

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ РОСГИДРОМЕТА И АВТОНОМНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «МАЙМА» В БАССЕЙНЕ РЕКИ МАЙМА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

© 2018 г. В.В. Зуев<sup>1,2</sup>, Е.М. Короткова<sup>1</sup>, В.А. Уйманова<sup>1</sup>, С.А. Кураков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук», г. Томск, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск, Россия

**Ключевые слова:** р. Майма, Горный Алтай, уровень воды, температура воздуха, атмосферные осадки, водный режим, автономный измерительный комплекс.



В.В. Зуев



Е.М. Короткова



В.А. Уйманова



С.А. Кураков

Приведены результаты сравнительного анализа рядов гидрометеорологических наблюдений за 2017 г. в бассейне р. Майма по данным Росгидромета (гидропост в с. Майма и метеостанция в с. Кызыл-Озек) и автономного измерительного комплекса (АК «Майма»), разработанного в Институте мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук. Выявлено, что, не смотря на расстояние между наблюдательными пунктами (измерительные точки АК «Майма» расположены в 4 км от метеостанции в с. Кызыл-Озек и в 22 км от гидропоста в с. Майма), динамика изменения уровня воды в р. Майма, температуры воздуха и количества осадков по данным Росгидромета и АК «Майма» носит согласованный характер. Между рядами ежедневных наблюдений уровня воды и температуры воздуха установлена тесная корреляционная связь (коэффициенты корреляции 0,996 и 0,929 соответственно). Корреляционная связь между рядами ежедневных наблюдений количества осадков более слабая (коэффициент корреляции 0,713), что обусловлено пространственными вариациями распределения осадков.

На основании проведенных исследований сделан вывод о репрезентативности данных наблюдений АК «Майма». Точность измерений, автономный характер работы и возможность дистанционной передачи оперативных данных наблюдений делают измерительный комплекс «Майма» удобным инструментом для мониторинга гидрометеорологического состояния бассейна р. Майма. Полученную гидрометеорологическую информацию можно использовать для прогноза уровня режима реки и для обеспечения оперативными данными органов исполнительной власти, МЧС и населения.

Под воздействием современных климатических изменений во многих регионах России в последние десятилетия отмечается увеличение частоты возникновения опасных гидрологических явлений и чрезвычайных ситуаций гидрологического характера [1]. Наблюдающиеся на реках экстремальные летние маловодья, а также катастрофические паводки и наводнения в период весеннего половодья наносят серьезный ущерб экономике регионов и населению. Наводнения из всех видов стихийных бедствий занимают первое место по суммарному среднегодовому ущербу [2]. Наибольшее увеличение числа опасных наводнений в период половодья за последние десятилетия наблюдается на реках азиатской территории России – в горных и предгорных областях Алтая и Западного Саяна, бассейне Енисея и некоторых районах Дальнего Востока (Сахалин, Камчатка) [3].

С увеличением частоты опасных наводнений территория Республики Алтай и предгорно-низкогорная часть Алтайского края с большим количеством крупных сельских населенных пунктов и городов наиболее подвержены риску затопления участками бассейна Верхней Оби. [4, 5]. Так, на Алтае в мае 2014 г. обильное таяние снежного покрова и высокогорных ледников наряду с выпадением значительного количества осадков вызвало резкий подъем уровня воды в реках и катастрофическое наводнение. На территории Республики Алтай пострадали объекты социальной, коммунальной и транспортной инфраструктуры, в т. ч. в результате подъема воды в реках Майма и Улала значительный ущерб был нанесен г. Горно-Алтайску. Общий ущерб для региона составил 6,5 млрд рублей [6].

В условиях высокого риска наводнений и других опасных гидрологических явлений важное значение приобретает оперативный мониторинг гидрометеорологической обстановки, позволяющий спрогнозировать развитие ситуации и принять меры для минимизации ущерба. Территория Республики Алтай при этом характеризуется дефицитом гидрометеорологической информации. Так, например, в бассейне р. Майма имеется один гидропост в замыкающем створе с. Майма и одна длительно функционирующая метеостанция, также расположенная в низовьях бассейна – с. Кызыл-Озек [7]. Согласно Д. В. Золо-

тову и др. [8], бассейн р. Майма с точки зрения геоморфологической и высотнопоясной организации характеризуется единством условий формирования стока и является в условиях дефицита гидрометеорологической информации перспективным модельным объектом для ландшафтно-гидрологических исследований, репрезентативным для всего Алтая.

Для контроля гидрометеорологической обстановки в бассейне р. Майма была установлена система автономного мониторинга состояния окружающей среды, разработанная в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (ИМКЭС СО РАН) [9]. Система, получившая название автономный распределенный комплекс «Майма» (АК «Майма»), расположена в трех точках по течению реки и представляет автоматизированный измерительный комплекс, собирающий и передающий гидрометеорологическую информацию на сервер ИМКЭС СО РАН в реальном времени [10]. Таким образом, АК «Майма» позволяет дистанционно контролировать гидрометеорологические изменения, оперативно получая информацию со всей территории водосборного бассейна в любое время года. Основной задачей данной работы является оценка репрезентативности данных, получаемых АК «Майма».

#### **ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Река Майма находится на севере Республики Алтай, является правым притоком Катуня и входит в систему Верхней Оби. Водосборный бассейн р. Майма площадью 780 км<sup>2</sup> приурочен к низко-среднегорной, умеренно увлажненной и залесенной зоне Северного Алтая. Длина реки – 57 км, превышение истока над устьем 800 м, средняя отметка водосбора 670 м. Скорость течения в устье при ширине русла до 50 м составляет 0,6–0,9 м/с. Притоками Маймы являются более 20 малых рек и ручьев протяженностью 10–25 км. Среднегодовой расход воды в замыкающем створе с. Майма составляет 8,66 м<sup>3</sup>/с, среднемноголетний уровень 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 [11]. Период открытого русла длится в среднем с начала апреля по середину ноября, однако в последние 20 лет наблюдается тенденция к более позднему замерзанию и более раннему вскрытию реки. По данным метеостанции в с. Кызыл-Озек среднегодовая температура воздуха составляет +1,0 °С, годовая сумма осадков – 795 мм, период со среднесуточной температурой ниже 0 °С – 170 дней, среднемноголетняя высота снежного покрова – 68 см [7].

Измерительные приборы АК «Майма» установлены в трех точках по течению реки, начиная от ее истока: в с. Урлу-Аспак, пос. Филиал и окрестностях с. Кызыл-Озек (рис. 1). В число измеряемых параметров 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. Информация с АК «Майма» регистрируется и передается на сервер ИМКЭС СО РАН каждый час [10].

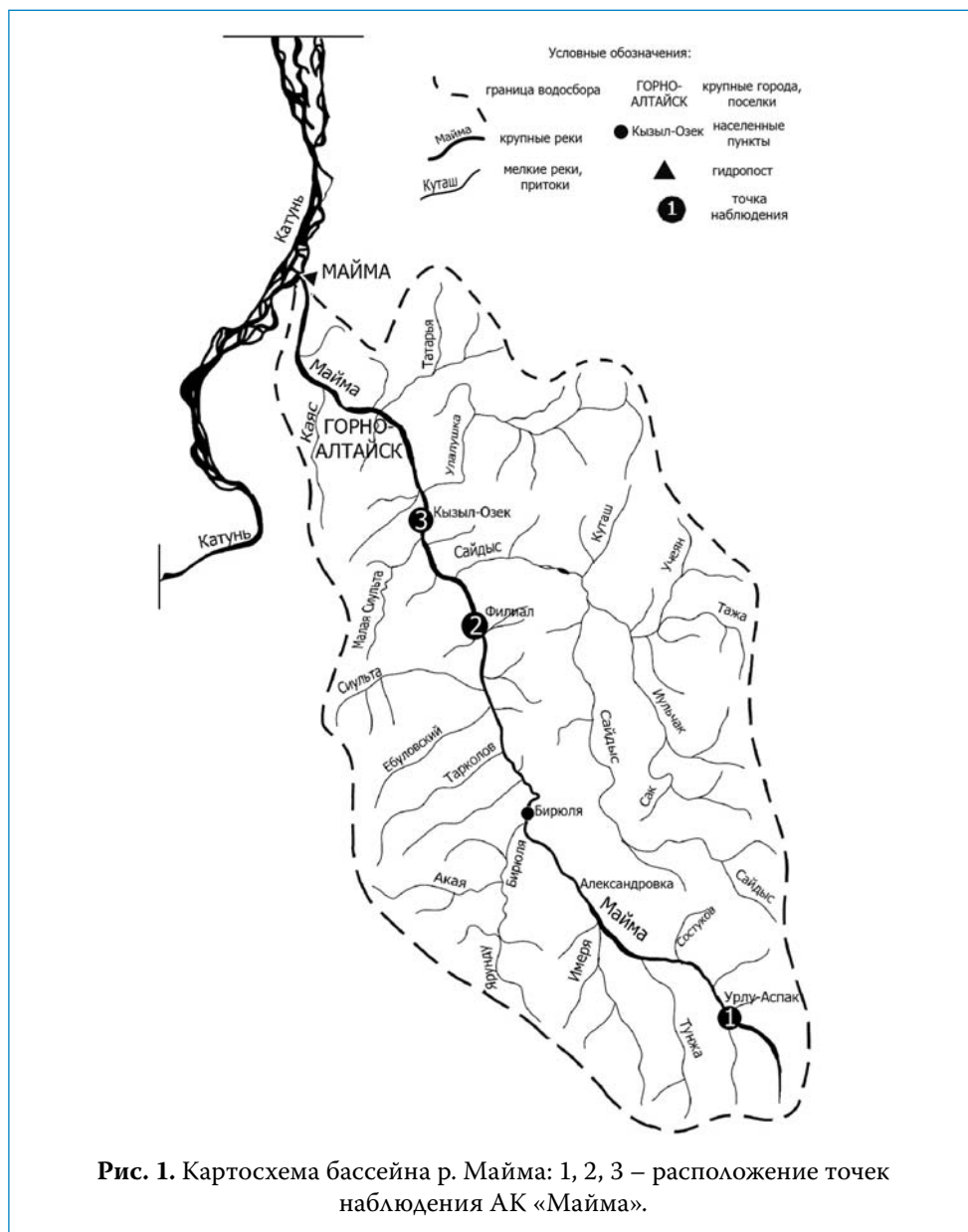


Рис. 1. Картосхема бассейна р. Майма: 1, 2, 3 – расположение точек наблюдения АК «Майма».

Для сравнительного анализа были использованы данные АК «Майма» и Росгидромета об уровне воды в реке, температуре воздуха и количестве осадков за 2017 г. Заявленная точность измерения датчиков АК «Майма» составляет  $\pm 1\%$ ,  $\pm 0,1\text{ }^\circ\text{C}$  и  $\pm 0,2\text{ мм}$  для уровня воды, температуры воздуха и количества осадков соответственно [9]. Анализ данных проводили по двум измерительным точкам АК «Майма»: точка в пос. Филиал (уровень воды), расположенная в 22 км выше по течению реки от гидропоста, и точка в окрестностях с. Кызыл-Озек (температура воздуха, количество осадков), размещенная на удалении 4 км от метеостанции в с. Кызыл-Озек. Данные о ежедневной температуре воздуха и суточном количестве осадков на метеостанции в с. Кызыл-Озек получены с помощью сервиса ВНИИГМИ–МЦД [12], данные об уровне воды в с. Майма – с помощью сервиса [13], использующего официальную информацию Западно-Сибирского УГМС. Статистические расчеты выполнены в пакете STATISTICA 10.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

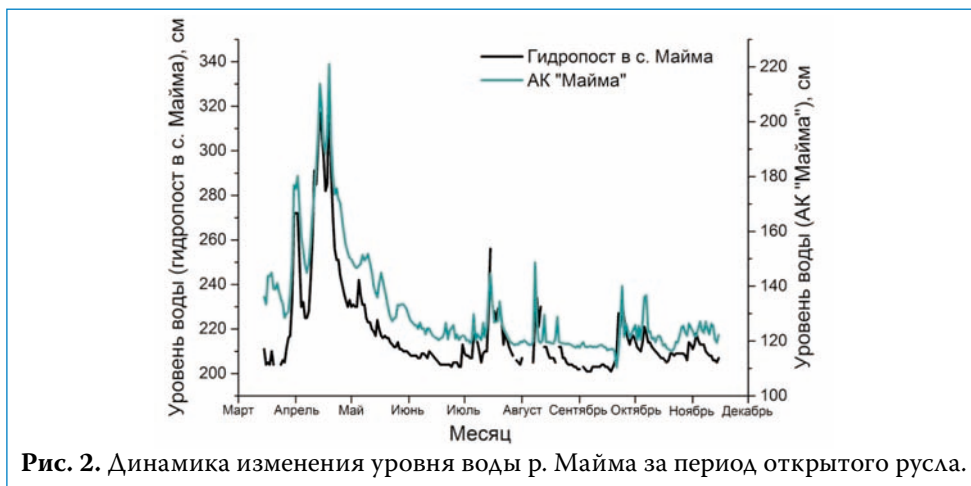
Для проведения анализа ряды наблюдений АК «Майма» приводили к суточным значениям: уровень воды и температуру воздуха – к среднесуточным, количество атмосферных осадков – к суммарным значениям за сутки. Поскольку данные по г/п в с. Майма в 2017 г. доступны только за период открытого русла, выборка была ограничена периодом с марта по ноябрь. Доступный диапазон температурных данных составляет полный календарный год. Данные о количестве осадков в измерительной точке АК «Майма» в связи с временной неисправностью счетчика осадков доступны только за период с января по июль. Характеристики взятых для анализа рядов наблюдений представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Характеристики рядов наблюдений

Параметр	Период	Объем выборки	Средние значения		Разность средних значений
			Росгидромет	АК «Майма»	
Уровень воды, см	15.03–15.11.2017	233	218	132	86
Температура воздуха, $^\circ\text{C}$	01.01–30.12.2017	364	4,01	3,3	0,71
Количество осадков, мм	01.01–20.07.2017	201	2,08	1,58	0,5

Ряды уровней воды по данным Росгидромета и АК «Майма» имеют значительные различия в абсолютных величинах. Это связано с тем, что датчик уровня воды АК «Майма» не привязан к нулю графика гидрологического поста в с. Майма, по этой же причине данные различия не являются объективными. Тем не менее, в динамике изменения уровня воды по данным обо-

их источников визуально наблюдается очевидное соответствие суточного хода (рис. 2). Работая в непрерывном режиме, датчик уровня воды улавливает все основные колебания, связанные с прохождением волн половодья в период активного снеготаяния и выпадения жидких осадков. При средней скорости течения реки в устье 0,6–0,9 м/с [11] время добегания водной массы от измерительной точки АК «Майма» до гидропоста в с. Майма составляет около 1 сут, что объясняет смещение некоторых пиков на 1 день.



Значения температуры воздуха и количества осадков, измеренные АК «Майма», в среднем несколько ниже аналогичных значений для метеостанции Кызыл-Озек (табл. 1). На рис. 3 представлены гистограммы среднемесячных значений температуры воздуха и суммарных за месяц значений атмосферных осадков в 2017 г. Данные температуры воздуха в измерительной точке АК «Майма» фактически повторяют температурные данные метеостанции Кызыл-Озек, максимальные различия в 1–3 °С наблюдаются в холодную часть года (рис. 3 а). Незначительные различия месячных сумм осадков, измеренных на метеостанции Кызыл-Озек и АК «Майма», характерны для марта, апреля, июня и июля, наибольшая разница наблюдается в январе, феврале и мае (рис. 3 б).

На рис. 4 представлены интервалы ошибок определения среднего значения и среднеквадратического отклонения (СКО) исследуемых рядов. Видно, что разница в измерениях температуры воздуха и количества осадков по двум источникам, представленная в табл. 1, близка к ошибке определения среднего значения, что свидетельствует о возможно незначимом различии между рядами параметров. Несмотря на различия в абсолютных величинах средних значений уровней воды, ошибки их средних и интервалы СКО также близки по величине.

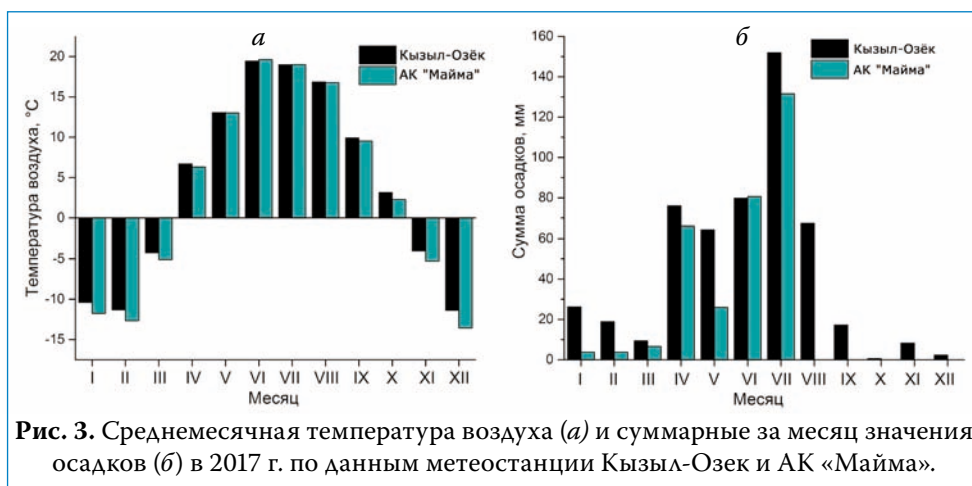


Рис. 3. Среднемесячная температура воздуха (а) и суммарные за месяц значения осадков (б) в 2017 г. по данным метеостанции Кызыл-Озек и АК «Майма».

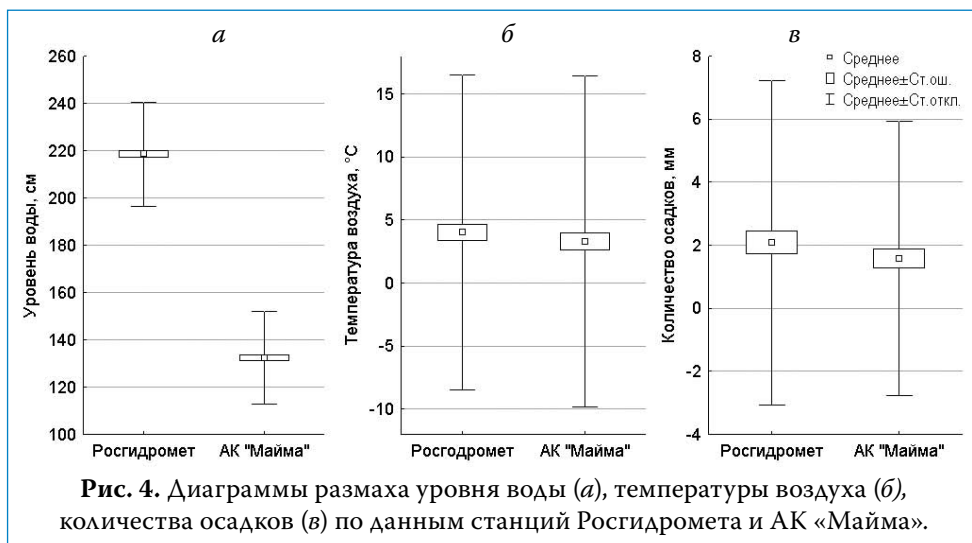


Рис. 4. Диаграммы размаха уровня воды (а), температуры воздуха (б), количества осадков (в) по данным станций Росгидромета и АК «Майма».

В практике гидрометеорологических расчетов для проверки однородности рядов широко используются статистические критерии сравнения переменных. В случае двух выборок с помощью критериев сравнения можно определить значимость различий между ними. Проверка исследуемых рядов по критерию Колмогорова-Смирнова показала, что распределение переменных не является нормальным, что свидетельствует о необходимости использования методов непараметрической статистики. В случае зависимых выборок можно воспользоваться критерием знаков (проверяется гипотеза о равенстве медианы, разности двух выборок нулю) и критерием Вилкоксона (проверяется гипотеза о том, что существенность сдвигов в

типичном направлении не превосходит существенности сдвигов в нетипичном направлении). Такой подход может быть применен для оценки значимости различий рядов ежедневных наблюдений температуры воздуха и количества осадков по данным АК «Майма» и Росгидромета. Зависимость между рядами синхронных наблюдений уровней воды при различных абсолютных значениях в измерительных точках можно оценить коэффициентом линейной корреляции. Таким образом, для трех пар рассматриваемых выборок получены статистические показатели, характеризующие значимость их связи и различий (табл. 2).

**Таблица 2.** Значимость связи и различий исследуемых рядов

Параметр	Критерий знаков ( $p < 0,05$ )	Критерий Вилкоксона ( $p < 0,05$ )	Коэффициент корреляции ( $p < 0,01$ )
Уровень воды, см	–	–	0,929
Температура воздуха, °С	8,62 (различия значимы)	9,84 (различия значимы)	0,996
Количество осадков, мм	1,44 (различия не значимы)	2,86 (различия значимы)	0,713

В результате расчета критериев сравнения, можно заключить, что различия между рядами температуры воздуха АК «Майма» и Росгидромета являются достоверными с доверительной вероятностью 0,95, коэффициент корреляции между рядами при этом близок к единице, что свидетельствует о наличии значительной связи. Как отражено на рис. 3а, в холодный период года на метеостанции, расположенной в черте с. Кызыл-Озек, наблюдаются более высокие температуры воздуха, чем на расположенном в окрестностях села комплексе «Майма». Это может быть связано с тем, что в пределах села в холодный период воздух прогревается в результате сжигания топлива и работы отопительных систем. Этим же фактом объясняется разница среднегодовых значений температуры воздуха и соответствующая значимость различий между рядами, установленная по критериям сравнения.

Для рядов количества осадков достоверность различий была подтверждена лишь критерием Вилкоксона: в соответствии с критерием знаков различия между рядами можно считать незначимыми с доверительной вероятностью 0,95. Коэффициент корреляции в случае с осадками оказался ниже, чем коэффициент корреляции рядов температуры воздуха, тем не менее, его величина указывает на существование тесной связи между рядами наблюдений. Более низкое значение коэффициента корреляции в данном случае может быть обусловлено пространственными вариациями в ежедневном распределении осадков.



Корреляционная связь установлена также между рядами наблюдений уровней воды по данным Росгидромета и АК «Майма». Несмотря на значительную разницу абсолютных величин, близкий к единице коэффициент корреляции между рядами обусловлен единым генезисом формирования стока и, как следствие, одинаковой динамикой изменения параметров.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по результатам проведенной работы можно заключить, что гидрометеорологическая информация, получаемая с помощью АК «Майма», является репрезентативной и соответствует официальным данным Росгидромета. Несмотря на значимость различий температурных данных на метеостанции в с. Кызыл-Озек и АК «Майма», обусловленных антропогенным фактором в зимний период, коэффициент корреляции ( $r = 0,996$ ) свидетельствует о значительной связи между параметрами. Пространственные вариации в распределении осадков ослабляют корреляционную связь между рядами ежедневного количества осадков ( $r = 0,713$ ), однако, в соответствии с критерием знаков, наблюдаемые различия являются статистически незначимыми с доверительной вероятностью 0,95. Корреляционная связь ( $r = 0,929$ ) и одинаковая динамика изменения уровней воды по данным гидропоста в с. Майма и АК «Майма» свидетельствуют о высокой точности измерения уровня воды датчиком АК «Майма». При этом следует отметить, что для задач прогнозирования уровня воды необходимо осуществить высотную привязку измерительного датчика к реперному пункту государственной геодезической сети.

С учетом точности измерений, автономного характера работы, широкого набора измеряемых параметров и возможности дистанционной передачи оперативных данных наблюдений АК «Майма» можно считать эффективным инструментом мониторинга гидрометеорологического состояния бассейна р. Майма. Получаемую с помощью АК «Майма» гидрометеорологическую информацию при условии высотной привязки датчика уровня воды можно использовать для прогноза уровня режима р. Майма.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экстремальные гидрологические ситуации / отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева. М.: ООО «Медиа-ПРЕСС», 2010. 464 с.
2. Бuzин В.А., Копаливани З.Д. Наводнения на реках России при современных тенденциях изменения климата // Ученые записки РГГМУ. 2007. № 5. С. 43–54.
3. Семенов В.А. Климатически обусловленные изменения вклада снега в формирование опасных гидрологических явлений на реках // Лед и снег. 2013. № 3. С. 107–112.
4. Семенов В.А. География климатообусловленных изменений опасных наводнений на реках России в конце XX – начале XXI столетий // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 160–174.

5. 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, 2015. С. 1407–1410.
6. Общий ущерб от наводнения в республике оценили в 6,5 млрд // Новости Горного Алтая. Режим доступа: <http://www.gorno-altaisk.info/news/31116> (дата обращения 3.04.2018).
7. Модина Т.Д., Сухова М.Г. Климат и агроклиматические ресурсы Алтая. Новосибирск: Универсальное книжное издательство, 2007. 180 с.
8. Золотов Д.В., Лубенец Л.Ф., Черных Д.В. Ландшафтные факторы формирования стока в бассейне р. Майма (Северный и Северо-Восточный Алтай) // Мир науки, культуры, образования. 2012. № 2. С. 360–369.
9. Кураков С.А. Система автономного мониторинга состояния окружающей среды // Датчики и системы. 2012. № 4. С. 29–32.
10. 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.
11. Пузанов А.В., Робертус Ю.В., Любимов Р.В., Кивацкая А.В. Гидрологогидрохимические аспекты поверхностного стока в бассейне р. Майма (Горный Алтай) // Проблемы региональной экологии. 2015. № 1. С. 49–55.
12. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТТ). Режим доступа: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (дата обращения 15.03.2018).
13. Справочная информация для туристов-водников, каякеров, рыбаков. Майма. Режим доступа: <http://allrivers.info/river/mauma> (дата обращения 15.03.2018).

#### **Сведения об авторах:**

Зуев Владимир Владимирович, 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](mailto:vzuev@list.ru)

Короткова Екатерина Михайловна, канд. геогр. наук, инженер, ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН», Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3; e-mail: [katia\\_sova@mail.ru](mailto:katia_sova@mail.ru)

Уйманова Валерия Александровна, инженер, аспирант, ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН», Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3; e-mail: [skvaleri91@mail.ru](mailto: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](mailto:ksa@imces.ru)