

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 626/627

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-438-458

Исследование гидрометеорологических условий при проектировании гидротехнических сооружений на реке Абин в Краснодарском крае

Александр Александрович Ткачев¹, Руслан Амырбиевич Карабашев²,
Виктор Андреевич Невдах³, Владимир Евгеньевич Чулков⁴

^{1, 2, 3, 4}Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹Prof_al@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8060-620X>

^{2, 3, 4}gts_i_sm.nimi@mail.ru

Аннотация. Цель: анализ климатических характеристик района исследования и гидрологических характеристик изучаемого водотока, в т. ч. максимальных расходов воды в створах, размеченных по руслу реки, а также максимальных уровней воды р. Абин, в объеме, необходимом для обоснованного выбора конструктивных решений берегоукрепительных гидротехнических сооружений. **Материалы и методы.** Река Абин была изучена с 1923 по 1989 г. на водомерном посту в Абинске. Данные наблюдений позволили проанализировать режим, уровень и оценить расходы. Среднегодовое количество осадков составляет 704 мм, с пиком в декабре (85 мм) и минимумами в апреле и сентябре (по 45 мм). Сильные дожди проходят летом, с максимумом 171 мм за сутки. На территории возникают гололедно-изморозевые явления, но в основном они кратковременны. Экстремальные гидрометеорологические явления возможны из-за орографических особенностей региона. **Результаты.** Река Абин является горной с колебанием уровня воды до 8,6 м, во время паводков поднимаются крупные деревянные обломки. Проведены расчеты максимальных расходов и уровней воды, средняя скорость течения достигает 2,68–3,40 м/с, а максимальная глубина – 7,54–7,64 м. Русловые процессы включают размыв дна и ограниченное меандрирование с устойчивым положением берега. Глубина размыва дна варьируется от 0,78 до 1,06 м. **Выводы.** Для разработки берегоукрепительных сооружений на р. Абин необходимо учесть несколько важных аспектов. Конструкции должны выдерживать значительные расходы воды (при скорости 2,68–3,40 м/с и глубине 7,54–7,64 м БС) и обеспечивать долговечность при паводках. Следует усилить основание и укрепить склоны с использованием геосинтетических материалов, а также предусмотреть гибкие конструкции (габионы и матрацы Рено) для адаптации к изменению русла. Возможно применение технологий, минимизирующих вмешательство в природу, таких как анкерные системы, и создание подпорных стен. Рекомендуются использовать методы для перераспределения наносов, включая затопляемые шпоры.

Ключевые слова: климатические условия, максимальные расходы воды, максимальные уровни воды, русловые процессы, аккумуляция наносов, обвалование русла

Для цитирования: Исследование гидрометеорологических условий при проектировании гидротехнических сооружений на реке Абин в Краснодарском крае / А. А. Ткачев, Р. А. Карабашев, В. А. Невдах, В. Е. Чулков // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 4. С. 438–458. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-438-458>.

HYDRAULIC ENGINEERING,
HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

**Study of hydrometeorological conditions in the waterworks
design on the Abin River in the Krasnodar Territory**

**Alexander A. Tkachev¹, Ruslan A. Karabashev², Viktor A. Nevdakh³,
Vladimir E. Chulkov⁴**

^{1, 2, 3, 4}Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State
Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

¹Prof_al@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8060-620X>

^{2, 3, 4}gts_i_sm.nimi@mail.ru

Abstract. Purpose: to analyze the climatic characteristics of the study area and hydrological characteristics of the studied watercourse, including maximum water discharges in section lines marked along the river bed, as well as maximum water levels of the Abin River, in the volume necessary for a reasonable choice of design solutions for bank protection hydraulic structures. **Materials and methods.** The Abin River was studied from 1923 to 1989 at the water gage in Abinsk. Observation data allowed analyzing the regime, level and estimating the discharges. The average annual precipitation is 704 mm, with a peak in December (85 mm) and minimums in April and September (45 mm each). Heavy rains occur in the summer, with a maximum of 171 mm per day. Ice and rime phenomena occur in the area, but they are mostly short-lived. Extreme hydrometeorological phenomena are possible due to the orographic features of the region. **Results.** The Abin River is a mountain river with water level fluctuations of up to 8.6 m and the rising large wooden debris during floods. Calculations of maximum discharges and water levels were carried out, the average current velocity reaches 2.68–3.40 m/s, and the maximum depth is 7.54–7.64 m. Channel processes include bed erosion and limited meandering with a stable bank position. The bed erosion depth varies from 0.78 to 1.06 m. **Conclusions.** When developing bank protection structures on the Abin River, it is necessary to take into account several important aspects. The structures must withstand significant water discharges (at a speed of 2.68–3.40 m/s and a depth of 7.54–7.64 m BS) and ensure durability during floods. It is necessary to strengthen the foundation and reinforce the slopes using geosynthetics, and provide flexible structures (gabions and Reno mattresses) to adapt to channel changes. It is possible to use technologies that minimize interference with nature, such as anchor systems and the creation of bulkheads. It is recommended to use methods for the redistribution of sediments, including flooded spurs.

Keywords: climatic conditions, maximum water flow rates, maximum water levels, channel processes, sediment accumulation, channel banking

For citation: Tkachev A. A., Karabashev R. A., Nevdakh V. A., Chulkov V. E. Study of hydrometeorological conditions in the waterworks design on the Abin River in the Krasnodar Territory. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(4):438–458. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-438-458>.

Введение. В административном отношении участок расположен в Краснодарском крае, в Абинском районе, на южной окраине г. Абинска, в районе ул. Набережной, вдоль ул. Сургутной до ул. Островского (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема исследуемого участка

Figure 1 – Scheme of the study area

На исследуемом участке предусматривается строительство берегоукрепительного сооружения III класса. Высота сооружения – от 3,0 до 5,0 м; длина – 1000,0 м; ширина – до 5,0 м; предполагаемый фундамент – свайный, данные о глубинах заложения фундамента и подземных частей сооружения – до 8 м, распределенная нагрузка на основание – до 100 кПа. Проектные решения по сооружению уточняются с учетом анализа гидрометеорологических условий участка исследований [1].

Оценка основных элементов климата для участка изысканий выполнена по материалам наблюдений ближайшей метеостанции Крымск, расположенной на расстоянии 13,9 км северо-западнее проектируемого сооружения, в аналогичных климатических условиях. Климатическая характеристика составляется с использованием фондовой литературы, данных

о климатическом режиме района изысканий¹, электронного климатического справочника «Климат России».

Целью работы является анализ климатических характеристик района исследования и гидрологических характеристик изучаемого водотока, в т. ч. максимальных расходов воды в створах, размеченных по руслу реки, а также максимальных уровней воды р. Абин в Краснодарском крае, в объеме, необходимом для обоснованного выбора конструктивных решений берегоукрепительных гидротехнических сооружений.

Материалы и методы. В гидрологическом отношении р. Абин достаточно хорошо изучена. Систематические наблюдения за режимом р. Абин проводились с 1923 по 1989 г. на водомерном посту Росгидромета в г. Абинске, в 7 км ниже по течению от ПК 0 + 00 проектируемого сооружения.

Данные наблюдений водпоста использованы для характеристики водного и уровня режима изучаемого водотока, а также для определения максимальных, среднегодовых и межевых расходов воды [2].

За весь период наблюдений среднегодовое количество осадков по метеостанции Крымск составляет 704 мм. На теплый период, с апреля по октябрь, приходится около 52 % годового количества осадков (363 мм), на холодный, с ноября по март, – 48 % (341 мм). В отдельные годы эти суммы могут значительно отличаться, но вероятность экстремальных величин невелика.

В годовом ходе количества осадков прослеживаются два минимума (апрель – 45 мм, сентябрь – 44 мм). Максимум количества осадков приходится на декабрь – 85 мм.

Максимум числа дней с осадками также приходится на декабрь.

¹Строительная климатология: СНиП 23-01-99*: СП 131.13330.2020: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва Рос. Федерации 24.12.20: введ. в действие с 25.06.21. М.: РСТ, 2023. 150 с.

Зимний максимум объясняется длительными обложными осадками, а летний минимум – кратковременными ливнями. Преобладающими в течение всего года являются жидкие осадки.

Особый интерес представляют сильные дожди. Наблюдаются они преимущественно в теплое время года. Наблюдаемый суточный максимум осадков составляет 171 мм (6–7 июля 2012 г.), что превышает месячную норму более чем в 3 раза (таблица 1).

Таблица 1 – Экстремальные значения количества осадков

В мм

Table 1 – Extreme values of precipitation amounts

In mm

Экстремальное значение	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Метеостанция Крымск (1930–2019 гг.)													
Абсолютный максимум	220 1963	195 1965	217 1940	143 2011	148 2008	198 1961	204 1931	176 2004	177 1935	218 1936	207 1955	242 2001	1019 1955
Абсолютный минимум	7 1971	5 1972	0 1986	3 1968	0 2003	1 1957	1 2011	0 2014	0 1946	3 1977	1 2000	5 1972	377 1957

Формирование снежных осадков в атмосфере зависит от многих факторов, но главным образом от температуры окружающей среды.

Снежный покров на рассматриваемой территории появляется в первой декаде декабря, когда температура воздуха опускается до 0 °С (при небольших отрицательных температурах), однако выпадение снега возможно и при положительных температурах.

В зависимости от того, откуда приходят воздушные массы, в холодный период возможна неоднократная смена похолоданий с установлением снежного покрова и оттепелей с полным сходом снега.

В среднем за год наблюдается 36 дней со снежным покровом. Устойчивый снежный покров отсутствует в 82 % зим. Снег выпадает, но снежный покров не образуется. Средняя дата схода снежного покрова приходится на вторую декаду марта.

Неустойчивый характер залегания снежного покрова определяет и

неустойчивую его плотность в течение зимы, которая меняется от 0,16 до 0,29 г/см³. Средняя плотность снежного покрова при наибольшей декадной высоте составляет 0,17 г/см³.

Максимальный вес снежного покрова, превышаемый в среднем один раз в 25 лет, – 68 кгс/м², один раз в 50 лет – 84 кгс/м² (таблица 2).

Таблица 2 – Высота снежного покрова из максимальных значений за зиму

В см

Table 2 – Snow depth from maximum values for winter

In cm

Величина	Из максимальных значений за зиму		
	средняя	наибольшая	наименьшая
Метеостанция Крымск			
По постоянной рейке (1928–2019 гг.)	13	66 (январь 1963 г.)	2 (декабрь 2012 г.)
По снегосъемкам (1965–2019 гг.)	15	64 (декабрь 2001 г.)	1 (март 2005 г.)

Грозы, как правило, сопровождаются ливневыми осадками и кратковременным усилением ветра, который может достигать значительных скоростей, – шквалом. Грозы в отдельных случаях сопровождаются градом, выпадение которого связано с прохождением областей повышенного давления, неустойчивостью воздушных масс (таблица 3).

Таблица 3 – Число дней с градом

В днях

Table 3 – Number of days with hail

In days

Станция	Величина	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Крымск	Среднее	–	–	0,03	0,03	0,1	0,1	–	0,03	0,03	–	–	–	0,4
	Наибольшее	–	–	1	1	1	1	–	1	1	–	–	–	3

Из-за неоднократной смены похолоданий и оттепелей в холодный период года на территории района изысканий создаются благоприятные условия для образования гололедно-изморозевых явлений. Однако в большинстве случаев эти явления кратковременны и незначительны. Но при мощных заторах холодных вторжений с севера возможно достижение гололедно-изморозевыми явлениями критических значений. Сведения об

экстремальных значениях гололедно-изморозевых отложений (по инструментальным наблюдениям) приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Экстремальные значения гололедно-изморозевых отложений

Table 4 – Extreme values of glaze-ice and rime deposition

Характеристика	Гололед	Изморозь	Мокрый снег	Сложное отложение
Метеостанция Крымск (1951–2019 гг.)				
Наибольшая непрерывная продолжительность обледенения, ч	174	70	53	202
Дата отложения	24.12.1996	09.01.1964	09.01.1974	06.12.1959
Максимальный диаметр, мм	24	54	145	47
Дата отложения	13.11.1994	09.01.1964	13.12.1984	16.01.1975
Максимальный вес, г	192	128	896	104
Дата отложения	13.11.1994	09.01.1964	13.12.1984	06.12.1959

На территории исследуемого района возможно периодическое достижение гидрометеорологическими явлениями экстремальных величин, что связано с орографическими особенностями расположения этой территории.

Результаты и обсуждение. В соответствии с СП 47.13330.2016² и СП 11-103-97³ данные об опасных метеорологических процессах и явлениях, наблюдавшихся на территории района изысканий и требующих учета при проектировании, по данным наблюдений ближайшей метеостанции [3], приведены в таблице 5.

Водный режим р. Абин характеризуется прохождением паводков в течение осенне-зимнего периода (ноябрь – март) и довольно устойчивой летне-осенней меженью, лишь изредка нарушаемой дождевыми паводками.

Внутригодовое распределение стока крайне неравномерное: в средний по водности год в холодный период проходит 78 %, весной и летом – 21 %, осенью – 1,0 % годового стока.

²Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96: СП 47.13330.2016: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-коммун. хоз-ва Рос. Федерации 30.12.16: введ. в действие с 01.07.17. М.: Минстрой России, 2021. 122 с.

³Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства: СП 11-103-97: введ. в действие с 15.08.97. М.: ПНИИИС Госстроя России, 2009. 58 с.

Таблица 5 – Критерии учета опасных метеорологических процессов и явлений

Table 5 – Criteria for taking into account dangerous meteorological processes and phenomena

Процесс и явление	Количественный показатель проявления	Период	Максимальное значение
Метеостанция Крымск			
Ветер	Скорость более 30 м/с, для побережий морей более 35 м/с, при порывах более 40 м/с	1960–2019	36 м/с (12.03.1990)
Дождь	Слой осадков > 50 мм за 12 ч и менее	1928–2019	156 мм за 10 ч (06–07.07.2012)
Ливень	Слой осадков > 30 мм за 1 ч и менее	1928–2019	67,9 мм (02.08.1983)
Сильный снег*	Слой осадков более 20 мм за период 12 ч и менее	1938–2019	52,7 мм (01.01.2002)
Гололед*	Диаметр гололеда не менее 20 мм	1951–2019	24 мм (13.11.1994)
Сложное отложение*	Отложение с налипанием мокрого снега не менее 50 мм	1951–2019	145 мм (13.12.1984)
* – указаны критерии опасных явлений, утвержденные приказом ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС». При неоднократно отмечавшемся значении указана дата, когда оно наблюдалось в последний раз.			

Годовой ход уровня воды характеризуется частыми и резкими подъемами в холодную часть года от дождевых паводков, формирующих (обычно в декабре-январе) годовой максимум уровня. Количество паводков может достигать 4–5 в месяц. Средняя дата наступления максимального уровня на р. Абин – 4 января (84 %).

Иногда наивысшие в году паводки случаются и в весенне-летнее время года в результате выпадения ливневых осадков. Бывают случаи катастрофических летних паводков, как это было на р. Абин в 1976 и 2012 гг. Продолжительность паводков невелика – от 5 до 16 сут. Пик максимальных уровней воды проходит в течение нескольких часов. С июля по октябрь продолжается устойчивая летне-осенняя межень, иногда нарушаемая дождевыми паводками. В начале лета межень почти отсутствует из-за частого выпадения осадков. В среднем продолжительность меженного периода – 70 дней.

В маловодные годы река распадается на ряд стоячих плесов (рисунки 2–4), разобщенных сухими перешейками, и сток воды отсутствует – в 4 % случаев. Река Абин с 1924 г. пересыхала в 1930, 1950, 1951, 1958, 1964, 1986 гг., в период с августа по октябрь, от 1 до 32 дней (1966 г.). Минимум расходов и уровней приходится на конец августа (46 %).



Рисунок 2 – Река Абин. Русло реки на участке расчетного створа РС-5. Сужение русла. Перекат. Вид вниз по течению (автор фото Р. А. Карабашев)

Figure 2 – The Abin River. River bed at the RS-5 control section. The river bed contraction. Riffles. View downstream (photo by R. A. Karabashev)



Рисунок 3 – Река Абин. Участок русла в расчетном створе РС-1. Вид с правого берега реки (автор фото Р. А. Карабашев)

Figure 3 – The Abin River. Stream reach in the RS-1 control section. View from the right bank of the river (photo by R. A. Karabashev)



Рисунок 4 – Река Абин. Русло реки на участке расчетного створа РС-1. Вид вверх по течению (автор фото Р. А. Карабашев)

Figure 4 – The Abin River. Riverbed at the RS-1 control section. View upstream (photo by R. A. Karabashev)

Ледоход бывает в редкие годы и проходит спокойно в пределах бровок, но чаще всего река очищается путем постепенного таяния ледового покрова.

Тип руслового процесса р. Абин в пределах участка исследований – ограниченное меандрирование. Русло реки на протяжении всего участка изысканий находится в пределах защитного обвалования [4].

Река Абин берет начало на северном склоне Главного Кавказского хребта, впадает в Варнавинское водохранилище и относится к бассейну р. Кубань. Длина реки к устью составляет 76 км, площадь водосбора к устью – 484 км². Значительная часть водосбора занята лесом, залесенность водосбора составляет 65 %. Степень заболоченности и озерности водосбора составляет менее 1 %.

Долина р. Абин на участке изысканий имеет широкую прямоугольную форму. Левый склон долины занят лесом, правый – жилищной застройкой. Левая пойма довольно широкая, 200–300 м, также занята лесом и густым кустарником. Правая пойма шириной 30–60 м (см. рисунок 2) более высокая, занята луговой растительностью, в конце участка изысканий –

неширокой лесополосой. Русло реки хорошо читается в рельефе (см. рисунки 3–4), сложено преимущественно слабо размываемыми породами (глинами твердыми) с гравийно-песчаным наполнителем, преимущественно в ямах и трещинах. Явно выражены участки плесов, с незначительными уклонами и скоростями течения 0,05–0,10 м/с, но довольно большими глубинами 1,5–2,5 м (см. рисунок 2). Перекаты местами даже являются порогами с резкими перепадами уреза воды на 0,2–0,3 м. На перекатах глубины, как правило, не превышают 0,1–0,2 м, а скорости течения могут достигать 1,5–2,1 м/с.

Для расчета максимальных уровней воды на всем протяжении проектируемого гидротехнического сооружения были назначены три расчетных створа РС-1, РС-5, РС-10. В назначенных створах измерены расходы воды при помощи вертушки ИСП-1М.

Для лучшего освещения всего участка изысканий расчетные створы были назначены в начале, середине и конце проектируемого берегоукрепления. В связи с переносом проектируемого сооружения на 200 м вверх по течению расчетный створ РС-1 оказался на 210 м ниже по течению от начала (ПК 0 + 0,0) проектируемого сооружения. Для большей детализации расчетов также были назначены девять промежуточных створов [5]. Положение назначенных створов приведено на рисунке 5.

В соответствии с ГОСТ 19179⁴ исследуемый водоток, водосборная площадь которого к расчетному створу РС-10 равна 484 км², относится к категории малых водотоков (малые водотоки – реки с водосборной площадью менее 2000 км²).

Максимальные расходы воды на р. Абин формируются в период интенсивных ливней. Расходы воды от таяния снега являются редкостью для исследуемого района и всегда меньше дождевых. Максимальные расходы

⁴ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. Введ. 1975-01-01. М.: Стандартинформ, 2015. 35 с.

воды дождевого стока определены согласно рекомендациям СП 33-101-2003⁵, пособия [2], по статистическим расчетам с применением рядов наблюдений на водомерном посту по р. Абин.

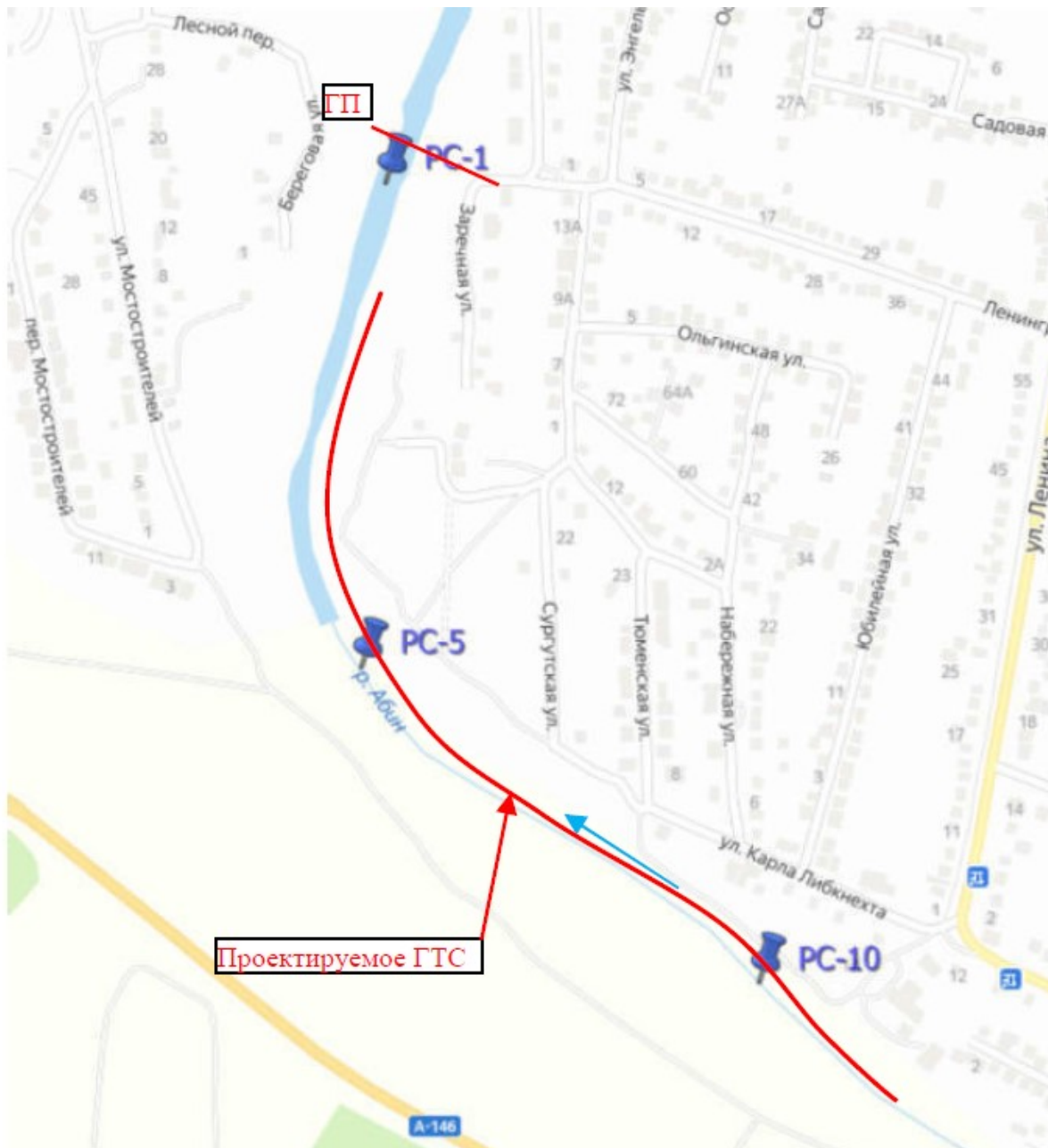


Рисунок 5 – Река Абин. Схема расположения расчетных створов
Figure 5 – The Abin River. Layout of control sections

Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительно-

⁵Определение основных расчетных гидрологических характеристик: СП 33-101-2003: введ. в действие с 01.01.04. М.: Стандартинформ, 2009. 75 с.

сти осуществляется согласно СП 33-101-2003⁵, на основе применения аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения.

Результаты расчета максимальных расходов сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Максимальные расходы воды

Table 6 – Maximum water flow rates

Водоток	Номер створа (рисунок 5)	Площадь водосбора, км ²	Максимальный расход воды, м ³ /с, обеспеченностью, %					
			0,5	1	2	3	5	10
р. Абин	РС-1	432	1440	1240	1090	936	807	637

Максимальный уровень р. Абин в расчетных створах при естественных условиях протекания потока (без учета проектируемого сооружения) установлен гидравлическим расчетом.

Выполнены гидравлические расчеты параметров кривой зависимости расходов воды (Q) от уровней (H), построены графики кривых расходов воды (Q) (рисунок 6), средней скорости течения в границах русла (V_{cp}) и площади водного сечения (W) в зависимости от уровней (H) [6].

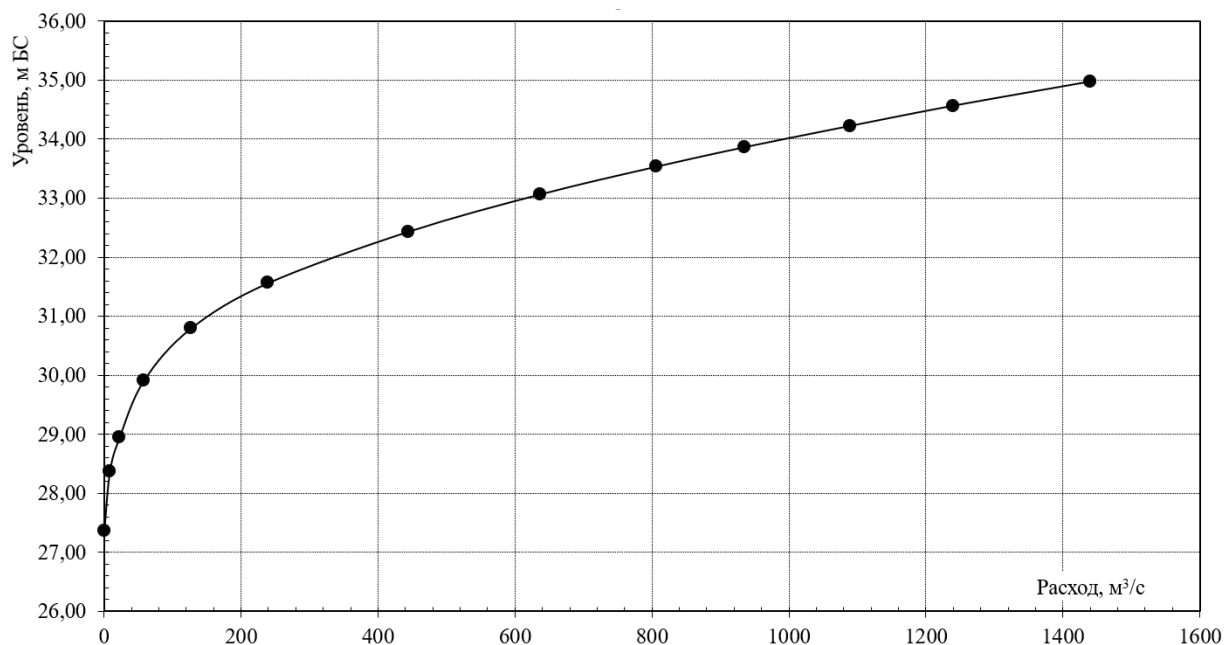


Рисунок 6 – Кривая зависимости расходов от уровней $Q = f(H)$, р. Абин, расчетный створ РС-10, ПК 7 + 53,6, от правого берега

Figure 6 – Stage relation curve on levels $Q = f(H)$, the Abin River, control section RS-10, picket 7 + 53.6, from the right bank

Максимальный уровень воды р. Абин 0,5–10 % обеспеченности в расчетных створах 1, 5, 10, расположенных в начале, середине и конце проектируемого гидротехнического сооружения, представлен в таблице 7. Для более детального освещения проектируемого сооружения максимальными уровнями были назначены промежуточные створы, в которые расчетные уровни воды перенесены по уклону в паводок 2,1–2,2 ‰ (см. таблицу 7).

Таблица 7 – Максимальные уровни р. Абин

Table 7 – Maximum levels of the Abin River

№ створа	ПК	Максимальный уровень воды, м БС						Уклон, ‰
		0,5 %	1 %	2 %	3 %	5 %	10 %	
12	9 + 77,8	35,47	35,06	34,72	34,36	34,03	33,56	2,2
11	8 + 59,6	35,19	34,78	34,44	34,08	33,75	33,28	2,2
PC-10	7 + 53,6	34,97	34,56	34,22	33,86	33,53	33,06	2,2
9	6 + 51,7	34,77	34,36	34,02	33,66	33,33	32,86	2,2
8	5 + 41,8	34,58	34,17	33,83	33,47	33,14	32,67	2,2
7	4 + 48,1	34,42	34,01	33,67	33,31	32,98	32,51	2,2
6	3 + 38,8	34,22	33,81	33,47	33,11	32,78	32,31	2,2
PC-5	2 + 30,2	33,79	33,50	33,23	32,90	32,59	32,14	2,2
4	1 + 25,4	33,56	33,27	33,00	32,67	32,36	31,91	2,2
3	0 + 24,6	33,33	33,04	32,77	32,44	32,13	31,68	2,2
2	–110	33,12	32,83	32,56	32,23	31,92	31,47	2,1
PC-1	–210	32,89	32,49	32,23	31,95	31,69	31,30	2,1

Расчетом определены гидравлико-морфометрические параметры потока в расчетный паводок различной обеспеченности. Гидравлико-морфометрические параметры потока в расчетный паводок 1 и 3 % обеспеченности приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Гидравлико-морфометрические параметры потока р. Абин в паводок 1; 3 % обеспеченности

Table 8 – Hydraulic and morphometric parameters of the Abin River flow during flood 1; 3% probability

Створ	Параметр потока при максимальном уровне						Уклон потока, промилле
	Уровень воды, м БС-77	Общая ширина, м	Средняя глубина русла, м	Средняя скорость в русле, м/с	Расход в пределах русла, м³/с	Расход на пойме, м³/с	
1	2	3	4	5	6	7	8
При 1 % обеспеченности							
PC-10	34,56	130	6,3	3,40	564	676	2,2
PC-5	33,50	386	4,59	2,74	1157	83,4	2,2
PC-1	32,49	246	4,57	2,68	992	248	2,1

Продолжение таблицы 8

Table 8 continued

1	2	3	4	5	6	7	8
При 3 % обеспеченности							
РС-10	33,86	123	5,6	3,11	459	476,8	2,2
РС-5	32,90	161	3,99	2,47	907	29,6	2,2
РС-1	31,95	226	4,03	2,43	796	139,2	2,1

Русловые процессы на участке изысканий характеризуются небольшим размывом дна и довольно устойчивым положением берегов. Основные виды русловых процессов – ограниченное и незавершенное меандрирование. Ограничивающие геолого-морфологические факторы, преобладающие на этом водотоке, по сравнению с другими, гидрологическими факторами руслового процесса, являются основными при формировании берегов и дна водотока [7–10]. Русло реки в пределах проектируемого гидротехнического сооружения имеет плавный изгиб в сторону левого берега. По этой причине, а также из-за твердых, слабо размываемых пород (см. рисунки 3, 4), из которых сложены оба берега, плановые деформации берегов практически отсутствуют. У правого берега наблюдается аккумуляция влекомых наносов (см. рисунок 2).

Расчеты русловых процессов выполнены согласно указаниям ВСН 163-83⁶ и рекомендациям, представленным в работе К. М. Берковича и др. [4]. Результаты расчетов размыва дна представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты расчета размыва дна

Table 9 – Results of river bed erosion calculation

№ створа	Отметка уреза, м БС	Отметка дна, м БС	Отметка размыва, м БС	Величина размыва, м
1	2	3	4	5
Створ 12	28,10	27,65	26,59	1,06
Створ 11	27,90	27,27	26,23	1,04
РС-10	27,10	26,92	25,86	1,06

⁶Учет деформаций речных русел и берегов водоемов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов): ВСН 163-83: утв. Миннефтегазстроем 09.06.82, Мингазпромом 10.11.83, Миннефтепромом 16.09.83, Госкомнефтепродуктом РСФСР 12.08.82, Госкомгидрометом 19.12.83: введ. в действие с 01.01.85. М.: ВНИИСТ Миннефтегазстроя, 1985. 193 с.

Продолжение таблицы 9

Table 9 continued

1	2	3	4	5
Створ 9	27,05	26,82	25,89	0,93
Створ 8	27,00	26,55	25,77	0,78
Створ 7	26,95	26,21	25,15	1,06
Створ 6	26,90	25,95	25,11	0,84
РС-5	26,85	25,90	25,02	0,88
Створ 4	26,70	25,65	24,73	0,92
Створ 3	26,56	25,87	24,99	0,88
Створ 2	26,41	25,54	24,59	0,95
РС-1	26,26	24,95	24,17	0,78

При выборе конструктивных решений берегоукрепительных сооружений необходимо принимать во внимание следующие факторы [11–13]. Водный режим р. Абин характеризуется как горный. Наибольшая амплитуда колебания уровня воды достигает 8,6 м. Во время паводков на реке наблюдается карчеход. Размер карча до 1,5–2,0 м.

Выполнен расчет максимальных расходов воды расчетной обеспеченности, результаты представлены в таблице 6.

Полученные в результате расчета максимальные уровни расчетной обеспеченности представлены в таблице 7. Продолжительность стояния максимальных уровней воды не превышает нескольких часов, продолжительность паводков – нескольких суток. В расчетный паводок 1 % обеспеченности средняя скорость течения в русле реки составляет 2,68–3,40 м/с, наибольшая глубина в русле – 7,54–7,64 м.

Русловые процессы на участке изысканий характеризуются размывом дна в период прохождения паводка и довольно устойчивым положением берегов. Основным видом руслового процесса на участке проектируемого сооружения является ограниченное меандрирование [14, 15]. Плановое положение русла р. Абин на участке изысканий по результатам рекогносцировочного обследования устойчивое. Глубина размыва дна в расчетных створах составляет 0,78–1,06 м.

Выводы. Для разработки конструктивных решений берегоукрепи-

тельных сооружений на р. Абин в условиях, описанных выше, необходимо учитывать следующие требования.

Конструкции должны быть способны выдерживать максимальные расходы воды, обеспечивая надежную защиту берега при скорости течения 2,68–3,40 м/с и глубине 7,54–7,64 м. Требуется учесть продолжительность стояния максимальных уровней воды и продолжительность паводков, чтобы обеспечить долговечность сооружений.

Учитывая небольшой размыв дна, необходимо предусмотреть усиление основания и укрепление склонов, в т. ч. использование геосинтетических материалов, что позволит снизить вероятность местного размыва и эрозии.

С учетом незавершенного меандрирования, желательно включить элементы гибких конструкций, таких как габионы и матрацы Рено, для обеспечения устойчивости и гибкости сооружений, предусмотрев конструкции, которые могут адаптироваться к изменению русла.

В связи с наличием твердых, слабо размываемых пород, возможно применение методов и технологий, минимизирующих вмешательство в естественные процессы, таких как анкерные системы и стабилизация склона. В качестве варианта можно рассмотреть подпорные стены или берегоукрепительные сваи для предотвращения эрозии и поддержания устойчивости берега.

Для перераспределения наносов рекомендуется предусмотреть системы, способствующие естественной аккумуляции наносов у правого берега, с целью снижения скорости течения и предотвращения размыва. Возможно использование затопляемых шпор или полупогруженных конструкций для регулирования потоков и накопления наносов.

С учетом требований экологической совместимости желательно рассмотреть применение природоориентированных решений, таких как био-

инженерные технологии, для минимизации воздействия на экосистему реки и восстановления природной растительности на берегах.

С целью долгосрочной оценки принятых конструктивных решений требуется внедрение систем мониторинга для оценки состояния сооружений и их эффективности в реальном времени, а также создания возможности корректировки конструктивных решений на основе данных мониторинга и изменения условий.

Эти требования обеспечат создание надежных и эффективных берегоукрепительных сооружений на р. Абин, учитывающих экстремальные климатические явления и специфические морфологические условия региона.

Список источников

1. Актуальные вопросы практических исследований гидротехнических сооружений / А. А. Ткачев, В. А. Белов, А. М. Анохин, Н. А. Шелестова, И. А. Арчаков, А. И. Дроздов, С. Ю. Балковой, А. А. Гунин, Д. С. Ломинога, Е. Г. Гилетин, Е. Г. Паклинов, А. М. Сапунов, Д. В. Титаренко, Е. А. Павлов, А. М. Узунов, В. А. Стрелок, С. В. Хлебников, А. А. Сазонов, Н. И. Щепилов, В. С. Костюков. Новочеркасск: Лик, 2023. 190 с. EDN: YWMTJU.
2. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / сост.: А. В. Рождественский [и др.]. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 448 с.
3. Неушкин А. И., Санина А. Л., Иванова Т. Б. Опасные природные гидрометеорологические явления в федеральных округах европейской части России: справ. моногр. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2008. 311 с.
4. Беркович К. М., Злотица Л. В., Турыкин Л. А. Размыв речных берегов: факторы, механизм, деятельность человека // Геоморфология. 2019. № 2. С. 3–17. DOI: 10.31857/S0435-4281201923-17. EDN: LKKEKQ.
5. Тлявлин Р. М., Тлявлиня Г. В., Дроботько С. Ю. Физическое моделирование взаимодействия волнения с проектируемыми берегоукрепительными сооружениями Имеретинской низменности // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. 2011. Т. 7, № 2. С. 112–116. EDN: PZEXHP.
6. Ткачев А. А., Зарубин В. В. Берегоукрепительные конструкции в гидротехническом строительстве // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2019. Т. 11, № 4-2. С. 58–64. EDN: ZSZSFQ.
7. Эшев С. С. Деформации откосов больших каналов в земляном русле под действием поверхностных волн // Мелиорация и водное хозяйство. 2011. № 6. С. 26–28. EDN: ONJFVR.
8. Мельникова Е. А., Егорова С. В., Лагунова В. В. Проблемы экологической реабилитации реки Десны и ее притоков р. Болвы и р. Снежети в черте г. Брянска // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. 2013. № 1(3). С. 103–107. EDN: RABJYD.
9. Логинов Г. И., Матвиец В. В., Мейман У. Б. Использование регуляционных сооружений на участках рек // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2018. Т. 18, № 4. С. 107–111. EDN: XPASGT.

10. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Гидравлическая эффективность оросительных каналов при эксплуатации // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15, № 8. С. 1147–1162. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.8.1147-1162. EDN: OUXBGA.

11. Баев О. А., Талалаева В. Ф. Конструктивно-технологические решения для создания и восстановления покрытий оросительных каналов // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 2. С. 177–191. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1285> (дата обращения: 20.06.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-2-177-191. EDN: XZWPZF.

12. Ткачев А. А., Слинько М. А. Исследование берегоукрепительных сооружений на р. Куме в Ставропольском крае // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 1. С. 213–227. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1269> (дата обращения: 20.06.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-213-227. EDN: SMAWYI.

13. Kosichenko Y. M., Baev O. A. Geo-composite materials with preset properties and their application in hydraulic engineering construction // Solid State Phenomena. 2018. Vol. 284. P. 970–974. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.284.970. EDN: MRNTDF.

14. Belay T. T. Perception of farmers on soil erosion and conservation practices in Dejen district, Ethiopia // International Journal of Environmental Protection and Policy. 2014. Vol. 2, № 6. P. 224–229. DOI: 10.11648/j.ijepp.20140206.15.

15. Barman T. Relation of riverbank erosion with agricultural landuse practices on floodplain of river Jaldhaka (Mansai) at Tiker char, Bhowrthana village, Coochbehar, Westbengal, India // International Journal of Research in Geography (IJRG). 2016. Vol. 2, iss. 1. P. 1–7. DOI: 10.20431/2454-8685.0202001.

References

1. Tkachev A.A., Belov V.A., Anokhin A.M., Shelestova N.A., Archakov I.A., Drozdov A.I., Balkovoy S.Yu., Gunin A.A., Lominoga D.S., Giletin E.G., Paklinov E.G., Sapunov A.M., Titarenko D.V., Pavlov E.A., Uzunov A.M., Strelak V.A., Khlebnikov S.V., Sazonov A.A., Shchepilov N.I., Kostyukov V.S., 2023. *Aktual'nye voprosy prakticheskikh issledovaniy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Topical Issues of Practical Research of Hydraulic Structures]. Novocherkassk, Lik Publ., 190 p., EDN: YWMTJU. (In Russian).

2. Rozhdestvensky A.V. [et al.] (comp.), 1984. *Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Manual for Determining the Calculated Hydrological Characteristics]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 448 p. (In Russian).

3. Neushkin A.I., Sanina A.L., Ivanova T.B., 2008. *Opasnye prirodnye gidrometeorologicheskie yavleniya v federal'nykh okrugakh yevropeyskoy chasti Rossii: sprav. monogr.* [Dangerous Natural Hydrometeorological Phenomena in Federal Districts of the European Part of Russia: reference monograph]. Obninsk, VNIIGMI-MCD, 311 p. (In Russian).

4. Berkovich K.M., Zlotina L.V., Turykin L.A., 2019. *Razmyv rechnykh beregov: faktory, mekhanizm, deyatel'nost' cheloveka* [Riverbank erosion: factors, mechanism, human activity]. *Geomorfologiya* [Geomorphology], no. 2, pp. 3-17, DOI: 10.31857/S0435-4281201923-17, EDN: LKKEKQ. (In Russian).

5. Tlyavlin R.M., Tlyavlina G.V., Drobotko S.Yu., 2011. *Fizicheskoe modelirovanie vzaimodeystviya volneniya s proektiruemymi beregoukrepitel'nyimi sooruzheniyami Imeretinskoy nizmennosti* [Physical modeling of interaction of waves with coastal protection structures in Imeretinskaya Lowland]. *Mezhdunarodnyy zhurnal po raschetu grazhdanskikh i stroitel'nykh konstruktсий* [International Journal of Computational Civil and Structural Engineering], vol. 7, no. 2, pp. 112-116, EDN: PZEXHP. (In Russian).

6. Tkachev A.A., Zarubin V.V., 2019. *Beregoukrepitel'nye konstruktсии v gidrotekhnicheskoy stroitel'stve* [Shore protection structures in hydrotechnical construction]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, vol. 11, no. 4-2, pp. 58-64, EDN: ZSZSFQ. (In Russian).

7. Eshev S.S., 2011. *Deformatsii otkosov bol'shikh kanalov v zemlyanom rusle pod deystviem poverkhnostnykh voln* [Deformations of slopes of large canals in the earth canal under the action of surface waves]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 6, pp. 26-28, EDN: ONJFVR. (In Russian).

8. Melnikova E.A., Egorova S.V., Lagunova V.V., 2013. *Problemy ekologicheskoy rehabilitatsii reki Desny i yeye pritokov r. Bolvy i r. Snezheti v cherte g. Bryanska* [The problem of environmental rehabilitation of the Desna River and its tributaries the Bolva and the Snezhet rivers within the city of Bryansk]. *Byulleten' nauchnykh rabot Bryanskogo filiala MIIT* [Bulletin of Scientific Works of the Bryansk branch of MII], no. 1(3), pp. 103-107, EDN: RABJYD. (In Russian).

9. Loginov G.I., Matviets V.V., Meiman U.B., 2018. *Ispol'zovanie regul'yatsionnykh sooruzheniy na uchastkakh rek* [Use of regulatory facilities in river sites]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo slavyanskogo universiteta* [Bulletin of Kyrgyz-Russian Slavic University], vol. 18, no. 4, pp. 107-111, EDN: XPASGT. (In Russian).

10. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2020. *Gidravlicheskaya effektivnost' orositel'nykh kanalov pri ekspluatatsii* [Hydraulic efficiency of irrigation channels during operation]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of MGSU], vol. 15, no. 8, pp. 1147-1162, DOI: 10.22227/1997-0935.2020.8.1147-1162, EDN: OUXBGA. (In Russian).

11. Baev O.A., Talalaeva V.F., 2022. [Structural and technological solutions for the irrigation canal coating creation and restoration]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 2, pp. 177-191, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1285> [accessed 20.06.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-2-177-191, EDN: XZWPZF. (In Russian).

12. Tkachev A.A., Slinko M.A., 2022. [Study of bank protection structures on the Kuma River in Stavropol Territory]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 1, pp. 213-227, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1269> [accessed 20.06.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-213-227, EDN: SMAWYI. (In Russian).

13. Kosichenko Y.M., Baev O.A., 2018. Geo-composite materials with preset properties and their application in hydraulic engineering construction. *Solid State Phenomena*, vol. 284, pp. 970-974, DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.284.970, EDN: MRNTDF.

14. Belay T.T., 2014. Perception of farmers on soil erosion and conservation practices in Dejen district, Ethiopia. *International Journal of Environmental Protection and Policy*, vol. 2, no. 6, pp. 224-229, DOI: 10.11648/j.ijep.20140206.15.

15. Barman T., 2016. Relation of riverbank erosion with agricultural landuse practices on floodplain of river Jaldhaka (Mansai) at Tikiner char, Bhowerthana village, Coochbehar, Westbengal, India. *International Journal of Research in Geography (IJRG)*, vol. 2, iss. 1, pp. 1-7, DOI: 10.20431/2454-8685.0202001.

Информация об авторах

А. А. Ткачев – заведующий кафедрой, доктор технических наук, доцент, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, Prof_al@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8060-620X;

Р. А. Карабашев – магистрант, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, gts_i_sm.nimi@mail.ru;

В. А. Невдах – магистрант, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, gts_i_sm.nimi@mail.ru;

В. Е. Чулков – магистрант, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, gts_i_sm.nimi@mail.ru.

Information about the authors

A. A. Tkachev – Head of the Department, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation, Prof_al@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8060-620X;

R. A. Karabashev – Master's Student, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation, gts_i_sm.nimi@mail.ru;

V. A. Nevdakh – Master's Student, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation, gts_i_sm.nimi@mail.ru;

V. E. Chulkov – Master's Student, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation, gts_i_sm.nimi@mail.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

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

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this 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 25.07.2024; одобрена после рецензирования 11.09.2024; принята к публикации 01.10.2024.

The article was submitted 25.07.2024; approved after reviewing 11.09.2024; accepted for publication 01.10.2024.