

ОЦЕНКА ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БАССЕЙНА РЕКИ МАЙМА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

В.В. Зуев, Н.Е. Зуева, В.А. Уйманова, С.А. Кураков

E-mail: vzuev@list.ru

*ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем
Сибирского отделения Российской академии наук», г. Томск, Россия*

АННОТАЦИЯ: Вследствие возрастающей антропогенной нагрузки на фоне происходящих климатических изменений малые реки становятся одним из уязвимых и, как показывают события последних лет, непредсказуемых элементов водохозяйственного комплекса. Для уменьшения опасности наводнений необходимы совершенствование методов долговременного прогноза, прогноза в режиме «наукастинг» и сбор детальной гидрометеорологической информации о бассейне реки с учетом прогноза погоды. Очевидно, что на фоне характерных для конкретного региона общих закономерностей формирования речного стока должны учитываться индивидуальные особенности стока рек в определенных метеоусловиях.

Прогнозные оценки высоты возможных дождевых паводков и потенциальной опасности затопления населенных пунктов Горного Алтая показали, что областью наиболее высокой паводковой опасности является Майминский район, на территории которого расположен водосборный бассейн р. Майма. Система наблюдения АК «Майма» на реке распределена по местности, начиная от истока. С ее помощью можно осуществлять непрерывный дистанционный мониторинг гидрометеорологической ситуации в реальном времени с любой заданной периодичностью измерений в любой точке водосбора, что значительно повышает степень объективности информации и позволяет спрогнозировать развитие гидрометеорологической ситуации, в т. ч. в период половодья. Таким образом, получаемую с помощью автономного комплекса «Майма» гидрометеорологическую информацию, при условии высотной привязки датчика уровня воды, можно использовать для прогноза уровенного режима и для обеспечения оперативными данными административные структуры, население и МЧС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: р. Майма, Горный Алтай, водный режим, мониторинг, «наукастинг», наводнение, автономный измерительный комплекс.

Система оповещения о надвигающемся наводнении играет важную роль в оперативном принятии мер по предотвращению ущерба [1–3]. Причины возникновения наводнений на реках давно известны: продолжительные

© Зуев В.В., Зуева Н.Е., Уйманова В.А., Кураков С.А., 2020

интенсивные дожди и ливни, таяние снегов и ледников, прохождение заторов и зажоров. В последние годы также повышается влияние на формирование наводнений антропогенных факторов: вырубка леса, хозяйственное освоение пойм, продольная распашка склонов и т. д. [4]. В результате снижаются инфильтрационные свойства почв, поверхностный сток увеличивается, резко возрастает интенсивность паводков.

Малые реки в условиях возрастающей антропогенной нагрузки и происходящих в настоящее время климатических изменений становятся одним из самых уязвимых и, как показывают события последних лет, непредсказуемых элементов водохозяйственного комплекса. Во многих регионах России учащается повторяемость чрезвычайных ситуаций, связанных с резким повышением уровня воды в реках и увеличением интенсивности паводков [4–6]. Так, аномально высокий дождевой паводок, прошедший в северной части Республики Алтай 27–30 мая 2014 г., стал самым катастрофическим событием по интенсивности, масштабам наводнения и величине причиненного ущерба за весь период инструментальных наблюдений в регионе (60–80 лет) [7].

На водосборных бассейнах с потенциально высокой паводковой опасностью [10–12], которым является бассейн р. Майма, необходимо не только создание сети гидропостов для проведения планомерных гидрологических исследований [13], но и организация сети оперативного мониторинга состояния окружающей среды, что позволило бы спрогнозировать развитие чрезвычайной ситуации и своевременно принять меры по уменьшению ущерба региону.

Цель данного исследования – проанализировать особенности гидрометеорологического режима бассейна р. Майма, находящегося в горной местности и подверженного наводнениям, разработать метод анализа и контроля процесса наводнения в целях улучшения системы мониторинга стабильного и устойчивого состояния уровня режима реки, систематизировать фактический материал в исследуемом бассейне с учетом данных, полученных с автономного комплекса «Майма», являющегося наблюдательной сетью, созданной учеными Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (ИМКЭС СО РАН) г. Томска.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

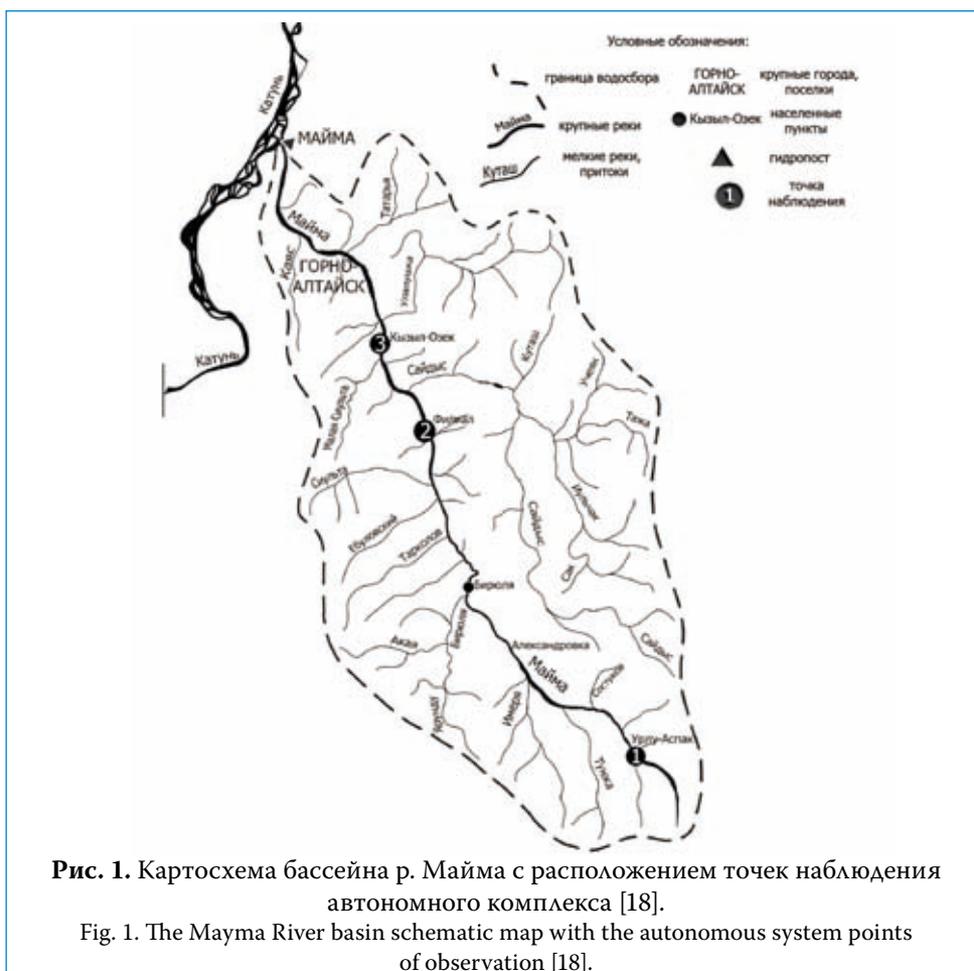
Река Майма находится на севере Республики Алтай, является правым притоком Катуня и частью системы Верхней Оби. Водосборный бассейн реки составляет 780 км² и приурочен к низко-среднегорной, умеренно увлажненной и залесенной зоне Северного Алтая. На равнинной территории водосборного бассейна преобладают лугово-черноземные, луговые, пойменные, часто засоленные почвы; на горной – горнолесные, серые

оподзоленные [14]. Длина р. Майма – почти 60 км, превышение истока над устьем – 800 м, средняя отметка водосбора – 650 м. Скорость течения реки меняется от 3 до 1 м/с. Притоками Маймы являются более 20 малых рек и ручьев протяженностью до 39 м [15]. Среднегодовой расход воды в замыкающем створе с. Майма составляет 8,66 м³/с, средний многолетний уровень воды во время половодья – 3,4 м. По типу водного режима р. Майма относится к рекам с весенним половодьем и летними паводками. Около 45 % стока приходится на весну, 30 % – на лето [16]. По данным метеостанции в с. Кызыл-Озёк среднегодовая температура воздуха составляет +1 °С, годовая сумма осадков – 795 мм, среднемноголетняя высота снежного покрова – 68 см [17].

Автономный комплекс (АК) «Майма» установлен и функционирует в бассейне р. Майма уже более четырех лет. Достоверно установлено, что гидрометеорологическая информация, получаемая с АК «Майма», является репрезентативной и соответствует официальным данным Росгидромета [18, 19]. Система наблюдения на реке распределена в нескольких точках по местности, начиная от ее истока в с. Урлу-Аспак (№ 1), пос. Филиал (№ 2) и окрестностях с. Кызыл-Озёк (№ 3) (рис. 1). Каждая точка наблюдения имеет индивидуальный набор измеряемых параметров, в число которых входят высота снежного покрова, атмосферное давление, влажность и температура воздуха, количество осадков, температура почвы в метровом слое, уровень и температура воды, количество солнечной радиации, скорость и направление ветра [20, 21]. Информация с АК «Майма» регистрируется и передается на сервер Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН каждый час.

Для определения основных факторов, при которых в бассейне р. Майма во время половодья возможно развитие экстремальных ситуаций, были проанализированы данные измерений АК «Майма» и данные Росгидромета за 2017 и 2018 гг. Используются следующие источники:

- данные об уровне воды (гидропост в с. Майма и сервис [22] официальной информации Западно-Сибирского УГМС);
- данные о температуре воздуха (метеостанция в с. Кызыл-Озёк, сервис ВНИИГМИ-МЦД [23]);
- данные о высоте снежного покрова и температуре почвы на глубину до 40 см (пункты наблюдения № 1, с. Урлу-Аспак и № 3, с. Кызыл-Озёк, АК «Майма»);
- температура воздуха и количество жидких осадков (пункт наблюдения № 3, с. Кызыл-Озёк, АК «Майма»);
- температура и уровень воды (пункт наблюдения № 2, пос. Филиал, АК «Майма»).



РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе имеющихся данных построена табл. 1, отражающая гидрометеорологическую обстановку региона в холодный (ноябрь–март) период и в период половодья 2017 и 2018 гг. Добавление предстоящего холодному периоду месяца и следующего после необходимо для отслеживания наступления устойчивого снежного покрова (октябрь) и спада первых пиков половодья (до 20 апреля). В табл. 1 отражены даты установления устойчивого снежного покрова с сопровождающимся количеством жидких осадков, описан характер почвы, влажность и температурный режим (промерзание), интенсивность снеготаяния. Детально проанализирован период половодья: дата наступления, продолжительность, интенсивность, количество осадков и максимальный уровень первого пика половодья.

Комплексная оценка формирования половодья 2017 г.

Рассматривая сроки установления устойчивого снежного покрова, необходимо отметить раннее наступление зимы осенью 2016 г., что связано с аномально низкими для этого периода температурами воздуха в октябре [24] (рис. 2, рис. 3). Такие погодные условия способствовали выпадению осадков в виде снега и раннему установлению устойчивого снежного покрова (табл. 1, рис. 3).

Период 1 октября 2016 – 20 апреля 2017 гг. характеризуется аномально низкими среднесуточными температурами ноября (табл. 1, рис. 2, рис. 3). Однако большое количество снега, выпавшего в первой половине месяца, препятствовало замерзанию почвы. К 15 ноября в пунктах наблюдений уровень снега достигал 45 см (рис. 3), похолодание 16–22 ноября привело лишь к незначительному постепенному понижению температуры на глубину до 50 см в пункте № 3 и до 40 см в пункте № 1. В пункте № 3 зафиксировано понижение влажности почвы на глубине 10 см до 36,8 %. В целом с декабря по февраль значения среднесуточных температур воздуха были выше многолетнего среднего, но фактически оставались в пределах верхней границы среднеквадратического отклонения (СКО) (рис. 2), в дневные часы в ряде случаев существенно превышая среднюю климатическую норму. Периоды похолоданий были непродолжительны, а температуры незначительно опускались ниже многолетнего среднего, за исключением похолоданий с 11 по 15 февраля (табл. 1, рис. 2). Однако на состояние почвы подобные колебания значимого влияния не оказали.

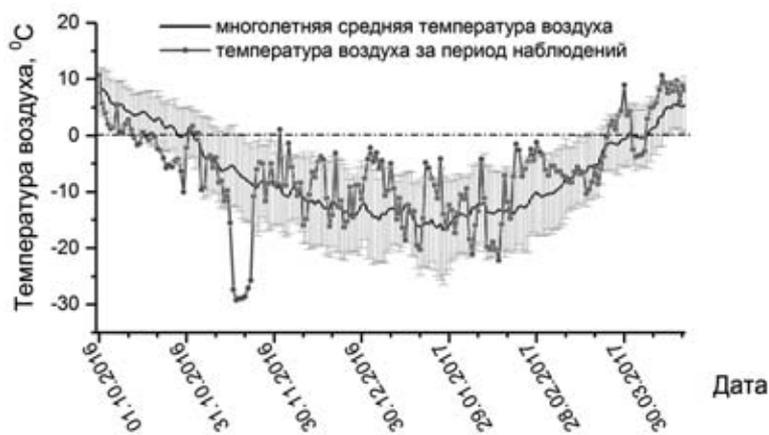


Рис. 2. Временные ряды среднесуточных температур с 1 октября по 20 апреля (2016–2017 гг.) в сравнении с многолетним средним для метеостанции в с. Кызыл-Озёк (показан интервал \pm СКО).

Fig. 2. The mean daily time series from October 1 to April 20 (2016–2017) in comparison with many-year average value for meteorological station in Kyzyl-Ozyok (an interval \pm MSD is shown).

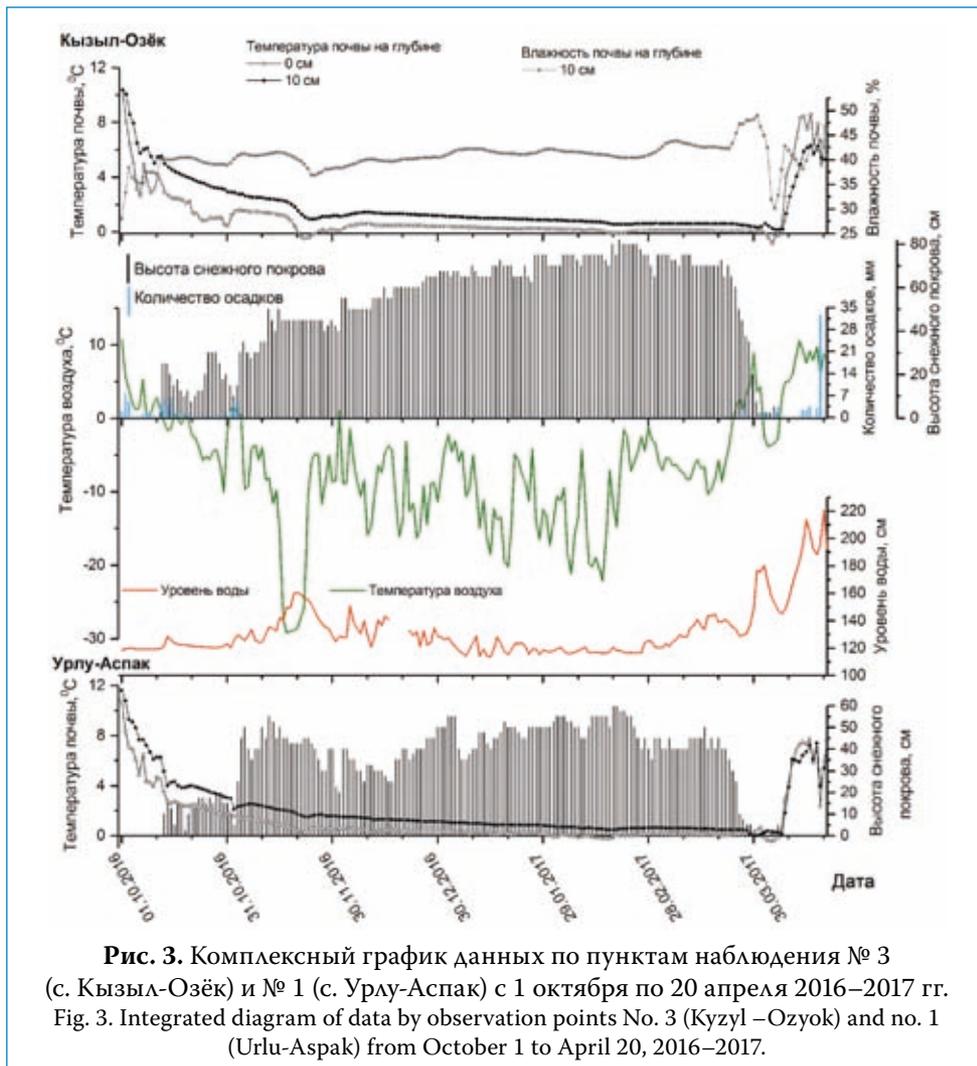
Таблица 1. Гидрометеорологические условия в бассейне р. Майма с октября по апрель 2016–2017, 2017–2018 гг.

Table 1. Hydro/meteorological conditions in the Mayma River basin from October to April 2016–2017, 2017–2018

Показатель	Период наблюдений*			
	01.10.2016–20.04.2017		01.10.2017–20.04.2018	
	Пункт № 3, с. Кызыл-Озёк	Пункт № 1, с. Урлу-Аспак	Пункт № 3, с. Кызыл-Озёк	Пункт № 1, с. Урлу-Аспак
Дата установления устойчивого снежного покрова	13 октября	13 октября	8 ноября	8 ноября
Количество жидких осадков с 01.10 до установления устойчивого снежного покрова	59 мм	79 мм	51 мм	45 мм
Влажность почвы на глубине 10 см: а) к началу установления постоянного снежного покрова б) к началу интенсивного снеготаяния	а) ~ 43 %; б) ~ 42 %	нет данных	а) ~ 43 %; б) ~ 22 %	нет данных
Максимальная глубина промерзания почвы	почва не промерзала t_{\min} на поверхности почвы ~ 0 °С		возможно > 40 см	до 40 см
Высота снежного покрова к началу интенсивного снеготаяния	65 см	35 см	53 см	55 см
Период интенсивного снеготаяния	24.03–03.04 (10 сут)	24.03–31.03 (7 сут)	15.03–29.03 (14 сут)	15.03–29.03 (14 сут)
Средняя температура воздуха в период весеннего снеготаяния	3,3 °С	4 °С	0,7 °С	1,7 °С
Средняя скорость стаивания снежного покрова	6,5 см/сут	5 см/сут	3,5 см/сут	3,7 см/сут
Количество жидких осадков за период весеннего снеготаяния	6 мм	3 мм	34 мм	27 мм
Временной интервал формирования первого пика паводка (среднесуточные данные): а) по данным АК «Майма» б) по данным гидропоста	а) 28.03–31.03 (3 сут); б) 26.03–31.05 (5 сут)	нет данных	а) 22.03–24.03 (2 сут); б) с 23.03 (нет данных за 25.03)	нет данных
Экстремальное количество жидких осадков в период прохождения паводка	18.04 36 мм	18.04 и 19.04 $\Sigma=32$ мм	--	--
Скорость подъема уровня реки первого пика половодья: а) по данным АК «Майма» б) по данным гидропоста	а) 15,4 см/сут б) 13,4 см/сут	нет данных	а) 43,5 см/сут б) 45 см/сут (данные за первые сутки)	нет данных
Максимальный уровень первого пика (среднесуточные данные): а) по данным АК «Майма» б) по данным гидропоста	а) 177 см; б) 272 см	нет данных	а) 205 см; б) 243 см в первые сутки	нет данных
Временной интервал прохождения первого пика паводка	а) 28.03–7.04 (10 сут) б) 26.03–7.04 (12 сут)	нет данных	а) 22.03–3.04 (13 сут); б) 23.03–5.04 (14 сут)	нет данных

Примечание: * – уровень воды (пункт наблюдения № 2 (пос. Филиал) АК «Майма».

Кроме температурного режима фактором, сдерживающим процесс замерзания почвы в зимний период 2016–2017 гг., стало большое количество регулярных осадков. Уже к концу декабря высота снежного покрова в пункте № 3 достигала 60 см, 50 см в пункте № 1 (рис. 3). Различие обусловлено более высокой среднесезонной температурой воздуха в пункте № 1. Поэтому накопление снега в бассейне реки происходило неравномерно: существенное влияние на высоту снежного покрова оказывали оттепели. Наиболее явно их влияние проявилось в пункте наблюдения № 1 в первой половине марта 2017 г. (рис. 3).



Резкое потепление до температур, превышающих верхний предел СКО многолетнего среднего (рис. 2), стало причиной быстрого развития паводка всего через двое суток от начала интенсивного снеготаяния. Как по данным гидропоста, так и по данным АК «Майма», первый пик сформировался в течение пяти суток (табл. 1). Формирование второго пика половодья произошло при установившейся теплой погоде с 7 апреля со среднесуточными температурами в пределах верхней границы СКО многолетнего среднего (рис. 2). Продолжительность подъема составила семь суток. На формирование максимума могло повлиять количество осадков на территории бассейна реки: по данным АК «Майма» 13 апреля в пункте № 1 зарегистрировано выпадение около 20 мм жидких осадков. Третий максимум уровня воды 19 апреля был вызван именно выпадением большого количества осадков. По данным [25], 18 апреля на метеостанции в с. Кызыл-Озёк зарегистрировано выпадение 33 мм осадков, по данным АК «Майма» – 32 мм осадков, в пункте № 1 – такое же в сумме количество осадков выпало за два дня 18–19 апреля. По оценке Министерства природных ресурсов, экологии и имущественных отношений Республики Алтай [25], дождевой паводок 19 апреля 2017 г. относится к чрезвычайным ситуациям природного характера.

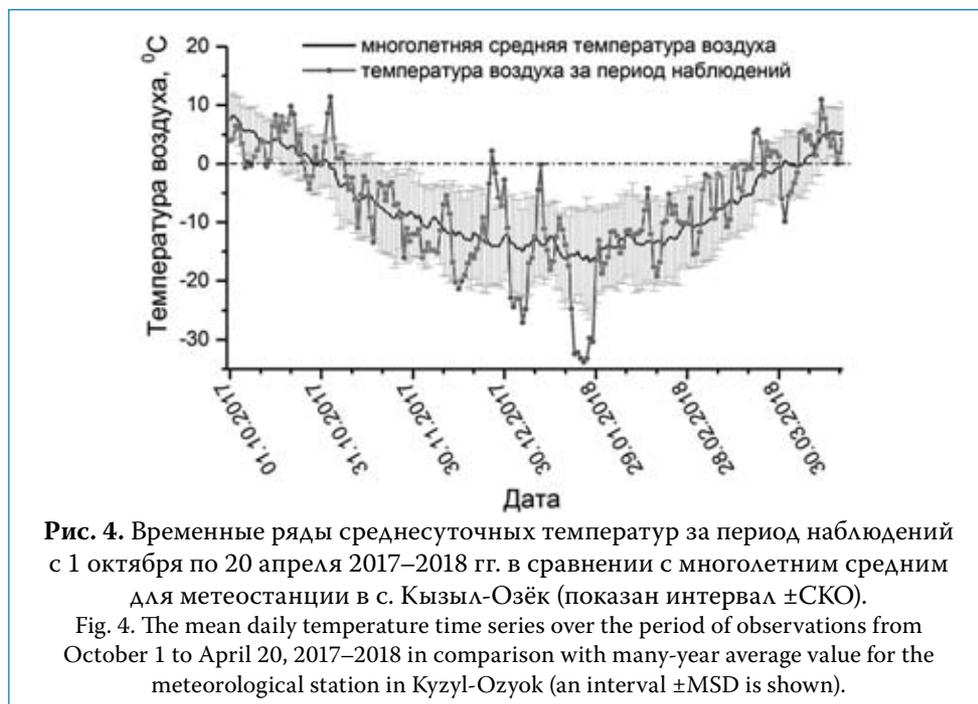
Комплексная оценка формирования половодья 2018 г.

Осенью 2017 г., после резкого похолодания 25–28 октября, к 3 ноября в дневное время в пунктах наблюдения регистрировалось повышение температуры до 21–23 °С. Однако уже 4 ноября она не поднималась выше +6 °С, а 8 ноября установился постоянный снежный покров (рис. 5). Температурный режим декабря и января отличался резкими перепадами: похолодания во второй декаде декабря, в первой и третьей декадах января чередовались с аномальными потеплениями (рис. 4). Несмотря на погодные аномалии, температура и влажность почвы на глубине 10 см в пункте № 3 практически не менялись до 19 марта 2018 г. Высота снежного покрова в этот период составляла 35–40 см. В пункте № 1 потепления были более выраженными как по температуре, так и по длительности, и, как следствие, высота снежного покрова была ниже – 30 см. Переход температуры почвы через 0 °С зарегистрирован лишь 16 января. Дальнейшее замерзание почвы стало прямым следствием похолодания 22–26 января (рис. 5). Глубина промерзания, по данным АК «Майма», достигала 40 см.

Весной 2018 г. процесс снеготаяния протекал при значительных колебаниях внутрисуточных температур. Среднесуточные температуры воздуха в марте 2018 г., преимущественно оставаясь в пределах СКО, были выше многолетнего среднего (рис. 4). Резкая смена погоды сопровождалась выпадением значительного количества твердых осадков, поэтому к началу снеготаяния снежный покров в пунктах наблюдений был высоким

(табл. 1, рис. 5). Первоначально процесс снеготаяния сдерживался ночными заморозками до -12°C . Как и в марте 2017 г., резкое потепление стало причиной быстрого развития половодья.

Анализ среднесуточных данных, полученных по АК «Майма», показал, что первый пик половодья сформировался в течение двух суток, 22–24 марта (табл. 1). По среднесуточным данным АК «Майма» максимальный уровень сохранялся в течение четырех суток. Уровень воды в реке 28 марта понизился до 142 см, а начавшееся 31 марта значительное похолодание способствовало его дальнейшему спаду до отметки 112 см.



В докладе Министерства природных ресурсов, экологии и имущественных отношений Республики Алтай к категории чрезвычайных ситуаций природного характера отнесен паводок 26–27 марта на ряде малых рек, к разряду которых относится и р. Майма. В условиях быстрого, в течение нескольких часов, изменения уровня воды, объективную информацию можно получать, используя данные регулярных почасовых измерений, что позволяет делать АК «Майма». Выявлено, что максимума первый этап половодья достиг в ночь с 26 на 27 марта. С потеплением и таянием выпавшего в период похолодания снега с 6 апреля началось формирование второго, по данным значительно более низкого, пика половодья (рис. 5).

Анализ характера половодья в 2017 и 2018 гг.

Как правило, в комплекс факторов, от которых зависит скорость подъема уровня воды в период весеннего половодья, включают такие параметры, как степень осеннего увлажнения почвы и глубина ее промерзания. Они определяют соотношение инфильтрации и стока талой воды, температурного режима и количества осадков в период активного снеготаяния [26].

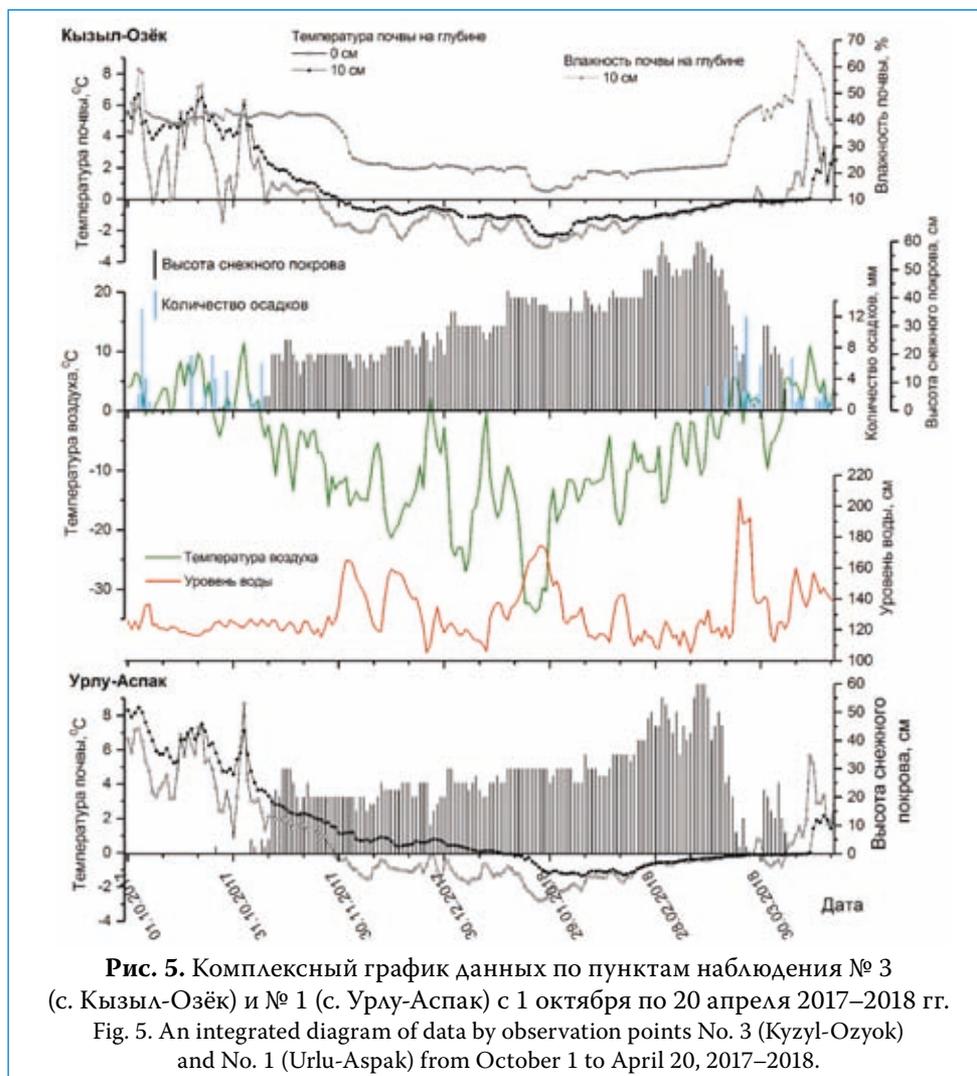


Рис. 5. Комплексный график данных по пунктам наблюдения № 3 (с. Кызыл-Озёк) и № 1 (с. Урлу-Аспак) с 1 октября по 20 апреля 2017–2018 гг.
Fig. 5. An integrated diagram of data by observation points No. 3 (Kyzyl-Ozyok) and No. 1 (Urlu-Aspak) from October 1 to April 20, 2017–2018.

По данным измерений АК «Майма», степень осеннего увлажнения почвы на момент установления постоянного снежного покрова за два года наблюдений была достаточно высокой и практически одинаковой. В холодный пе-

риод после установления постоянного снежного покрова (ноябрь–февраль) динамика состояния почвы определялась совокупностью таких факторов, как температура воздуха и высота снежного покрова. Анализ полученных АК «Майма» данных показал не только существенные межгодовые различия температурного режима и влажности почвы, но и выявил отличия внутригодовой динамики измеряемых параметров в двух пунктах наблюдений, расположенных на территории бассейна реки всего в 30 км друг от друга (табл. 1, рис. 3, рис. 5).

На рис. 6 и 7 представлена динамика гидрометеорологической ситуации в среднем течении р. Майма с 1 марта по 20 апреля 2017 и 2018 гг. АК «Майма» позволяет определять инфильтрационное состояние почвы – промерзание или переувлажнение. Данные факторы влияют на образование водоупора в поверхностном слое во время прохождения половодья, когда поверхностный сток увеличивается и резко возрастает интенсивность паводков. По данным АК «Майма», в 2017–2018 гг. мерзлый слой сформировался в пункте № 3 при низком уровне снежного покрова еще в ноябре, а при аномально низких температурах в январе на глубину до 40 см промерзла почва в пункте № 1 (рис. 3, рис. 5). В 2016–2017 гг. мощный снежный покров препятствовал промерзанию почвы, сохранив высокий уровень влажности.

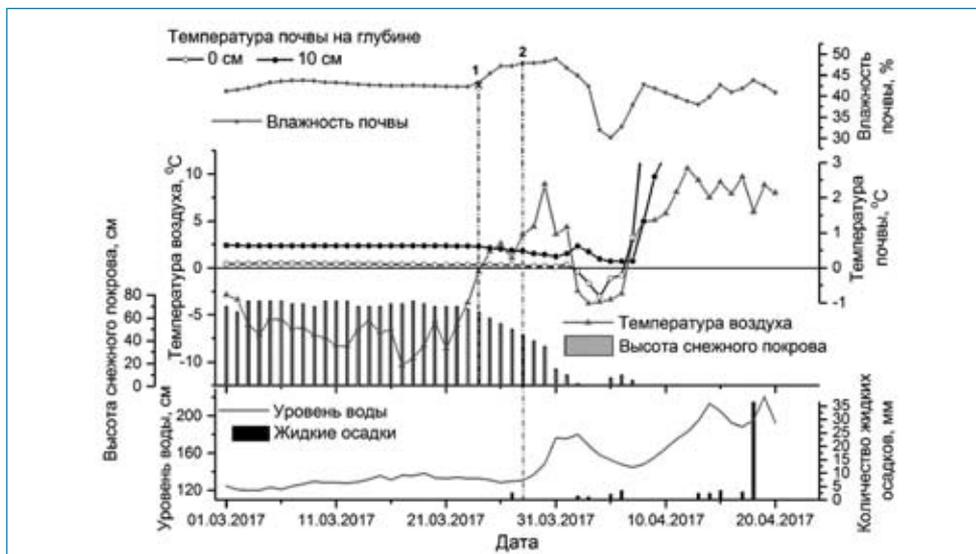


Рис. 6. Комплексный график данных по пункту наблюдения № 3 (с. Кызыл-Озёк) с 1 марта по 20 апреля 2017 г. (уровень воды по пункту № 2): 1 – начало периода интенсивного снеготаяния; 2 – начало формирования первого пика половодья.

Fig. 6. An integrated diagram for point of observation no. 3 (Kyzyl-Ozyok) from march 1 to April 20, 2017 (the water level according to point No. 2): 1 – start of the intensive snowmelt period; 2 – start of the first peak of high water formation.



Рис. 7. Комплексный график данных по пункту наблюдения № 3 (с. Кызыл-Озёк) с 1 марта по 20 апреля 2018 г. (уровень воды по пункту № 2): 1 – начало периода интенсивного снеготаяния; 2 – начало формирования первого пика половодья; 3, 3' – дата перехода через 0 °С температуры верхнего слоя почвы; 4 – дата перехода через 0 °С температуры почвы на глубине 10 см.

Fig. 7. An integrated diagram for point of observation No.3 (Kyzyl-Ozyok) from March 1 to April 20, 2018 (The water level according to point No. 2): 1 – start of the intensive snowmelt period; 2 – starting of the first peak of high water formation; 3, 3' – the date of transition over 0° of the soil upper layer temperature; 4 – the date of transition over 0° of the 10 cm depth soil temperature.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований установлено, что основным преимуществом использования АК «Майма» является осуществление непрерывного дистанционного мониторинга гидрометеорологической ситуации в реальном времени с любой заданной периодичностью измерений в любой точке водосбора. Это значительно повышает степень объективности информации и позволяет предсказывать развитие гидрометеорологической ситуации, в т. ч. в период половодья. Таким образом, совмещая долгосрочный прогноз, мониторинг АК «Майма» и действующий прогноз погоды, можно улучшить прогноз наводнения и в перспективе уменьшить ущерб от чрезвычайной ситуации в бассейне реки.

Разработан метод оценки прогноза наводнения на основе комплексного анализа данных мониторинга АК «Майма» и текущего прогноза погоды, что позволило повысить степень объективности и точность развития гидрометеорологической ситуации за счет анализа инфильтрационного состояния почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмин В.А., Дикинис А.В. Комплексное использование данных дистанционного зондирования, наземных наблюдений и численных прогнозов погоды при автоматизированном прогнозировании стока // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического ун-та. 2011. № 22. С. 16–27.
2. Moore R.J., Bell V.A., Jones D.A. Forecasting for flood warning // Comptes Rendus Geoscience. 2005. Vol. 337. № 1–2. P. 203–217.
3. Demeritt D., Nobert S., Cloke H.L., Pappenberger F. The European Flood Alert System and the communication, perception, and use of ensemble predictions for operational flood risk management // Hydrological Processes. 2013. Vol. 27. № 1. P. 147–157.
4. Авакян А.Б. Наводнения в прошлом, настоящем и будущем: концепция защиты // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2001. № 10. С. 43–49.
5. География Сибири в начале XXI века. Западная Сибирь / гл. ред. В. М. Плюсин; отв. ред. Ю. И. Винокуров, Б. А. Красноярова. Новосибирск: Изд-во «Гео», 2016. Т. 5. 447 с.
6. Экстремальные гидрологические ситуации / отв. ред. Н. И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева. М.: ООО «Медиа-ПРЕСС», 2010. 464 с.
7. Робертус Ю.В. К проблеме гидроэкологической безопасности на территории Республики Алтай // Экологические аспекты природопользования в Алтае-Саянском регионе: материалы межд. научно-практ. конф. Барнаул, 1–8 августа 2014 г. Барнаул, 2014. С. 39–44.
8. Hossain F., Katiyar N. Improving flood forecasting in international river basins // Eos, Transactions American Geophysical Union. 2006. Vol. 87. № 5. P. 49–54.
9. Безруков Л.А., Гагарина О.В., Кичигина Н.В., Корытный Л.М., Фомина Р.А. Водные ресурсы Сибири: состояние, проблемы и возможности использования // География и природные ресурсы. 2014. № 4. С. 30–41.
10. Робертус Ю.В., Достовалова М.С., Любимов Р.В. Особенности прохождения аномального паводка 2014 г. на территории Республики Алтай // Природные ресурсы Горного Алтая. Геология, геофизика, гидрогеология, геоэкология, минеральные и водные ресурсы. 2014. № 18 (1). С. 57–62.
11. Семенов В.А. География климатообусловленных изменений опасных наводнений на реках России в конце XX – начале XXI столетий // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. № 177. С. 160–174.
12. Харламова Н.Ф., Плехова А.В. Факторы формирования чрезвычайных гидрологических ситуаций в бассейнах малых рек предгорно-низкогорной зоны Алтая // Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования. Барнаул, 20–24 октября 2015 г. Барнаул, 2015. С. 1407–1410.
13. Природные комплексы Майминского района Республики Алтай: коллективная монография / Шитов А.В. и др. // Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2006. 200 с.
14. Атлас Алтайского края. Москва: ГУГК, 1979. С. 203–207.
15. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 1. Горный Алтай и Верхний Иртыш. Ч. 1. / ред. В.А. Семенова. Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во, 1969. 316 с.
16. Пузанов А.В., Робертус Ю.В., Любимов Р.В., Кивацкая А.В. Гидролого-гидрохимические аспекты поверхностного стока в бассейне р. Майма (Горный Алтай) // Проблемы региональной экологии. 2015. № 1. С. 49–55.

17. Модина Т.Д., Сухова М.Г. Климат и агроклиматические ресурсы Алтая. Новосибирск: Универсальное книжное изд-во, 2007. 180 с.
18. 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. 2018. № 5. С. 65–74.
19. Kiselev M.V., Voropaу 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 2018. Vol. 190. P. 12–31.
20. Зуев В.В., Кураков С.А., Уйманова В.А. Комплексный мониторинг погодноклиматического и гидрологического режима бассейна р. Майма (Горный Алтай): первые результаты // Ползуновский вестник. 2017. № 3. С. 70–75.
21. Кураков С.А. Система автономного мониторинга состояния окружающей среды // Датчики и системы. 2012. № 4. С. 29–32.
22. Майма // Справочная инф. для туристов-водников, каякеров, рыбаков. Режим доступа: <http://allrivers.info/river/maуma> (дата обращения 15.10.2019).
23. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) // Температура воздуха и количество осадков (ежедневные данные). Режим доступа: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (дата обращения 01.10.2019).
24. Министерство природных ресурсов, экологии и имущественных отношений Республики Алтай. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2016 году». Режим доступа: http://www.altai-republic.ru/society/doklad_nature_2016.pdf (дата обращения 10.11.2019).
25. Министерство природных ресурсов, экологии и имущественных отношений Республики Алтай. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2017 году». Режим доступа: https://mpr-ra.ru/docs/nedra-info/Doklad_2017.pdf (дата обращения 10.11.2019).
26. Романов А.Н., Люцигер А.О., Трошкин Д.Н., Хвостов И.В., Уланов П.Н., Люцигер Н.В. Космический микроволновый мониторинг опасных гидрологических явлений на юге Западной Сибири. Барнаул: ООО «Пять плюс», 2017. 109 с.

Для цитирования: В.В. Зуев, Н.Е. Зуева, В.А. Уйманова, С.А. Кураков. Оценка инфильтрационного состояния почв на основе комплексного мониторинга гидрометеорологического режима бассейна реки майма (Горный Алтай) // Водное хозяйство России. 2020. № 2. С. 118–134.

Сведения об авторах:

Зуев Владимир Владимирович, чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН», Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3; e-mail: vzuev@list.ru

Зуева Нина Евгеньевна, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН», Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3; e-mail: n11.zueva@yandex.ru

Уйманова Валерия Александровна, младший научный сотрудник, ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН», Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3; e-mail: skvaleri91@mail.ru

Кураков Сергей Анатольевич, научный сотрудник, ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН», Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3; e-mail: ksa@imces.ru

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF SOIL INFILTRATION PROPERTIES AND HYDRO/METEOROLOGICAL REGIME OF THE MAYMA RIVER, GORNIY ALTAI

Vladimir V. Zuev, Nina E. Zueva, Valeria A. Uymanova, Sergey A. Kurakov

E-mail: n11.zueva@yandex.ru

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

Abstract: Increasing anthropogenic pressure against the backdrop of ongoing climate changes made small rivers one of the most vulnerable and, as recent events show, unpredictable elements of the water/economy complex. To reduce the risk of floods damage, it is necessary to improve the methods of long-term forecasting, real-time forecasting (“nowcasting”) that requires obtaining detailed hydro/meteorological information about the river basin, taking into account the actual weather forecast. Obviously, against the background of the general patterns of river runoff formation for a particular region, the individual characteristics of the flow formation of each river in certain weather conditions should be taken into account. Predictively estimated maximums of possible rain floods and the flooding potential risks of residential areas of Gorniy Altai have shown that the area of the highest flood hazard is the district “Mayminsky”, which territory includes the catchment basin of the Mayma River. The autonomous monitoring system “Mayma” is distributed at several points on the river, starting from its source. It can provide the continuous real-time remote monitoring of the hydrological situation with any given measurement frequency at any point of the catch basin. This significantly increases the accuracy of data and enables predicting the development of the hydrological situation, including the flood periods. Thus, the hydrological information obtained with the Mayma autonomous complex, provided that the water level sensors have proper altitude alignment, can be used to predict the level regime and to provide operational data to the executive authorities, population and the Ministry of Emergencies.

Key words: Mayma River, Altai Mountains, water regime, monitoring, nowcasting, flood, autonomous measurement system.

About the authors:

Vladimir V. Zuev, Corresponding Member of RAS, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Principal Researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Akademicheskyy st., 10/3, Tomsk, 634055, Russia, e-mail: vzuev@list.ru

Nina E. Zueva, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Akademicheskyy st., 10/3, Tomsk, 634055, Russia, e-mail: n11.zueva@yandex.ru

Valeria A. Uymanova, Junior Researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Akademicheskyy st., 10/3, Tomsk, 634055, Russia, e-mail: skvaleri91@mail.ru

Sergey A. Kurakov, Researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Akademicheskyy st., 10/3, Tomsk, 634055, Russia, e-mail: ksa@imces.ru

For citation: Zuyev V.V., Zuyeva N.E., Uymanova V.A., Kurakov S.A. *Comprehensive Assessment of Soil Infiltration Properties and Hydro/meteorological Regime of the Mayma River Basin, Gorniy Altay// Water Sector of Russia. 2020. No. 2. P. 118–134.*

REFERENCES

1. Kuz'min V.A., Dikinis A.V. Kompleksnoe ispol'zovanie dannykh distantsionnogo zondirovaniya, nazemnykh nabliudeni i chislennykh prognozov pogody pri avtomatizirovanom prognozirovaniyi stoka [Integrated use of remote sensing data, ground observations and digital forecasts in automated forecasting of the runoff] // Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. 2011. № 22. P. 16–27.
2. Moore R.J., Bell V.A., Jones D.A. Forecasting for flood warning // *Comptes Rendus Geoscience*. 2005. Vol. 337. № 1–2. P. 203–217.
3. Demeritt D., Nobert S., Cloke H.L., Pappenberger F. The European Flood Alert System and the communication, perception, and use of ensemble predictions for operational flood risk management // *Hydrological Processes*. 2013. Vol. 27. № 1. P. 147–157.
4. Avakian A.B. Navodneniia v proshlom, nastoiashchem i budushchem: kontseptsiiia zashchity [Floods in the past, present and future: concept of protection] // *Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii*. 2001. № 10. P. 43–49.
5. Geografiia Sibiri v nachale XXI veka. Zapadnaia Sibir' [Geography of Siberia in early XXI century. Western Siberia] / gl. red. V. M. Pliusnin; otv. red. Iu. I. Vinokurov, B. A. Krasnoiarova. Novosibirsk : Akademicheskoe izdatel'stvo «Geo», 2016. Vol. 5. 447 p.
6. Ekstremal'nye gidrologicheskie situatsiyy [Extreme hydrological situations] / otv. red. N. I. Koronkevich, E. A. Barabanova, I. S. Zaitseva. M.: OOO «Media-PRESS», 2010. 464 s.
7. Robertus Iu.V. K probleme gidroekologicheskoi bezopasnosti na territorii Respubliki Altai // *Ekologicheskie aspekty prirodopol'zovaniia v Altae-Saianskom regione* [Ecological aspects of the nature use in Altay/Sayany region]: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsiyy. Barnaul, 1–8 avgusta 2014 g. Barnaul, 2014. P. 39–44.
8. Hossain F., Katiyar N. Improving flood forecasting in international river basins // *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 2006. Vol. 87. № 5. P. 49–54.
9. Bezrukov L.A., Gagarinova O.V., Kichigina N.V., Korytnyi L.M., Fomina R.A. Vodnye resursy Sibiri: sostoianie, problemy i vozmozhnosti ispol'zovaniia [Water resources of Siberia: status, problems of possibilities of use] // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2014. № 4. P. 30–41.
10. Robertus Iu.V., Dostovalova M.S., Liubimov R.V. Osobennosti prokhozhdeniia anomal'nogo pavodka 2014 g. na territorii Respubliki Altai // *Prirodnye resursy Gornogo Altaia. Geologiya, geofizika, gidrogeologiya, geoekologiya, mineral'nye i vodnye resursy*. [Natural resources of Gorniy Altay. Geology, geophysics, hydrogeology, geo/ecology, mineral and water resources] 2014. № 18 (1). P. 57–62.
11. Semenov V.A. Geografiia klimatoobuslovlennykh izmenenii opasnykh navodnenii na rekakh Rossii v kontse XX – nachale XXI stoletii [Geography of climate-caused changes of hazardous floods at the rivers of Russia in late XX-early XXI centuries] // *Trudy VNI-IGMI-MTsD*. 2014. № 177. P. 160–174.
12. Kharlamova N.F., Plekhova A.V. Faktory formirovaniia chrezvychainnykh gidrologicheskikh situatsii v basseinakh malyykh rek predgorno-nizkogornoj zony Altaya [Factors of forming of the extreme hydrological situations in the small river basins of the Altay submountain-low mountain zone] // *Lomonosovskie chteniya na Altae: fundamental'nye problemy nauki i obrazovaniia*. Barnaul, 20–24 oktiabria 2015 g. Barnaul, 2015. P. 1407–1410.
13. Prirodnye komplekсы Mayminskogo rayona Respubliki Altai [Nature complexes of the Republic of Altay Mayma Rayon]: kollektivnaia monografiia / Shitov A.V. i dr. // *Gorno-Altaysk : RIO GAGU*, 2006. 200 p.

14. Atlas Altaiskogo kraia [Atlas of Altay Kray]. Moskva: GUGK, 1979. P. 203–207.
15. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. [Resources of surface waters of the USSR] Tom 15. Altai i Zapadnaia Sibir'. Vypusk 1. Gorniy Altai i verkhniy Irtysh. Chast' 1. / Red. V.A. Semenova. Leningrad: Gidrometeorologicheskoe izd-vo, 1969. 316 p.
16. Puzanov A.V. Robertus Iu.V., Liubimov R.V., Kivatskaia A.V. Gidrologo-gidrokhimicheskie aspekty poverkhnostnogo stoka v basseine r. Mayma (Gorniy Altai) Hydrological/ hydro/chemical aspects of the surface runoff in the Mayma River basin (Gorniy Altai) // Problemy regional'noi ekologii. 2015. № 1. P. 49–55.
17. Modina T.D., Sukhova M.G. Klimat i agroklimaticheskie resursy Altaya [Climate and agro/climatic resources of Altay]. Novosibirsk: Universal'noe knizhnoe izdatel'stvo, 2007. 180 s.
18. Zuev V.V., Korotkova E.M., Uymanova V.A., Kurakov S.A. Srovnitel'nyi analiz gidrometeorologicheskikh nabludeniy Rosgidrometa i avtonomnogo izmeritel'nogo kompleksa «Maima» v basseine r. Maima (Gorniy Altai) [Comparative analysis of hydro/meteorological observation of Rosgidromet and “Mayma” autonomous measuring complex in the Mayma River basin (Gorniy Altai)] // Vodnoe khoziaistvo Rossii. 2018. № 5. P. 65–74.
19. 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 2018. Vol. 190. P. 12–31.
20. Zuev V.V., Kurakov S.A., Uymanova V.A. Kompleksnyi monitoring pogodno-klimaticheskogo i gidrologicheskogo rezhima basseina r. Maima (Gorniy Altai): pervye rezul'taty [Comprehensive monitoring of the natural/climatic and hydrological regime of the Mayma river basin (Gorniy Altai): first results] // Polzunovskii vestnik. 2017. № 3. P. 70–75.
21. Kurakov S.A. Sistema avtonomnogo monitoringa sostoianiia okruzhaiushchei sredey [A system of autonomous monitoring of the environment status] // Datchiki i sistemy. 2012. № 4. S. 29–32.
22. Mayma [Elektronnyi resurs] // Spravochnaia informatsiia dlya turistov-vodnikov, kaia-kerov, rybakov [Information for water tourists, kayakers, and fishermen]. Rezhim dostupa: <http://allrivers.info/river/mayma> (data obrashcheniia 15.10.2019).
23. Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut gidrometeorologicheskoi informatsii – Mi-rovoy tsentr dannykh (VNIIGMI-MTsD) [Elektronnyi resurs] // Temperatura vozdukha i kolichestvo osadkov (yezhdnevnye dannye) [Air temperature and precipitation quantity (daily data)]. Rezhim dostupa: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (data obrashcheniia 01.10.2019).
24. Ministerstvo prirodnykh resursov, ekologii i imushchestvennykh otnoshenii Respubliki Altai. Doklad «O sostoianii i ob okhrane okruzhaiushchei sredey Respubliki Altai v 2016 godu» [Ministry of Natural Resources, Ecology and Privity of the Republic of Altay. Report: “About status and protection of environment of the Republic of Altai in 2016] [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: http://www.altai-republic.ru/society/doklad_nature_2016.pdf (data obrashcheniia 10.11.2019).
25. Ministerstvo prirodnykh resursov, ekologii i imushchestvennykh otnoshenii Respubliki Altai. Doklad «O sostoianii i ob okhrane okruzhaiushchei sredey Respubliki Altai v 2017 godu» [Ministry of Natural Resources, Ecology and Privity of the Republic of Altay. Report: “About status and protection of environment of the Republic of Altai in 2017] [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: https://mpr-ra.ru/docs/nedra-info/Doklad_2017.pdf (data obrashcheniia 10.11.2019).
26. Romanov A.N., Liutsiger A.O., Troshkin D.N., Khvostov I.V., Ulanov P.N., Liutsiger N.V. Kosmicheskii mikrovolnovyi monitoring opasnykh gidrologicheskikh yavlenii na iuge Zapadnoi Sibiri [Space micro/wave monitoring of hazardous hydrological phenomena in the south of Western Siberia]: monografiia // Izdatel'stvo OOO «Piat' plius». Barnaul, 2017. 109 s.