



УДК 556.042

<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2026.57.15>

Перспективы автоматизации наблюдений за состоянием водного объекта

С. В. Бузмаков, А. Д. Пнюшков, С. В. Кубынин, Е. Н. Власова,
Л. С. Банщикова*

Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассмотрены варианты автоматизации на гидрологических постах такого вида наблюдений, как состояние водного объекта. Приводятся основные исторические этапы становления этих наблюдений с указанием количества определяемых состояний. На основе обзора научных публикаций и собственного опыта проведения работ определены методы и перспективы автоматизации наблюдений. Даются рекомендации по оптимизации наблюдений на государственной наблюдательной сети Росгидромета, в частности, сокращение числа определяемых состояний водного объекта для автономных пунктов наблюдений и использование программных продуктов с применением технологии компьютерного зрения.

Ключевые слова: состояние водного объекта, гидрологический пост, наблюдения, автоматизация, Росгидромет.

Для цитирования: Перспективы автоматизации наблюдений за состоянием водного объекта / С. В. Бузмаков, А. Д. Пнюшков, С. В. Кубынин, Е. Н. Власова, Л. С. Банщикова // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2026. Т. 57. С. 15–27. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2026.57.15>

Original article

Prospects for Automating Observations of the State of a Water Body

S. V. Buzmakov, A. D. Pnyushkov, S. V. Kubynin, E. N. Vlasova,
L. S. Banshchikova*

State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper considers options for optimizing hydrometric observations of the condition of a water body, taking into account the automation process. The results of the analysis of changes in the composition of the determined elements of the condition of a water body are presented. Based on scientific publications, a conclusion is formulated about the possibility of automating the determination of the state of a water object, with examples from the author's own experience of conducting observations. In conclusion, recommendations are given on the automation of this type of observation on the network of Roshydromet, in particular, for autonomous observation points, the reduction of the number of states of a water object and the use of software products using computer vision technology.

Keywords: condition of a water body, hydrological gauge, observations, automatization, Roshydromet.

For citation: Buzmakov S.V., Pnyushkov A.D., Kubylin S.V., Vlasova E.N., Banskchikova L.S. Prospects for Automating Observations of the State of a Water Body. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2026, vol. 57, pp. 15-27. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2026.57.15> (in Russian)

Введение

Определение состояния водного объекта является неотъемлемой частью государственного мониторинга водных объектов¹. Сам вид наблюдений «состояние водного объекта» (далее СВО) имеет несколько определений. Согласно ГОСТ 17.1.1.01-77² состояние водного объекта должно характеризовать его по совокупности количественных и качественных показателей применительно к видам водопользования. В настоящем исследовании состояние водного объекта рассмотрено с точки зрения гидрометрического подхода как качественная характеристика, отражающая текущий режим водотока (или водоема) и необходимая для корректного расчета стока воды и краткосрочного прогнозирования развивающихся гидрологических процессов. Для большинства гидрологов состояние водного объекта чаще всего ассоциируется со схематичными картинками обозначений состояний во множестве учебников по гидрометрии, а для специалистов наблюдательной сети – с его кодированным идентификатором, который нужно запоминать.

Несмотря на свою вспомогательную сущность, СВО является обязательным к наблюдению на всех гидрологических постах, вне зависимости от их разряда и географического местоположения. Согласно последним нормативным документам³, на постах может не измеряться температура или расход воды, но состояние водного объекта, наряду с уровнем воды, должно наблюдаться обязательно.

В настоящее время происходит процесс автоматизации наблюдений. При измерении уровня воды, как в мировой⁴, так и российской⁵ практике, все чаще прибегают к использованию автоматизированных средств. Часть гидрологических пунктов переходит в разряд автономных гидрологических постов (АГП) без наблюдателя, при этом не соблюдая требования по определению СВО. Автоматизация является неотъемлемой частью современной гидрологии, но, если отсутствует возможность определять полный спектр элементов СВО, необходимо прибегать к смягчению нормативов или уменьшению количества определяемых состояний. Целью данной работы является оценка возможности автоматизации определения СВО и поиск подходов по оптимизации данного вида работ на государственной наблюдательной сети Росгидромета.

¹ Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 31.07.2025) // КонсультантПлюс : справочная правовая система.

² ГОСТ 17.1.1.01-77. Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения. М., 2017. 9 с.

³ Р 52.08.8700-2017. Оптимизация программ наблюдений в условиях внедрения новых средств измерений на гидрологической сети. СПб., 2017. 30 с.

⁴ 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).

⁵ РД 52.08.869-2017. Методика измерений уровня воды в водоемах и водотоках автоматизированными гидрологическими комплексами. СПб., 2017. 27 с.

Исторический контекст

Для оценки репрезентативности рядов наблюдений и важности исследуемой характеристики был выполнен ретроспективный анализ нормативных документов, который показал, что с развитием гидрологических знаний количество определяемых состояний водного объекта росло (рис. 1). Первые упоминания состояния водного объекта, которые носили описательный характер, встречаются в летописях, начиная с XI в.⁶ И только в 1876 г., после создания временной Комиссии для исследования и описания рек, цель которой состояла в разработке единых наставлений и инструкций, были приняты единые для России правила обустройства водомерных постов, описания урвненного режима и единая система условных обозначений ледовых явлений⁷.

Одним из первых упоминаний об условных обозначениях состояния реки являются «Труды отдела торговых портов. Изыскания в устьях р. Северной Двины» (1916 г.)⁸ – в нем описывается 17 элементов СВО.

С началом становления гидрометеорологической службы появилась необходимость стандартизировать виды проводимых работ, так в 1938 г. выходит «Инструкция для речных гидрологических станций»⁹, в которой описывается уже 19 состояний поверхности реки.

В период 1938–1946 гг. происходит переосмысление нормативной базы и издается серия наставлений, объединяющих все ранее изданные указания по производству наблюдений («Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2, ч. 1 и 2», «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6, ч. 1», «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6, ч. 2»)¹⁰. Впервые учитываются состояния, связанные с растительностью в русле рек. Данные издания уже включают в себя 53 элемента СВО.

В 1957 г. выходит второе издание из серий наставлений¹¹, акцент в котором был сделан на подготовку персонала, были учтены новые явления, связанные с индустриализацией и хозяйственной деятельностью на водных объектах (55 элемента СВО).

Накопленный опыт приводит к тому, что в 1972–1978 гг. выходит третье издание «Наставления гидрометеорологическим станциям и постам», в котором учтены оправдавшие себя на практике методические усовершенствования и уточнения, внесенные в наблюдательную сеть. Оно стало более полным и систематизированным руководством, охватывающим широкий спектр гидрометеорологических наблюдений и измерений, и включало уже 65 характеристик состояния водного объекта.

⁶ Полное собрание русских летописей (ПСРЛ). СПб., 1841. Т. 3.

⁷ Сведения об уровне воды на внутренних водных путях Российской империи по наблюдениям на водомерных постах, учрежденных МПС за время с 1881 по 1890 г. включительно / М.П.С., Отд. водяных и шоссейн. сообщ., Упр. вод. и шосс. сообщ. и торг. порт. СПб.: Тип. Министерства путей сообщения, 1901–1907. Т. 4: Бассейны Балтийского и Белого морей: атлас (карта и 145 графиков). 1908. 138 отд. л.

⁸ Труды Отдела торговых портов // Россия. Главное упр. торгового мореплавания и портов, Отдел торговых портов. Петроград, вып. 49: Изыскания в устьях р. Северной Двины, произведенные в 1915–1916 годах для составления проекта аванпорта у гор. Архангельска / сост. В. Е. Ляхницкий, 1916. 252 с.

⁹ Инструкция для речных гидрологических станций. Л.: ГГИ, М.: Гидрометеиздат, 1938. 324 с.

¹⁰ Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Свердловск; М.: Гидрометеиздат, 1944. Вып. 6. Ч. 1. Наблюдения на больших реках. 214 с.

¹¹ Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. 1. Гидрометеорологические наблюдения и работы на реках. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 400 с.

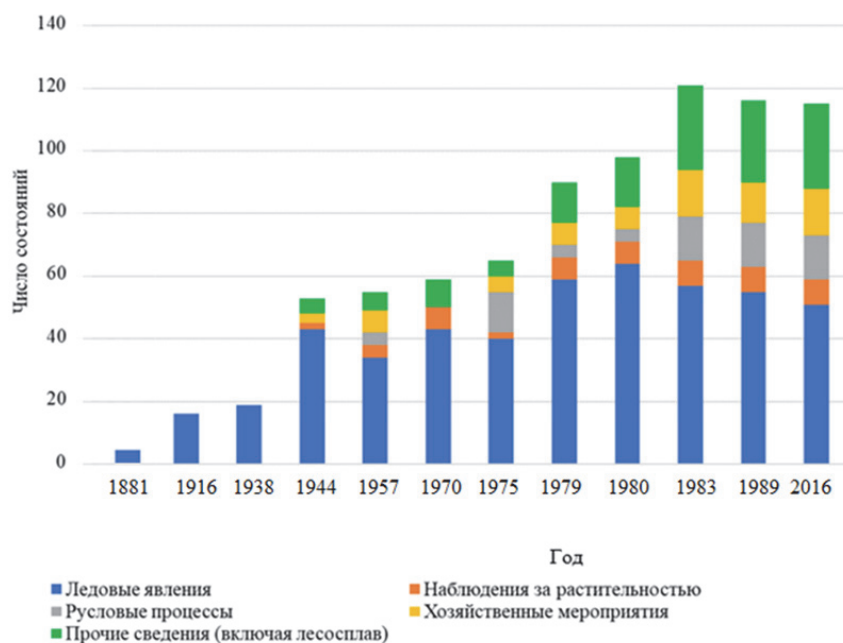


Рис. 1. Изменение числа требуемых к определению элементов СВО по годам

В связи с утвержденной в 1978 г. «Структурой публикуемой части государственного водного кадастра» и внедрением автоматизированной системы обработки гидрологических данных (АСОГД) в 1979–1983 гг. выходят «Методические указания по ведению Государственного водного кадастра»¹², направленные на подготовку и перфорацию первичных данных. В них же впервые употребляется термин «состояние водного объекта» и значительно расширяется описание наблюдаемых явлений на гидрологических станциях и постах не только на реках, но и на озерах. В результате этого происходит пропорциональное увеличение количества характеристик кода состояния водного объекта (121 код состояния водного объекта). С тех пор количество определяемых состояний хоть и не значительно, но только уменьшалось. Согласно действующим требованиям¹³ должно определяться 115 состояний водного объекта. Несмотря на то что в срок наблюдений одновременно может быть выделено до пяти состояний водного объекта, в данные государственного водного кадастра заносится лишь два. На основе анализа архивных материалов по разным регионам нашей страны выявлено, что за период с 1940 по 2020 г. в «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши» (ЕДС) используется лишь четверть от требуемых к определению состояний водного объекта.

¹² Методические указания по ведению государственного водного кадастра. Обнинск : ВНИИГМИ МЦД, 1980. Разд. 1. Вып. 6. Ч. 1. Реки и каналы. 112 с.

¹³ РД 52.19.857-2016. Подготовка и занесение гидрологической информации по рекам и каналам на технический носитель. Обнинск : ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2016. 182 с.

В мировой практике нет однозначного аналога СВО. В нормах Всемирной метеорологической организации (ВМО)¹⁴ описаны отдельные виды работ, посвященные определению состояний реки в период ледостава и прохождения ледовых явлений, но такого комплексного подхода не существует. В то же время необходимые технологии для определения СВО более развиты за рубежом, в связи с чем и количество исследований зарубежных авторов заметно больше.

Перспективы автоматизации

Основной технологией при автоматизации определения состояния водного объекта является компьютерное зрение, которое заключается в создании программно-аппаратных комплексов, нацеленных на обнаружение, отслеживание и классификацию объектов на основе визуальной информации.

Вопросы автоматизации определения состояния водного объекта ставились довольно давно, однако акцент делался на некоторых небольших группах состояний. В СССР в 1980-х гг. по спутниковым снимкам было предложено разделить (сегментировать) изображение на четыре составляющие: ледостав, ровный ледяной покров, ледяные поля и чисто [Гурвич, 1980]. Несмотря на дальнейшее развитие методов цифровой обработки изображений [Математическое ... , 1981], конечной реализации программных продуктов в автоматизированном режиме, определяющих состояние водного объекта, нет в настоящее время.

Более современные методы цифровой обработки изображения начинают использоваться в начале XXI в. [Jędrzychowski, Kujawski, 2014]. В наше время большинство программных комплексов не ограничиваются цифровой обработкой данных, но и включают в себя возможности искусственного интеллекта. В [Chen, Liu, 2023] рассматриваются характерные особенности изображений реки на снимках с целью сегментации изображения на четыре группы: открытая вода, ледостав, ледоход, затор. В [ICENET: ... , 2020] приводится подробное описание архитектуры нейросети для сегментации изображений снимков рек. Описанные выше публикации касаются только ледовых явлений. Другие состояния водного объекта, в котором описывается система наблюдения за объектами на водотоке, в том числе наличие людей и водного транспорта, карчехода и лесосплава, развитие прибреговой растительности, приведены в работе [Research ... , 2024]. Таким образом, на данный момент существуют технологии идентификации в автоматизированном режиме большого количества состояний водного объекта. На основе конкретных примеров из литературных источников был составлен сокращенный перечень состояний водного объекта, доступных к автоматизации (табл.).

¹⁴ Руководство по гидрологической практике. ВМО. 2008. № 168. Т. 1. Гидрология: от измерений до гидрологической информации. (Обновлено в 2020 г.).

Таблица

Сокращенный перечень состояний водного объекта, определяемых автоматизированным способом (на основе литературных источников)

Код	Состояние	Публикации	Средство записи	Режим записи
600	Чисто	[Гурвич, 1980; Jędrzychowski Kujawski, 2014; Chen, Liu, 2023; ICENET: A semantic ... , 2020; Ansari, 2016; River ... , 2023; Ansari, 2023; Kalke, Loewen, 2018; Lake ... , 2020; Ice ... , 2020; Vyshnevskiy, Shevchuk, 2020; Using ... , 2017; ICENETv2: ... , 2021]	 	 
535	Ледостав, ровный ледяной покров	[¹⁵ ; Гурвич, 1980; Jędrzychowski Kujawski, 2014; Chen, Liu, 2023; River ... , 2023; Cooley, Pavelsky, 2016; Kalke, Loewen, 2018; Application ... , 2020; Ice monitoring ... , 2020; Vyshnevskiy, Shevchuk, 2020]	 	 
516	Ледоход; снегоход – для пересыхающих рек	[Jędrzychowski Kujawski, 2014; A semantic ... , 2020; Ansari, 2023; Application ... , 2023; Cooley, Pavelsky, 2016; Using ... , 2017; Research ... , 2024]	 	 
550	Ледяные поля – для устьевых участков рек	[Гурвич, 1980; Kalke, Loewen, 2018; Moalemi, 2023; Ice ... , 2020; Vyshnevskiy, Shevchuk, 2020; Using ... , 2017]	 	
622	Растительность у берегов	[Research ... , 2024; Satellite ... , 2010; Application ... , 2020; Algae ... , 2018; A remote ... , 2020; UAV Quantitative ... , 2024]	 	 
624	Растительность по сечению потока пятнами	[Satellite ... , 2010; Application ... , 2020; Algae ... , 2018; A remote ... , 2020; UAV Quantitative ... , 2024]	 	
513	Забереги (первичные, наносные), закраины	[ICENET ... , 2020; River ... , 2023; Ansari, 2023; ICENETv2 ... , 2021]		
519	Шугоход	[Математическое ... , 1981; River ... , 2023; Ansari, 2023]		 
530, 531	Затор льда выше поста, затор льда ниже поста	[Chen, Liu, 2023; Application ... , 2023]		 
517	Ледоход, лед из притока, озера, водохранилища	[River ... , 2023]		

¹⁵ Методическое письмо по производству наблюдений за состоянием водного объекта, записи и кодированию результатов наблюдений на реках и каналах. Л. : ГТИ; Валдай : Валд. фил. ГТИ, 1985. 19 с.

Окончание табл.

Код	Состояние	Публикации	Средство записи	Режим записи
545	Лед тает на месте	[Ansari, 2023]		
611, 614, 615, 666– 674	Лесосплав, залом леса выше поста, залом леса ниже поста, прекратилась лодочная переправа, прекратилось пешее сообщение по льду, началось пешее сообщение по льду, началось движение транспорта по льду, прекратилось движение транспорта по льду, началась лодочная переправа, начало навигации, конец навигации	[Jędrzychowski, Kujawski, 2014]		

 – спутник;  – беспилотная авиационная система;  – стационарная камера;  – постоянная запись;  – интервальная запись видео;  – интервальная фотосъемка.

В качестве входных данных для автоматизации служит файл (фото или видео) с отображением реки, канала или озера, сделанный при помощи камеры, располагаемой на спутнике , беспилотной авиационной системе (БАС ) или стационарно в непосредственной близости от объекта . По режиму записи камеры разделяют следующим образом: постоянная запись (трансляция) , интервальная запись видео  или интервальная фотосъемка . Наибольший объем информации можно получить при помощи непрерывной видеотрансляции по стационарно закрепленной камере с возможностью трансфокации и поворотным приводом. Объектив такой камеры может, при удачном ее расположении, охватить большой участок реки как в самом исследуемом створе, так и вверх (вниз) по течению, а непрерывная съемка определять состояния не только в основные сроки, но и в любой необходимый момент времени. Основным недостатком такого источника данных является необходимость присутствия постоянного интернет-соединения и наличие источника постоянного электропитания, что представляется возможным не на всех существующих пунктах наблюдения. Самым распространенным и экономически эффективным способом является применение так называемых фотоловушек, способных по таймеру выполнять интервальную фотосъемку, а затем по каналам сотовой сети отправлять материалы в центры сбора данных. Такие камеры имеют автономное питание, а объем передаваемых ими данных способен осуществлять трансляцию технологиями мобильной связи третьего поколения. Также эти камеры способны производить интервальную запись видео для фиксации поверхностных скоростей потока и отправлять данные, но уже только по технологии четвертого поколения мобильной связи. Периодичность получения данных с БАС и спутников недостаточная, хотя в определенные моменты времени может покрывать гораздо более продолжительные участки акватории, нежели наблюдатель или стационарная камера.

По способу обработки полученных с камер данных можно выделить автоматическую при помощи компьютерного зрения и вручную специалистом-гидрологом. Второй способ может использоваться на сети уже сейчас – специалист в управлении, имеющий большой опыт работы, сможет не только верно определить состояние, но также и откорректировать информацию наблюдателя и собрать качественный набор данных для обучения нейронных сетей, что в свою очередь символизирует о необходимости установки камер не только на автономные посты, но и на пункты с наблюдателем.

На рис. 2 представлена схема определяемых состояний водного объекта в зависимости от вида (инструментальное или визуальное) наблюдений и способа интерпретации информации. Из полного списка состояний десять определяются только инструментально и не могут быть зафиксированы камерой, но периодическая их фиксация на АГП может производиться силами работников мобильных гидрологических лабораторий (МГЛ) при плановом посещении поста. Необходимо признать, что далеко не всегда по кадрам с камеры можно классифицировать код корректно, и наблюдатель с большим опытом это сделает точнее за счет возможности перемещения вдоль береговой линии. Но если у наблюдателя недостаточный опыт, он избегает своих прямых обязанностей, или его вовсе нельзя найти на месте поста, то использование камер является единственным возможным вариантом проведения данного вида работ.

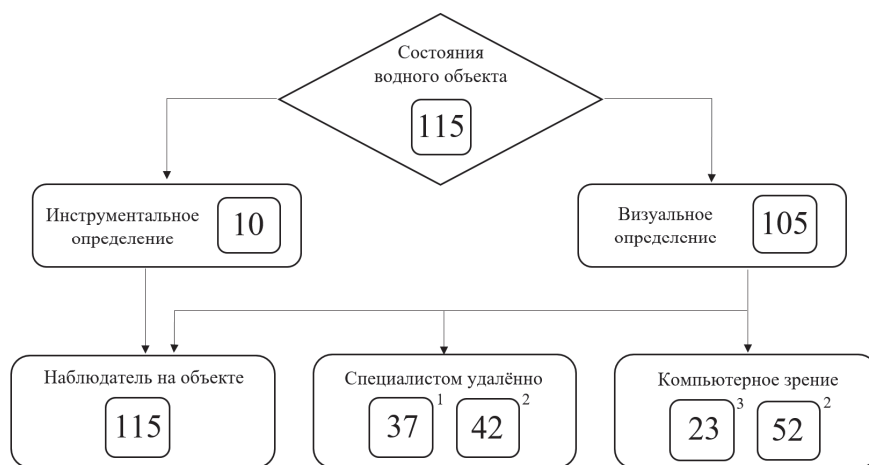


Рис. 2. Схема определяемых состояний водного объекта в зависимости от вида наблюдений и способа интерпретации информации
(¹ – вне зависимости от ситуации; ² – в зависимости от природных условий, масштаба явления или корректности расположения камеры;
³ – подвтеренно на основе имеющихся публикаций)

Опыт использования

На рис. 3 представлены изображения с трех камер наблюдения на гидрологических постах ФГБУ «ГГИ» на реках Ивница, Юля-Йокки и Пшехе. Для поста на р. Ивнице было произведено определение процента покрытия русла реки льдом по фотоснимкам за период с 01.01.2024 по 18.01.2024, в сроки 8, 10, 13, 16 ч, соответствующие светлому времени суток. Подготовлена реализация алгоритма определения площади льда на языке Python с использованием библиотеки OpenCV, позволяющая:

- ограничить область интереса, в которой будет происходить сегментация, т. е. отделение льда от водной поверхности;
- произвести подбор параметров, характеризующих ледяной покров;
- организовать пакетную обработку изображений;
- рассчитать процент покрытия русла льдом.

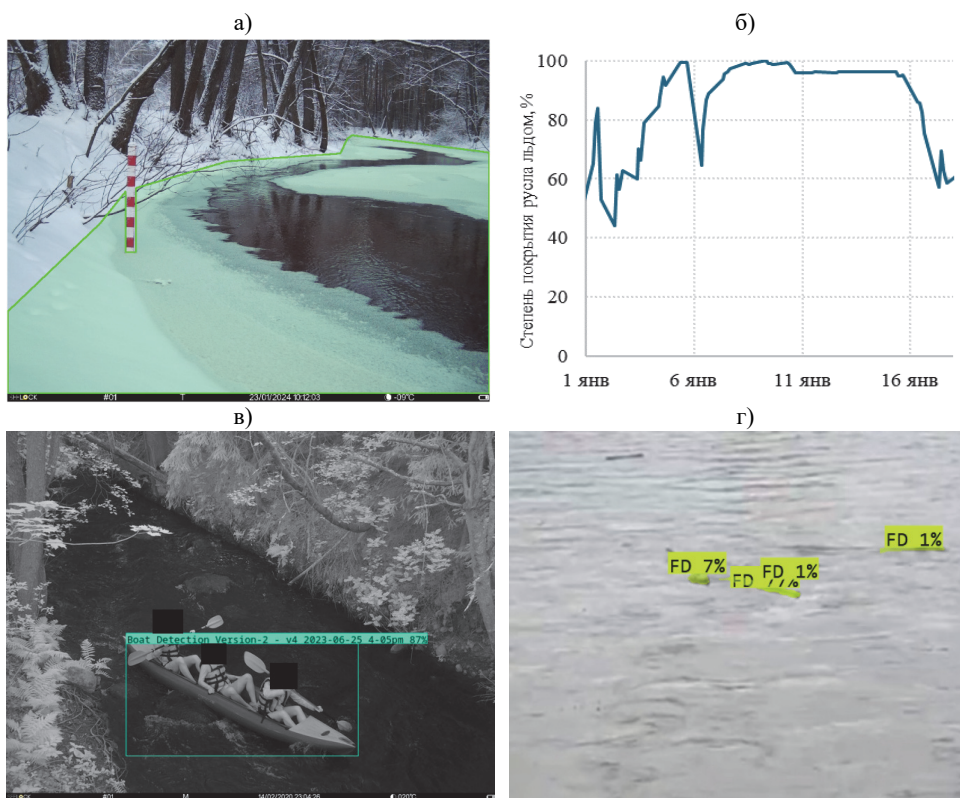


Рис. 3. Опыт использования стационарных камер для фиксации состояния водного объекта и определения уровня воды по рейке:

- а) р. Ивница (Воронежская область) от 23.01.2024 – забереги;
- б) р. Ивница график изменения покрытия льдом водной поверхности;
- в) р. Юля-Йоки (Ленинградская область) от 14.07.2025 19:00 – навигация;
- г) р. Пшеха (Краснодарский край) от 12.05.2024 – карчеход

Отделение льда от водной поверхности на изображении производилось при помощи пороговой обработки для красного, синего и зеленого каналов видимого спектра. Если значения пикселя попадали в заданный диапазон, то они принимались за лед. Искомые диапазоны: 10–255 для синего канала, 110–255 для зеленого, 1–255 для красного. Результаты сегментации представлены на рис. 3, а. Полупрозрачным светло-зеленым обозначен лед, зеленой линией – область обработки. На рис. 3, б представлен график доли покрытия русла льдом в процентах. Подход, берущий за основу пороговую сегментацию, имеет как преимущества, так и недостатки. К положительным моментам прежде всего относятся простота разработки и реализации расчетной схемы, низкие требования к мощности обрабатывающего оборудования. Минусы реализации касаются чувствительности к ракурсу камеры и затененности русла. Ракурс должен быть выбран таким образом, чтобы минимизировать количество бликов, которые принимаются за лед и вносят значительную ошибку. В свободно распространяемом виде имеются вычислительные программные средства, позволяющие определить начало навигации или карчеход. Для поста на р. Юля-Йокки (рис. 3, в) с использованием модели Roboflow 3.0 Object Detection (Fast)¹⁶ было определено наличие судна на снимке. Для идентификации карчехода на р. Пшехе использовалась модель Roboflow 3.0 Instance segmentation (Fast)¹⁷. В ходе машинного обучения отобрано 926 фотографий различных карчей. Результаты идентификации карчи в потоке значительно хуже идентификации судов, что вызвано меньшими размерами объектов и значительной вариацией их форм. Но в целом автоматизированные алгоритмы справляются с идентификацией объектов не значительно хуже человеческого глаза.

Заключение

По мнению авторов, состояние водного объекта должно оставаться обязательным к определению элементом для всех гидрологических постов, поскольку сформировались значительные по длительности ряды наблюдений. Посты реперной гидрологической сети не должны переводиться в полностью автономный режим работы. Для постов основной сети, имеющих статус АГП, необходимо сократить число определяемых состояний до 23 элементов, определяемых с помощью компьютерного зрения в автоматизированном режиме. Все АГП должны быть в обязательном порядке оборудованы стационарными фото- или(и) видеокамерами не только для отслеживания состояния объекта, но и обеспечения безопасности находящихся на территории устройств (датчиков).

Необходима разработка российского программного обеспечения с применением технологии компьютерного зрения для определения короткого списка состояний водного объекта и постепенное внедрение его на государственную наблюдательную сеть.

¹⁶ Roboflow Universe. URL: <https://universe.roboflow.com/bycycle/boat-alip7/model/1> (дата обращения: 09.10.2025).

¹⁷ Roboflow Universe. URL: https://universe.roboflow.com/riwerice/bj_no2_left_20230714-rjvhs/model/1 (дата обращения: 09.10.2025).

Список литературы

- Гурвич Л. А. Математическое обеспечение системы (на базе ЭВМ СМ-4) анализа изображений для интерпретации в гидрологических исследованиях : отчет НИР / Краснояр. политехн. ин-т, Красноярск; № гос. регистрации 80064500. Красноярск : Красн. рабочий, 1980. 85 с.
- Математическое обеспечение системы анализа изображений для интерпретации в гидрологических исследованиях : отчет о НИР (промежут.) / В. П. Ермаков [и др.]. Красноярск : Краснояр. политехн. ин-т, 1981. 138 с.
- A remote sensing method to monitor water, aquatic vegetation, and invasive water hyacinth at national extents / G. Singh [et al.] // Remote Sensing. 2020. Vol. 12.No. 24. P. 4021.
- Algae detection using computer vision and deep learning / A. Samantaray [et al.] // arXiv preprint arXiv. 2018. 1811.10847. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1811.10847>
- Ansari S. Automated monitoring of river ice processes from shore-based imagery: Dr. sci. diss. Université d'Ottawa, 2016.
- Ansari S. Inference of River Hydrodynamics and Ice Processes from Close-Range Remote Sensing: Doc. ... diss. Université d'Ottawa, 2023.
- Application of close-range remote sensing for automatic identification of ice jams in rivers in the area of the inlet to the fishway / J. Błotnicki [et al.] // Zeszyty Naukowe. 2023. Vol. 75, N 147.
- Application of UAV imagery to detect and quantify submerged filamentous algae and rooted macrophytes in a non-wadeable river / C. Kislik [et al.] // Remote Sensing. 2020. Vol. 12, N 20. P. 3332.
- Chen J., Liu D. Using computer vision to monitor ice conditions in water supply infrastructure: a study of salient image features // Journal of Hydroinformatics. 2023. Vol. 25, N 4. P. 1139–1152.
- Cooley S. W., Pavelsky T. M. Spatial and temporal patterns in Arctic River ice breakup revealed by automated ice detection from MODIS imagery // Remote sensing of environment. 2016. Vol. 175. P. 310–322.
- Ice monitoring in Swiss lakes from optical satellites and webcams using machine learning / M. Tom [et al.] // Remote Sensing. 2020. Vol. 12, N 21. P. 3555.
- ICENET: A semantic segmentation deep network for river ice by fusing positional and channel-wise attentive features / X. Zhang [et al.] // Remote Sensing. 2020. Vol. 12, N 2. P. 221.
- ICENETv2: A fine-grained river ice semantic segmentation network based on UAV images / X. Zhang [et al.] // Remote Sensing. 2021. Vol. 13, N 4. P. 633.
- Jędrzychowski K., Kujawski A. Method of image analysis in the process of assessment of ice occurrences // Zeszyty Naukowe. 2014.
- Kalke H., Loewen M. Support vector machine learning applied to digital images of river ice conditions // Cold Regions Science and Technology. 2018. Vol. 155. P. 225–236.
- Lake ice monitoring with webcams and crowd-sourced images / R. Prabha [et al.] // arXiv preprint arXiv:2002.07875. 2020.
- Moalemi I. A Machine Learning Approach to Classify Open Water and Ice Cover on Slave River Delta: Dr. sci. diss. 2023.
- Research on detection of floating objects in river and lake based on ai intelligent image recognition / J. Zhang [et al.] // arXiv preprint arXiv:2404.06883. 2024.
- River Ice Detection and Characterization Using Oblique Shore-Based Photography / S. Ansari [et al.] // SSRN. 2023. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4588423>
- Satellite remote sensing for mapping vegetation in New Zealand freshwater environments: a review / S. Ashraf [et al.] // New Zealand Geographer. 2010. Vol. 66, N 1. P. 33–43.
- UAV Quantitative Remote Sensing of Riparian Zone Vegetation for River and Lake Health Assessment: A Review / F. Song [et al.] // Remote Sensing. 2024. Vol. 16, N 19. P. 3560.
- Using remote sensing data to parameterize ice jam modeling for a northern inland delta / F. Zhang [et al.] // Water. 2017. Vol. 9, N 5. P. 306.
- Vyshnevskiy V. I., Shevchuk S. A. Use of remote sensing data to study ice cover in the Dnipro Reservoirs // Journal of Geology, Geography and Geoecology. 2020. Vol. 29, N 1. P. 206–216.

References

- Gurvich L.A. *Matematicheskoye obespecheniye sistemy (na baze EVM SM-4) analiza izobrazheniy dlya interpretatsii v gidrologicheskikh issledovaniyakh: otchot NIR* [Mathematical support for the system (based on the SM-4 computer) for image analysis for interpretation in hydrological studies: research report]. Krasnoyarsk Polytechnic Institute, Krasnoyarsk; State registration number 80064500. Krasnoyarsk, Krasnoyarskij rabochy Publ., 1980, 85 p. (in Russian)
- Ermakov V.P. et al. *Matematicheskoye obespecheniye sistemy analiza izobrazheniy dlya interpretatsii v gidrologicheskikh issledovaniyakh: otchot o NIR (promezhutoch.)* [Mathematical support for the system for image analysis for interpretation in hydrological studies: research report (interim)]. Krasnoyarsk, Krasnoyarsk Polytechnic Institute Publ., 1981, 138 p. (in Russian)
- Singh G. et al. A remote sensing method to monitor water, aquatic vegetation, and invasive water hyacinth at national extents. *Remote Sensing*, 2020, vol. 12, no. 24, p. 4021.
- Samantaray A. et al. Algae detection using computer vision and deep learning. *arXiv preprint arXiv*. 2018. 1811.10847. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1811.10847>
- Ansari S. *Automated monitoring of river ice processes from shore-based imagery*. Dr. sci. diss. Université d'Ottawa, 2016.
- Ansari S. *Inference of River Hydrodynamics and Ice Processes from Close-Range Remote Sensing*. Dr. sci. diss. Université d'Ottawa, 2023.
- Blotnicki J. et al. Application of close-range remote sensing for automatic identification of ice jams in rivers in the area of the inlet to the fishway. *Zeszyty Naukowe*, 2023, vol. 75, no. 147.
- Kislik C. et al. Application of UAV imagery to detect and quantify submerged filamentous algae and rooted macrophytes in a non-wadeable river. *Remote Sensing*, 2020, vol. 12, no. 20, pp. 3332.
- Chen J., Liu D. Using computer vision to monitor ice conditions in water supply infrastructure: a study of salient image features. *Journal of Hydroinformatics*, 2023, vol. 25, no. 4, pp. 1139-1152.
- Cooley S.W., Pavelsky T.M. Spatial and temporal patterns in Arctic River ice breakup revealed by automated ice detection from MODIS imagery. *Remote sensing of environment*, 2016, vol. 175, pp. 310-322.
- Tom M. et al. Ice monitoring in Swiss lakes from optical satellites and webcams using machine learning. *Remote Sensing*, 2020, vol. 12, no. 21, pp. 3555.
- Zhang X. et al. ICENET: A semantic segmentation deep network for river ice by fusing positional and channel-wise attentive features. *Remote Sensing*, 2020, vol. 12, no. 2, p. 221.
- Zhang X. et al. ICENETv2: A fine-grained river ice semantic segmentation network based on UAV images. *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 4, p. 633.
- Jędrzychowski K., Kujawski A. Method of image analysis in the process of assessment of ice occurrences. *Zeszyty Naukowe*, 2014.
- Kalke H., Loewen M. Support vector machine learning applied to digital images of river ice conditions. *Cold Regions Science and Technology*, 2018, vol. 155, pp. 225-236.
- R. Prabha et al. Lake ice monitoring with webcams and crowd-sourced images. *arXiv*. 2020, 2002.07875.
- Moalemi I. *A Machine Learning Approach to Classify Open Water and Ice Cover on Slave River Delta*. Dr. sci. diss. 2023.
- Zhang J. et al. Research on detection of floating objects in river and lake based on ai intelligent image recognition. *arXiv preprint arXiv:2404.06883*. 2024.
- Ansari S. et al. River Ice Detection and Characterization Using Oblique Shore-Based Photography. *Ssrn*, 2023. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4588423>
- Ashraf S. et al. Satellite remote sensing for mapping vegetation in New Zealand freshwater environments: a review. *New Zealand Geographer*, 2010, vol. 66, no. 1, pp. 33-43.
- Song F. et al. UAV Quantitative Remote Sensing of Riparian Zone Vegetation for River and Lake Health Assessment: A Review. *Remote Sensing*, 2024, vol. 16, no. 19, p. 3560.
- Zhang F. et al. Using remote sensing data to parameterize ice jam modeling for a northern inland delta. *Water*, 2017, vol. 9, no. 5, pp. 306.
- Vyshnevskiy V.I., Shevchuk S.A. Use of remote sensing data to study ice cover in the Dnipro Reservoirs. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2020, vol. 29, no. 1, pp. 206-216.

Сведения об авторах

Бузмаков Сергей Викторович

заведующий, лаборатория гидрологических
приборов, младший научный сотрудник
Государственный гидрологический
институт
Россия, 199053, Санкт-Петербург,
2-я линия В.О., 23
e-mail: s.buzmakov@hydrology.ru

Пнюшков Александр Дмитриевич

аспирант, ведущий инженер,
младший научный сотрудник
Государственный гидрологический
институт
Россия, 199053, Санкт-Петербург,
2-я линия В.О., 23
e-mail: alexandr_pnush@mail.ru

Кубынин Сергей Васильевич

заместитель заведующего, лаборатория
гидрологических приборов
Государственный гидрологический
институт
Россия, 199053, Санкт-Петербург,
2-я линия В.О., 23
e-mail: s.kubynin@hydrology.ru

Власова Екатерина Николаевна

ведущий инженер
Государственный гидрологический
институт
Россия, 199053, Санкт-Петербург,
2-я линия В.О., 23
e-mail: vlasovakatya2002@gmail.com

Банщикова Любовь Святославовна

кандидат географических наук,
старший научный сотрудник
Государственный гидрологический
институт
Россия, 199004, Санкт-Петербург,
2-я линия В.О., 23
e-mail: anshchikovaLS@yandex.ru

Information about the authors

Buzmakov Sergey Viktorovich

Head, Laboratory of Hydrological Devices,
Junior Research Scientist
State Hydrological Institute
23, 2-nd Line V.O., St. Petersburg, 199053,
Russian Federation
e-mail: s.buzmakov@hydrology.ru

Pnyushkov Alexander Dmitrievich

Postgraduate, Leading Engineer,
Junior Research Scientist
State Hydrological Institute
23, 2-nd Line V.O., St. Petersburg, 199053,
Russian Federation
e-mail: alexandr_pnush@mail.ru

Kubynin Sergey Vasilyevich

Deputy Head, Laboratory
of Hydrological Devices
State Hydrological Institute
23, 2-nd Line V.O., St. Petersburg, 199053,
Russian Federation
e-mail: s.kubynin@hydrology.ru

Vlasova Ekaterina Nikolaevna

Leading Engineer
State Hydrological Institute
23, 2-nd Line V.O., St. Petersburg, 199053,
Russian Federation
e-mail: vlasovakatya2002@gmail.com

Banshchikova Lyubov Svyatoslavovna

Candidate of Sciences (Geography),
Senior Research Scientist
State Hydrological Institute
23, 2-nd Line V.O., St. Petersburg, 199053,
Russian Federation
e-mail: anshchikovaLS@yandex.ru