

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,
ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 626.81:628.515

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-275-286

**Оценка фактического объема воды в водоеме
посредством надводного беспилотного аппарата**

**Николай Олегович Науменко¹, Маргарита Александровна Ширяева²,
Нартмир Владимирович Ханов³**

¹Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова,
Москва, Российская Федерация

²Федеральный научный центр гигиены имени Ф. Ф. Эрисмана Федеральной службы по
надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Мытищи,
Российская Федерация

³Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
Москва, Российская Федерация

¹nik.naumenko@gmail.com

²Shiryayeva.MA@fncg.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8019-1203>

³nvkhanov@yahoo.com

Аннотация. Цель: оценка фактических объемов воды в водных объектах (водохранилищах, озерах, прудах) для выявления степени максимальной антропогенной нагрузки, а именно сброса загрязняющих веществ. **Материалы и методы.** В качестве объекта исследования и испытания автоматизированной системы было выбрано озеро Святое, расположенное в Косино-Ухтомском административном районе г. Москвы. В ходе работы использовались программы Google Earth Pro, Surfer 22, локальные авторские программы для обработки данных, надводный беспилотный аппарат авторской разработки, эхолот Garmin Striker Cast GPS. В целях совершенствования и организации постоянного мониторинга водных объектов могут быть использованы автоматизированные системы в виде надводного беспилотного аппарата (беспилотного катера), датчиков (включая эхолот) и локальных программ для принятия и обработки данных. **Результаты.** В данной работе продемонстрирована оценка фактического объема водных ресурсов 215 тыс. куб. м в водном объекте посредством беспилотного катера и установленного на него эхолота. По ходу работы усовершенствована методика работы беспилотного катера при исследовании водных объектов. **Выводы.** На примере исследования объема водных ресурсов озера Святое можно сделать вывод, что методика применима для любого другого водного объекта, в т. ч. и водохранилища. Посредством регулярного проведения обследования водного объекта с помощью беспилотного катера можно фиксировать не только изменение фактических объемов водных ресурсов, но и трансформацию рельефа дна водоема, процессы заиления или зарастания на конкретных участках. Также обследование позволяет вычислять и предельно допустимую антропогенную нагрузку на данный объект, включающую в себя предельно допустимый сброс и его интенсивность в конкретный момент времени.

Ключевые слова: надводный беспилотный аппарат, беспилотный катер, эхолот, зарастание, заиление, водоем, мониторинг

Для цитирования: Науменко Н. О., Ширяева М. А., Ханов Н. В. Оценка фактического объема воды в водоеме посредством надводного беспилотного аппарата // Ме-

HYDRAULIC ENGINEERING,
HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

Actual water volume assessment in a watershed via the surface drone

Nikolai O. Naumenko¹, Margarita A. Shiryaeva², Nartmir V. Khanov³

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

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

³Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

¹nik.naumenko@gmail.com

²Shiryaeva.MA@fncg.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8019-1203>

³nvkhanov@yahoo.com

Abstract. Purpose: is to assess the actual water volumes in water objects (reservoirs, lakes, ponds) to identify the degree of maximum anthropogenic load, namely, the pollutant release. **Materials and methods.** Lake Svyatoe, located in Kosino-Ukhtomsky administrative district of Moscow, was chosen as the research and experimental object for testing the automatized system. The programs Google Earth Pro, Surfer 22, local author's programs for data processing, author's unmanned surface vehicle (USV), echo sounder Garmin Striker Cast GPS were used in the study. Automated systems as an unmanned surface vehicle (unmanned boat – USV), sensors (including echo sounder) and local programs for data acceptance and processing can be applied to improve and organize continuous monitoring of water objects. **Results.** The actual water volume assessment in the water object of 215 thousand cubic meters by means of the USV and its mounted echo sounder was demonstrated. The methodology of the unmanned boat operation for the water resources exploration was developed. **Conclusions.** Taking Lake Svyatoe as an example of water resources volume survey, it can be concluded that the methodology is applicable to any other water body, including reservoirs. Through regular water resources survey using USV it is possible to record not only changes in the actual water resources volume, but also bottom relief changes, sedimentation or overgrowing processes at specific sites. It also allows calculating the maximum allowable anthropogenic impact on the given object, including the maximum allowable discharge and its intensity at a particular moment of time.

Keywords: unmanned surface vehicle, unmanned boat, echo sounder, overgrowth, siltation, water reservoir, monitoring

For citation: Naumenko N. O., Shiryaeva M. A., Khanov N. V. Actual water volume assessment in a watershed via the surface drone. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(2):275–286. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-275-286>.

Введение. Чрезмерное загрязнение водных объектов в настоящее время остается актуальной проблемой. Причиной тому наиболее часто является отсутствие актуальных данных о водном объекте и принятия решений эксплуатирующей организацией на гидротехнических сооружениях (ГТС).

Чрезмерные загрязнения водных объектов, влекущие за собой целый ряд негативных последствий для экосистемы в виде гибели флоры и фауны, далеко не всегда происходят вследствие аварий на производственных предприятиях или непреднамеренных нарушений экологического законодательства данными водопользователями. Разрешительная документация, содержащая информацию о максимально допустимых сбросах загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей, учитывает данные об объекте предполагаемой антропогенной нагрузки, которые не всегда могут быть достоверны в связи с проблемами организации постоянного мониторинга. Отсутствие постоянного и непрерывного мониторинга водных объектов компенсируется периодичным отбором проб воды на факт наличия превышения предельно допустимых концентраций веществ, что также не является эффективным методом борьбы с чрезмерным загрязнением водного объекта.

Водоемы в отличие от водотоков имеют кумулятивные свойства накопления загрязняющих веществ. В результате очистка водных ресурсов может происходить за счет осаждения и интенсивного попуска (с выносом донных наносов), в противном случае при отсутствии прямых источников загрязнения воды работает следующая закономерность: сокращение фактического объема воды в водоеме – рост концентраций загрязняющих веществ, а увеличение объема приводит к снижению концентраций. Таким образом, сбросы загрязняющих веществ в водные объекты должны осуществляться с учетом изменения гидрологических и гидрографических характеристик, а также наличия попусков на ГТС [1–3], т. е. изменения фактического объема водных ресурсов в водном объекте [4–6]. Контроль над данными характеристиками можно осуществить только с помощью непрерывного мониторинга водных объектов [7, 8].

В данной работе представлен метод непрерывного автоматизирован-

ного мониторинга, в частности наблюдение за фактическим объемом водных ресурсов посредством надводного беспилотного аппарата [9–11].

Целью исследований является оценка фактических объемов воды в водных объектах (водохранилищах, озерах, прудах) для выявления степени максимальной антропогенной нагрузки, а именно сброса загрязняющих веществ.

Материал и методы. В ходе работы использовались программы Google Earth Pro, Surfer 22, локальные авторские программы для обработки данных, надводный беспилотный аппарат авторской разработки (беспилотный катер – БПК), эхолот Garmin Striker Cast GPS. В качестве объекта исследования и испытания автоматизированной системы было выбрано озеро Святое, расположенное в Косино-Ухтомском административном районе г. Москвы.

Космический снимок озера Святое проанализирован в программе Google Earth Pro с целью построения оптимального маршрута следования БПК, также получены координаты контрольных точек для аварийного возврата аппарата к оператору (рисунок 1).



Черным контуром выделен ориентировочный маршрут следования БПК

Black outline shows the tentative route of the USV

Рисунок 1 – Космический снимок озера Святое

Figure 1 – Satellite image of Lake Svyatoye

Озеро Святое расположено в окружении сфагновых болот, потому спуск БПК на воду был осуществлен в восточной части озера, это единственный доступный участок водоема. Протяженность маршрута следования БПК составила 3200 м, полная эхолотная съемка осуществлена за 1 ч 53 мин (рисунок 2).



Рисунок 2 – Беспилотный катер в ходе проведения эхолотной съемки (фото из личного архива Н. О. Науменко)

Figure 2 – USV during echo sounder survey (photo by N. O. Naumenko)

Результаты и обсуждение. После проведения съемки водного объекта с помощью локальных программ произведен автоматизированный анализ полученных данных, в т. ч. интеграция GPS-координат в программу Surfer 22 для построения контурной карты и 3D-модели озера с целью вычисления полезного объема встроенным плагином (рисунок 3).

По результатам анализа полученных данных произведен расчет фактического объема водных ресурсов в водном объекте. Так, согласно расчету в программе Surfer 22, объем составил около 216 тыс. м³, тогда как, согласно общедоступным данным, фактический объем воды составляет около 240 тыс. м³. Данные расхождения допустимы по ряду причин:

- колебание уровня воды в водном объекте [12];
- эхолотная съемка производилась в осенний период;
- не учитывались по техническим причинам объемы водных ресурсов

на чрезмерно заболоченных участках (большая часть периметра береговой полосы);

- допустимая погрешность применяемого оборудования.

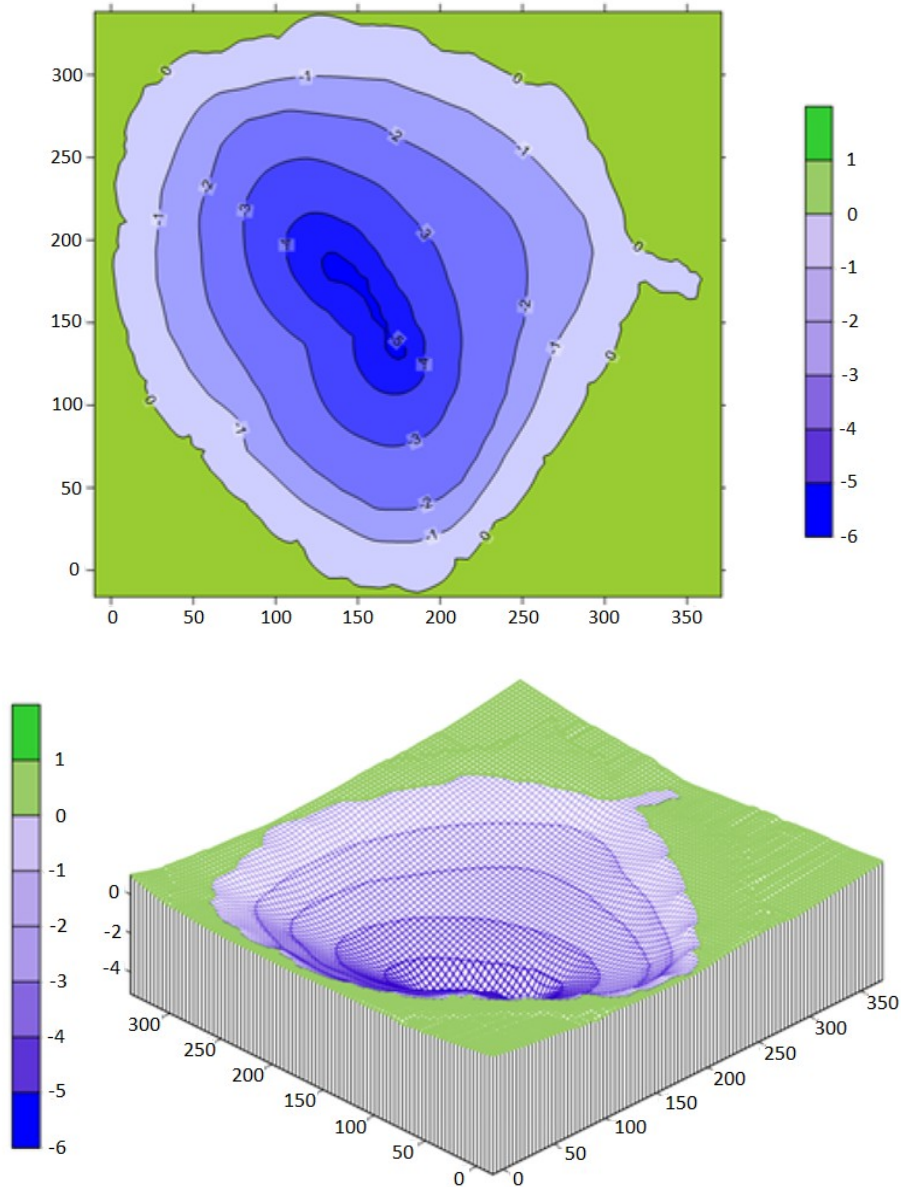


Рисунок 3 – Контурная карта рельефа дна и 3D-модель озера Святое после обработки полученных данных
Figure 3 – Bottom relief contour map and 3D model of Lake Svyatoye after data processing

Для получения точных характеристик объемов водных ресурсов и проведения более детальных исследований озера Святое рекомендуется использовать профессиональное сертифицированное оборудование, кото-

рое может также размещаться на борту БПК. Тем не менее на основе полученных данных можно аналитически оценить кумулятивный ресурс допустимого накопления загрязняющих веществ на примере исследуемого водного объекта или оценить степень максимальной антропогенной нагрузки, в т. ч. в результате возможных сбросов загрязняющих веществ.

На примере исследования озера Святое можно сделать вывод, что методика вычисления объема водных ресурсов применима для любого другого водного объекта, в т. ч. и водохранилища [13, 14]. Авторы допускают погрешность в полученных данных эхолотной съемки, так как использовалось любительское оборудование. Установка профессионального, сертифицированного оборудования на борт БПК для исследования водных объектов, а также обработка данных на продолжительность исследования не повлияет. Это доказывает преимущество применения автоматизированного мониторинга.

Данный метод мониторинга существенно экономит трудозатраты и средства в сравнении с традиционной системой наблюдений [15]. Благодаря автоматизации процессов значительно снижается время обработки полученных данных. А при покрытии исследуемого объекта непрерывным интернет-соединением характеристики, полученные посредством БПК, можно принимать и обрабатывать в режиме реального времени, что позволяет применять автоматизированную систему на водохранилищах с суточным регулированием стока [13, 16].

Посредством регулярного проведения обследования водного объекта с помощью БПК можно фиксировать не только изменение фактических объемов водных ресурсов, но и трансформацию рельефа дна водоема, процессы заиления или зарастания на конкретных участках. Также обследование позволяет вычислять и предельно допустимую антропогенную нагрузку на данный объект, включающую в себя предельно допустимый сброс и его интенсивность в конкретный момент времени.

Выводы. В работе представлен метод мониторинга водных объектов посредством беспилотного надводного аппарата на примере озера Святое, расположенного в Косино-Ухтомском административном районе г. Москвы. Оперативное получение данных мониторинга водных объектов (объема водных ресурсов) позволяет решать несколько задач:

- предупреждение о возможных негативных последствиях для ГТС в процессе их эксплуатации при наличии чрезмерного заиления или загрязнения, потери полезного объема воды;

- оценка предельного накопительного ресурса загрязняющих веществ в водном объекте;

- нормирование интенсивности и объема сбросов загрязняющих веществ в водохранилище с суточным регулированием на конкретный момент времени;

- прогнозирование потери воды как ресурса вследствие заиления или зарастания.

Таким образом, можно заключить, что организация постоянного мониторинга водных объектов посредством применения сертифицированного оборудования и ограниченного участия человека позволяет решать широкий спектр проблем, а оптимизированное принятие и обработка данных с помощью вспомогательных программ существенно снижает денежные и трудовые затраты для наблюдений за водоемами.

Список источников

1. Разработка автоматизированной системы мониторинга безопасности гидротехнических сооружений / Н. О. Науменко, В. Б. Жезмер, А. В. Новиков, О. В. Сумарукова // Потаповские чтения – 2019: сб. материалов. М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2019. С. 214–218. EDN: PGAGVO.

2. Науменко 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. М.: ВНИРО, 2018. С. 344–346. EDN: MZPRSR.

3. Хиллер Б., Ямбаев Х. К. Разработка и натурные испытания автоматизированной системы деформационного мониторинга // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2016. № 1(33). С. 48–61. EDN: WDHJQH.

4. Семадени И. В. Пространственное распределение и фотосинтетическая активность фитопланктона Рыбинского водохранилища в летний период 2018–2020 гг. // Трансформация экосистем. 2023. Т. 6, № 2(20). С. 19–32. DOI: 10.23859/estr-220414. EDN: QROJFR.
5. Оценка качества вод Рыбинского водохранилища вследствие снижения уровня вод / Н. В. Лагутина, Н. О. Наumenко, А. В. Новиков, О. В. Сумарукова // Природообустройство. 2019. № 2. С. 122–125. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-2-122-126. EDN: YJRIVG.
6. Астахов А. С., Диколенко Е. Я., Харченко В. А. Экологическая безопасность и эффективность природопользования. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 323 с.
7. Система автоматизированного мониторинга и контроля промышленной безопасности гидротехнических сооружений / Д. Ю. Грязнев, Н. Н. Хлапов, Т. О. Жеребцова, А. Д. Зайцева, Д. М. Чернышова // Научные вести. 2021. № 11(40). С. 73–87. EDN: YAEAGN.
8. Liu L. Drone-based photogrammetry for riverbed characteristics extraction and flood discharge modeling in Taiwan's mountainous rivers // Measurement. 2023. Vol. 220. 113386. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113386>. EDN: XBDNDW.
9. Sudriani Y., Sebestyén V., Abonyi J. Surface water monitoring systems – The importance of integrating information sources for sustainable watershed management // IEEE Access. 2023. Vol. 11. P. 36421–36451. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3263802. EDN: RFOSHO.
10. Mapping surface water presence and hyporheic flow properties of headwater stream networks with multispectral satellite imagery / D. N. Dralle, D. A. Lapedes, D. M. Rempe, W. J. Hahm // Water Resources Research. 2023. Vol. 59, № 9. e2022WR034169. <https://doi.org/10.1029/2022WR034169>. EDN: LQMZXZ.
11. Drone-based imaging to assess the microbial water quality in an irrigation pond: A pilot study / B. J. Morgan, M. D. Stocker, J. Valdes-Abellan, M. S. Kim, Y. Pachepsky // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 716. 135757. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135757>. EDN: LHKKZZ.
12. Розанов В. Б., Березкин В. Ю., Черешенко А. В. Возможные причины колебания уровня природных вод в Косинских озерах в XX–XXI веках – природные и антропогенные // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. № 4. С. 486–497. DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-486-497. EDN: MFQHJV.
13. Applications of unmanned aerial systems (UASs) in hydrology: A review / M. Vélez-Nicolás, S. García-López, L. Barbero, V. Ruiz-Ortiz, Á. Sánchez-Bellón // Remote Sensing. 2021. Vol. 13, № 7. 1359. <https://doi.org/10.3390/rs13071359>.
14. Adaptive water sampling device for aerial robots / C. Koparan, A. B. Koc, C. V. Privette, C. B. Sawyer // Drones. 2020. Vol. 4, № 1. 5. <https://doi.org/10.3390/drones4010005>.
15. Yang B., Tong S. T. Y., Fan R. Using high resolution images from UAV and satellite remote sensing for best management practice analyses // Journal of Environmental Informatics. 2021. Vol. 37, № 1. P. 79–92. DOI: 10.3808/jei.202000433.
16. Environmental monitoring and hydrological simulations of a natural wetland based on high-resolution unmanned aerial vehicle data (Paulista Peripheral Depression, Brazil) / L. M. Furlan, C. A. Moreira, P. G. de Alencar, V. Rosolen // Environmental Challenges. 2021. Vol. 4. 100146. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100146>. EDN: NHBJAI.

References

1. Naumenko N.O., Zhesmer V.B., Novikov A.V., Sumarukova O.V., 2019. *Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy monitoringa bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Development of an automated system for monitoring the safety of hydraulic structures].

Potapovskie chteniya – 2019: sb. materialov [Potapov Readings – 2019: Proc.]. Moscow, MISI-MGSU Publ., pp. 214-218, EDN: PGAGVO. (In Russian).

2. Naumenko N.O., 2018. *Vvedenie ratsional'nogo normirovaniya na ob'yemy sbrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v vodnye ob'yekty s tsel'yu podderzhaniya ustoychivosti ekosistemy* [Introduction of rational rationing on the volume of pollutant discharges into water bodies in order to maintain the stability of the ecosystem]. *Sovremennyye problemy i perspektivy razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa: materialy VI Nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh* [Modern Problems and Prospects of Development of Fishery Complex: Proceedings of the VI Scientific and Practical Conference of Young Scientists]. Moscow, VNIRO Publ., pp. 344-346, EDN: MZPRSR. (In Russian).

3. Hiller B., Yambaev H.K., 2016. *Razrabotka i naturnye ispytaniya avtomatizirovannoy sistemy deformatsionnogo monitoringa* [Development and field tests of the automated system of deformation monitoring]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologiy* [Bull. of the Siberian State University of Geosystems and Technologies], no. 1(33), pp. 48-61, EDN: WDHJQH. (In Russian).

4. Semadeni I.V., 2023. *Prostranstvennoe raspredelenie i fotosinteticheskaya aktivnost' fitoplanktona Rybinskogo vodokhranilishcha v letniy period 2018–2020 gg.* [Spatial distribution and photosynthetic activity of phytoplankton of the Rybinsk reservoir in the summer period 2018–2020]. *Transformatsiya ekosistem* [Transformation of Ecosystems], vol. 6, no. 2(20), pp. 19-32, DOI: 10.23859/estr-220414, EDN: QROJFR. (In Russian).

5. Lagutina N.V., Naumenko N.O., Novikov A.V., Sumarukova O.V., 2019. *Otsenka kachestva vod Rybinskogo vodokhranilishcha vsledstvie snizheniya urovnya vod* [Estimation of water quality of Rybinsk reservoir due to water level decrease]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 2, pp. 122-125, DOI: 10.34677/1997-6011/2019-2-122-126, EDN: YJRIVG. (In Russian).

6. Astakhov A.S., Dikolenko E.Ya., Kharchenko V.A., 2018. *Ekologicheskaya bezopasnost' i effektivnost' prirodoopol'zovaniya* [Ecological Safety and Efficiency of Nature Management]. Vologda, Infra-Engineering Publ., 323 p. (In Russian).

7. Gryaznev D.Yu., Khlapov N.N., Zherebtsova T.O., Zaitseva A.D., Chernyshova D.M., 2021. *Sistema avtomatizirovannogo monitoringa i kontrolya promyshlennoy bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [System of automated monitoring and control of industrial safety of hydraulic structures]. *Nauchnye vesti* [Scientific News], no. 11(40), pp. 73-87, EDN: YAEAGN. (In Russian).

8. Liu L., 2023. Drone-based photogrammetry for riverbed characteristics extraction and flood discharge modeling in Taiwan's mountainous rivers. *Measurement*, vol. 220, 113386, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113386>, EDN: XBDNDW.

9. Sudriani Y., Sebestyén V., Abonyi J., 2023. Surface water monitoring systems – The importance of integrating information sources for sustainable watershed management. *IEEE Access*, vol. 11, pp. 36421-36451, DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3263802, EDN: RFOSHO.

10. Dralle D.N., Lapedes D.A., Rempe D.M., Hahm W.J., 2023. Mapping surface water presence and hyporheic flow properties of headwater stream networks with multispectral satellite imagery. *Water Resources Research*, vol. 59, no. 9, e2022WR034169, <https://doi.org/10.1029/2022WR034169>, EDN: LQMZXZ.

11. Morgan B.J., Stocker M.D., Valdes-Abellan J., Kim M.S., Pachepsky Y., 2020. Drone-based imaging to assess the microbial water quality in an irrigation pond: A pilot study. *Science of the Total Environment*, vol. 716, 135757, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135757>, EDN: LHKKZZ.

12. Rozanov V.B., Berezkin V.Yu., Chereshenko A.V., 2022. *Vozmozhnye prichiny kolebaniya urovnya prirodnykh vod v Kosinskikh ozerakh v XX–XXI vekakh – prirodnye i antropogennye* [Possible causes of natural water level variations in the Kosin Lakes in

the 20th–21st century – natural and anthropogenic]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [RUDN Journal of Ecology and Life Safety], no. 4, pp. 486–497, DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-486-497, EDN: MFQHJV. (In Russian).

13. Vélez-Nicolás M., García-López S., Barbero L., Ruiz-Ortiz V., Sánchez-Bellón Á., 2021. Applications of unmanned aerial systems (UASs) in hydrology: A review. *Remote Sensing*, vol. 13, no. 7, 1359, <https://doi.org/10.3390/rs13071359>.

14. Koparan C., Koc A.B., Privette C.V., Sawyer C.B., 2020. Adaptive water sampling device for aerial robots. *Drones*, vol. 4, no. 1, 5, <https://doi.org/10.3390/drones4010005>.

15. Yang B., Tong S.T.Y., Fan R., 2021. Using high resolution images from UAV and satellite remote sensing for best management practice analyses. *Journal of Environmental Informatics*, vol. 37, no. 1, pp. 79–92, DOI: 10.3808/jei.202000433.

16. Furlan L.M., Moreira C.A., de Alencar P.G., Rosolen V., 2021. Environmental monitoring and hydrological simulations of a natural wetland based on high-resolution unmanned aerial vehicle data (Paulista Peripheral Depression, Brazil). *Environmental Challenges*, vol. 4, 100146, <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100146>, EDN: NHBJAI.

Информация об авторах

Н. О. Науменко – аспирант, Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация, nik.naumenko@gmail.com, SPIN-code: 6324-2037, AuthorID: 1000465, SCOPUS Author ID: 57223101287;

М. А. Ширяева – младший научный сотрудник отдела гигиены воды, Федеральный научный центр гигиены имени Ф. Ф. Эрисмана Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Мытищи, Российская Федерация, Shiryayeva.MA@fncg.ru, Web of Science ResearcherID: HKV-8583-2023, SPIN-code: 4706-0330, AuthorID: 1081861, ORCID ID: 0000-0001-8019-1203;

Н. В. Ханов – заведующий кафедрой гидротехнических сооружений, доктор технических наук, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, nvkhanov@yahoo.com SPIN-код: 4314-8184, AuthorID: 464889.

Information about the authors

N. O. Naumenko – Postgraduate Student, Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation, nik.naumenko@gmail.com, SPIN-code: 6324-2037, AuthorID: 1000465, SCOPUS Author ID: 57223101287;

M. A. Shiryayeva – Junior Researcher, 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, Mytishchi, Russian Federation, Shiryayeva.MA@fncg.ru, Web of Science ResearcherID: HKV-8583-2023, SPIN-code: 4706-0330, AuthorID: 1081861, ORCID ID: 0000-0001-8019-1203;

N. V. Khanov – Head of the Hydraulic Constructions Department, Doctor of Technical Sciences, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, nvkhanov@yahoo.com SPIN-код: 4314-8184, AuthorID: 464889.

Вклад авторов: Н. О. Науменко – сбор и обработка полевых данных, анализ результатов, написание статьи. М. А. Ширяева – обработка полевых данных, подготовка иллюстраций, участие в написании статьи. Н. В. Ханов – формирование основной концепции, целей и задач исследований, участие в написании статьи.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

*Contribution of the authors: N. O. Naumenko – collection and processing of field data, analysis of the results, writing the article. M. A. Shiryayeva – processing of field data, preparation of illustrations, participation in writing the article. N. V. Khanov – formation of the main concept, goals and objectives of the research, participation in writing the article.
All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 26.02.2024; одобрена после рецензирования 26.04.2024; принята к публикации 14.05.2024.
The article was submitted 26.02.2024; approved after reviewing 26.04.2024; accepted for publication 14.05.2024.*