15. Altaj, Zapadnaya Sibir' i Severnyj Kazahstan. Vypusk 1. Verhnyaya i Srednyaya Ob'*. [Surface water resources. The main hydrological characteristics. Vol. 15. Altai, Western Siberia and Northern Kazakhstan. Issue 1. Upper and Middle Ob]. Leningrad: Hydrometeorological edition, 1979. 487 p. In Russian
- Rukovodstvo po gidrologicheskim prognozam. Vypusk 1. Dolgosrochnye prognozy jelementy vodnogo rezhima rek i vodohranilishh.* [Guide to hydrological forecasts. Vol. 1. Long-term forecast. Elements of the water regime of rivers and reservoirs]. Leningrad: Hydrometeorological edition, 1989. 357 p. In Russian
- Suhova M.G., Modina T.D. *Sovremennye izmeneniya temperaturnogo rezhima vozduha i rezhima uvlazhneniya na Altae, kak proyavlenie regional'nogo izmeneniya klimata* [Modern changes in air temperature and humidification regime of Altai as a manifestation of regional climate change] // *The world of science, culture and education*. 2007. 2(5). pp. 14–18. In Russian
- Taratunin A.A. *Navodneniya na territorii Rossiyskoj Federatsii. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Rossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany vodnykh resursov* [Floods on the territory of the Russian Federation]. Yekaterinburg: Publishing house of the Russian Research Institute of Integrated Use and Protection of Water Resources, 2008: 432 p. In Russian
- Harlamova N.F., Kazarceva O.S., D'yakova G.S. *Izmenchivost' tolshhiny snezhnogo pokrova, snegozapasov i snezhnosti zim na territorii Altajskogo kraja za period 1966–2015 gg. Geograficheskie issledovaniya molodykh uchenykh v regionah Azii. Materialy Vserossiyskoj molodezhnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. (Barnaul – Belokuriha, 7–11 noyabrya 2016 g.). Red. O.V. Ostanin.* [Variability of snow cover depth, snow reserves and winter snow content in Altai Krai in 1966–2015. Geographical research of young scientists in Asia regions. Proceedings of the all-Russian youth conference with international participation. (Barnaul-Belokurikha, November 7–11, 2016)]. Barnaul: Five plus: 2016. pp. 41–45. In Russian
- Kharshan Sh.A. *Dolgosrochnye prognozy stoka gornyykh rek Sibiri* [Long-term forecasts of mountain river runoff in Siberia]. *Trudy Gidrometcentra SSSR. Proceedings of the USSR hydrometeorological center*. V. 65. Leningrad, Hydrometeorological edition, 1970. 211 p. In Russian

Khromov S.P., Mamontova L.I. *Meteorologicheskij slovar'*. [Meteorological dictionary]. Leningrad: Hydrometeorological edition, 1974. 568 p. In Russian

Chebotaev A. I. *Gidrologicheskij slovar'*. [Hydrological dictionary]. Leningrad: Hydrometeorological edition, 1978. 308 p. In Russian

Chernykh D.V., Samoylova G.S. *Landshafty Altaya (Respublika Altay i Altayskiy kray)* [Altai landscapes (Republic of Altai and Altai Krai)]. Map. Scale 1:500 000. Novosibirsk: Federal state unitary enterprise Novosibirsk Cartographic Factory, 2011. In Russian.

Internet source: All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information Official website: <http://www.meteo.ru>

Internet source: Dictionary of geography. *Slovari i enciklopedii na Akademike*. [Dictionaries and encyclopedias on the Academic]. https://geography_ru.academic.ru/6511. In Russian

Berghuijs W.R., Woods R.A., Hrachowitz M.A. Precipitation shift from snow towards rain leads to a decrease in streamflow // *Nature Climate Change*. 2014, 4(7). pp. 583–586.

Brown R.D., Robinson D.A. Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922–2010 including an assessment of uncertainty//*The Cryosphere*. 2011, 5. pp. 219–229.

Han L.J., Tsunekawa A., Tsubo M. et al. Spatial variations in snow cover and seasonally frozen ground over northern China and Mongolia, 1988–2010 // *Global and Planetary Change*. 2014. No. 116. pp. 139–148.

Holko L., Gorbachova L., Kostka Z. Snow Hydrology in Central Europe // *Geography Compass*. 2011, 5(4).pp. 200–218.

Pershin D., Chernykh D., Lubenets L., Biryukov R., Zolotov D. Snow surveys in the south of the Western Siberia (Russia) // *Mendeley Data*. 2020. V. 4. doi: 10.17632/8f4ky92by9.4

Shen Y.P., Wang G.Y., Su H.C. et al. Hydrological processes responding to climate warming in the upper reaches of Kelan River basin with snow-dominated of the Altay Mountains region, Xinjiang, China (Chinese) // *Journal of Glaciology and Geocryology*. 2007. No. 29 (06). pp. 845–854.

Информация об авторах:

Лубенец Л.Ф., кандидат географических наук, научный сотрудник, лаборатория ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования, Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия.

E-mail: lilia_lubenets@mail.ru

Черных Д.В., главный научный сотрудник, лаборатория ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования, Институт водных и экологических проблем СО РАН; профессор, кафедра экологии, биохимии и биотехнологии, биологический факультет, Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия.

E-mail: chernykh@mail.ru

Коломейцев А.А., ведущий инженер, лаборатория гидрологии и геоинформатики, Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия.

E-mail: kolomeycev@iwep.ru

Самойлова С.Ю., кандидат географических наук, научный сотрудник, лаборатория гидрологии и геоинформатики, Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия.

E-mail: bastet05@list.ru

Першин Д.К., кандидат географических наук, младший научный сотрудник, кафедра физической географии и ландшафтоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия; научный сотрудник, лаборатория ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования, Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия.

E-mail: dmitrypersh@gmail.com

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors:

Lubenets L.F., Cand. Sci. (Geography), Researcher, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia.

E-mail: lilia_lubenets@mail.ru

Chernykh D.V., Dr. Sci. (Geography), Chief Researcher, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia; Professor, Altai State University, Barnaul, Russia.

E-mail: chernykh@mail.ru

Kolomeyev A.A., Lead Engineer, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia.

E-mail: kolomeycev@iwep.ru

Samoylova S.Yu., Cand. Sci. (Geography), Researcher, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia.

E-mail: bastet05@list.ru

Pershin D.K., Cand. Sci. (Geography), Junior Researcher, Department of Physical Geography and Landscape Science, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; Researcher, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia.

E-mail: dmitrypersh@gmail.com

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.08.2020; одобрена после рецензирования 24.11.2021; принята к публикации 06.11.2022

The article was submitted 13.08.2020; approved after reviewing 24.11.2021; accepted for publication 06.11.2022