



Серия «Науки о Земле»
2025. Т. 52. С. 3–18
Онлайн-доступ к журналу:
<http://izvestiageo.isu.ru/ru>

ИЗВЕСТИЯ
Иркутского
государственного
университета

Научная статья

УДК 556.5.08(470+571)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2025.52.3>

Использование автоматизированных гидрологических комплексов для измерения уровня воды на государственной наблюдательной сети

С. В. Бузмаков, А. В. Юхно, А. А. Осташов*

Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Приведены результаты анализа работы автоматизированных гидрологических комплексов (АГК) различных типов и моделей на наблюдательной сети Росгидромета. Представлен опыт автоматизации измерений уровня воды других гидрометеорологических служб мира. В основу исследования лег анализ функционирования 1100 АГК за период с 2022 по 2024 г., установленных в рамках реализации программ модернизации сети гидрологических наблюдений. В анализе использовались данные работоспособности АГК нескольких типов: радарного, гидростатического, барботажного, поплавкового. Представлены оценки корректности измерения уровня воды и полноты, поступающей с автоматизированных комплексов информации, в зависимости от страны производителя, монтажной организации и типа модернизации. Рассмотрены причины, влияющие на работоспособность комплексов и дальнейшие перспективы автоматизации гидрологической сети. Приведено географическое распределение установленных АГК с оценкой эффективности их внедрения. Выявлено, что уровень автоматизации сети гидрологических наблюдений Росгидромета на 2024 г. составляет 37 %, а интенсивность падения работоспособности АГК оценивается в 2,7 % в год. С учетом установленной динамики и опыта проведения программ модернизации даны рекомендации, имеющие большую практическую ценность при разработке перспективных программ по автоматизации гидрологической сети.

Ключевые слова: уровень воды, автоматизированный гидрологический комплекс, государственная наблюдательная сеть, стационарный пункт наблюдений, мобильная гидрологическая лаборатория.

Для цитирования: Бузмаков С. В., Юхно А. В., Осташов А. А. Использование автоматизированных гидрологических комплексов для измерения уровня воды на государственной наблюдательной сети // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2025. Т. 52. С. 3–18. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2025.52.3>

Original article

The Use of Automated Hydrological Complexes for Stage Measurement on the Russian Monitoring Network

S. V. Buzmakov, A. V. Iukhno, A. A. Ostashov*

State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. An overview of the operation and performance analysis of automated hydrological complexes (AHC) of different models and manufacturers installed on the territory of the Russian Federa-

© Бузмаков С. В., Юхно А. В., Осташов А. А., 2025

* Полные сведения об авторах см. на последней странице статьи.
For complete information about the authors, see the last page of the article.

tion for the period 2022–2024 is provided. In total, 1,100 AHCs of various types were installed on the state hydrological network as part of two waves of its modernization over the period from 2002 to 2020. The correctness of water level measurement by automated complexes and the completeness of the information received from them are assessed. A separate performance analysis is given for hydrostatic, float, bubbler and radar water level sensors. The study uses the % of data transmitting to the server on time and relative discrepancies with standard observation (stage measurements) data as numerical indicators of the AHC performance. It was revealed that the level of automation of the network of hydrological observations of Roshydromet in 2024 is 37%, and the intensity of the decline in AHC performance is estimated at 2.7% per year. The reasons for the decrease in the operability of the complexes and the future prospects for automation of the hydrological network are considered.

Keywords: water level, automated hydrological complex, national stream gauging network, stream gauge, hydrological mobile lab, performance analysis.

For citation: Buzmakov S.V., Iukhno A.V., Ostashov A.A. The Use of Automated Hydrological Complexes for Stage Measurement on the Russian Monitoring Network. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2025, vol. 52, pp. 3–18. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2025.52.3> (in Russian)

Введение

Необходимость автоматизации гидрологического мониторинга, в том числе измерений уровня воды, определяется возрастающей потребностью экономики и общества в оперативной и надежной информации о водных объектах [Steward, 2015; Multi-scale hydrological ... , 2012]. Мировые тенденции автоматизации заключаются в разработке и внедрении технологий бесконтактных измерений [Natividad, Mendez, 2020; Masoudimoghaddam, Yazdi, Shahsavandi, 2025], снижении себестоимости за счет повышения массовости выпуска средств измерений, использования интернета вещей и облачных технологий [Ullo, Sinha, 2020], а также в развитии многокомпонентных систем мониторинга, интегрирующих данные дистанционного зондирования Земли (в частности, беспилотные авиационные системы [A Newly Developed ... , 2019], спутниковая альтиметрическая информация [Turning Lakes ... , 2023; Extending global ... , 2023; Internatuional altimetry ... , 2021], данные гражданской науки (камеры наблюдений, волонтерские сети [Citizen science ... , 2019])).

На сети гидрологических наблюдений Росгидромета по состоянию на 2024 г. автоматизация составляет менее 40 % [Обзор состояния ... , 2025]. Основным средством измерения уровня воды до настоящего времени остается водомерная рейка. Большое количество неавтоматизированных пунктов наблюдений, возрастающие затраты на ручные измерения, а также потребность в оперативной передаче информации и учащении измерений определяют значительный потенциал дальнейшей автоматизации сети.

Под АГК в данной статье понимается совокупность приборов и оборудования, предназначенных для выполнения автоматизированных измерений уровня воды и оснащенных средствами передачи информации в центры сбора данных. В состав АГК обязательно входят средство измерений уровня воды (чувствительный элемент), выполняющее измерения в точке его установки; контроллер, выполняющий функции накопления измеренных данных об уровне воды, их хранения и передачи по каналам связи в центр сбора данных; а также линия связи датчика с контроллером. На постах могут исполь-

зоваться АГК с различной комплектацией, которая может включать средства измерений уровня и температуры воды, атмосферных осадков, а также средства наблюдения за состоянием водного объекта.

Целью настоящего исследования является анализ работоспособности АГК, установленных на сети Росгидромета в рамках ее модернизации.

Международная практика внедрения АГК

Наиболее значительных успехов в автоматизации сбора и передачи гидрологических данных добились гидрометеорологические сети США, Канады, Великобритании, Новой Зеландии, Австралии, стран ЕС, Японии. Доля постов, непрерывно передающих гидрологическую информацию в режиме реального времени, в этих странах составляет 90 % и более¹.

Одними из первых сеть наблюдений начали автоматизировать США, с 1976 г. внедряя технологии передачи данных, а с 1995 г. – практику их публикации в свободном доступе на веб-ресурсах [Hirsch, Fisher, 2014]. Тем не менее даже в настоящее время, по имеющимся данным [Ibid], существуют проблемы с передачей информации с федеральной («опорной») сети гидрологических постов, на которой 16,1 % имеют статус «неактивны» по причине недостаточного федерального финансирования². По той же причине возникает ряд проблем на региональном уровне: так, в Калифорнии в 2019 г. 51 % гидрологических постов имели статус «неактивен»³. Система передачи и агрегации данных претерпела последнюю модернизацию в 2019 г., после масштабного сбоя, в результате которого 14 % постов перестали передавать данные. До него передача данных осуществлялась преимущественно по спутниковым каналам связи. После инцидента была разработана программа внедрения резервных средств связи на базе сигналов сотовой сети и потоковых видео с камер⁴.

Автоматизация сети наблюдений в Европе началась примерно в те же сроки, что и в США. Массовая передача данных с гидрологических постов Франции и Германии – в середине 1990-х гг. Основное количество данных о работоспособности АГК на гидрологических сетях в странах ЕС поступает благодаря ежегодным отчетам службы управления чрезвычайными ситуациями программы «Коперник» Европейского союза. Программа по сбору и анализу гидрологических данных с АГК была запущена в 2012 г. и на данный момент включает в себя данные с 2634 гидрологических постов 33 стран

¹ Canada Water Act annual report for 2021 to 2022. URL: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/water-overview/publications/canada-water-act-2021-2022.html> (дата обращения: 12.02.2025); Ruby A. T., Woods J. Overview of the USGS Streamgaging Network. URL: https://www.kymitigation.org/wp-content/uploads/2019/09/USGS_Streamgaging_101-Justin-Boldt-1.pdf (дата обращения: 12.02.2025); USGS Streamgaging network: Overview and issues for Congress. URL: <https://www.congress.gov/crs-product/R45695> (дата обращения: 12.02.2025)

² Endangered, Discontinued and Rescued Streamgages Mapper. URL: <https://water.usgs.gov/networks/fundingstability/> (дата обращения: 02.03.2025)

³ Gage Gap: An analysis of California's stream gage network. URL: <https://gagegap.codefornature.org/> (дата обращения: 06.03.2025); USGS Streamgaging network: Overview and issues for Congress. URL: <https://www.congress.gov/crs-product/R45695> (date of access: 12.02.2025)

⁴ USGS working to restore stream gages. URL: <https://www.usgs.gov/news/featured-story/usgs-working-restore-streamgages> (дата обращения: 06.03.2025)

Европы и Великобритании. В рамках ежегодных отчетов [The CEMS Hydrological ... , 2025] анализируются такие критерии, как число станций, данным с которых был присвоен статус «прошедших контроль качества», число выбросов в данных, продолжительность периода без передачи данных. Отчет за 2023 г. свидетельствует о высокой степени автоматизации и работоспособности сети Европы и Великобритании: 80,1 % данных прошли контроль качества, было зафиксировано 0,14 % выбросов (168 285 сроков), выявлено 78 995 случаев отсутствия данных в течение одного дня и менее, 3774 случая в течение 1–3 дней, 1192 случая – 3–10 дней, 294 случая – 10–30 дней и 174 случая – более 30 дней. Наибольшее число выбросов зафиксировано на АГК гидрологических служб Испании и Великобритании, продолжительных приостановок передачи данных – в странах Восточной и Центральной Европы [Ibid].

Относительно высокую степень автоматизации передачи данных имеют страны Латинской Америки и Юго-Восточной Азии [Gabbardo dos Reis, Fialho Breda, Siqueira, 2023; Estimation of missing ... , 2024]. Гидрологические сети стран Африки развиты неоднородно – очаги развития приурочены к бассейнам крупных рек северо-запада и юга континента, в основном их автоматизация производилась за счет международных инвестиций, в то время как подавляющее большинство гидрологических постов по-прежнему используют ручной труд, а доля автоматизации в странах Центральной Африки близка к нулю⁵.

Показательным также является проект Объединенного исследовательского центра Еврокомиссии, программа которого приведена в отчете [JRC of European ... , 2018]. В программе заложено финансирование на помощь в модернизации сети гидрометеорологических наблюдений стран Восточной Европы и партнеров ЕС, для каждой из стран выработан план-график [Ibid]. В отчете представлены сведения о степени автоматизации сети наблюдений и особенностях их функционирования. Наименьшую степень автоматизации имела гидрологическая сеть Азербайджана, где ни один из 101 поста не был автоматизирован, наибольшую – Турции и Израиля, в которых все 910 и 130 гидрологических постов соответственно автоматизированы. Крайне низкую степень автоматизации (менее 25 %) имели гидрологические сети Армении, Албании, Косово, Македонии, Украины. Около половины постов автоматизированы в Марокко, Сербии, Иордании, Грузии, Молдове, более 75 % – в Боснии и Герцеговине, Египте [Ibid]. Основными препятствиями для надежного и непрерывного функционирования оборудования в порядке уменьшения значимости фактора названы нехватка квалифицированного персонала, вандализм и русловые процессы. В настоящее время продолжается реализация проекта по эгидой Водной инициативы Еврокомиссии. Так, в 2020 г. на реках Азербайджана было установлено 17 АГК⁶.

⁵ ORASECOM Document N 005/2011. Improvements of Gauging Network and Review of Existing Data Acquisition Systems. URL: <https://orasecom.org/wp-content/uploads/2020/05/1951Improvements-to-gauging-Network-and-review-of-Existing-Data-Acquisition-Systems-WP-WP2-005-2011.pdf> (дата обращения: 05.03.2025)

⁶ На реках Азербайджана ввели в эксплуатацию современные автоматические гидрологические станции. URL: <https://caliber.az/post/na-rekax-azerbaidzana-vvedeny-v-ekspluatatsiyu-sovremennye-avtomaticheskieskidrologicheskie-stancii-foto-4979?ysclid=m86ynj7iwe423021264> (дата обращения: 01.03.2025)

Развитие систем сбора и передачи гидрологических данных напрямую связано с уровнем государственного и международного финансирования, которое требуется не только для самого процесса автоматизации, но и для эксплуатации комплексов, включая их ремонт (замену) после выхода из строя. Испытанные в лабораторных условиях датчики помещают в очень изменчивую и агрессивную водную среду. В потоке они подвергаются активному воздействию со стороны речных наносов, плывущих льдин и карчи, чувствительные элементы и трубки обрастают водной растительностью и ракушками. Надводная часть комплексов подвергается вандализму, повреждению дикими животными, последствиям прохождения стихийных бедствий.

Одним из основных факторов выхода из строя автоматизированных средств измерений являются стихийные явления, которые повреждают либо непосредственно сами датчики или сопутствующее оборудование, либо становятся причинами сбоев в энергосистеме⁷. Так, крупные ураганы (Мария, Хосе, Ирма, Харви) вывели из строя оборудование на более чем 250 гидрологических постах США⁸. Негативно сказывается на работоспособности недостаток финансирования и сокращение федеральных ассигнований [Mishra, Coulibaly, 2009]. Также в сети фиксируются множественные случаи вандализма.

Менее распространенными являются случаи порчи оборудования животными, пожарами, нарушения подводных систем электроснабжения дрейфующим льдом, наносами, русловыми размывами. Также прерывания передачи данных могут быть обусловлены перерывами на техническое обслуживание и калибровку оборудования [Ibid].

Отечественная практика внедрения АГК

Одним из первых АГК в мире можно считать поплавковый самописец уровня воды, оснащенный коротковолновым радиопередатчиком в 1930–1932 гг., который работал на посту р. Луги (с. Толмачево). Серийно АГК начали устанавливаться на сеть при реализации первой волны модернизации («Росгидромет-1»), которая стартовала в 2006 г. и коснулась переоснащения сети в паводкоопасных бассейнах рек Уссури, Оки и Кубани. На гидрологических постах было установлено 153 АГК [Вуглинский, Высоцкий, Яковлева, 2021]. В этот же период для прохождения опытной эксплуатации и проведения сравнительных наблюдений был организован и оснащен различными АГК гидрометрический полигон р. Поломети (с. Яжелбицы) в Валдайском филиале Государственного гидрологического института.

Вторая волна модернизации началась в 2012 г. и закончилась в 2020 г. За это время было реализовано два проекта: «Модернизация гидрологических наблюдений в бассейне р. Волги» («Росгидромет-2») и федеральная целевая программа «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Фе-

⁷ USGS Streamgaging network: Overview and issues for Congress. URL: <https://www.congress.gov/crs-product/R45695> (дата обращения: 12.02.2025).

⁸ Funding Woes for Stream Gages Put Crucial Water Data at Risk . URL: <https://deeply.thenewhumanitarian.org/water/community/2017/06/20/how-colorado-plans-to-future-proof-its-water-supply> (дата обращения: 07.03.2025).

дерации в 2012–2020 годах»⁹. В рамках данных проектов на сети было установлено 258 и 654 АГК соответственно.

В 2022 г. организация измерений уровня воды с помощью АГК была регламентирована в руководящем документе РД 52.08.869-2022¹⁰.

По окончании второй волны интенсивность автоматизации значительно снизилась (рис. 1). К концу 2024 г. на сети насчитывается 1100 АГК (табл. 1), что составляет 37 % от общего количества гидрологических постов сети. Большинство АГК находится на европейской территории страны (рис. 2), чаще всего используются комплексы с датчиком уровня воды гидростатического типа, датчики радарного типа преобладают в южных широтах. АГК барботажного типа имеют локальные зоны распространения. Больше всего АГК установлено на территории Северо-Западного и Северо-Кавказского управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС).

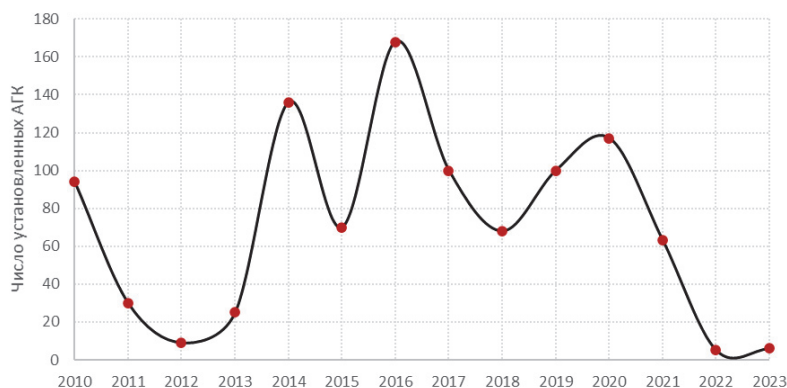


Рис. 1. Распределение по годам количества введенных в эксплуатацию АГК

Таблица 1

Распределение АГК и их тип по территориальным управлениям Росгидромета

УГМС	Барботажный	Гидростатический	Поплавковый	Радарный	Всего
Северо-Западное	11	104	6	1	122
Северо-Кавказское	70	22	0	26	118
Центральное	48	49	0	0	97
Западно-Сибирское	70	12	0	14	96
Верхне-Волжское	0	76	0	0	76

⁹ Федеральная целевая программа «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах»: постановление Правительства РФ от 19 апр. 2012 г. № 350.

¹⁰ РД 52.08.869-2022. Руководство по организации и проведению измерений уровня воды в водоемах и на водотоках автоматизированными гидрологическими комплексами.

Окончание табл. 1

УГМС	Барботажный	Гидростатический	Поплавковый	Радарный	Всего
Приморское	58	1	0	0	59
Башкирское	46	9	0	1	56
Уральское	0	56	0	0	56
Якутское	0	56	0	0	56
Среднесибирское	3	49	0	0	52
Дальневосточное	37	3	0	2	42
Приволжское	3	33	0	1	37
Северное	1	35	0	0	36
Республика Татарстан	1	32	1	1	35
Забайкальское	0	22	0	0	22
Мурманское	9	13	0	0	22
Колымское	5	15	0	0	20
Камчатское	1	18	0	0	19
Центрально-Черноземное	5	14	0	0	19
ЧАМ	0	0	0	18	18
Обь-Иртышское	1	7	0	9	17
Иркутское	0	15	0	0	15
Крымское	0	10	0	0	10
Всего	369	651	7	73	1100

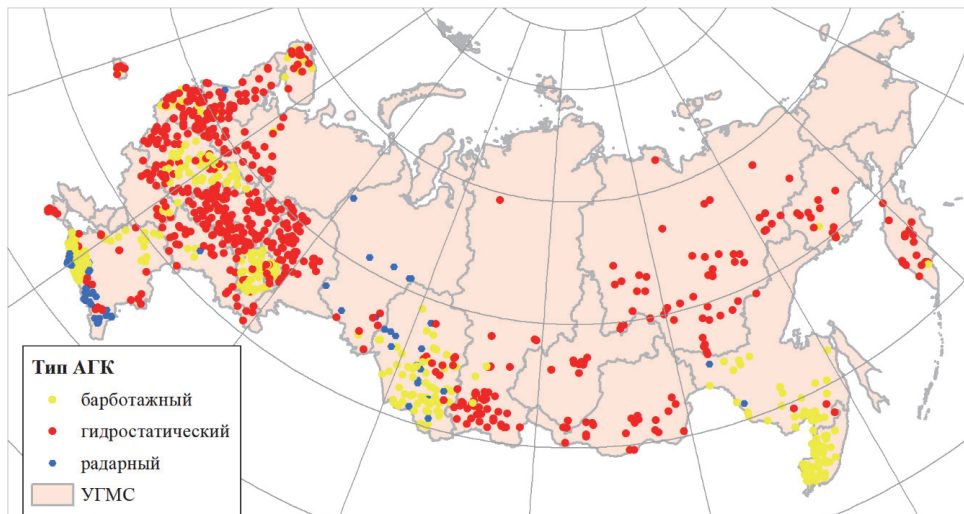


Рис. 2. Распределение АГК с учетом типа датчика по территории Российской Федерации

Материалы и методы исследований

Анализ работы АГК на государственной наблюдательной сети был произведен на основе ежемесячных отчетов, направляемых в Государственный гидрологический институт (ГГИ) территориальными управлениями Росгидромета за 2021–2024 гг., в которых специалисты на местах заполняют в уста-

новленном порядке формы об эффективности работы АГК. Несмотря на то что формы предполагают однозначность заполнения, не все отчеты сделаны единообразно и в полном объеме.

Информация о типе датчика АГК, организации-поставщике, производителе контроллера и датчика была получена по специализированному запросу. Несмотря на то что в комплект АГК могут входить датчики разного применения, анализируются только данные по уровню воды.

В работе рассматриваются все АГК, перечисленные в отчетностях за исследуемый период, вне зависимости от того, находятся ли они на складах или установлены на местах эксплуатации.

В основе анализа лежат две характеристики – работоспособность комплекса и качество поступивших данных. Под работоспособностью комплекса в исследовании понимается процент поступивших в центры сбора данных сообщений об уровне воды от общего количества наблюдаемых основных сроков (как правило, основным сроком считается ежечасное измерение). По качеству поступающие с АГК данные были разбиты на три категории: высокое качество (расхождение с данными от наблюдателя не превышает 3 см, в соответствии с требованиями РД 52.08.903-2020¹¹); допустимое качество (расхождение с данными от наблюдателя не превышает 7 см в соответствии с требованиями постановления Правительства РФ от 16 ноября 2020 г. № 1847¹²) и низкое качество (расхождение с данными от наблюдателя превышает 7 см). Как и с работоспособностью, процент качественных данных также рассчитывался исходя из общего количества наблюдаемых основных сроков, а не от поступивших сообщений.

Анализ работы проведен по шести направлениям:

1) пространственный анализ (зачастую характеризующий успешность внедрения АГК различными УГМС);

2) в зависимости от проекта модернизации. Здесь выделяются три проекта: «Росгидромет-1», ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах» и «Росгидромет-2»;

3) в зависимости от типа датчика АГК. Выделено четыре типа: гидростатический, барботажный, поплавковый и радарный. Необходимо отметить, что часть специалистов не относит к АГК поплавковые датчики уровня воды и поэтому не учитывает их в отчетности;

4) в зависимости от производителя контроллера АГК. Всего представлено 16 наименований производителей из трех регионов;

5) в зависимости от производителя датчика АГК. Всего представлено 16 наименований производителей из трех регионов;

6) в зависимости от организации, производившей монтаж оборудования.

Помимо средних за четыре исследуемых года значений характеристик, приводятся оценки изменения объема получаемой с АГК информации, а также средний срок службы устройств от момента ввода в эксплуатацию на январь 2025 г.

¹¹ РД 52.08.903-2020. Руководство по проведению сравнительных наблюдений за уровнем и температурой воды стандартными и автоматизированными средствами измерений

¹² Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений : постановление Правительства РФ от 16.11.2020 № 1847.

Результаты работы

В период 2021–2024 гг. отмечается снижение общего объема поступающих с АГК данных с 60–70 до 50–55 % со средним значением в $-2,70$ %/год (рис. 3), объем данных высокого качества снижается на $-1,21$ %/год, допустимого качества – $-0,84$ %/год. Такое соотношение связано с тем, что в большинстве случаев из работы выводятся АГК с низким качеством данных. Внутригодовая динамика изменений объясняется сезонностью работы некоторых гидрологических постов. Работоспособность в феврале в среднем на $4,6$ % меньше, чем в июле.

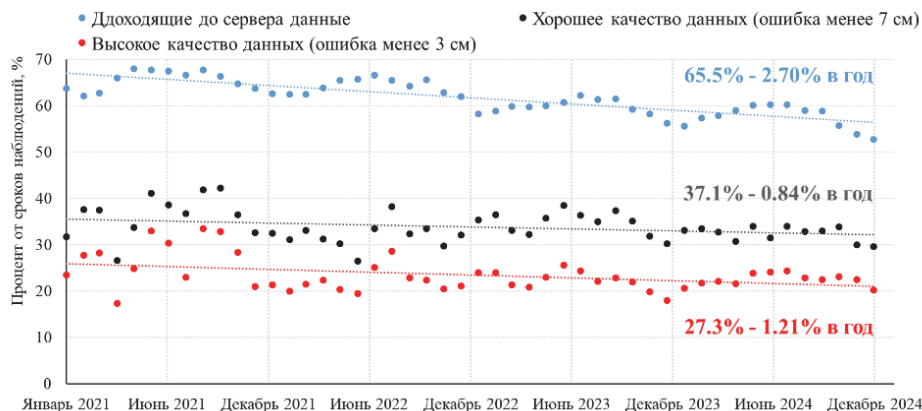


Рис. 3. Динамика работы АГК за 2021–2024 гг.

В рамках первой волны модернизации на сеть устанавливались АГК Seba Hydrometrie (ФРГ), по проекту «Росгидромет-2» – АГК с контроллером VAISALA Oyj (Финляндия) и датчиками ОТТ Hydromet (ФРГ). Приобретение проводилось централизованно и включало монтаж и пусконаладку на месте эксплуатации. Модернизация по федеральной целевой программе «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах» (ФЦП) проводилась УГМС разрозненно, монтаж осуществлялся силами собственных специалистов на местах либо поставщиками оборудования. По итогам реализации программы на сети появилось 16 комбинаций датчик – контроллер (табл. 2), большинство из которых не были адаптированы под эксплуатацию в полевых условиях.

Централизованная поставка АГК с несколькими этапами контроля показала более высокую эффективность. Работоспособность комплексов, установленных в рамках ФЦП, составляет менее 50 %, а объем данных высокого качества – менее 17 % (табл. 3). Единичные поставки привели к излишнему разнообразию парка приборов и затруднили передачу опыта по работе с АГК между специалистами на местах. Оборудование, поставленное по проекту «Росгидромет-1», несмотря на почти двойную отработку гарантийного срока службы (6 лет), до сих пор показывает хорошую статистику: 74 % работоспособности при почти нулевой интенсивности ее снижения и самым большим объемом данных высокого качества (36,7 %). Однако интенсивность

снижения качественных данных более 4 %/год указывает на значительный дрейф показаний сенсоров и необходимость их замены. АГК, поставленные по проекту «Росгидромет-2», имеют обратную тенденцию – интенсивность снижения объема данных высокого качества практически нулевая, а интенсивность падения работоспособности более 4 %/год, что может быть связано с первичной адаптацией приборов на местах установки.

Таблица 2

Сочетания основных элементов комплексов по производителям

Производитель датчика \ Производитель контроллера	BD Sensors Rus	Endress+Hauser	OTT HydroMet	Seba Hydrometrie	STS	VEGA Grieshaber	ГГИ Прибор	Теплоприбор	НПК ВИП	МераПрибор	НПО Тайфун	НТЦ Гидромет	Геолинк	ПК ТЕСЕЙ	Планета Инфо	Keller	Всего
Advantech Co								18	8							8	34
Beijing Epsolar Technology						18											18
ICP DAS Co						24			111								135
Keller																50	50
OTT Hydromet			3														3
Seba Hydrometrie				239													239
STS Sensor Technik Simnach					51												51
VAISALA Oyj			255		1									4		35	295
без названия																12	12
ГГИ Прибор							6										6
МераПрибор										82							82
НПО Тайфун											2						2
НТЦ Гидромет												1					1
Геолинк	47	1											13				61
НПП ИнТех									61							5	66
Планета Инфо					3										41	1	45
Всего	47	1	258	239	55	42	6	18	180	82	2	1	13	4	41	111	1100

К причинам неработоспособности АГК относятся: 32 % случаев – ненадежная связь; 36 % – отказ контроллера, датчика или модема; 6 % – вандализм; 11 % – разряд аккумуляторов; 15 % – повреждение датчика и линии связи с модемом ледоходом или иными плавущими предметами.

По статистике работы АГК, установленных по ФЦП, заметно, что монтаж комплексов, проведенный силами сотрудников УГМС, произведен качественнее, чем сторонними частными организациями. При практически одинаковом уровне работоспособности (58–59 %) объем качественных данных выше (28,3 % против 17,9 %), что может быть связано с углубленным знанием сотрудников УГМС локальных особенностей на местах установки и заинтересованности в получении корректных данных.

Таблица 3

Параметры работы комплексов в зависимости от производителя датчика

Программа/ тип	Чис- ло АГК	Объем приходящих на сервер данных, %	Уменьшение объема приходящих на сервер данных, % в год	Качество данных, % от всех сроков		Уменьшение объема данных с погрешно- стью 3 см, % в год	Срок службы с момента запуска, лет
				до 3 см	до 7 см		
Программа модернизации							
Росгидромет-1	134	74,6	0,05	36,7	42,8	4,07	13,0
ФЦП	654	47,8	2,73	16,9	25,5	0,93	8,8
Росгидромет-2	258	84,6	4,04	30,5	47,2	0,35	5,2
Монтажная организация							
Силами УГМС	164	59,1	0,15	28,3	40,1	0,93	8,6
Частная фирма	443	57,8	3,47	17,9	24,3	1,39	8,8
Тип датчика уровня воды							
Барботажный	370	70,7	4,26	22,0	33,4	3,34	9,9
Гидростат	650	58,0	1,68	24,7	34,9	−0,22	8,1
Поплавковый	7	92,7	1,48	54,6	69,8	−0,85	13,0
Радарный	73	50,1	3,60	15,4	21,2	2,01	9,0
Производители контроллера							
Азиатские	199	49,53	4,34	8,23	14,1	1,00	8,3
Европейские	638	76,39	2,77	32,3	45,2	1,44	9,2
Российские	263	35,23	1,00	13,1	20,5	0,45	8,4
Производители датчика уровня воды							
Азиатские	4	7,05	5,61	0,00	2,08	0,00	6,0
Европейские	704	74,27	2,71	31,3	43,8	1,49	9,0
Российские	394	39,64	2,55	9,38	15,9	0,46	8,6

Согласно статистике (см. табл. 3) самым надежным типом датчика уровня воды можно считать поплавковое устройство. Использование такого типа датчика не может считаться полной автоматизацией измерений, поскольку положение поплавка требуется постоянно отслеживать, а оборудование корректнее относить к самописцам уровня воды. Наиболее распространенные гидростатический и барботажный типы датчиков имеют схожие критерии качества (см. табл. 3), стоит лишь выделить большую интенсивность падения объема качественных данных у барботажных устройств, что отчасти можно связать с большим сроком службы приборов. Радарные датчики, в отличие от опыта их применения на зарубежных сетях, имеют значительно меньшее распространение и показывают худшие результаты. Это объясняется тем, что они установлены в большинстве случаев на малых южных горных реках без ледовых явлений, но с интенсивными русловыми процессами.

Российские и азиатские производители оборудования значительно уступают европейским аналогам в качестве произведенных приборов, как контроллеров, так и датчиков уровня воды (см. табл. 3).

Большинство АГК работает на европейской территории России (63 % устройств находится западнее 60° в. д.). Работоспособность комплексов в европейской части – 73 %, азиатской – 43 % (рис. 4, а). Объем данных высокого качества в европейской части – 41 %, в азиатской – 20 % (рис. 4, б). Исключением является работа АГК в Приморском УГМС, где работоспособность АГК 89 %, а объем данных высокого качества составляет 72 %.

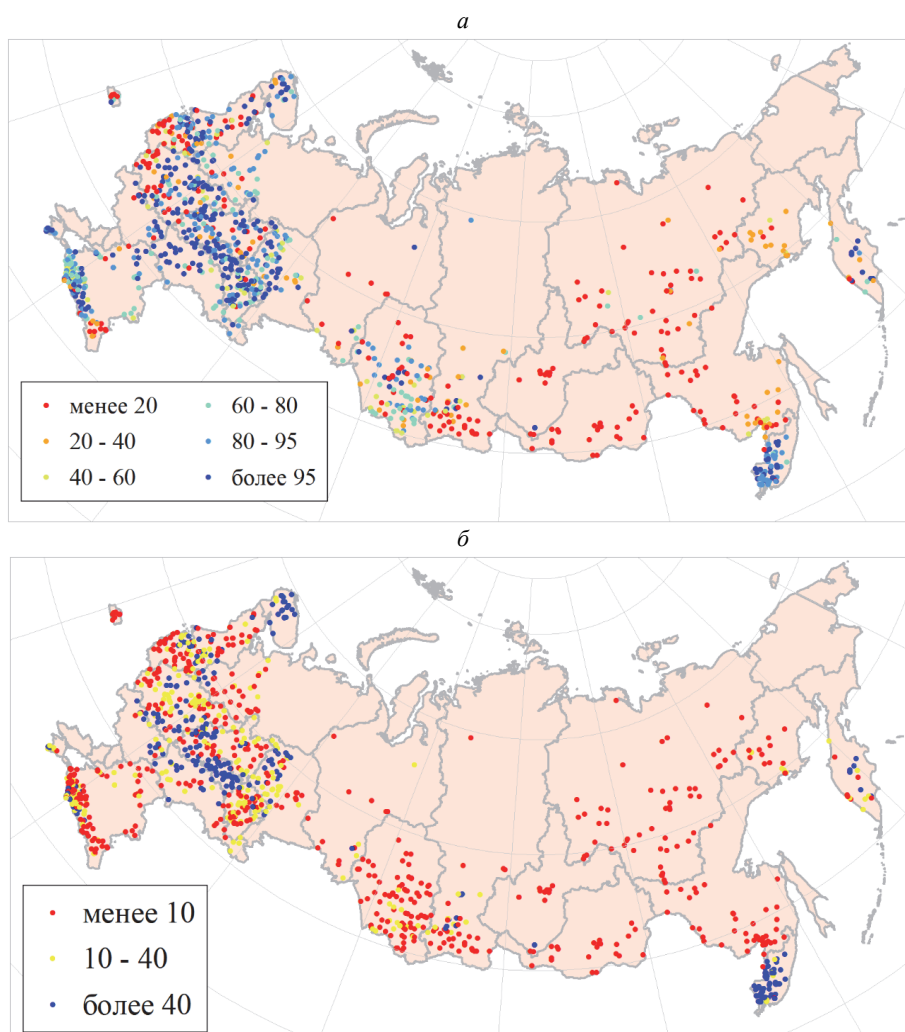


Рис. 4. Карта распределения АГК:

a – по времени работоспособности, в %; *б* – по данным хорошего качества, в %

Выводы и обсуждения

Степень автоматизации измерения уровня воды на гидрометеорологической сети зависит от общей экономической ситуации в стране. Если в США и странах Западной Европы автоматизация стартовала в середине 90-х гг. XX в. и достигла более 90 %, то в России старт автоматизации произошел на 10–15 лет позже и на данный момент степень автоматизации составляет 37 % от общего количества гидрологических постов, что, например, больше чем в Сербии, но меньше чем в Марокко. Помимо финансовых причин, низкий процент автоматизации сети обусловлен значительной величиной числа пунктов наблюдений, в том числе на территориях с отсутствием связи и неблагоприятным для приборов климатом.

Интенсивность падения работоспособности АГК оценивается в 2,7 % в год. В связи с тем что большинство комплексов приближается или уже превысило свой гарантированный производителями срок службы, в ближайшее время прогнозируется увеличение данного показателя. С учетом такой статистики для поддержания достигнутого уровня автоматизации необходимо ежегодно вводить (заменять) 40 АГК. Для того чтобы достигнуть 100 % автоматизации, необходимо вводить по 130 АГК ежегодно на протяжении 20 лет. Наилучшим вариантом здесь является проведение многолетних научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по составлению технической документации с созданием опытных образцов и выпуском серийных партий АГК отечественного производства и распространение их централизованно по территориальным управлениям Росгидромета.

В отличие от большинства иностранных гидрометеорологических служб, в Российской Федерации действует более строгая система метрологического контроля, поэтому возможно оценить не только объем поступающих данных, но и их качество. Контроль ведется как по линии лабораторной точности приборов – система первичной и периодической поверки средств измерений, так и по линии влияния местных факторов за счет параллельных измерений уровня воды наблюдателем.

Помимо соблюдения сложившихся метрологических традиций, также необходимо вводить международную практику, заключающуюся:

- в применении резервных автоматизированных средств измерения уровня воды, в том числе с автоматизированным переключением между источниками данных в момент сбоев;
- использовании в качестве резервного источника данных об уровне воды передающих, записывающих данные во внутреннюю память автономных уровнемеров, стоимость которых существенно ниже, а простота монтажа и хорошая защищенность от вандализма позволяют характеризовать такие средства измерения как надежные [Experimental instrumentation ... , 2023];
- заполнении пропусков данных и фильтрации выбросов с помощью искусственного интеллекта [Sanhueza, Karelovic, Link, 2021], машинного обучения [Estimation of missing ... , 2024], IoT-технологий [Assessing the Best ... , 2020] в автоматизированном режиме;
- создании резервных фондов, в которые закладывается возможная утеря оборудования для быстрого восстановления автоматизированных пунктов сети;
- высоком уровне передачи данных в режиме реального времени на общедоступные платформы на базе ГИС-технологий;
- оперативном учете стока по данным АГК;
- более широком применении АГК радарного и ультразвукового типов.

Список литературы

Вуглинский В. С., Высоцкий Д. В., Яковлева Т. И. Мониторинг поверхностных водных объектов в России // Метеорология и гидрология. 2021. Вып. 6. С. 77–88. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-6-77-88>

Обзор состояния системы гидрологических наблюдений, обработки данных и подготовки информационной продукции в 2024 гду. СПб. : ФГБУ «ГТИ», 2025.

- A Newly Developed Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery Based Technology for Field Measurement of Water Level / A. Gao, W. Shiqiang, W. Fangfang [et al.] // *Water*. 2019. Vol. 11, N 1. P. 124–139. <https://doi.org/10.3390/w11010124>
- Assessing the Best Gap-Filling Technique for River Stage Data Suitable for Low Capacity Processors and Real-Time Application Using IoT / A. Madueno, M. L. Lineros, J. Estevez, J. Giraldez // *Sensors*. 2020. Vol. 20 (21). <https://doi.org/10.3390/s20216354>
- Estimation of missing streamflow data using various artificial intelligence methods in peninsular Malaysia / L. Ng. Jing, Y. F. Huang, A. H. Chong [et al.] // *Water Practice and Technology*. 2024. Vol. 19, N 11. P. 4338–4354. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.265>
- Extending global river gauge records using satellite observations / R. M. Riggs, G. H. Allen, J. Wang [et al.] // *Environmental Research Letters*. 2023. Vol. 18. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acd407>
- Gabbardo dos Reis G., Fialho Breda J. P. L., Siqueira V. A. SARDIM: uma plataforma de acompanhamento hidrológico em tempo real dos rios da América do Sul // *Brazilian Journal of Water Resources*. 2023. Vol. 28, N 10. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.282320220106>
- Hirsch R. M., Fisher G. T. Past, Present, and Future of Water Data Delivery from the U.S. Geological Survey // *Journal of Contemporary Water Research & Education*. 2014. Vol. 153, N 1. P. 4–15. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2014.03175.x>
- Internatuional altimetry team. Altimetry for the future: Building on 25 years of progress // *Advances in Space Research*. 2021. Vol. 68. P. 319–363. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.01.022>
- JRC of European Commission № 108843 Report. Assessment of the capacity for flood monitoring and early warning in enlargement and Eastern/Southern Neighbourhood countries of the European Union // JRC Science Hub. Luxembourg, 2018. 78 p. <https://doi.org/10.2760/18691>
- Masoudimoghaddam M., Yazdi J., Shahsavandi M. A low-cost ultrasonic sensor for online monitoring of water levels in rivers and channels // *Flow Measurement and Instrumentation*. 2025. Vol. 102.
- Mishra A. K., Coulibaly P. Developments in hydrometric network design: A review // *Reviews of Geophysics*. 2009. Vol. 47, N 2. <https://doi.org/10.1029/2007RG000243>
- Multi-scale hydrological system-of-systems realized through WHOS: the brokering framework / E. Boldrini, S. Nativi, S. Pecora [et al.] // *International Journal of Digital Earth*. 2012. Vol. 15, N 1. P. 1259–1289.
- Natividad J. G., Mendez J. M. Flood Monitoring and Early Warning System Using Ultrasonic Sensor // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 325. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/325/1/012020>
- Citizen science in hydrological monitoring and ecosystem services management: State of the art and future prospects / N. Njue, J. S. Kroese, S. R. Jacobs [et al.] // *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 693. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.337>
- Experimental instrumentation of water stage monitoring stations in mountain streams bedrock using pressure transducers / V. M. Quezada, J. H. H. Anguiano, R. Miranda [et al.] // *Flow Measurement and Instrumentation*. 2023. Vol. 93. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2023.102436>
- Sanhueza P. A., Karelovic B., Link O. Automatic Gap-Filling of Daily Streamflow Time Series in Data-Scarce Regions using a Machine Learning Algorithm. *Journal of Hydrology*, 2021. Vol. 528, N 8. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126454>
- Steward B. Measuring what we manage – the importance of hydrological data to water resources management // *Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future. Proceedings of the 11th Kovacs Colloquium. IAHS Publ.*, 2015. Vol. 366. P. 80–85.
- The CEMS Hydrological Data Collection Centre Annual report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2025. <https://doi.org/10.2760/0123431>
- Turning Lakes Into River Gauges Using the LakeFlow Algorithm / R. M. Riggs, G. H. Allen, C. B. Brinkerhoff [et al.] // *Geophysical Research Letters*. 2023. Vol. 50, N 10. <https://doi.org/10.1029/2023GL103924>
- Ullo S. L., Sinha G. R. Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors // *Sensors*. 2020. Vol. 20, N 11. P. 3113–3131. <https://doi.org/10.3390/s20113113>

References

- Vuglinskii V.S., Vysotskii D.V., Yakovleva T.I. Monitoring poverkhnostnykh vodnykh ob"ektov v Rossii [Monitoring of surface water bodies in Russia]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2021, iss. 6, pp. 77-88. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-6-77-88> (in Russian)
- Obzor sostoyaniya sistemy gidrologicheskikh nablyudenii, obrabotki dannykh i podgotovki informatsionnoi produktsii v 2023* [Review of the state of the Russian national hydrological observation system, data processing and information production in 2023]. St. Petersburg, GGI Publ., 2024. (in Russian)
- Gao A., Shiqiang W., Fangfang W., Xiufeng W., Peng X., Lei Y., Senlin Z. A Newly Developed Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery Based Technology for Field Measurement of Water Level. *Water*, 2019, vol. 11, no. 1, pp. 124-139. <https://doi.org/10.3390/w11010124>
- Madueno A., Lineros M.L., Estevez J., Giraldez J. Assessing the Best Gap-Filling Technique for River Stage Data Suitable for Low Capacity Processors and Real-Time Application Using IoT. *Sensors*, 2020, vol. 20 (21). <https://doi.org/10.3390/s20216354>
- Riggs R.M., Allen G.H., Jida Wang et al. Extending global river gauge records using satellite observations. *Environmental Research Letters*, 2023, vol. 18, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acd407>
- Gabbardo dos Reis G., Fialho Breda J.P.L., Siqueira V.A. SARDIM: uma plataforma de acompanhamento hidrológico em tempo real dos rios da América do Sul. *Brazilian Journal of Water Resources*, 2023, vol. 28, no. 10. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.282320220106>
- Hirsch R.M., Fisher G.T. Past, Present, and Future of Water Data Delivery from the U.S. Geological Survey. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 2014, vol. 153, no. 1, pp. 4-15. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2014.03175.x>
- Internatuional altimetry team. Altimetry for the future: Building on 25 years of progress. *Advances in Space Research*, 2021, vol. 68, pp. 319-363. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.01.022>
- Jing Lin Ng, Huang Y.F., Chong A.H., Ahmed A.N., Syamsunur D. Estimation of missing streamflow data using various artificial intelligence methods in peninsular Malaysia. *Water Practice and Technology*, 2024, vol. 19, no. 11, pp. 4338-3354. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.265>
- JRC of European Commission № 108843 Report. Assessment of the capacity for flood monitoring and early warning in enlargement and Eastern/Southern Neighbourhood countries of the European Union. *JRC Science Hub. Luxemburge*, 2018, 78 p. <https://doi.org/10.2760/18691>
- Masoudimoghaddam M., Yazdi J., Shahsavandi M. A low-cost ultrasonic sensor for online monitoring of water levels in rivers and channels. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2025, vol. 102. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2024.102777>
- Mishra A.K., Coulibaly P. Developments in hydrometric network design: A review. *Reviews of Geophysics*, 2009, vol. 47, no. 2. <https://doi.org/10.1029/2007RG000243>
- Boldrini E., Nativi S., Pecora S., Chernov I., Mazzetti P. Multi-scale hydrological system-of-systems realized through WHOS: the brokering framework. *International Journal of Digital Earth*, 2012, vol. 15, no. 1, pp. 1259-1289. <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2099591>
- Natividad J.G., Mendez J.M. Flood Monitoring and Early Warning System Using Ultrasonic Sensor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 325. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/325/1/012020>
- Njue N., Kroese J.S., Jacobs S.R., Weeser B., Breuer L., Rufino M.C. Citizen science in hydrological monitoring and ecosystem services management: State of the art and future prospects. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 693. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.337>
- Quezada V.M., Anguiano J.H.H., Miranda R. et al. Experimental instrumentation of water stage monitoring stations in mountain streams bedrock using pressure transducers. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2023, vol. 93. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2023.102436>
- Sanhueza P.A., Karelovic B., Link O. Automatic Gap-Filling of Daily Streamflow Time Series in Data-Scarce Regions using a Machine Learning Algorithm. *Journal of Hydrology*, 2021, vol. 528, no. 8. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126454>
- Steward B. Measuring what we manage – the importance of hydrological data to water resources management. *Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future. Pro-*

ceedings of the 11th Kovacs Colloquium. IAHS Publ., 2015, vol. 366, pp. 80-85. <https://doi.org/10.5194/piahs-366-80-2015>

The CEMS Hydrological Data Collection Centre Annual report. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2025. <https://doi.org/10.2760/0123431>

Riggs R.M., Allen G.H., Brinkerhoff C.B., Sikder Md.S., Wang J. Turning Lakes Into River Gauges Using the LakeFlow Algorithm. *Geophysical Research Letters*, 2023, vol. 50, no. 10. <https://doi.org/10.1029/2023GL103924>

Ullo S.L., Sinha G.R. Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors. *Sensors*, 2020, vol. 20, no. 11, pp. 3113-3131. <https://doi.org/10.3390/s20113113>

Сведения об авторах

Бузмаков Сергей Викторович

заведующий лабораторией

Государственный гидрологический институт

Россия, 199004, г. Санкт-Петербург, 2-ая линия В. О., 23

e-mail: s.buzmakov@hydrology.ru

Юхно Артем Владимирович

научный сотрудник

Государственный гидрологический институт

Россия, 199004, г. Санкт-Петербург, 2-ая линия В. О., 23

e-mail: artem-ardene@mail.ru

Осташов Андрей Алексеевич

младший научный сотрудник

Государственный гидрологический институт

Россия, 199004, г. Санкт-Петербург, 2-ая линия В. О., 23

e-mail: andrey.ostashov@gmail.com

Information about the authors

Buzmakov Sergey Victorovich

Head of the Laboratory

State Hydrological Institute

23, 2nd line Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199004, Russian Federation

e-mail: s.buzmakov@hydrology.ru

Iukhno Artem Vladimirovich

Research Scientist

State Hydrological Institute

23, 2nd line Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199004, Russian Federation

e-mail: artem-ardene@mail.ru

Ostashov Andrey Alekseevich

Research Scientist

State Hydrological Institute

23, 2nd line Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199004, Russian Federation

e-mail: andrey.ostashov@gmail.com

Код научной специальности: 1.6.16

Статья поступила в редакцию 21.03.2025; одобрена после рецензирования 07.06.2025; принята к публикации 11.06.2025

The article was submitted March, 21, 2025; approved after reviewing June, 7, 2025; accepted for publication June, 11, 2025