



Научная статья

УДК 627.8.04

doi: 10.55186/25876740_2022_65_5_459

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОГРАДИТЕЛЬНЫХ ДАМБ РЕКИ ПСЕКУПС В УСЛОВИЯХ ВОЗРАСТАЮЩИХ СТАТИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

**В.А. Волосухин, М.А. Бандурин, И.А. Приходько,
И.Д. Евтеева**

Кубанский государственный аграрный университет
имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Аннотация. Водохозяйственный комплекс любого региона состоит из гидротехнических сооружений различного класса, которые играют важную роль в различных отраслях народного хозяйства и экономики страны, из которых особое значение отводится энергетической, металлургической, водотранспортной, рыбо-хозяйственной, сельской отраслям. В России на сегодняшний день насчитывается около нескольких десятков тысяч километров грунтовых дамб обвалования и планируется строительство и последующий вод в эксплуатацию еще более 2000 км. Из более 2000 гидротехнических сооружений более 60% — это грунтовые плотины, на долю которых приходится более половины аварий. Согласно проведенным исследованиям установлено, что в сейсмических районах России преобладают грунтовые плотины. В свою очередь, все гидротехнические сооружения являются накопителями больших объемов кинетической энергии водных масс, а ввиду того, что большинство из них грунтовые, в том числе в сейсмоопасных районах, то обеспечение их безопасности — сейсмостойкости является приоритетной и актуальной задачей, а ее решение обеспечит стратегическую и энергетическую безопасность России. Строительство гидротехнических сооружений приводит к изменению исторически сложившихся гидрологических режимов рек, что может послужить причиной превышения расчетных уровней и расходов в катастрофически многоводные периоды и вызвать разрушение плотины и/или ее гребня. Также причиной разрушения плотины и/или ее гребня могут быть ошибки в расчетах устойчивости гидротехнических сооружений, что в случае землетрясения может привести к человеческим жертвам, а также серьезным экономическим и экологическим последствиям. В статье выполнены расчеты устойчивости низового откоса оградительной плотины долины р. Псекупс в различных сечениях при уровне воды в Краснодарском водохранилище на отметке НПУ и при действии сейсмических нагрузок. Установлено, что значения коэффициента устойчивости оградительной плотины долины р. Псекупс во всех расчетных створах больше допустимого.

Ключевые слова: дамба, плотина, имитационное моделирование, математическая модель, устойчивость низового откоса

Благодарности: исследование выполнено при поддержке РФФИ и Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № 22-17-20001.

Original article

SIMULATION MODELING OF STABILITY OF PSECUPS RIVER PROTECTIVE DAMS UNDER INCREASING STATIC AND SEISMIC IMPACTS

**V.A. Volosukhin, M.A. Bandurin, I.A. Prikhodko,
I.D. Evteeva**

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin,
Krasnodar, Russia

Abstract. The water management complex of any region consists of hydraulic structures of various classes, which play an important role in various sectors of the national economy and the economy of the country, of which particular importance is given to the energy, metallurgical, water transport, fisheries, and rural industries. In Russia today, there are about several tens of thousands of kilometers of soil embankment dams and it is planned to build and subsequently put into operation more than 2000 km. Of more than 2000 hydraulic structures, more than 60% are earth dams, which account for more than half of the accidents. According to the conducted studies, it has been established that earth dams predominate in the seismic regions of Russia. In turn, all hydraulic structures are accumulators of large volumes of kinetic energy of water masses, and in view of the fact that most of them are ground, including those in seismically hazardous areas, ensuring their safety — seismic resistance is a priority and urgent task, and its solution will provide a strategic and energy security of Russia. The construction of hydraulic structures leads to a change in the historical hydrological regimes of rivers, which can cause the calculated levels and discharges to be exceeded in catastrophically high-water periods and cause the destruction of the dam and/or its crest. Also, the cause of the destruction of the dam and/or its crest may be errors in the calculations of the stability of hydraulic structures, which in the event of an earthquake can lead to human casualties, as well as serious economic and environmental consequences. In the article, calculations of the stability of the downstream slope of the protective dam of the valley of the river are carried out Psekups in various sections at the water level in the Krasnodar reservoir at the normal backed level mark and under the action of seismic loads. It has been established that the values of the coefficient of stability of the barrier dam of the valley of the river Psekups in all calculated sections is more than allowed.

Keywords: masonry-cum-earth dam, barrage, simulation modeling, mathematical model, downstream slope stability

Acknowledgments: the research was carried out with the financial support of the Russian Foundation and the Kuban Science Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 22-17-20001.

Введение. Эффективным способом снижения ущерба от паводков и наводнений является использование имитационных математических моделей пропуска паводков с учетом совместной работы водохранилищ, дамб обвалования рек с учетом базы данных по реальному техническому состоянию противопаводковой системы, полученной с использованием неразрушающих методов и спутниковых технологий.

Математическое моделирование неустановившегося режима потока основано на разработке и решении математических зависимостей, полученных одним из крупнейших французских ученых XIX в. Барре де Сен-Венан (1797-1886 гг.). Практическое применение уравнения Сен-Венана в русловой гидротехнике получили только в конце XX в. в связи с развитием ЭВМ.

Из анализа отечественных работ по вычислительной гидравлике открытых русел следует, что наибольший вклад сделан отечественными учеными — В.А. Архангельским, А.А. Атовичем, В.В. Беликовым, А.Ф. Воеводиным, М.А. Волыновым, М.Т. Гладышевым, М.С. Грушевским, Н.М. Евстегнеевым, И.Б. Историком, А.В. Караушевым, Н.Е. Кондратьевым, И.Ф. Карасевым, В.Н. Коханенко, Л.С. Кучмента, Л.К. Левит-Гуревич, В.М. Ляхтер, А.Н. Милентеевым, В.М. Маккавеевым, В.С. Никифоровским, В.Г. Пряжинской, И.В. Поповым, А.М. Прудовским, Н.А. Притвицом, Л.И. Розенбергом, М.И. Русиновым, А.А. Самарским, Б.Ф. Сниценко, В.И. Феодосьевым, А. Христиановичем и другими и зарубежными авторами — Н. Винер, Р. Курант, Х. Леви, Дж. Нейман, Л. Ричардсон, Р. Рахтмайер, Б. Сен-Венан, Дж. Стокер, Р. Саусвелла, К. Фридрихс, К. Флетчер, М. Эббот и другими [1-5].

Имитационное математическое моделирование позволяет оптимизировать режим работы водосбросных сооружений противопаводковой системы для летних и зимних паводков, для условий возникновения заторов и возникновения нагонных явлений. Все это позволяет выработать конкретные противопаводковые мероприятия до, в период и после прохождения паводка.

Материал и методика исследований. Эффективность инженерной защиты от паводков во многом зависит от технического состояния противопаводковой системы. Имитационное математическое моделирование позволяет определить те участки системы, которые требуют первоочередного вложения средств.

Несмотря на обилие научных работ, программных комплексов сравнительно немного, из них следует выделить разработанные в США, Голландии и России. Созданный в России программный продукт по численному расчету уравнения Сен-Венана фактически может использоваться только разработчиками — А.Н. Милентеевым, В.В. Беликовым и В.В. Кочетковым (ОАО «НИИЭС») [6-8]. Наибольшей проработкой и широким применением практически во всех ведущих странах мира является голландский программный продукт — MIKE 11. Отличительной его особенностью является то, что авторы постоянно совершенствуют и упрощают требования к пользователям. В основе имеющихся программных продуктов [9], в том числе и MIKE 11, лежит численное решение уравнений неразрывности и сохранения количества движения Сен-Венана [10].

Уравнение неразрывности:

$$\frac{dQ}{dx} + \frac{dA}{dt} = q.$$

Уравнение количества движения (динамическое движение):

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{d(\alpha Q^2/A)}{dx} + gA \frac{dh}{dx} + \frac{gQ|Q|}{C^2AR} = 0,$$

где Q — расход потока; q — боковой приток (отток); h — глубина потока; A — площадь сечения потока; R — гидравлический радиус; C — коэффициент Шези; α — коэффициент Буссинеска; g — ускорение силы тяжести; x — длина (свободная координата); t — время (свободная координата).

Численная схема позволяет рассчитывать докритические (спокойные) и сверхкритические (бурные) потоки. В модуль включены блоки, описывающие работу гидротехнических сооружений [11], в том числе управляемых. Гидравлическое сопротивление русла рассчитывается по формуле Павловского:

$$C = \frac{R^y}{n} = MR^y,$$

где C — коэффициент Шези; R — гидравлический радиус; n — коэффициент шероховатости (по Маннингу); M — коэффициент шероховатости (по Гоклеу).

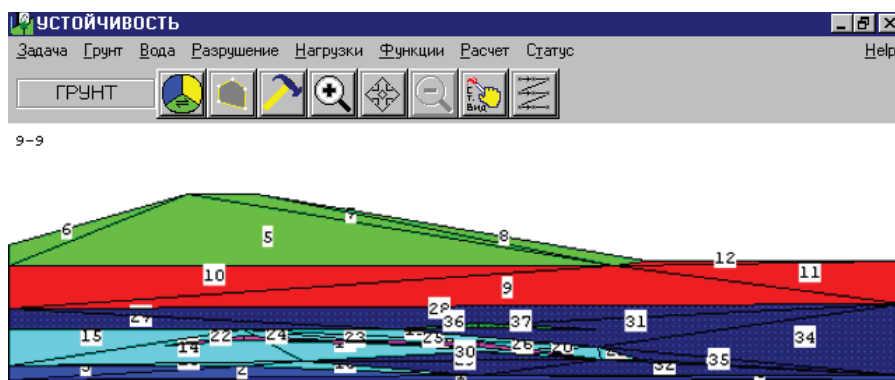


Рисунок 1. Разбитие на расчетные подобласти сечения IX – IX' оградительной плотины долины р. Псекупс
Figure 1. Division into calculated sub-sections of the section IX – IX' of the barrier dam of the valley of the river Psekups

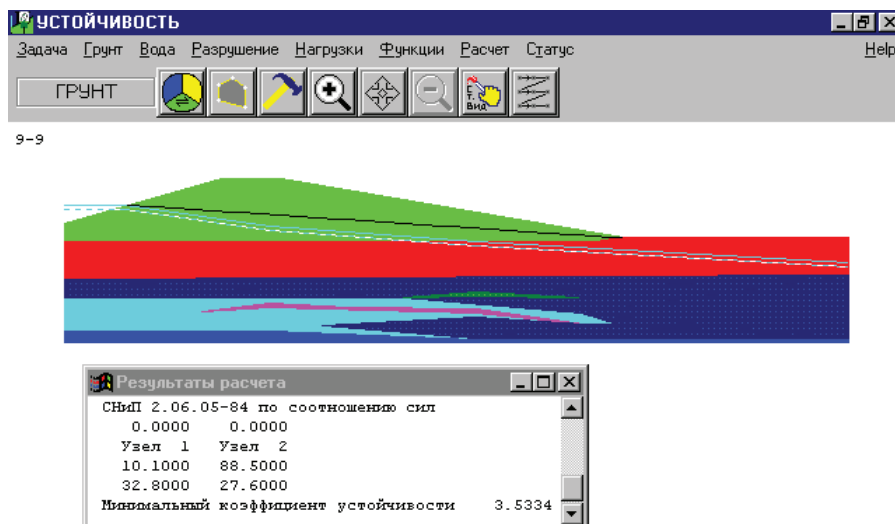


Рисунок 2. Результаты расчета устойчивости низового откоса оградительной плотины долины р. Псекупс в расчетном сечении IX – IX'
Figure 2. The results of the calculation of the stability of the downstream slope of the barrier dam of the valley of the river Psekups in the calculated section IX – IX'



Результаты и их обсуждение. Рассмотрим пример имитационного моделирования устойчивости оградительных дамб на р. Псекупс в условиях статических и сейсмических воздействий.

Расчет устойчивости оградительной плотины долины р. Псекупс, отсыпанной сухим

способом с уплотнением длиной 5,7 км, с максимальной высотой плотины 11,5 м, шириной по гребню 8 м, с абсолютной отметкой верха 37,20 м, с заложением верхового откоса $m_в=3,5$, закрепленного железобетонными плитами толщиной 16-25 см и низовым задержанным откосом $m_н=3,5$, выполнен с исполь-

зованием программного комплекса «УСТОЙЧИВОСТЬ». Комплекс был апробирован ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева при расчетном обосновании плотин Ирганайской, Зарамагской, Колымской, Воткинской, Усть-Среднеканской, Усть-Илимской ГЭС и других грунтовых сооружений [12].

При вводе параметров оградительной плотины р. Псекупс использованы результаты натуральных исследований по 16 скважинам в 8 расчетных створах, выполненные отделом геологии и гидрогеологии ОАО «Кубаньводпроект», а также топографо-геодезические расчеты, выполненные отделом топографии ОАО «Кубаньводпроект», и данные лабораторных исследований грунтов и подземных вод, выполненные в лаборатории НИО «Гея-НИИ» дочернего предприятия ОАО «Кубаньводпроект» [13]. Использованы также данные отчета о натуральных геофизических исследованиях оградительной плотины долины р. Псекупс, выполненные ООО «ИнжСтройИзыскание», позволившие уточнить границы инженерно-геологических элементов грунтов и определить динамические свойства плотины и основания, которые использованы при расчете оградительной плотины на сейсмические нагрузки [14].

В целом при выполнении работы рассмотрено более 100 тыс. возможных расчетных случаев в 8 расчетных створах на статические и сейсмические нагрузки. Физико-механические свойства грунтов вводились по разрезам, и было произведено разбиение сечений на расчетные подобласти, пример представлен на рисунке 1.

Различие методов расчета устойчивости откосов земляных плотин описано подробно в книгах профессоров Р.Р. Чугаева, А.Л. Можевитинова, А.А. Ничипорожного, Л.Н. Рассказова, И.М. Волкова и др. [15-17].

На рисунках 2-5 приведены примеры расчета устойчивости оградительной плотины долины р. Псекупс разными методами: СНиП 2.06.05-84*, методом Крея, методом Терцаги, методом ВНИИГ — Терцаги, методом Можевитинова.

По данным Института физики земли РАН и Государственного доклада МЧС России в ближайшие годы на юге России прогнозируется значительное землетрясение, что повышает актуальность расчета гидротехнических сооружений (ГТС) на сейсмические воздействия [18].

Выводы. По результатам работы установлено, что коэффициент устойчивости оградительной плотины долины р. Псекупс при уровне воды в Краснодарском водохранилище на отметке НПУ при действии сейсмических нагрузок по СНК 22-301-2000 «Строительство в сейсмических районах Краснодарского края» во всех расчетных створах выше допускаемого СП 58.13330.2012 и СП 14.13330.2018 [19]:

- в расчетном створе II – III' $k_y=2,35$;
- в расчетном створе III – III' $k_y=1,81$;
- в расчетном створе IV – IV' $k_y=3,52$;
- в расчетном створе V – V' $k_y=1,77$;
- в расчетном створе VI – VI' $k_y=1,90$;
- в расчетном створе VII – VII' $k_y=1,73$;
- в расчетном створе VIII – VIII' $k_y=2,02$;
- в расчетном створе IX – IX' $k_y=3,53$.

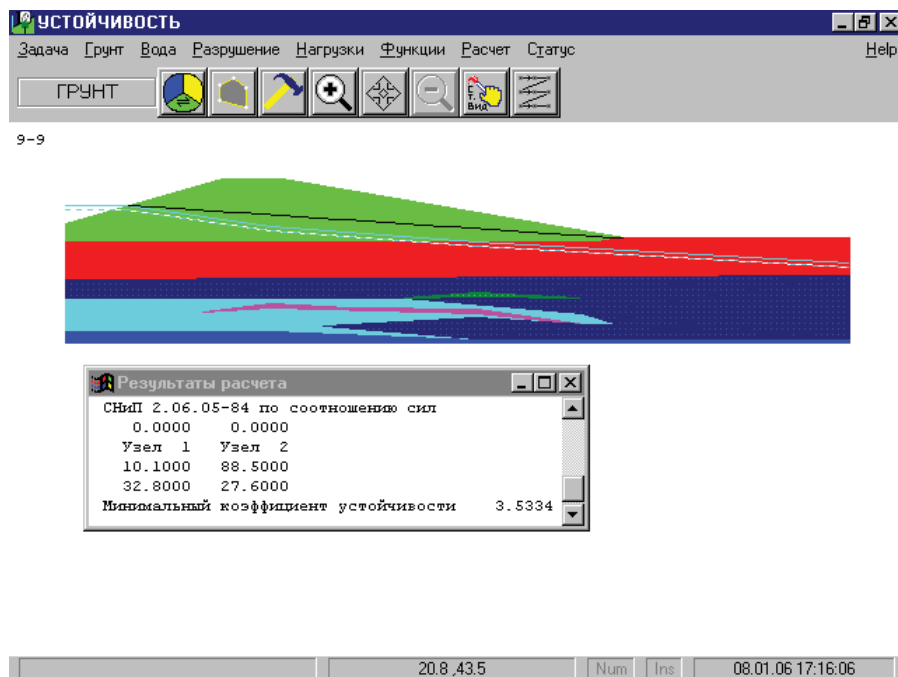


Рисунок 3. Результаты расчета устойчивости низового откоса оградительной плотины долины р. Псекупс в расчетном сечении IX – IX'

Figure 3. The results of the calculation of the stability of the downstream slope of the barrier dam of the valley of the river Psekups in the calculated section IX – IX'

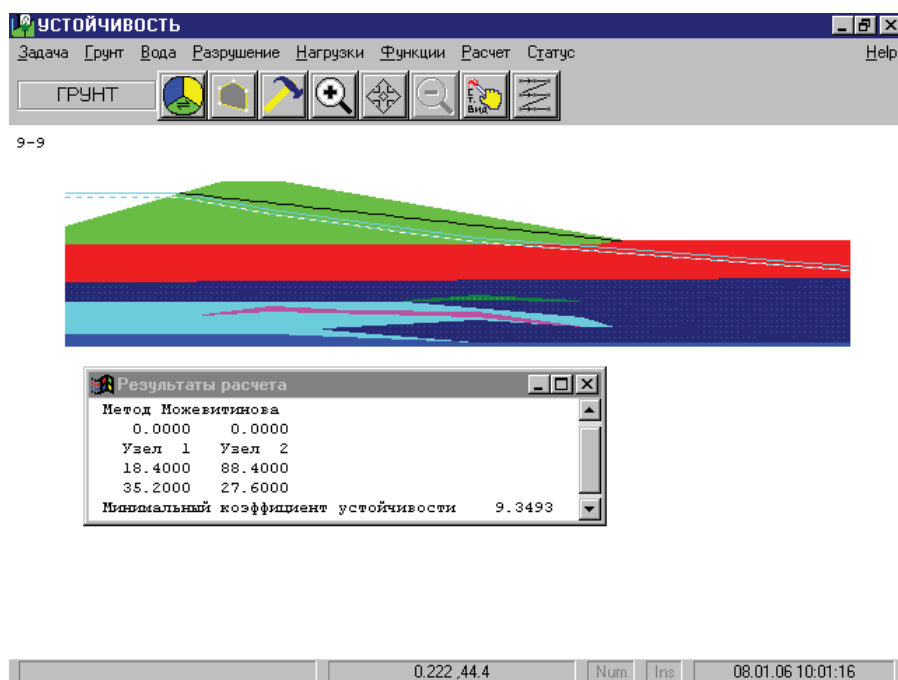


Рисунок 4. Результаты расчета устойчивости низового откоса оградительной плотины долины р. Псекупс в расчетном сечении IX – IX' для второго расчетного случая ($\Phi У = 35,23$) по методу Можевитинова

Figure 4. The results of the calculation of the stability of the downstream slope of the barrier dam of the valley of the river Psekups in the calculated section IX – IX' for the second design case (farce level = 35.23) according to the Mozhevitinov method



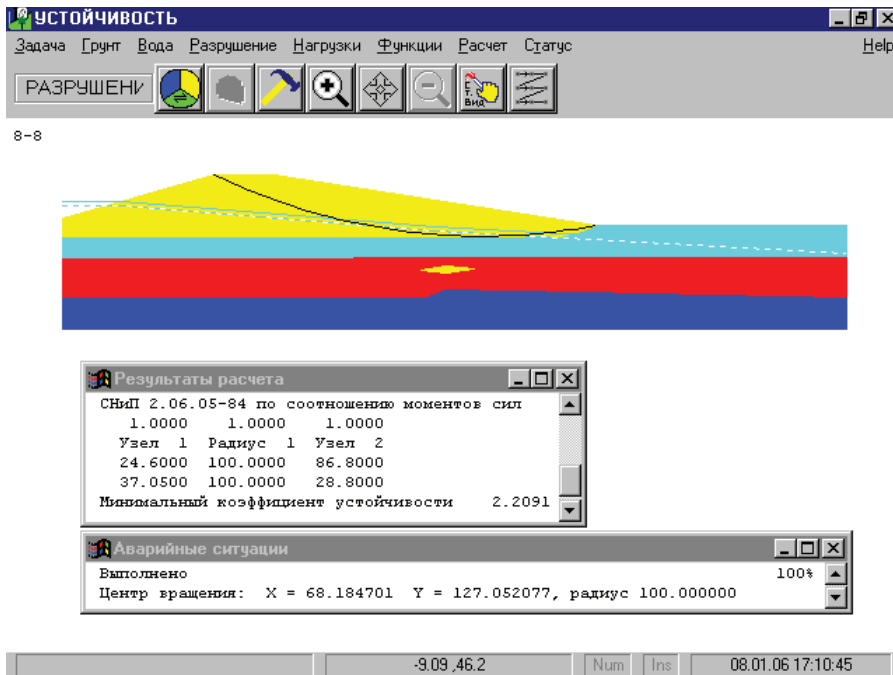


Рисунок 5. Результаты расчета устойчивости низового откоса оградительной плотины долины р. Псекупс в расчетном сечении VIII – VIII'
 Figure 5. The results of the calculation of the stability of the downstream slope of the barrier dam of the valley of the river Psekups in design section VIII – VIII'

Сейсмические нагрузки снижают значение коэффициента устойчивости:

- в расчетном створе II – II' на 30,3%;
- в расчетном створе III – III' на 21,3%;
- в расчетном створе IV – IV' на 60,6%;
- в расчетном створе V – V' на 25,2%;
- в расчетном створе VI – VI' на 28,9%;
- в расчетном створе VII – VII' на 25,2%;
- в расчетном створе VIII – VIII' на 18,4%;
- в расчетном створе IX – IX' на 62,2%.

Для второго расчетного случая (уровень воды в Краснодарском водохранилище на уровне ФУ=35,23, сейсмические нагрузки отсутствуют) коэффициент устойчивости оградительной плотины долины р. Псекупс во всех расчетных створах больше допустимого по СП 58.13330.2012.

Для второго расчетного случая (ФУ=35,23) коэффициент устойчивости оградительной плотины долины р. Псекупс ниже, чем для первого расчетного случая (НПУ 32,75 без учета сейсмических нагрузок) на 5% (II – II')-10% (VI – VI').

Список источников

1. Дубенко Н.Н., Бенин Д.М., Мочунова Н.А. Роль института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова в становлении и развитии мелиорации страны // Природообустройство. 2020. № 5. С. 6-17.
2. Кузнецов Е.В. Хаджиди А.Е. Приходько И.А. Способ подготовки почвы к посеву риса в паровом поле рисового севооборота // Патент № 2457650 С1 Российская Федерация, МПК А01В 79/02, А01Г 16/00. № 2010153809/13; заявл. 27.12.2010; опубл. 10.08.2012; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». 6 с.

3. Юрченко И.Ф. Информационные технологии и организация информационных ресурсов управления агроэкосистемами: прошлое, настоящее, будущее // Modern Science. 2019. № 12-2. С. 13-16.

4. Safronova, T.I., Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Sergeev, A.E. (2020). Optimization problem in mathematical modeling of technological processes of economic activity on rice irrigation systems. E3S Web of Conferences: 8, Rostov-on-Don, August 19-30, 2020. Rostov-on-Don, p. 05014. doi: 10.1051/e3sconf/202012005014

5. Чеботарев М.И., Приходько И.А. Способ мелиорации почвы рисовой оросительной системы к посеву риса // Патент № 2482663 С2 Российская Федерация, МПК А01Г 16/00. № 2011123829/13; заявл. 10.06.2011; опубл. 27.05.2013; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». 6 с.

6. Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Safronova, T.I., Chebanova, E.F. (2020). Water regime formation of river basins in the delta zone on the example of the Azov region. E3S Web of Conferences: 13, Rostov-on-Don, February 26-28, 2020. Rostov-on-Don, p. 12010. doi: 10.1051/e3sconf/202017512010

7. Юрченко И.Ф. Технологии прецизионного управления мелиоративным режимом агроэкосистем // В сборнике: Научно-методическое обеспечение развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса: сборник научных трудов. М., 2020. С. 222-233.

8. Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Verbitsky, A.Y. (2019). Justification of rice watering methods and crop cultures. Journal of Agriculture and Environment, no. 1 (9), p. 15. doi: 10.23649/jae.2019.1.9.15

9. Кружилин И.П., Ганиев М.А., Кузнецова Н.В., Родин К.А. Водопотребление риса и удельные затраты на формирование урожая зерна при разных способах полива // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1 (49). С. 108-117.

10. Кружилин И.П., Ганиев М.А., Родин К.А., Кузнецова Н.В. Менее водозатратная и экологически предпочтительная технология орошения риса периодическими поливами // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2 (54). С. 49-55.

11. Bandurin, M.A., Volosukhin, V.A., Vanzha, V.V. (2018). Technology for water economy monitoring of technical state of closed drainage on irrigation systems. Materials Science Forum, no. 931, pp. 214-218.

12. Юрченко И.Ф. Плано-предупредительные мероприятия повышения надежности мелиоративных объектов // Природообустройство. 2017. № 1. С. 73-79.

13. Volosukhin, V.A., Bandurin, M.A., Vanzha, V.V., Mikheev, A.V., Volosukhin, Y.V. (2018). Numerical analysis of static strength for different damages of hydraulic structures when changing stressed and strained state. Journal of Physics: Conference Series: International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 — Enterprise Information Systems. Tomsk, Institute of Physics Publishing, p. 042061.

14. Солoduнов А.А., Бандурин М.А. Вопросы безопасной эксплуатации внутрихозяйственной сети рисовых оросительных систем // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник тезисов по материалам Всероссийской (национальной) конференции / отв. за выпуск А.Г. Кошаев. 2019. С. 492-493.

15. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Необходимость многофакторной диагностики Донской шлюзованной системы в условиях роста дефицита водных ресурсов и безопасности сооружений // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2017. Т. 9. № 2. С. 346-354.

16. Дьяченко В.Б., Бандурин М.А. Мониторинг длительно эксплуатируемых мелиоративных систем с помощью неразрушающих методов диагностики // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2009. № 21. С. 169-171.

17. Карпенко Н.П., Юрченко И.Ф. Теоретическое обоснование структуры классификатора критериев безопасности ГТС мелиоративного водохозяйственного комплекса // Природообустройство. 2015. № 1. С. 12-15.

18. Bandurin, M.A., Rudenko, A.A., Bandurina, I.P., Prikhodko, I.A. (2022). Reducing the anthropogenic impact of natural risks on small rivers in the south of Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International Science and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022 — Chapter 3", p. 042037.

19. Bandurin, M.A., Yurchenko, I.F., Bandurina, I.P. (2019). Computer technology to assess the capacity reserve of the irrigation facilities of the agro-industrial complex. 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019, p. 8933970.

20. Safronova, T.I., Degtyareva, O.G., Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A. (2018). Price characteristics of the project to construct the precipitation runoff system regulation. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, vol. 9, no. 6, pp. 1845-1852.

References

1. Dubenok, N.N., Benin, D.M., Mochunova, N.A. (2020). Rol' instituta melioratsii, vodnogo khozyaistva i stroitel'stva imeni A.N. Kostyakova v stanovlenii i razviii melioratsii strany [The role of the Institute of Land Reclamation and Water Resources and Construction named after A.N. Kostyakova in the formation and development of land reclamation of the country]. Prirodoobustroistvo [Environmental engineering], no. 5, pp. 6-17.



2. Kuznetsov, E.V. Khadzidi, A.E. Prikhod'ko, I.A. (2012). *Sposob podgotovki pochvy k posevu risa v parovom pole risovogo sevooborota* [Method of soil preparation for sowing rice in a fallow field of rice crop rotation]. Applicant and patentee Kuban GAU No. 2010153809/13; app. 12/27/2010; publ. 10.08.2012, 6 p.
3. Yurchenko, I.F. (2019). Informatsionnye tekhnologii i organizatsiya informatsionnykh resursov upravleniya agroekosistemami: proshloe, nastoyashchee, budushchee [Information technology and organization of information resources for agroecosystem management: past, present, future]. *Modern Science*, no. 12-2, pp. 13-16.
4. Safronova, T.I., Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Sergeyev, A.E. (2020). *Optimization problem in mathematical modeling of technological processes of economic activity on rice irrigation systems*. E3S Web of Conferences: 8, Rostov-on-Don, August 19-30, 2020. Rostov-on-Don, p. 05014. doi: 10.1051/e3sconf/202021005014
5. Chebotarev, M.I., Prikhod'ko, I.A. (2013). *Sposob melioratsii pochvy risovoi orositel'noi sistemy k posevu risa* [The method of soil reclamation of the rice irrigation system for sowing rice]. Applicant and patentee Kuban GAU No. 2011123829/13; app. 06/10/2011; publ. 05.27.2013, 6 p.
6. Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Safronova, T.I., Chebanova, E.F. (2020). *Water regime formation of river basins in the delta zone on the example of the Azov region*. E3S Web of Conferences: 13, Rostov-on-Don, February 26-28, 2020. Rostov-on-Don, p. 12010. doi: 10.1051/e3sconf/202017512010
7. Yurchenko, I.F. (2020). *Tekhnologii pretsizionnogo upravleniya meliorativnym rezhimom agroekosistem* [Technologies for precision management of the reclamation regime of agroecosystems]. *V sbornike: Nauchno-metodicheskoe obespechenie razvitiya meliorativno-vodokhozyaystvennogo kompleksa: sbornik nauchnykh trudov* [In the collection: Scientific and methodological support for the development of a reclamation and water management complex. Collection of scientific papers]. Moscow, pp. 222-233.
8. Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A., Verbitsky, A.Y. (2019). Justification of rice watering methods and crop cultures. *Journal of Agriculture and Environment*, no. 1 (9), p. 15. doi: 10.23649/jae.2019.1.9.15
9. Kruzhilin, I.P., Ganiev, M.A., Kuznetsova, N.V., Rodin, K.A. (2018). *Vodopotreblenie risa i udel'nye zatraty na formirovanie urozhaya zerna pri raznykh sposobakh poliva* [Rice water consumption and unit costs for grain yield formation with different irrigation methods]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education], no. 1 (49), pp. 108-117.
10. Kruzhilin, I.P., Ganiev, M.A., Rodin, K.A., Kuznetsova, N.V. (2019). *Menee vodozatrattaya i ehkologicheski predpochtitel'naya tekhnologiya orosheniya risa periodicheskimi polivami* [Less water-intensive and environmentally preferable technology for irrigating rice with periodic irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education], no. 2 (54), pp. 49-55.
11. Bandurin, M.A., Volosukhin, V.A., Vanzha, V.V. (2018). *Technology for water economy monitoring of technical state of closed drainage on irrigation systems*. *Materials Science Forum*, no. 931, pp. 214-218.
12. Yurchenko, I.F. (2017). *Planovo-predupreditel'nye meropriyatiya povysheniya nadezhnosti meliorativnykh ob'ektov* [Scheduled preventive measures to improve the reliability of land reclamation facilities]. *Prirodobustroistvo* [Environmental engineering], no. 1, pp. 73-79.
13. Volosukhin, V.A., Bandurin, M.A., Vanzha, V.V., Mikheev, A.V., Volosukhin, Y.V. (2018). *Numerical analysis of static strength for different damages of hydraulic structures when changing stressed and strained state*. *Journal of Physics: Conference Series: International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 — Enterprise Information Systems*. Tomsk, Institute of Physics Publishing, p. 042061.
14. Solodunov, A.A., Bandurin, M.A. (2019). *Voprosy bezopasnoi ehkspluatatsii vnutrikhozyaystvennoi seti risovykh orositel'nykh sistem* [Issues of safe operation of the on-farm network of rice irrigation systems]. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sbornik tezisov po materialam Vserossiiskoi (natsional'noi) konferentsii* [Scientific support of the agro-industrial complex. Collection of abstracts based on the materials of the All-Russian (national) conference], pp. 492-493.
15. Volosukhin, V.A., Bandurin, M.A. (2017). *Neobkhodimost' mnogofaktornoj diagnostiki Donskoi shlyuzovannoi sistemy v usloviyakh rosta defitsita vodnykh resursov i bezopasnosti sooruzhenii* [The need for multifactorial diagnostics of the Donskoy sluice system in the conditions of growing water resources deficit and the safety of facilities]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*, vol. 9, no. 2, pp. 346-354.
16. D'yachenko, V.B., Bandurin, M.A. (2009). *Monitoring dlitel'no ehkspluatiruemyykh meliorativnykh sistem s pomoshch'yu nerazrushayushchikh metodov diagnostiki* [Monitoring of long-term operated reclamation systems using non-destructive diagnostic methods]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Kuban State Agrarian University], no. 21, pp. 169-171.
17. Karpenko, N.P., Yurchenko, I.F. (2015). *Teoreticheskoe obosnovanie struktury klassifikatora kriteriev bezopasnosti GTS meliorativnogo vodokhozyaystvennogo kompleksa* [Theoretical substantiation of the structure of the classifier of safety criteria for hydraulic structures of the reclamation water management complex]. *Prirodobustroistvo* [Environmental engineering], no. 1, pp. 12-15.
18. Bandurin, M.A., Rudenko, A.A., Bandurina, I.P., Prikhodko, I.A. (2022). *Reducing the anthropogenic impact of natural risks on small rivers in the south of Russia*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International Science and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022 — Chapter 3*, p. 042037.
19. Bandurin, M.A., Yurchenko, I.F., Bandurina, I.P. (2019). *Computer technology to assess the capacity reserve of the irrigation facilities of the agro-industrial complex*. *2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019*, p. 8933970.
20. Safronova, T.I., Degtyareva, O.G., Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A. (2018). *Price characteristics of the project to construct the precipitation runoff system regulation*. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, vol. 9, no. 6, pp. 1845-1852.

Информация об авторах:

- Волосухин Виктор Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, профессор кафедры сопротивления материалов, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9029-7802>, director@ibgts.ru
- Бандурин Михаил Александрович**, доктор технических наук, доцент, заслуженный изобретатель РФ, декан факультета гидромелиорации, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0986-8848>, chepura@mail.ru
- Приходько Игорь Александрович**, кандидат технических наук, доцент, исполняющий обязанности заведующего кафедрой строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, prihodkoigor2012@yandex.ru
- Евтеева Ирина Дмитриевна**, обучающаяся 2 курса бакалавриата факультета гидромелиорации, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8168-0698>, missevteeva@yandex.ru

Information about the authors:

- Viktor A. Volosukhin**, doctor of technical sciences, professor, honored worker of science of the Russian Federation, honorary worker of higher professional education of the Russian Federation, professor of the department of strength of materials, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9029-7802>, director@ibgts.ru
- Mikhail A. Bandurin**, doctor of technical sciences, associate professor, honored inventor of the Russian Federation, dean of the faculty of hydroreclamation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0986-8848>, chepura@mail.ru
- Igor A. Prikhodko**, candidate of technical sciences, associate professor, acting head of the department of construction and operation of water facilities, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, prihodkoigor2012@yandex.ru
- Irina D. Evteeva**, 2nd year undergraduate student of the faculty of hydromelioration, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8168-0698>, missevteeva@yandex.ru

