

Научная статья
УДК 681.51
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2024-3-32-38>
EDN BDAVBS

Построение эпюр расходов воды на малых водотоках посредством надводного беспилотного аппарата с целью поиска источника сбросов загрязняющих веществ

*Николай Олегович Науменко¹, Маргарита Александровна Ширяева²,
Татьяна Викторовна Пилипенко³*

¹*Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова,
Москва, Россия,*

²*Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана Федеральной службы
по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека,
Мытищи, Россия*

³*Сибирский государственный университет водного транспорта,
Новосибирск, Россия, t.v.pilipenko@nsawt.ru*

Аннотация. Предложена методика проведения замеров скоростей течения и построения эпюр расходов воды на водотоках с целью поиска источника сбросов загрязняющих веществ посредством беспилотного надводного аппарата – беспилотного корабля (БПК). Исследования проводились на реке Пехорка Московской области в августе–сентябре 2023 г. Были задействованы следующие программы и оборудование: Google Earth Pro, Microsoft Excel, надводный беспилотный аппарат собственной разработки, эхолот Garmin Striker Cast GPS, датчик расхода воды на основе платформы Arduino UNO с индивидуальными усовершенствованиями (хвостовым оперением и встроенным плагином для определения скорости течения). Фиксация превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в водном объекте указывает на свершившийся факт нарушения. В связи с высокой степенью водообмена на водотоках наличие пробы воды с превышенными значениями ПДК не дает гарантии выявления нарушителя. В частности, если водопользователь отсутствует в базе надзорных органов, то подтвердить его вину становится практически невозможным без наличия исчерпывающей доказательной базы. При наличии широкой сети гидрологического мониторинга на водотоках проблема в доказательной базе была бы исчерпывающей, однако в зависимости от протяженности реки частая установка гидрологических постов по экономическим аспектам невозможна. В таком случае в качестве альтернативного варианта дополнения гидрологических наблюдений может быть использован БПК для получения данных в любом контрольном створе по усмотрению оператора. Метод выявления источников загрязнения водотоков с использованием БПК позволяет не только значительно расширить сеть гидрологического мониторинга вдоль водотоков, но и определить местонахождение нелегальных водопользователей за счет произвольного выбора контрольного узла для измерения скорости течения и объема воды. Большое количество зарегистрированных контрольных узлов при обнаружении нарушителя также могут служить в качестве базы о совершении сброса.

Ключевые слова: надводный беспилотный аппарат, геоинформационные системы, гидрологический пост, эпюры расходов, датчик расхода воды, сброс сточных вод, водоток, скорость течения

Для цитирования: Науменко Н. О., Ширяева М. А., Пилипенко Т. В. Построение эпюр расходов воды на малых водотоках посредством надводного беспилотного аппарата с целью поиска источника сбросов загрязняющих веществ // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2024. № 3. С. 32–38. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2024-3-32-38>. EDN BDAVBS.

Original article

Plotting water flow rates in small watercourses by means of an above-water unmanned vehicle in order to find the source of pollutant discharges

Nikolai O. Naumenko¹, Margarita A. Shiryayeva², Tatiana V. Pilipenko³✉

¹Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russia

²F. F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Mytishchi, Russia

³Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia, t.v.pilipenko@nsawt.ru✉

Abstract. The methodology of measuring flow velocities and constructing water consumption curves in waterways in order to find the source of pollutant discharges by the surface unmanned vehicle (unmanned craft – UC) is proposed. The research was carried out on the Pekhorka River in the Moscow region in August-September 2023. The following software and equipment were used: Google Earth Pro, Microsoft Excel, an in-house developed surface drone, a Garmin Striker Cast GPS echo sounder, a water flow sensor based on the Arduino UNO platform with customised enhancements (tail feathering and a built-in plug-in for current velocity determination). Fixation of exceedance of maximum permissible concentrations (MPC) of pollutants in a watershed indicates a violation has occurred. Due to the high degree of water exchange in waterways, the presence of a water sample with exceeded MPC values does not guarantee the detection of a violator. Particularly, if a water consumer is not in the supervision authorities' database, it becomes almost impossible to confirm his guilt without a comprehensive evidence base. If there is a wide network of hydrological monitoring on streams, the issue in the evidence base would be exhaustive, but dependent on the length of the river, frequent installation of hydrological posts is impossible for economic reasons. In such a case, an alternative option to supplement hydrological observations could be the use of a surface unmanned vehicle to take data at any reference station at the operator's discretion. The method of identifying sources of stream pollution using the unmanned ship not only allows to significantly expand the hydrological monitoring network along streams, but also to locate illegal water users by randomly selecting a control node to measure flow velocity and water volume. The large number of registered control nodes can also serve as a basis for the commission of a discharge when an intruder is detected.

Keywords: surface unmanned vehicle, geographic information systems, hydrological post, flow rate curves, water flow sensor, wastewater disposal, stream flow, flow velocity

For citation: Naumenko N. O., Shiryayeva M. A., Pilipenko T. V. Plotting water flow rates in small watercourses by means of an above-water unmanned vehicle in order to find the source of pollutant discharges. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2024;3:32-38. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2024-3-32-38>. EDN BDAVBS.

Введение

Сбросы загрязняющих веществ в водотоки осуществляются в рамках действующего экологического законодательства и нормативных актов для каждого отдельного водопользователя [1]. В период сбросов должны учитываться гидрологические характеристики водотока с целью определения коэффициента смешивания, т. е. определяется допустимая интенсивность сбросов загрязняющих веществ, при которой на водный объект будет оказано минимальное антропогенное воздействие [2, 3]. В целях контроля сбросов загрязняющих веществ на источниках водосбросов надзорными органами устанавливаются датчики, фиксирующие факты наличия стоков загрязнения в конкретный момент времени [4, 5]. В случае возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС) в виде превышения допустимых значе-

ний концентраций загрязняющих веществ в воде надзорными органами в первую очередь отмечаются факты стоков загрязнений в предполагаемый период от водопользователей, в том числе путем сопоставления перечней обнаруженных веществ с данными о сбросах водопользователей [6]. Таким образом, на практике фиксируется нарушитель, после чего против водопользователя применяются штрафные санкции. Однако при отсутствии данных о сбросах загрязняющих веществ водопользователями (отсутствие фактов сбросов загрязняющих веществ до и в период ЧС) возникают вопросы по поиску нарушителя [7, 8]. Если водоток оборудован большой сетью гидрологических постов, то найти нарушителя по данным изменения расходов воды в реке не составит труда. В противном случае поиск нарушителя (возможно, официально не зарегистри-

рованного водопользователя) существенно осложняется, т. к. необходимо привлекать большой объем сил и средств для исследования не только водотока, но и водосборной территории в целом.

В данной работе предложен метод поиска источника сбросов загрязняющих веществ в водоток посредством беспилотного корабля (БПК).

Материалы и методы исследований

Исследования проводились на реке Пехорка Московской области в период с августа по сентябрь 2023 г. В ходе работы использовались программы Google Earth Pro, Microsoft Excel, надводный беспилотный аппарат авторской разработки, эхолот Garmin Striker Cast GPS, датчик расхода воды на базе платы Arduino UNO с авторской доработкой (хвостовым оперением и встроенным плагином для расчета скорости течения).

Габариты БПК: длина – 120 см, ширина – 38 см, высота – 47 см (высота может быть изменена в большую сторону при установке дополнительного грузового обтекателя для устойчивости судна на волнах). Масса без полезной нагрузки составляет 7 кг, с полезной нагрузкой – 10 кг. Максимальная рекомендованная масса – 15 кг. Аппарат может действовать с пульта управления или по заранее настроенному маршруту в режиме автопилота. Датчики и приборы контроля включаются оператором вручную перед спуском на воду и работают в фоновом режиме. Погружной датчик расхода воды включается при погружении якорного троса под воду.

Для написания плагина для датчика расхода воды на базе платы Arduino UNO выведена формула преобразования данных расходов в скорость течения. Определен диаметр входного и выходного отверстия датчика, который составил 11,9 мм. Соответственно, для определения скорости течения, м/с, из расхода воды, л/с, в плагин преобразования данных выведены следующие формулы:

$$V = \frac{4W}{\pi D^2 \cdot 1000};$$

$$V = \frac{4W}{\pi 0,0119^2 \cdot 1000},$$

где $\pi = 3,14$; W – данные расхода воды, л/с; D – диаметр сечения входного и выходного отверстия датчика.

Расход воды измеряется по формуле

$$W = W_0 + n \cdot 0,01,$$

где W_0 – начальный расход воды, л/с; n – количество импульсов.

Датчик расхода воды (рис. 1), интегрированный для замеров скоростей течения в работе, оборудован хвостовым оперением для инерциального изменения своего направления в зависимости от направления течения воды в толще и на поверхности. Предполагается свободное крепление датчика с помощью кольца или хомута к якорному тросу БПК в целях его устойчивости на определенной вертикали и глубине (рис. 2) [9–11].



Рис. 1. Собранный датчик для измерения скоростей течения в открытом русле

Fig. 1. Assembled sensor for measuring velocities open channel flow

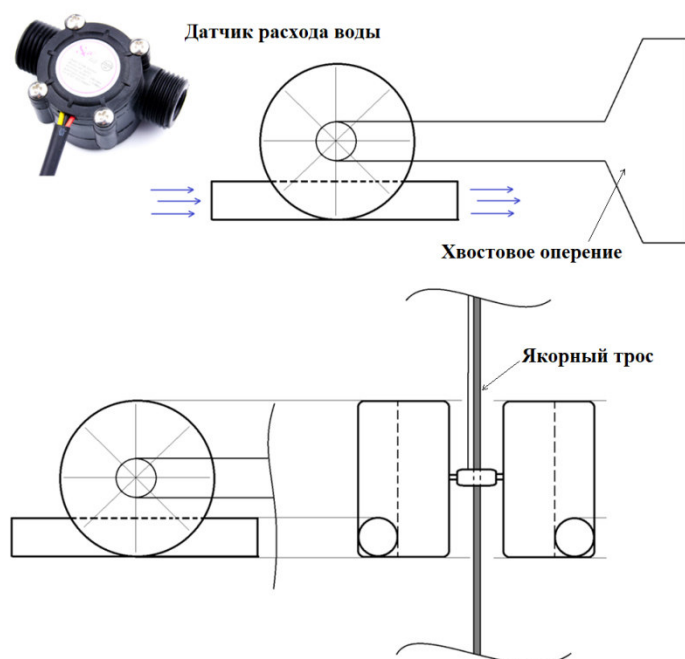


Рис. 2. Устройство датчика расхода воды

Fig. 2. Device of the water flow sensor

Хвостовое оперение для готового датчика скоростей течения в открытом русле изготовлено из экологически чистого и устойчивого к физическим нагрузкам пластика поливинилхлорида (ПВХ-пластик).

В ходе тестовых испытаний определено, что применение указанного датчика рекомендуется использовать только при замерах скоростей течения, не превышающих 5,5 м/с, в противном случае произойдет некорректная передача данных. Датчик расхода воды выдает погрешность при скоростях течения выше 5,5 м/с, т. к. плата не может передавать сигнал на данной частоте вращения лопасти, затруднение считывания сигнала материнской платы. Однако проблема может быть решена установкой более дорогостоящего датчика.

Результат, полученный с помощью модели при применении беспилотного надводного аппарата, был откалиброван по данным многолетних гидрологических наблюдений, однако требуется проведение повторных исследований для доказательства точности измерений разработанным методом.

Результаты и обсуждение

Преимущества использования БПК для целей замеров скоростей течения и расходов воды на водотоках в сравнении с имеющимися на данный момент гидрологическими постами существенны:

– отсутствует необходимость установки стаци-

онарных гидрологических постов, которые в свою очередь требуют больших экономических затрат и людских ресурсов;

– с помощью GPS-привязок одним аппаратом можно проводить замеры абсолютно в любом условном створе водотока, что не только существенно расширяет сеть гидрологического мониторинга, но и эффективно ее дополняет;

– аппарат может быть использован также и для прикладных задач, например для точного поиска выхода грунтовых вод в водоток или источника сброса загрязняющих веществ в реку [1, 2, 8].

Для снятия данных скоростей течения и построения расчетных эпюр расходов воды в реке посредством БПК контрольный створ для замеров может быть выбран любой. Для выбора створа можно воспользоваться программой Google Earth Pro (с помощью программы удастся наиболее точно установить координаты контрольных измерительных вертикалей в выбранном створе водотока) или в ходе полевых наблюдений [10, 11]. После в выбранном створе производится замер глубины на каждой вертикали с помощью эхолотной или якорной съемки. В момент промера глубины по якорному тросу опускается датчик скоростей течения. Рекомендуемые глубины погружения датчика на каждой вертикали приведены в таблице [5, 8].

Расположение датчика скорости течения на вертикали предполагаемого заросшего русла (якорном тропе)

Current velocity sensor location on the vertical of the suspected overgrown stream (anchor cable)

Глубина потока на вертикали, м	Минимальное количество точек измерения на вертикали, ед.	Глубина установки датчика расхода воды на вертикали (при отсчете от дна реки), м
Менее 0,3	1	0,5h
0,3–1	3	0,15h; 0,5h; 0,85h
Более 1	6	0,10 от поверхности; 0,2h; 0,4h; 0,6h; 0,8h; 0,10 от дна

Данные измерений, полученные с датчика, могут быть записаны на электронный накопитель либо при наличии интернет-соединения переданы

оператору для обработки, вычисления расходов воды и построения эпюр в автоматизированном режиме, как показано на примере (рис. 3).

	0	Поверхность	0,2 h / 0,15 h	0,4 h / 0,5 h	0,6 h / 0,85 h	0,8 h	0,1 м от дна		H	V	W	ΔQ
		0	0	0	0	0	0		0	0	0,2	0,009
1	0,5	0	0,15	0,04	0,01	0	0		0,8	0,07	0,4125	0,038
2	1	0	0,25	0,09	0,01	0	0		0,85	0,12	0,53	0,076
3	1,5	0,34	0,27	0,19	0,14	0,07	0,01		1,27	0,17	0,7175	0,180
4	2	0,61	0,49	0,38	0,3	0,17	0,05		1,6	0,33	0,82	0,349
5	2,5	0,77	0,69	0,63	0,52	0,33	0,07		1,68	0,52	0,855	0,456
6	3	0,8	0,73	0,68	0,54	0,35	0,09		1,74	0,55	0,84	0,436
7	3,5	0,74	0,64	0,61	0,5	0,32	0,05		1,62	0,49	0,805	0,349
8	4	0,62	0,56	0,45	0,33	0,21	0,04		1,6	0,38	0,795	0,264
9	4,5	0,49	0,45	0,32	0,26	0,15	0,02		1,58	0,29	0,7825	0,187
10	5	0,41	0,32	0,21	0,13	0,06	0,01		1,55	0,19	0,7125	0,091
11	5,5	0,15	0,11	0,06	0,04	0,01	0		1,3	0,06	0,5825	0,036
12	6	0,13	0,1	0,06	0,04	0,01	0		1,03	0,06	0,4	0,014
13	6,5	0	0,02	0,01	0,01	0	0		0,57	0,01	0,21	0,002
14	7	0	0	0,01	0	0	0		0,27	0,01	0,0675	0,000
	7,5	0	0	0	0	0	0		0	0		
											8,73	2,488

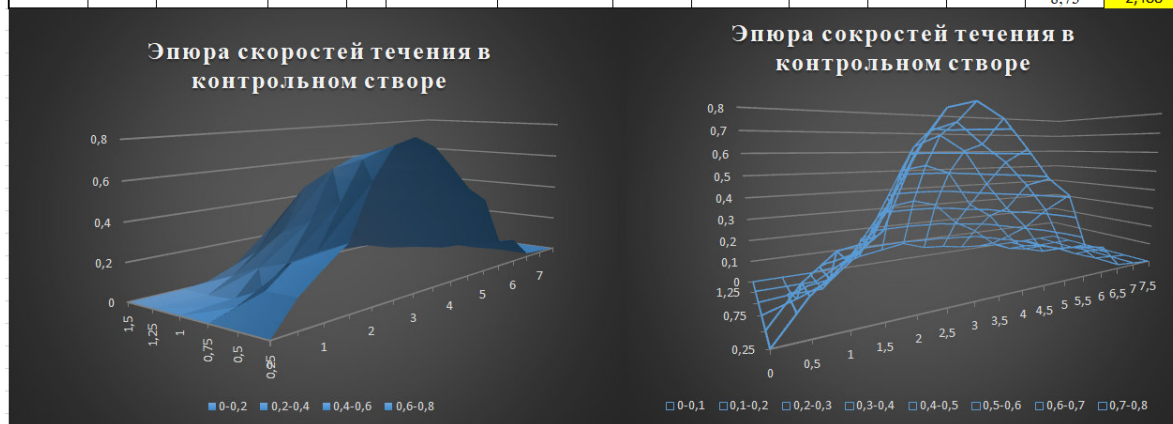


Рис. 3. Пример обработки данных, полученных датчиком скоростей течения

Fig. 3. Data processing example of data obtained by flow velocity sensor

Таким образом, в створе предполагаемого водотока может быть получена площадь сечения русла ($8,73 \text{ м}^2$) и расход воды в контрольном створе ($2,49 \text{ м}^3/\text{с}$).

В целях поиска источника сброса загрязняющих веществ контрольные створы для измерений расходов воды можно устанавливать в хаотичном порядке, что при выявлении разницы в показателях (расходах) позволит максимально точно определять местоположение «несанкционированного» водопользователя.

Кроме того, хаотичная установка контрольных створов при высокой частоте их распределения позволит строить актуальные карты или 3D-модели с данными скоростей течения воды в руслах рек или каналах. В случаях тщательного индивидуального исследования водотока (при различных фактических уровнях воды и времен года) построенные карты скоростей течения позволят решать следующие задачи в области охраны окружающей среды:

1. Определение зон санитарной охраны (ЗСО). Карты скоростей течения позволяют определять гра-

ницы ЗСО водных объектов, используемых для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения. В соответствии с санитарными правилами и нормативами «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения» (СанПиН 2.1.4.1110-02), введенными в действие на основании Федерального закона от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», ЗСО в Российской Федерации включают в себя три пояса, определяемых с помощью гидродинамических расчетов или скоростей течения:

– первый пояс (пояс строгого режима) обеспечивает защиту места водозабора и водозаборных сооружений от загрязнения и повреждения;

– второй пояс предотвращает микробное загрязнение воды;

– третий пояс предназначен для предотвращения химических загрязнений источника водоснабжения.

2. Определение и контроль за качеством воды. Скорость течения воды влияет на перемешивание и распределение веществ в водотоке. Актуальные карты позволяют оценить, как быстро загрязнения могут распространяться и повлиять на изменение качества воды.

3. Проведение научных, гидрологических и экологических исследований. Наличие актуальных карт скоростей течения позволяет изучать влияние водных потоков на экосистемы, что в свою очередь помогает принимать меры по сохранению биоразнообразия и предотвращению негативных последствий для окружающей среды. В области гидрологии и водного хозяйства акту-

альные данные водотоков дают возможность эффективно планировать меры по предотвращению наводнений, а также разрабатывать стратегии для устойчивого управления водными ресурсами.

Таким образом, актуальные карты скоростей течения в водотоке помогают обеспечить безопасность водоснабжения, контролировать качество воды и сохранять природные ресурсы.

Заключение

Имеющаяся на водотоках сеть гидрологического мониторинга имеет ограниченное число гидрологических постов в связи с дороговизной оборудования и большими трудозатратами для снятия данных наблюдений в контрольном створе. В связи с этим показатели расходов воды на гидрологических постах несут в себе больше обобщенное представление о реке в целом, что часто не соответствует требованиям для выявления несанкционированных водопользователей на данном водном объекте.

Представленный в работе принцип поиска источников загрязнения водотоков с помощью БПК позволяет не только существенно дополнить сеть гидрологического мониторинга за водотоком, но и выявить местоположение несанкционированного водопользователя за счет хаотичного выбора контрольного створа для снятия показателей скоростей течения и расходов воды. Большое количество измеренных контрольных створов в случае фиксации нарушителя также может быть использовано в качестве доказательной базы о совершении факта «несанкционированного» сброса загрязняющих веществ.

Список источников

1. Наumenko Н. О., Жезмер В. Б., Новиков А. В. и др. Разработка автоматизированной системы мониторинга безопасности гидротехнических сооружений // Потапов. чтения-2019: сб. материалов ежегод. Всерос. науч.-практ. конф., посвященной памяти д-ра техн. наук, проф. Александра Дмитриевича Потапова (Москва, 25 апреля 2019 г.). М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2019. С. 214–218.

2. Наumenko Н. О. Введение рационального нормирования на объемы сбросов загрязняющих веществ в водные объекты с целью поддержания устойчивости экосистемы // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: материалы VI Науч.-практ. конф. молодых ученых (Москва, 11–12 октября 2018 г.). М.: Изд-во ВНИРО, 2018. С. 344–346.

3. Лагутина Н. В., Наumenko Н. О., Новиков А. В., Сумарукова О. В. Оценка качества вод Рыбинского водохранилища вследствие снижения уровня вод // Природообустройство. 2019. № 2. С. 122–125.

4. Бадагуев Б. Т. Экологическая безопасность предприятия. Приказы, акты, инструкции, журналы, положения, планы. М.: Альфа-Пресс, 2018. 568 с.

5. Лурье П. М., Панов В. Д., Саломатин А. М. Гид-

рология и сток. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 160 с.

6. Орлов А. И., Федосеев В. Н. Проблемы управления экологической безопасностью // Менеджмент в России и за рубежом. 2000. № 6. С. 78–86.

7. Саркисов О. Р. Экологическая безопасность и эколого-правовые проблемы в области загрязнения окружающей среды. М.: Юнити-Дана, 2017. 231 с.

8. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 425 с.

9. Погребов В. Б., Шилин М. Б. Экологический мониторинг береговой зоны // Основ. концепции соврем. берегопользования. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2010. Т. 2. С. 95–123.

10. Прокачева В. Г., Усачев В. Ф. Аэрокосмическая информация при оценке водных ресурсов. СПб.: Изд-во ГГИ, 2009. 17 с.

11. Михеева Н. И., Кошоева Б. Б., Любимова Т. Д. Прибор на основе Arduino для автоматизированного учета расхода воды в открытом потоке // Высокопроизводит. вычислит. системы и технологии. 2021. № 5 (1). С. 205–209.

References

1. Naumenko N. O., Zhezmer V. B., Novikov A. V. i dr. Razrabotka avtomatizirovannoi sistemy monitoringa bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenii. Potapovskie chteniia-2019 [Development of an automated system for monitoring the safety of hydraulic structures. Potapov readings-2019]. *Sbornik materialov ezhegodnoi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi pamiati doktora tekhnicheskikh nauk, professora Aleksandra Dmitrievicha Potapova (Moskva, 25 apreliia 2019 g.)*. Moscow, Izd-vo MISI-MGSU, 2019. Pp. 214-218.
2. Naumenko N. O. Vvedenie ratsional'nogo normirovaniia na ob"emy sbrosov zagriazniaiushchikh veshchestv v vodnye ob"ekty s tsel'iu podderzhaniiia ustoichivosti ekosistemy. Sovremennye problemy i perspektivy razvitiia rybokhoziaistvennogo kompleksa [The introduction of rational rationing for the volume of discharges of pollutants into water bodies in order to maintain the stability of the ecosystem. Modern problems and prospects for the development of the fisheries complex]. *Materialy VI Nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh (Moskva, 11–12 oktiabria 2018 g.)*. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2018. Pp. 344-346.
3. Lagutina N. V., Naumenko N. O., Novikov A. V., Sumarukova O. V. Otsenka kachestva vod Rybinskogo vodokhranilishcha vsledstvie snizheniia urovnia vod [Assessment of the water quality of the Rybinsk reservoir due to a decrease in water levels]. *Prirodoobustroistvo*, 2019, no. 2, pp. 122-125.
4. Badaguev B. T. *Ekologicheskaiia bezopasnost' predpriiatiia. Prikazy, akty, instruktsii, zhurnaly, polozheniia, plany* [Environmental safety of the enterprise. Orders, acts, instructions, journals, regulations, plans]. Moscow, Al'fa-Press, 2018. 568 p.
5. Lur'e P. M., Panov V. D., Salomatin A. M. *Gidrologiia i stok* [Hydrology and runoff]. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 2001. 160 p.
6. Orlov A. I., Fedoseev V. N. Problemy upravleniia ekologicheskoi bezopasnost'iu [Environmental safety management issues]. *Menedzhment v Rossii i za rubezhom*, 2000, no. 6, pp. 78-86.
7. Sarkisov O. R. *Ekologicheskaiia bezopasnost' i ekologopravovye problemy v oblasti zagriazneniia okruzhaiushchei sredy* [Environmental safety and environmental and legal problems in the field of environmental pollution]. Moscow, Iuniti-Dana Publ., 2017. 231 p.
8. Rozhdestvenskii A. V., Chebotarev A. I. *Statisticheskie metody v gidrologii* [Statistical methods in hydrology]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1974. 425 p.
9. Pogrebov V. B., Shilin M. B. *Ekologicheskii monitoring beregovoi zony* [Ecological monitoring of the coastal zone]. *Osnovnye kontseptsii sovremennogo beregopol'zovaniia*. Saint Petersburg, Izd-vo RGGMU, 2010. Vol. 2. Pp. 95-123.
10. Prokacheva V. G., Usachev V. F. *Aerokosmicheskaiia informatsiia pri otsenke vodnykh resursov* [Aerospace information in the assessment of water resources]. Saint Petersburg, Izd-vo GGI, 2009. 17 p.
11. Mikheeva N. I., Koshoeva B. B., Liubimova T. D. *Pribor na osnove Arduino dlia avtomatizirovannogo ucheta raskhoda vody v otkrytom potoke* [An Arduino-based device for automated metering of water flow in an open stream]. *Vysokoproizvoditel'nye vychislitel'nye sistemy i tekhnologii*, 2021, no. 5 (1), pp. 205-209.

Статья поступила в редакцию 06.03.2024; одобрена после рецензирования 30.05.2024; принята к публикации 16.08.2024
The article was submitted 06.03.2024; approved after reviewing 30.05.2024; accepted for publication 16.08.2024

Информация об авторах / Information about the authors

Николай Олегович Науменко – аспирант; Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова; nik.naumenko@gmail.com

Маргарита Александровна Ширяева – младший научный сотрудник отдела гигиены воды; Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; Shiryayeva.MA@fncg.ru

Татьяна Викторовна Пилипенко – кандидат технических наук; доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений; Сибирский государственный университет водного транспорта; t.v.pilipenko@nsawt.ru

Nikolai O. Naumenko – Postgraduate Student; Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov; nik.naumenko@gmail.com

Margarita A. Shiryayeva – Junior Researcher of the Water Hygiene Department; F. F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being; Shiryayeva.MA@fncg.ru

Tatiana V. Pilipenko – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Waterways and Hydraulic Structures; Siberian State University of Water Transport; t.v.pilipenko@nsawt.ru

