

АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МЕЛИОРАЦИИ И ГИДРОТЕХНИКИ

Научная статья

УДК 628.171:004.942

Практический опыт использования акустического доплеровского профилографа при измерениях расхода воды на примере Азовского магистрального канала

Алексей Николаевич Рыжаков¹, Дмитрий Викторович Мартынов²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹xrust.89@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9268-255X>

²dimas-8901@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4797-8973>

Аннотация. Цель: получение натурных данных по расходу воды в Азовском магистральном канале с использованием акустического доплеровского профилографа (ADCP) для последующей верификации разработанной гидродинамической модели. **Материалы и методы.** Замеры выполнены на 17 створах канала с использованием автономного гидрологического комплекса на базе беспилотного плавательного аппарата APACHE 4 Pro и акустического доплеровского профилографа CHCNAV RiverStar RS-1200. Измерения проводились вручную (из-за узости канала) в соответствии с РД 52.08.767-2012, обработка производилась в приложениях «EasySail» и «HydroProfiler». **Результаты и обсуждение.** Все гидрометрические замеры были выполнены в течение одного дня при известных параметрах работы головной насосной станции и канала. Наибольшую долю времени в ходе полевых работ заняли: перемещение по трассе между створами; подготовка ADCP к работе; его спуск в канал и извлечение. Согласно полученным данным, величина расхода варьируется от 7,817 м³/с в начале трассы до нулевого значения в ее конце. Были выявлены зоны интенсивного отбора воды (снижение на ~2,5 м³/с между дюкером № 1 и ПК276) и гидравлических потерь (дюкер № 6). **Выводы.** Полученные данные позволили произвести корректировку разработанной гидродинамической модели в части подбора коэффициента шероховатости и выявить ошибки в исходных данных, характеризующих параметры канала и водопроводящих сооружений. Применение ADCP продемонстрировало высокую эффективность при исследовании гидродинамических характеристик оросительного канала, обеспечив сбор пространственно детализированных данных, необходимых для калибровки и верификации численной модели.

Ключевые слова: гидрологические и гидрографические исследования, акустический доплеровский профилограф течения (ADCP), беспилотный водный аппарат, мониторинг водных ресурсов, расход

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации и гидротехники» (г. Новочеркасск, 28 мая 2026 г.).

Для цитирования: Рыжаков А. Н., Мартынов Д. В. Практический опыт использования акустического доплеровского профилографа при измерениях расхода воды на примере Азовского магистрального канала // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2026. Т. 99, № 2. С. 35–54.

CURRENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF LAND RECLAMATION AND HYDRAULIC ENGINEERING

Original article

Practical experience of using an acoustic Doppler profiler for measuring water flow using the example of the Azov main canal

Alexey N. Ryzhakov¹, Dmitry V. Martynov²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹xrust.89@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9268-255X>

²dimas-8901@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4797-8973>

Abstract. Purpose: to obtain field data on water discharge in the Azov Main Canal using an acoustic Doppler profiler (ADCP) for subsequent verification of the developed hydrodynamic model. **Materials and methods.** Measurements were carried out at 17 cross sections of the canal using an autonomous hydrological complex based on the APACHE 4 Pro unmanned floating vehicle and the CHCNAV RiverStar RS-1200 acoustic Doppler profiler. Measurements were carried out manually (due to the narrowness of the canal) in accordance with RD 52.08.767-2012, processing was performed in the EasySail and HydroProfiler applications. **Results and discussion.** All hydrometric measurements were carried out within one day with known operating parameters of the head pumping station and the canal. The greatest share of time during field work was taken up by: moving along the route between the cross sections; preparing the ADCP for work; its descent into the canal and extraction. According to the data obtained, the flow rate varies from 7.817 m³/s at the beginning of the route to zero at its end. Zones of intense water extraction (a decrease of ~2.5 m³/s between siphon No. 1 and PK276) and hydraulic losses (siphon No. 6) were identified. **Conclusions.** The data obtained made it possible to adjust the developed hydrodynamic model in terms of selecting the roughness coefficient and to identify errors in the initial data characterizing the parameters of the canal and water supply structures. The use of ADCP demonstrated high efficiency in studying the hydrodynamic characteristics of the irrigation canal, ensuring the collection of spatially detailed data necessary for calibration and verification of the numerical model.

Keywords: hydrological and hydrographic studies, acoustic Doppler current profiler (ADCP), unmanned watercraft, water resources monitoring, flow rate

Evaluation of the research results: the fundamental principles of the article were reported at the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists “Current Scientific Research in the Field of Land Reclamation and Hydraulic Engineering” (Novocherkassk, May 28, 2026).

For citation: Ryzhakov A. N., Martynov D. V. Practical experience of using an acoustic Doppler profiler for measuring water flow using the example of the Azov main canal. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2026;99(2):35–54. (In Russ.).

Введение. Современный этап развития гидрологических и гидрографических исследований характеризуется активным внедрением передовых измерительных технологий. Появление акустических доплеровских профилографов течения (ADCP), дифференциальных GNSS-систем, автоматических регистраторов уровня воды, а также специализированного про-

граммного обеспечения позволяет выполнять натурные наблюдения на качественно новом уровне [1]. Это открывает возможности для комплексного и оперативного мониторинга состояния элементов мелиоративных систем, в первую очередь, оросительных, обводнительных и осушительных каналов, а также малых водоемов в сельской местности.

Традиционные методы измерений, применяемые с момента ввода оросительных систем в эксплуатацию, во многих случаях устарели: часть водоучетных устройств вышла из строя, а ручные замеры гидрометрической вертушкой не обеспечивают достаточной оперативности и точности. В этих условиях перспективным решением становится использование надводных исследовательских платформ, в частности, беспилотных водных аппаратов (БПВА), оснащенных многофункциональными датчиками. Такие платформы позволяют в автоматизированном режиме и в реальном времени получать данные о расходе, скорости и глубине потока, температуре и химическом составе воды, а также привязывать измерения к геопространственным координатам [2, 3]. Это не только повышает безопасность и мобильность полевых работ, но и снижает затраты, обеспечивая при этом комплексный подход к мониторингу водных ресурсов [4].

Несмотря на очевидные преимущества современных средств измерений, методическая база их применения остается слаборазвитой. Единственным нормативным документом в этой области является РД 52.08.767-2012¹, разработанный на основе программного обеспечения одного зарубежного производителя [5, 6]. Настоящий руководящий документ устанавливает методику измерения расходов воды на различных водотоках с помощью акустических доплеровских профилографов течения (ADCP). В методику входят общие требования, очередность проведения измерений, обработка и проверка полученных результатов. Хотя документ разработан с учетом

¹Расход воды на водотоках. Методика измерений акустическими доплеровскими профилографами Stream Pro и Rio Grande: РД 52.08.767-2012: утв. и введ. в действие приказом Росгидромета 01.08.2012 № 478. СПб.: ГГИ, 2012. 63 с.

конкретных моделей ADCP, он также содержит общие положения, применимые при выполнении инженерно-гидрометеорологических работ. Эти положения соответствуют действующим нормативным требованиям в области гидрологии, обеспечения функционирования систем обработки гидрологической информации, требований Государственной системы обеспечения единства измерений, а также методических рекомендаций по определению расходов воды на реках и каналах. Методика основана на общепринятом подходе соотношения скорости и площади, при котором расход воды рассчитывается как произведение средней скорости потока на площадь живого сечения водотока.

В то же время профилографы, основанные на эффекте Доплера [7], уже давно и успешно применяются как в научных исследованиях, так и в практической деятельности, в том числе Росгидрометом [8]. Их эффективность подтверждена при обследовании крупных рек [9–11], в том числе в сложных условиях низких температур и ледостава [5, 6], водохранилищ, в том числе ГЭС [8, 12–14], прибрежных морских зон [15].

Полученные с помощью профилографов данные используются для решения широкого круга задач: верификации гидродинамических моделей [9, 10], уточнения градуировочных зависимостей «уровень – расход» [12–14, 16], определения суммарного стока наносов [8, 9].

Особого внимания заслуживает применение таких специально адаптированных маломерных беспилотных судов, как серия APACHE4 Pro, разработанная для работы с доплеровскими профилографами. Согласно данным [4], относительное отклонение измеренного расхода от среднего значения при использовании этой платформы не превышает 2 %, что соответствует требованиям отечественных нормативных документов.

Вместе с тем большинство подобных высокотехнологичных решений производится за рубежом. На российском рынке аналогичное оборудование практически отсутствует в связи с низким спросом и слабой связью

между разработчиками и конечными пользователями [17]. Хотя в последние годы на фоне роста интереса к цифровым методам мониторинга начали появляться отечественные аналоги, они пока уступают зарубежным образцам как по функциональности, так и по соотношению цена/качество.

Целью данного исследования было применение акустического доплеровского профилографа для изучения гидродинамических характеристик оросительного канала с учетом особенностей его эксплуатации и текущего технического состояния.

Материалы и методы. Полевые работы были выполнены на Азовском магистральном канале (МК) на семнадцати створах. Схема расположения гидротехнических сооружений, на которых производились промеры, представлена на рисунке 1. На дюкерах промеры производились в верхнем и нижнем бьефах. На мостах и перегораживающем сооружении на ПК379 + 20, так как затворы на нем были полностью открыты, промеры производились только на одном створе ниже по течению. Створы, расположенные ниже по течению относительно сооружений, назначались на расстоянии 25–50 м, чтобы избежать выраженной пульсации скорости течения после выходного оголовка (при выходе из дюкера) или опоры моста, согласно требованиям РД 52.08.767-2012.

Промеры производились автономным гидрологическим комплексом в составе беспилотного плавательного аппарата APACHE 4 Pro и профилографа CHCNAV RiverStar RS-1200, представленным на рисунке 2. Камеральная обработка данных производилась с помощью ПО «HydroProfiler».

Автоматический гидрографический комплекс Apache 4 Pro представляет собой компактную систему, включающую наземную станцию управления и беспилотное судно (БПА), оснащенное одночастотным эхолотом. По желанию заказчика комплекс может быть дополнен профилографом (в нашем случае CHCNAV RiverStar RS-1200) или двухчастотным эхолотом для повышения точности и информативности измерений.

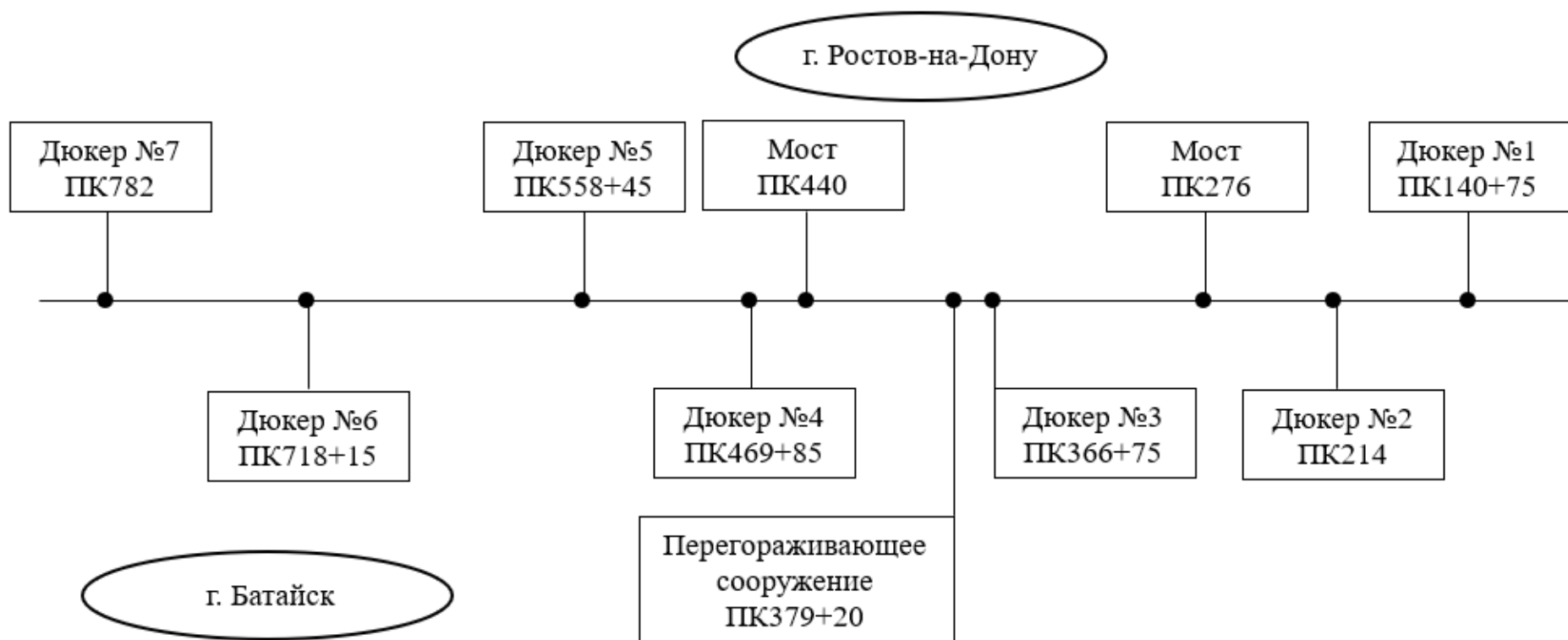


Рисунок 1 – Схема расположения гидротехнических сооружений на Азовском магистральном канале, на которых производились промеры (на дюкерах – в верхнем и нижнем бьефах; на прочих – ниже по течению)

Figure 1 – Layout of hydraulic structures on the Azov Main Canal, where measurements were taken (at the siphons – in the upper and lower pools; at the others – downstream)



Рисунок 2 – Автономный гидрологический комплекс в составе беспилотного плавательного аппарата APACHE 4 Pro и профилографа CHCNAV RiverStar RS-1200 (автор фото А. Н. Рыжаков)

Figure 2 – Autonomous hydrological complex consisting of an unmanned floating vehicle APACHE 4 Pro and a profilograph CHCNAV RiverStar RS-1200 (photo by A. N. Ryzhakov)

С помощью профилографа CHCNAV RiverStar RS-1200 можно осуществлять следующие гидрометрические исследования на водных объектах: определение расхода воды, построение профиля дна, определение глубин и скоростей течения. Управление прибором, визуализация и первичная обработка данных в реальном времени осуществляются с помощью пульта дистанционного управления (ДУ) и специализированного программного обеспечения «EasySail», которые позволяет одновременно управлять как БПА, так и подключаемым оборудованием.

Процедура измерения расхода воды профилографом включает следующие пять основных этапов.

1 Запуск профилографа.

Запуск профилографа категорически запрещено осуществлять вне водной среды – это может привести к выходу из строя излучающих элементов.

2 Тест «движущегося дна».

Перед началом основных измерений проводится калибровочный за-

плав: беспилотный надводный аппарат движется по водной поверхности на максимальной скорости в течение нескольких минут. Целью заплыва является определение средней скорости поверхностного течения. Для обеспечения максимальной точности последующих измерений скорость перемещения датчика в ходе основных замеров должна быть не выше полученной средней скорости потока.

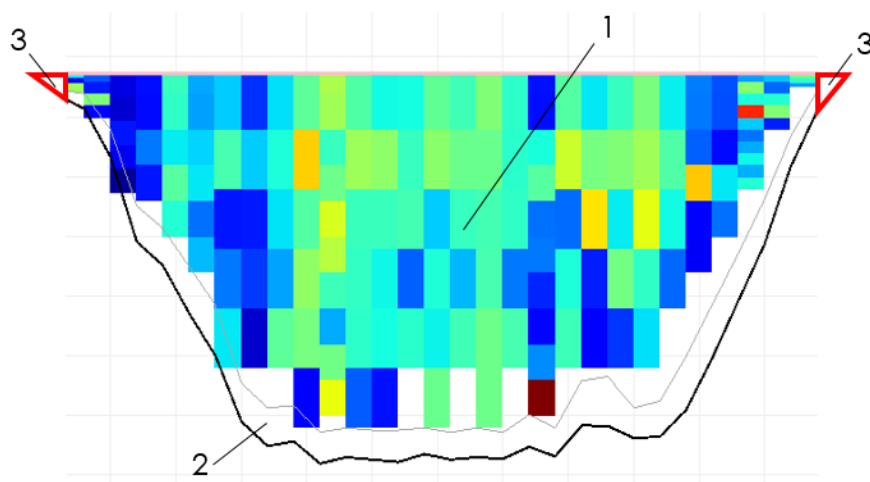
3 Назначение границ гидрометрического створа.

В условиях, позволяющих использовать автопилот, оператор задает начальную и конечную точки створа (а при необходимости и промежуточные точки), по которым БПА совершает повторные проходы с фиксированной скоростью, автоматически корректируя траекторию. Однако на Азовском магистральном канале, ширина которого не превышает 10 м, применение автономного режима оказалось невозможным: для разворота БПА требуется 3–5 м, что сопряжено с высоким риском столкновения со стенками канала и повреждения оборудования. По этой причине все замеры были выполнены в ручном режиме управления.

4 Сбор данных.

В процессе измерений ультразвуковой импульс делит водный столб на дискретные слои, называемые «ячейками глубины». Для каждой ячейки вычисляется локальная скорость течения; совокупность ячеек вдоль вертикали формирует ансамбль, а серия ансамблей – профиль скоростей по всему живому сечению. Схема поперечного сечения потока представлена на рисунке 3.

Измерения рекомендуется производить по центру выбранного промерного створа (1), где отмечается наиболее установившееся течение потока. Вблизи дна (2) и у берегов водотока (3) скорость и расход рассчитываются по заданным в программном обеспечении зависимостям. Метод интерполяции прибрежных расходов задается в ПО «EasySail» в зависимости от геометрии берегового участка.



- 1 – центральная часть профиля, где производятся измерения для каждой ячейки на вертикали; 2 – придонный слой; 3 – береговые отсеки
1 – central part of the profile, where measurements for each vertical cell are taken;
2 – bottom layer; 3 – shore compartments

Рисунок 3 – Схема поперечного сечения потока
Figure 3 – Schematic diagram of the flow cross-section

5 Анализ и контроль качества данных.

По каждому промерному профилю выдается итоговая сводка по ряду основных параметров потока (длительность промеров, количество ансамблей, различные показатели расходов, включая основное значение суммарного расхода, площадь, расстояние, скорость, направление, глубина и другое). Исходя из количества проведенных промеров приводится среднее значение расхода (и прочих параметров), а также значение относительной погрешности измерений. Согласно требованиям РД 52.08.767-2012, требуется провести минимум четыре промера, а границы относительной погрешности измерений расходов воды не должны быть более $\pm 10\%$.

Результаты и обсуждение. В рамках научно-исследовательской работы по государственному заданию Министерства сельского хозяйства России по теме «Провести исследования и разработать рекомендации по рациональному использованию водных ресурсов» была разработана гидродинамическая модель работы Азовского МК с целью последующего сценарного моделирования режимов водораспределения.

Современное компьютерное моделирование гидродинамических про-

цессов и сопутствующих явлений в каналах активно применяется как в фундаментальных исследованиях, так и при решении прикладных задач водного хозяйства [8, 11]. Вместе с тем для адекватного отображения особенностей течения недостаточно полагаться исключительно на осредненные значения гидродинамических величин. Надежная калибровка, верификация и последующее уточнение численных моделей требуют высоко детализированных эмпирических данных с четкой пространственной привязкой. В целях получения таких данных в рамках исследования и был применен акустический доплеровский профилограф течения CHCNAV RiverStar RS-1200.

Все гидрометрические замеры были выполнены в течение одного дня при известных параметрах работы головной насосной станции и канала. Маршрут измерений начинался у первого дюкера и последовательно охватывал все запланированные гидротехнические сооружения и контрольные створы в направлении течения. Пример проведения работ представлен на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Промер на створе в верхнем бьефе
дюкера № 5 (автор фото А. Н. Рыжаков)**

**Figure 4 – Sounding at the cross section in the upper
pool of siphon No. 5 (photo by A. N. Ryzhakov)**

Наибольшую долю времени в ходе полевых работ заняли: перемещение по трассе между створами; подготовка АГК к работе; его спуск в канал и извлечение. Эти операции осложнялись значительной массой АГК (около 40 кг), а также труднодоступностью береговой линии, так как крутые откосы и плотные заросли камыша затрудняли подступ к воде. При этом непосредственно выполнение замеров в каждом створе занимало не более 10 мин.

В ряде случаев полученные значения суммарного расхода воды демонстрировали значительный разброс, что приводило к превышению допустимой относительной погрешности. В таких ситуациях проводились повторные измерения, а результаты с наибольшим отклонением от медианного значения исключались из расчета среднего расхода.

Особое внимание заслуживает случай, зафиксированный в верхнем бьефе перегораживающего сооружения на ПК379 + 20. Здесь результаты последовательных замеров варьировались в широком диапазоне от 2,0 до 4,0 м³/с (относительная погрешность превысила 20 %). Анализ профилограмм (рисунок 5) выявил аномальные помехи в распределении скоростей по глубине, что указывало на нарушение условий спокойного установившегося течения в гидрометрическом створе.

Визуальный осмотр канала ниже по течению подтвердил наличие значительных скоплений водной растительности у входного оголовка сооружения (рисунок 6); растительность частично выступала над поверхностью воды вследствие локального увеличения скорости потока при входе в водопропускное отверстие. Наличие таких динамических возмущений делало невозможным получение репрезентативных данных. В связи с этим было принято решение исключить данный створ из плана измерений.

В результате проведенных замеров по полученным средним значениям суммарного расхода был построен график распределения расходов в Азовском магистральном канале, представленный на рисунке 7.

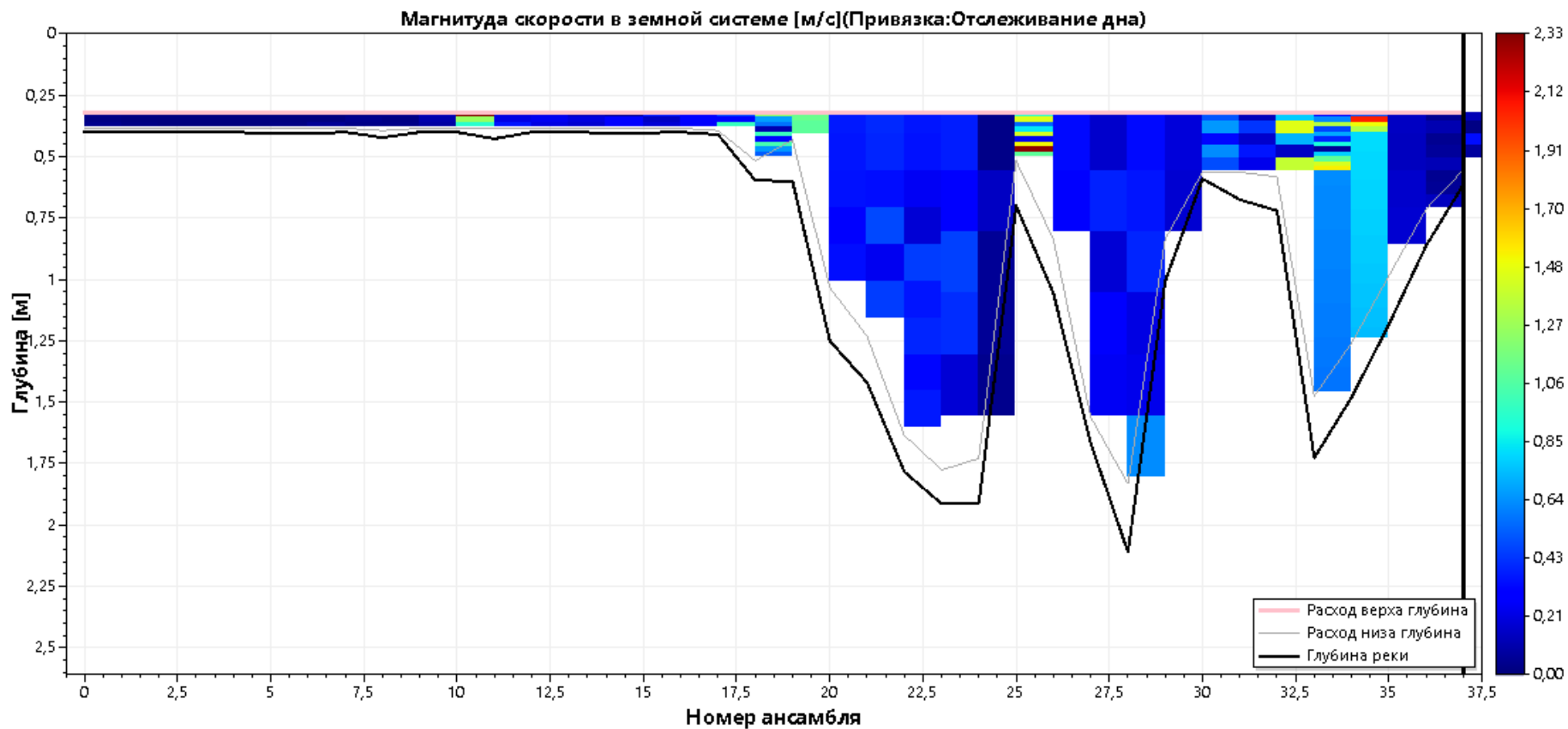


Рисунок 5 – Профилограммы на гидрометрических створах у перегораживающего сооружения на ПК379 + 20
 Figure 5 – Profile charts on hydrologic sections near the weir at PK379 + 20



Рисунок 6 – Пример растительности, препятствующей промерам профилографом (автор фото А. Н. Рыжаков)

Figure 6 – An example of vegetation that interferes with measurements taken with a profiler (photo by A. N. Ryzhakov)

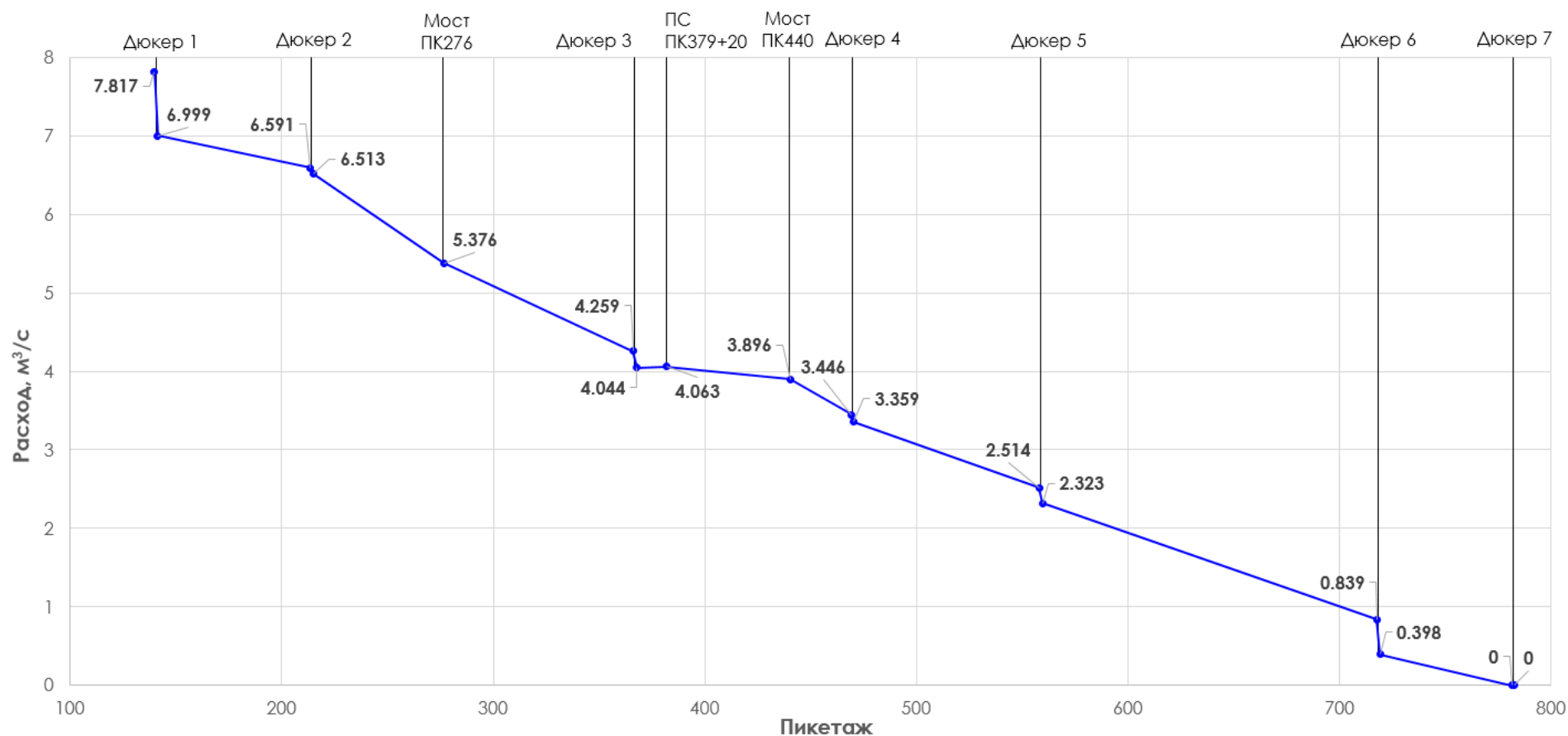


Рисунок 7 – График расходов в Азовском магистральном канале по данным ADCP

Figure 7 – Chart of flow rates in the Azov main canal according to ADCP data

Согласно полученным данным, величина расхода варьируется от 7,817 м³/с в начале трассы до нулевого значения в ее конце. Такая динамика однозначно указывает на то, что вода не просто транспортируется, а постепенно отбирается или расходуется по ходу движения. Особый интерес представляют участки, где наблюдается наиболее резкое падение расхода. Наиболее существенное снижение происходит в начальном сегменте: между дюкером № 1 (7,817 м³/с) и мостом на ПК276 (5,376 м³/с) за относительно короткий отрезок расход уменьшается почти на 2,5 м³/с. Это может свидетельствовать о наличии крупного водозабора, разветвления сети или значительных гидравлических потерь в районе мостового перехода. Второй заметный «провал» фиксируется в районе ПК440, где после моста на ПК440 расход снижается с 3,896 до 3,446 м³/с. Последнее резкое падение наблюдается в районе дюкера № 6, где в створе в ВБ расход составил 0,839 м³/с, а в НБ – 0,398 м³/с, что, вероятно, связано со сбросом части воды в балку.

Анализируя динамику изменения расхода в МК, можно сказать, что вначале он более интенсивный, затем замедляется. Это может быть обусловлено как уменьшением количества водозаборов, так и увеличением гидравлического сопротивления при меньших расходах. Стоит отметить, что в некоторых местах (например, около ПС ПК379 + 20) расход практически не меняется, что может говорить о том, что в этой зоне отбор воды минимален. Таким образом, график не только отражает гидравлические параметры, но и служит инструментом для диагностики эффективности распределения воды и выявления узлов с повышенными потерями или нагрузками.

Полученные данные позволили произвести корректировку разработанной гидродинамической модели в части подбора коэффициента шероховатости и выявить ошибки в исходных данных, характеризующих параметры канала и водопроводящих сооружений.

Выводы. Применение акустического доплеровского профилографа CHCNAV RiverStar RS-1200 в составе автономного гидрологического ком-

плекса на основе беспилотного плавательного аппарата APACHE 4 Pro продемонстрировало высокую эффективность при исследовании гидродинамических характеристик оросительного канала, обеспечив сбор пространственно детализированных данных, необходимых для калибровки и верификации численной модели. Полученные измерения позволили выявить зоны интенсивного отбора воды, оценить гидравлические потери и уточнить параметры канала, включая коэффициент шероховатости. Вместе с тем, как показал опыт проведенных полевых работ, точность и достоверность результатов напрямую зависят не только от технических характеристик оборудования, но и от квалификации оператора: специалист, осуществляющий замеры, должен владеть методикой выполнения гидрометрических работ, особенно при интерпретации профилограмм, оценке качества данных и при принятии решений о допустимости измерений в нестандартных условиях (например, при наличии водной растительности или неустановившемся течении). Только комплексный подход, объединяющий современные технологии и высококвалифицированное исполнение, обеспечивает получение репрезентативных и надежных гидрологических данных для целей водного хозяйства.

Список источников

1. Мировой опыт численного моделирования динамики потока в устьях рек / А. М. Алабян, И. Н. Крыленко, С. В. Лебедева, Е. Д. Панченко // Водные ресурсы. 2022. Т. 49, № 5. С. 552–567. DOI: 10.31857/S0321059622050029. EDN: VFATSQ.
2. Надводная исследовательская платформа для автоматизированного мониторинга состояния мелиоративных каналов и малых водоемов в интересах АПК и образования / О. А. Хорошев, П. С. Пляка, А. П. Будник, В. А. Иванов, А. В. Юдин // Инновационные технологии в науке и образовании (Конференция «ИТНО 2021»): сб. науч. тр. IX Междунар. науч.-практ. конф. с применением дистанционных технологий, с. Дивно-морское, 2–6 сент. 2021 г. Ростов н/Д.: ДГТУ-ПРИНТ, 2021. С. 53–57. DOI: 10.23947/itno.2021.53-57. EDN: OCMGOA.
3. Поляков В. В., Вареников Н. Ю. Обработка данных, полученных лучами профилографа течений // Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России: сб. тр. XIII Всерос. школы-семинара, молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников, г. Геленджик, 18–20 мая 2022 г. Ростов н/Д. – Таганрог: ЮФУ, 2022. С. 138–140. EDN: ETBBGE.
4. Матвеев А. С., Старостина Н. А. Измерение расхода воды с использованием беспилотных маломерных судов // Гидротехника. 2024. № 4(77). С. 28–30. EDN: IJKWWB.
5. Бузмаков С. В., Юхно А. В., Зорина А. А. Специфика использования ADCP в

период ледостава // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 39. С. 28–44. DOI: 10.26516/2073-3402.2022.39.28. EDN: YZFHEM.

6. Измерение расхода воды с использованием электромагнитного датчика скорости водного потока в зимних условиях / С. В. Бузмаков, А. А. Зорина, А. В. Юхно, А. А. Кулешов // Динамика и взаимодействие геосфер земли: материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. 100-летию подготовки в Томском государственном университете специалистов в области наук о Земле, г. Томск, 8–12 нояб. 2021 г. Томск: Томский центр НТИ, 2021. В 3 т. Т. II. С. 21–24. EDN: EAGVWY.

7. Левченко Д. И., Ибрагимов А. А. Акустический доплеровский профилограф течений // Неделя науки 2022: сб. тезисов, г. Ростов-на-Дону, 18–27 апр. 2022 г. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2022. В 2 ч. Ч. 1. С. 772–774. EDN: ODCCED.

8. Марусин К. В., Дьяченко А. В. Натурные исследования стокового течения в зоне переменного подпора Новосибирского водохранилища // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2024. № 4(75). С. 32–57. DOI: 10.24412/2410-1192-2024-17503. EDN: FOAFSV.

9. Иванов В. А., Чалов С. Р. Использование Доплеровского акустического Профилографа течения для изучения суммарного стока наносов // Морские исследования и образование (MARESEDU-2023): тр. XII Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 23–27 окт. 2023 г. Тверь: ПолиПРЕСС, 2024. С. 83–89. EDN: WQCARV.

10. Натурные исследования поля скоростей течения в излучинах реки Обь на территории города Барнаула / А. В. Дьяченко, К. В. Марусин, А. А. Коломейцев, А. А. Вагнер // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2018. № 2(49). С. 58–66. EDN: POJQTB.

11. Ляхин Ю. С., Богомоллов А. В. Особенности получения исходных характеристик водных объектов для построения и верификации гидродинамических моделей в 3D-постановке // Горное эхо. 2022. № 2(87). С. 3–10. DOI: 10.7242/echo.2022.2.1. EDN: BLNCLX.

12. Беликов В. Е., Реутский И. В. Уточнение кривой расходов в нижнем бьефе Усть-Среднеканской ГЭС // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. 2019. Т. 291. С. 16–21. EDN: AIOCIL.

13. Натурные исследования характеристик руслового и ветрового течений в южной части Горьковского водохранилища / Д. В. Вострякова, И. А. Капустин, А. А. Мольков, С. А. Ермаков // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2019. № 61. С. 11–18. EDN: QMSOQA.

14. Структура течений, формируемая в южной части Горьковского водохранилища при различных расходах воды через Нижегородскую гидроэлектростанцию / Д. В. Вострякова, И. А. Капустин, А. А. Мольков, С. А. Ермаков // Проблемы экологии Волжского бассейна: тр. 4-й Всерос. науч. конф., г. Нижний Новгород, 30–31 окт. 2019 г. Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2019. Вып. 2. С. 6. EDN HUNLPK.

15. Косарев Г. В. Применение акустического профилографа высокого разрешения для обследования прибрежных морских акваторий // Научные исследования в современном мире: опыт, проблемы и перспективы развития: сб. науч. ст. по материалам XV Междунар. науч.-практ. конф., г. Уфа, 18 окт. 2024 г. Уфа: НИЦ Вестник науки, 2024. С. 84–92. EDN: BDCJQW.

16. Сенчуков Г. А., Гостищев В. Д., Мартынов Д. В. Практический опыт градуировки головного регулирующего сооружения Афипиской ОС // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 97, № 3. С. 1–16. EDN: PKDVHP.

17. Дьяченко Л. Доплеровский эффект: приборы, результаты, производители, ускорение изысканий // Геоинфо. 2024. Т. 6, № 3. С. 60–65. EDN: NOJNFK.

References

1. Alabyan A.M., Krylenko I.N., Lebedeva S.V., Panchenko E.D., 2022. *Mirovoy opyt chislennogo modelirovaniya dinamiki potoka v ust'yakh rek* [World experience in numerical simulation of flow dynamics at river mouths]. *Vodnye resursy* [Water Resources], vol. 49, no. 5, pp. 552-567, DOI: 10.31857/S0321059622050029, EDN: VFATSQ. (In Russian).
2. Khoroshev O.A., Plyaka P.S., Budnik A.P., Ivanov V.A., Yudin A.V., 2021. *Nad-vodnaya issledovatel'skaya platforma dlya avtomatizirovannogo monitringa sostoyaniya meliorativnykh kanalov i malyykh vodoemov v interesakh APK i obrazovaniya* [Floating research platform for automated monitoring of the irrigation canals and small water basins for the agro-industrial complex and education]. *Innovatsionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii (Konferentsiya «ITNO 2021»): sb. nauch. tr. IX Mezhdunaridnoy nauchno-prakt. konferentsii s primeneniem distantsionnykh tekhnologiy* [Innovative Technologies in Science and Education (Conference "ITNO 2021"): Collection of Scientific Papers. IX International Research and Practical Conference Using Remote Sensing Technologies]. Rostov-on-Don, DSTU-PRINT, pp. 53-57, DOI: 10.23947/itno.2021.53-57, EDN: OCMGOA. (In Russian).
3. Polyakov V.V., Varenikov N.Yu., 2022. *Obrabotka dannykh, poluchennykh luchami profilografa techeniy* [Processing of data obtained by current profiler rays]. *Issledovaniya i tvorcheskie proekty dlya razvitiya i osvoeniya problemnykh i pribrezhnoshel'fovykh zon yuga Rossii: sb. tr. XIII Vseros. shkoly-seminara, molodykh uchenykh, aspirantov, studentov i shkol'nikov* [Research and Creative Projects for the Development and Developing Problem and Coastal-Shelf Zones of Southern Russia: Coll. Proceed. of the XIII All-Russian School-Seminar, Young Scientists, Postgraduate Students, Students, and Schoolchildren]. Rostov-on-Don. – Taganrog: SFedU, pp. 138-140, EDN: ETBBGE. (In Russian).
4. Matveev A.S., Starostina N.A., 2024. *Izmerenye raskhoda vody s ispol'zovaniem bespilotnykh malomernykh sudov* [Water flow measurement using Unmanned Small Vessels]. *Gidrotekhnika* [Hydrotechnics]. no. 4(77), pp. 28–30. EDN: IJKWWB. (In Russian).
5. Buzmakov S.V., Yukhno A.V., Zorina A.A., 2022. *Spetsifika ispol'zovaniya ADCP v period ledostava* [Water discharge measurement by ADCP during freeze-up period]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences], vol. 39, pp. 28-44, DOI: 10.26516/2073-3402.2022.39.28, EDN: YZFHEM. (In Russian).
6. Buzmakov S.V., Zorina A.A., Yukhno A.V., Kuleshov A.A., 2021. *Izmerenie raskhoda vody s ispol'zovaniem elektromagnitnogo datchika skorosti vodnogo potoka v zimnikh usloviyakh* [Water discharge measurement using an electromagnetic water flow velocity sensor in winter conditions]. *Dinamika i vzaimodeystvie geosfer zemli: materialy Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 100-letiyu podgotovki v Tomskom gosudarstvennom universitete spetsialistov v oblasti nauk o Zemle* [Dynamics and Interaction of the Earth's Geospheres: Proceed. of the All-Russian Conference with International Participation, Dedicated to the 100th Anniversary Of Training Specialists in the Field of Earth Sciences at Tomsk State University]. Tomsk, Tomsk NTI Center. In 3 vols., vol. II, pp. 21-24, EDN: EAGVWY. (In Russian).
7. Levchenko D.I., Ibragimov A.A., 2022. *Akusticheskiy doplerovskiy profilograf techeniy* [Acoustic Doppler current profiler]. *Nedelya nauki 2022: sb. tezisov* [Science Week 2022: Collection of Abstracts, Rostov-on-Don]. Rostov n/D., Southern Federal University Publ. In 2 parts. Part 1, pp. 772-774, EDN: ODCCED. (In Russian).
8. Marusin K.V., Dyachenko A.V., 2024. *Naturnye issledovaniya stokovogo techeniya v zone peremennogo podpora Novosibirskogo vodokhranilishcha* [Field studies of the flow in the dam varying backwater zone of Novosibirsk Reservoir]. *Izvestiya Altayskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [Bullet. of Altai Branch of the Russian Geographical Society], no. 4(75), pp. 32-57, DOI: 10.24412/2410-1192-2024-17503, EDN: FOAFSV. (In Russian).

9. Ivanov V.A., Chalov S.R., 2024. *Ispol'zovanie Doplerovskogo akusticheskogo Profilografa techeniya dlya izucheniya summarnogo stoka nanosov* [Acoustic Doppler Current Profiler for total sediment load estimation]. *Morskie issledovaniya i obrazovanie* (MARESEDU-2023): tr. XII Mezhdunar. nauchno-prakt. konferentsii [Marine Research and Education (MARESEDU-2023): trans. XII International Scientific-Practical Conference]. Tver, PolyPRESS LLC, pp. 83-89, EDN: WQCARV. (In Russian).

10. Dyachenko A.V., Marusin K.V., Kolomeytssev A.A., Wagner A.A., 2018. *Naturnyye issledovaniya polya skorostey techeniya v izluchinakh reki Ob' na territorii goroda Barnaula* A. V. D'yachenko, K. V. Marusin, A. A. Kolomeytssev, A. A. Vagner [Field studies of the flow velocity pattern in the Ob River meanders at Barnaul city]. [Izvestiya Altayskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva. Bullet. of the Altai Branch of the Russian Geographical Society], no. 2(49), pp. 58-66, EDN: POJQTB. (In Russian).

11. Lyakhin Yu.S., Bogomolov A.V., 2022. *Osobennosti polucheniya iskhodnykh kharakteristik vodnykh ob"ektov dlya postroeniya i verifikatsii gidrodinamicheskikh modeley v 3D-postanovke* [Features of obtaining the initial characteristics of water bodies for the construction and verification of hydrodynamic models in a 3D setting]. *Gornoe ekho* [Mining Echo], no. 2(87), pp. 3-10, DOI: 10.7242/echo.2022.2.1, EDN: BLNCLX. (In Russian).

12. Belikov V.E., Reutsky I.V., 2019. *Utochnenie krivoy raskhodov v nizhnem b'yefe Ust'-Srednekanskoy GES* [Refinement of the flow rate curve in the downstream of the Ust-Srednekanskaya HPP]. *Izvestiya Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B. Ye. Vedeneyeva* [Bullet. of the All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering named after B. E. Vedenev], vol. 291, pp. 16-21, EDN: AIOCIL. (In Russian).

13. Vostryakova D.V., Kapustin I.A., Molkov A.A., Ermakov S.A., 2019. *Naturnye issledovaniya kharakteristik ruslovogo i vetrovogo techeniy v yuzhnoy chasti Gor'kovskogo vodokhranilishcha* [Field studies of riverbed and wind flows characteristics in the southern part of the Gorky Reservoir]. *Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta* [Bullet. of Volga State Academy of Water Transport], no. 61, pp. 11-18, EDN: QMSOQA. (In Russian).

14. Vostryakova D.V., Kapustin I.A., Molkov A.A., Ermakov S.A. 2019. *Struktura techeniy, formiruyemaya v yuzhnoy chasti Gor'kovskogo vodokhranilishcha pri razlichnykh raskhodakh vody cherez Nizhegorodskuyu gidroelektrostantsiyu* [The currents structure in the southern part of the Gorkovsky Reservoir due to the operation mode of the Nizhny Novgorod Hydroelectric Station]. *Problemy ekologii Volzhskogo basseyna: tr. 4-y Vseros. nauch. konf* [Problems of Ecology of the Volga Basin: Proceed. of the 4th All-Russian Scientific Conf.]. Nizhny Novgorod, Volzhsky State University of Water Transport, iss. 2, pp. 6, EDN HUNLPK. (In Russian).

15. Kosarev G.V., 2024. *Primenenie akusticheskogo profilografa vysokogo razresheniya dlya obsledovaniya pribrezhnykh morskikh akvatoriy* [Application of a high-resolution acoustic profiler for surveying coastal marine waters]. *Nauchnye issledovaniya v so-vremennom mire: opyt, problemy i perspektivy razvitiya: sb. nauch. st. po materialam XV Mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Scientific Research in the Modern World: Experience, Problems and Development Prospects: Coll. of Scientific Articles Based on the Proceed. of the XV International Scientific and Practical Conference]. Ufa, Research Center Vestnik of Science, pp. 84-92, EDN: BDCJQW. (In Russian).

16. Senchukov G.A., Gostishchev V.D., Martynov D.V., 2025. *Prakticheskiy opyt graduirovki golovnogo reguliruyushchego sooruzheniya Afipskoy OS* [Practical experience in the regulating headworks calibration of the Afipskaya Irrigation System]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], vol. 97, no. 3, pp. 1-16, EDN: PKDVHP. (In Russian).

17. Dyachenko L., 2024. *Doplerovskiy effekt: pribory, rezul'taty, proizvoditeli, usko-*

renie izyskaniy [Doppler effect: devices, results, manufacturers, acceleration of engineering surveys]. *Geoinfo* [Geoinfo], vol. 6, no. 3, pp. 60-65, EDN: NOJNFK (In Russian).

Информация об авторах

А. Н. Рыжаков – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, xrust.89@bk.ru, AuthorID: 784962, ORCID: 0000-0002-9268-255X;

Д. В. Мартынов – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, dimas-8901@rambler.ru, ORCID: 0000-0003-4797-8973.

Information about the authors

A. N. Ryzhakov – Researcher; Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, xrust.89@bk.ru, AuthorID: 784962, ORCID: 0000-0002-9268-255X;

D. V. Martynov – Researcher; Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, dimas-8901@rambler.ru, ORCID: 0000-0003-4797-8973.

Вклад авторов: А. Н. Рыжаков произвел обзор источников, собрал и обработал данные, проанализировал результаты, написал статью. Д. В. Мартынов произвел обзор источников, собрал и обработал данные, участвовал в написании статьи.

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

Contribution of the authors: A. N. Ryzhakov reviewed the sources, collected and processed the data, analyzed the results, and wrote the article. D. V. Martynov reviewed the sources, collected and processed the data, and participated 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 20.03.2026; одобрена после рецензирования 27.04.2026; принята к публикации 18.08.2026.

The article was submitted 20.03.2026; approved after reviewing 27.04.2026; accepted for publication 18.08.2026.