

ISSN: 2686-7877 (print)
2686-8385 (online)

ГИДРОСФЕРА

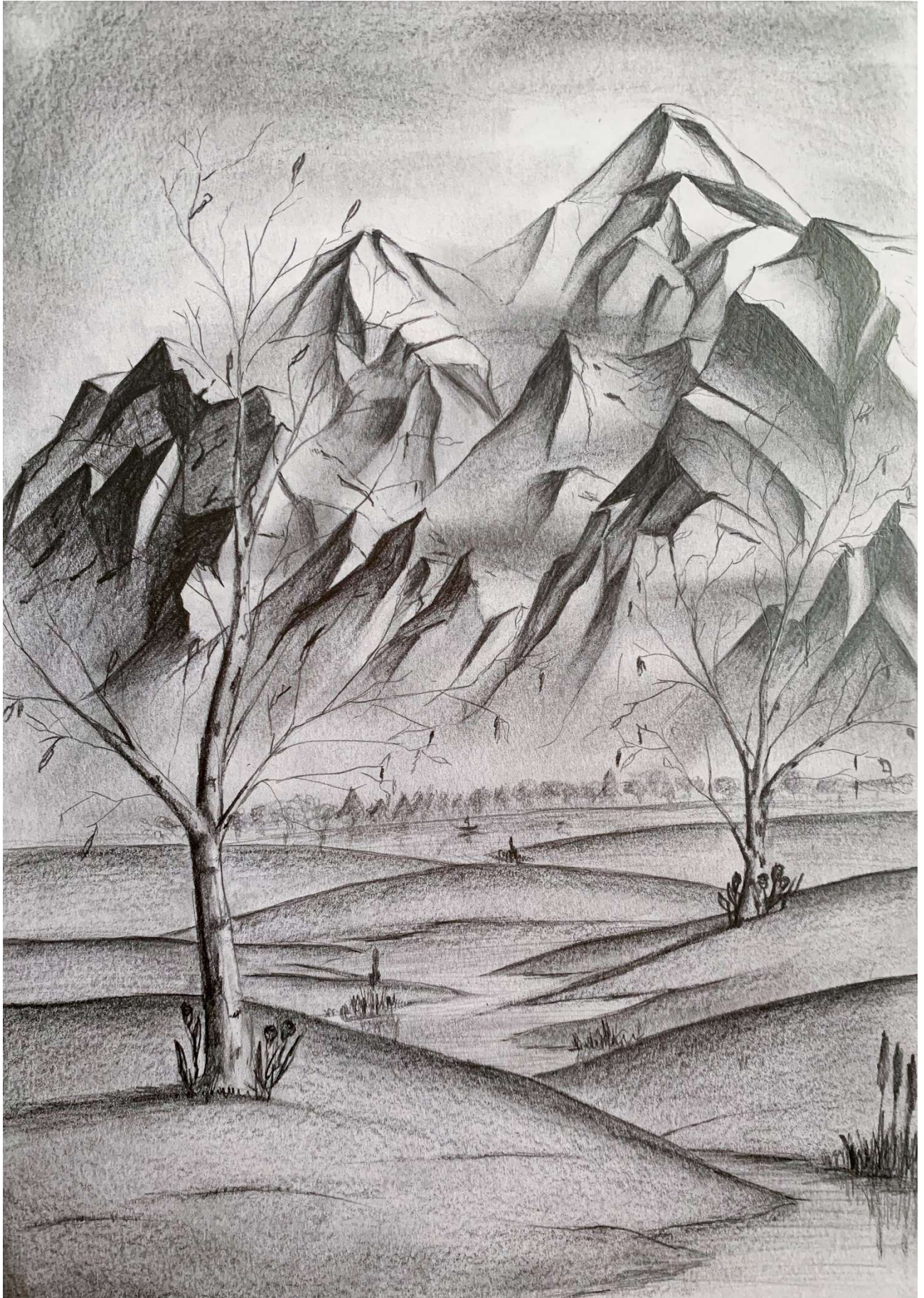
ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ



www.hydro-sphere.ru

Том 2

Выпуск 3



**ГИДРОСФЕРА.
ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ****Том 2, Выпуск 3****Выходит 4 раза в год****ISSN 2686-7877 (print)****2686-8385 (online)****Учредители журнала**

Научно-исследовательский центр «Геодинамика»
Научно-производственное объединение
«Гидротехпроект»
Институт водных проблем Российской академии
наук

Главный редактор

академик РАН **Г.И. Долгих**, Дальневосточное
отделение Российской академии наук,
заместитель председателя (г. Владивосток,
Россия)

Заместители главного редактора

докт. техн. наук **А.Ю. Виноградов**, Научно-
производственное объединение «Гидротехпроект»,
генеральный директор (г. Санкт-Петербург,
Россия)

член-корреспондент РАН **А.Н. Гельфан**,
Институт водных проблем Российской академии
наук, директор (г. Москва, Россия)

канд. геол.-мин. наук, доц. **Н.А. Казаков**,
Научно-исследовательский центр
«Геодинамика», директор (г. Южно-Сахалинск,
Россия)

докт. геогр. наук, с.н.с. **Д.А. Субетто**, Российский
государственный педагогический университет
им. А.И. Герцена, декан факультета географии
(г. Санкт-Петербург, Россия)

Ответственный секретарь

докт. геогр. наук, доц. **В.А. Обызов**, Научно-
производственное объединение «Гидротехпроект»,
технический директор (г. Санкт-Петербург,
Россия), телефон +7(812)313-83-48, e-mail:
td@npogtp.ru.

**HYDROSPHERE.
HAZARD PROCESSES AND PHENOMENA
(GIDROSFERA.
OPASNYE PROTSESSY I YAVLENIYA)****Volume 2, Issue 3****Issued 4 times per year****ISSN 2686-7877 (print)****2686-8385 (online)****Founders**

Research Center «Geodynamics»
Scientific Production Association «Gidrotechproekt»
Institute of Water Problems of the Russian Academy
of Sciences

Editor-In-Chief

Grigoriy I. Dolgikh, Academician of the Russian
Academy of Sciences, Vice-chairman of the Far
Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
(Vladivostok, Russia).

Deputy Editor-In-Chief

Alexander N. Gelfan, Corresponding Member of the
Russian Academy of Sciences, Director of the
Institute of Water Problems of the Russian Academy
of Sciences (Moscow, Russia).

Nikolay A. Kazakov, Associate Professor, Director
of the Research Center «Geodynamics» (Yuzhno-
Sakhalinsk, Russia).

Dmitriy A. Subetto, Doctor of Science, Dean of the
Faculty of Geography of the Herzen State
Pedagogical University of Russia (St. Petersburg,
Russia).

Alexey Yu. Vinogradov, Doctor of Science, Director
of the Scientific Production Association
«Gidrotechproekt» (St. Petersburg, Russia).

Executive Editor

Viktor A. Obyazov, Doctor of Science, Technical
director of the Scientific Production Association
«Gidrotechproekt» (St. Petersburg, Russia), tel.
+7(812)313-83-48, e-mail: td@npogtp.ru.

Редакционный совет

академик РАН **Г.И. Долгих**, Дальневосточное отделение Российской академии наук, заместитель председателя (г. Владивосток, Россия)

докт. техн. наук **А.Ю. Виноградов**, Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», генеральный директор (г. Санкт-Петербург, Россия)
 член-корреспондент РАН **А.Н. Гельфан**, Институт водных проблем Российской академии наук, директор (г. Москва, Россия)

канд. геол.-мин. наук, доц. **Н.А. Казаков**, Научно-исследовательский центр «Геодинамика», директор (г. Южно-Сахалинск, Россия)

докт. геогр. наук, с.н.с. **Д.А. Субетто**, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, декан факультета географии (г. Санкт-Петербург, Россия)

докт. геогр. наук, доц. **В.А. Обязов**, Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», технический директор (г. Санкт-Петербург, Россия)
 проф. **Ф. Вэй**, Институт зеленых и интеллектуальных технологий Китайской академии наук, заместитель директора (г. Чунцин, КНР)

проф. **К. Нишимура**, Японская ассоциации снега и льда, президент (г. Токио, Япония)

докт. **С. Фукс**, Институт горных рисков Университета природных ресурсов и наук о жизни, заместитель директора (г. Вена, Австрия)

Редакционная коллегия

докт. биол. наук **В.Н. Безносков**, Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», главный научный сотрудник (г. Санкт-Петербург, Россия)

докт. геогр. наук **В.П. Благовещенский**, Институт географии Республики Казахстан, заведующий лабораторией природных опасностей (г. Алматы, Казахстан)

докт. физ.-мат. наук **Ф.Ф. Брюхань**, Московский государственный строительный университет, профессор кафедры инженерных изысканий и геоэкологии (г. Москва, Россия)

канд. геогр. наук, с.н.с. **Т.А. Виноградова**, Санкт-Петербургский государственный университет, доцент кафедры гидрологии суши (г. Санкт-Петербург, Россия)
 член-корреспондент РАН **Е.Ж. Гармаев**, Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, директор (г. Улан-Удэ, Россия)

Editorial Council

Grigoriy I. Dolgikh, Academician of the Russian Academy of Sciences, Vice-chairman of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Vladivostok, Russia).

Alexander N. Gelfan, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia).

Nikolay A. Kazakov, Ph.D., Associate Professor, Director of the Research Center «Geodynamics» (Yuzhno-Sakhalinsk, Russia).

Dmitriy A. Subetto, Doctor of Science, Dean of the Faculty of Geography of the Herzen State Pedagogical University (St. Petersburg, Russia).

Alexey Yu. Vinogradov, Doctor of Science, Director of the Scientific Production Association «Gidrotechproekt» (St. Petersburg, Russia).

Viktor A. Objazov, Doctor of Science, Technical Director of the Scientific Production Association «Gidrotechproekt» (St. Petersburg, Russia).

Fangqiang Wei, Professor, Vice-Director of the Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences (China)

Kouichi Nishimura, Professor, President of Japanese Society of Snow and Ice (Tokyo, Japan)

Sven Fuchs, Doctor of Sciences, Deputy of Head of the Institute of Mountain Risk Engineering of the BOKU University (Vienna, Austria).

Editorial Board

Victor N. Beznosov, Doctor of Science, Principal Researcher of the Scientific Production Association «Gidrotechproekt» (St. Petersburg, Russia)

Viktor P. Blagovechshenskiy, Doctor of Science, Head of the Laboratory of Natural Hazards, Institute of Geography of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan)

Fedor F. Bryukhan, Doctor of Science, professor of the Department of Engineering Survey and Geoecology of Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)

Sergey S. Chernomorets, Associate Professor, Senior Researcher of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows of the Lomonosov Moscow State University, and President of the Debris Flow Association (Moscow, Russia).

докт. геогр. наук **Б.И. Гарцман**, Институт водных проблем Российской академии наук, заведующий лабораторией гидрологии наводнений (г. Москва, Россия)

докт. геогр. наук, проф. **Г.Е. Глазырин**, Национальный университет Республики Узбекистан им. М. Улугбека, профессор (г. Ташкент, Узбекистан)

докт. физ.-мат. наук **В.К. Гусяков**, Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, заведующий лабораторией математического моделирования волн цунами (г. Новосибирск, Россия)

докт. **В. Джомелли**, Институт экологии и окружающей среды Национального центра научных исследований Франции, Университета Пантеон-Сорбонна и Университета Париж-Восток Кретьей, директор по исследованиям (г. Париж, Франция)
проф. **К. де Йонг**, Страсбургский университет, заведующая кафедрой международных отношений факультета географии и регионального планирования (г. Страсбург, Франция)

докт. физ.-мат. наук **А.И. Зайцев**, Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук, заведующий лабораторией вычислительной гидромеханики и океанографии (г. Южно-Сахалинск, Россия)

докт. геогр. наук, проф. **Н.А. Калинин**, Пермский государственный национальный исследовательский университет, заведующий кафедрой метеорологии и охраны атмосферы (г. Пермь, Россия)

академик РАН **Б.М. Кизяев**, Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, научный руководитель (г. Москва, Россия)

докт. геол.-мин. наук **А.М. Лехатинов**, МО «Тункинский район» Республики Бурятия, (г. Кырен, Россия)

канд. тех. наук **А.Е. Малашенко**, Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук, первый заместитель директора, главный конструктор (г. Южно-Сахалинск, Россия)

канд. геогр. наук, доц. **М.Л. Марков**, Государственный гидрологический институт, заведующий

Pavel A. Chernous, Ph.D., Leading Researcher of the Laboratory of Exogenous Geodynamic Processes and Snow Cover of the Special Design Bureau for Marine Research Automation Tools of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Yuzhno-Sakhalinsk, Russia).

Endon Zh. Garmaev, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Baikal Institute of Nature Management Siberian branch of the Russian Academy of sciences (Ulan-Ude, Russia)

Boris I. Gartsman, Doctor of Science, Head of Flood Hydrology Department of Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia).

Gleb E. Glaziryn, Professor, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek (Tashkent, Uzbekistan).

Viacheslav K. Gusiakov, Doctor of Science, The Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Mathematical Modeling of Tsunami Waves (Novosibirsk, Russia)

Vincent Jomelli, Ph.D., Research Director of the Institute of Ecology and Environment of the French National Center for Scientific Research, the University Panthéon-Sorbonne and the University Paris-Est Créteil (Paris, France)

Carmen de Jong, Professor, Head of International Relations at the Faculty of Geography and Regional Planning, University of Strasbourg (Strasbourg, France)

Nicolay A. Kalinin, Professor, Head of the Department of Meteorology and Atmosphere Protection of the Perm State University (Perm, Russia).

Boris M. Kizyaev, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation (Moscow, Russia).

Anatoliy M. Lekhatinov, Doctor of Science, Municipality Tunkinsky District (Kyren, Russia).

Anatoliy Ye. Malashenko, Ph.D., deputy director of the Special Research Bureau for Automation of Marine Researches of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Yuzhno-Sakhalinsk, Russia).

Mikhail L. Markov, Associate Professor, Head of the Department of Forecasting Hydrological Processes and Experimental Hydrology of the State Hydrological Institute (St. Petersburg, Russia).

отделом прогнозирования гидрологических процессов и экспериментальной гидрологии (г. Санкт-Петербург, Россия)

академик НАН РК **А.Р. Медеу**, Институт географии Республики Казахстан, директор (г. Алматы, Казахстан)
докт. геогр. наук **А.В. Панин**, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, профессор кафедры геоморфологии и палеогеографии (г. Москва, Россия)

академик НАН РК **И.В. Северский**, Институт географии Республики Казахстан, почётный директор; научный руководитель фундаментальных и прикладных исследований лаборатории гляциологии; вице-президент Международной гляциологической ассоциации (г. Алматы, Казахстан)

канд. геогр. наук, доцент **С.А. Сократов**, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, заместитель декана географического факультета по научной работе (г. Москва, Россия)
докт. геогр. наук, проф. **Е.А. Таланов**, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, профессор кафедры метеорологии и гидрологии (г. Алматы, Казахстан)

академик РАН **А.К. Тулохонов**, Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, научный руководитель (г. Улан-Удэ, Россия)

канд. геогр. наук, доц. **С.С. Черноморец**, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, старший научный сотрудник лаборатории снежных лавин и селей географического факультета, президент Селевой ассоциации (г. Москва, Россия)

канд. геогр. наук **П.А. Черноус**, Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экзогенных геодинамических процессов и снежного покрова (г. Южно-Сахалинск, Россия)

канд. тех. наук **С.В. Шварёв**, Институт географии Российской академии наук, заведующий лабораторией геоморфологии (г. Москва, Россия)

докт. **С. Ямагучи**, Научно-исследовательский центр снега и льда Национального исследовательского института наук о Земле и устойчивости к стихийным бедствиям, старший научный сотрудник (г. Нагаока, Япония)

Akhmetkal R. Medeu, Academician of the National Academy of Sciences of Kazakhstan, Director of the Institute of Geography of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan).

Andrey V. Panin, Doctor of Science, professor of the Department of Geomorphology and Paleogeography of Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia).

Igor V. Severskiy, Academician of the National Academy of Sciences of Kazakhstan, Scientific leader of fundamental and applied researches of the Department of Glaciology of the Institute of Geography of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan).

Sergey V. Shvarev, Ph.D., Head of the Laboratory of Geomorphology of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia).

Sergey A. Sokratov, Ph.D. in Environmental & Earth Sci., Associate Professor, Deputy Dean for Research of the Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia).

Yevgeniy A. Talanov, Professor, Professor of the Meteorology and Hydrology Department Al-Farabi Kazakh National University, (Almaty, Kazakhstan).

Arnold K. Tulokhonov, Academician of the Russian Academy of Sciences Scientific, Scientific Director of the Baikal Institute of Nature Management Siberian branch of the Russian Academy of sciences (Ulan-Ude, Russia).

Tatiana A. Vinogradova, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Land Hydrology of St. Petersburg University (St. Petersburg, Russia).

Satoru Yamaguchi, Ph.D., Chief Researcher of the Snow and Ice Research Division of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (Nagaoka, Japan)

Andrei I. Zaitsev, Doctor of Science, Head of Laboratory of Computational Hydromechanics and Oceanography of Special Research Bureau for Automation of Marine Researches, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Yuzhno-Sakhalinsk, Russia).

Технический редактор

Информацию о принятых в печать материалах можно получить на сайте журнала или у технического редактора **Кадацкой Марины Михайловны**, e-mail info@hydro-sphere.ru.

Сведения о вышедших номерах и условиях подписки на сайте журнала: www.hydro-sphere.ru.

Свидетельство о регистрации СМИ **ПИ № ФС 77-76914** от 11.10.2019

ИЗДАТЕЛЬСТВО:

ООО НПО «Гидротехпроект»

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Санкт-Петербург, 14-я линия В.О.
д. 97 пом. 3н.

Для почтовых отправлений: 199155 Санкт-Петербург, а/я 136, Редакция журнала «Гидросфера. Опасные процессы и явления»

Тел. +7(812)313-83-48,
e-mail: info@hydro-sphere.ru

Technical editor

Information on materials accepted for publication can be obtained on the journal's website or by e-mail info@hydro-sphere.ru from technical editor **Mariya Kadatskaya**.

Information about the issues and subscription conditions on the journal website: www.hydro-sphere.ru.

Certificate of registration as the media **ПИ No ФС 77-76914** from 11.10.2019

PUBLISHING:

Scientific Production Association «Gidrotechproekt»

EDITORIAL ADDRESS:

St. Petersburg, 14th line of Vasilyevsky Island,
97 of. 3n.

For corresponding: 199155 St. Petersburg, PO Box 136. Editorial Board of the «Hydrosphere. Hazardous processes and phenomena»

Tel. +7(812)313-83-48,
e-mail: info@hydro-sphere.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГИДРОСФЕРЕ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ АСПЕКТЫ.....	228
Сели и карчеходы на равнинных территориях А.Ю. Виноградов, Н. Казаков.....	228
Промерзание почв и грунтов и весенние лавины на северном макросклоне хребта Аибга Г.Л. Морозов.....	246
Деформационные признаки цунами Г.И. Долгих, С.Г. Долгих	260
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОПАСНОСТИ В ГИДРОСФЕРЕ.....	272
Использование автоматизированной технологии для расчётов характеристик качества стока по данным гидрохимических и гидрологических наблюдений Э.А. Румянцева, Н.Н. Бобровицкая, М.В. Шмакова	Ошибка! Закладка не определена.
ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ	295
Государственное регулирование оценивания лавинной опасности в России П.А. Черноус	Ошибка! Закладка не определена.
Критический анализ руководящих документов по расчету развития гидродинамических аварий А.Ю. Виноградов, В.А. Обязов, О.В. Зубова, М.М. Кадацкая, А.В. Кучмин	Ошибка! Закладка не определена.
Правила для авторов.....	318

CONTENTS

HAZARDOUS PROCESSES IN THE HYDROSPHERE: FUNDAMENTAL AND ENGINEERING ASPECTS.....	228
Debris-flows, mudflows and submerged tree drifting in the plains Alexey Yu. Vinogradov, Nikolay A. Kazakov	228
The freezing of the soil and spring avalanches on the northern slopes of the Aibga ridge Georgy L. Morozov	246
Deformational features of tsunami Grigory I. Dolgikh, Stanislav G. Dolgikh	260
ECOLOGICAL PROBLEMS AND HAZARDS IN THE HYDROSPHERE.....	272
The use of automated technology to calculate the runoff quality characteristics according to hydrochemical and hydrological observations El'vira A. Rumyantseva, Nelly N. Bobrovitskaya, Marina V. Shmakova.....	Ошибка! Закладка не определена.
ISSUES OF IMPROVING REGULATORY DOCUMENTATION.....	295
State regulation of avalanche danger assessment in Russia Pavel A. Chernous.....	Ошибка! Закладка не определена.
Critical analysis of the guidelines on the calculation of hydrodynamic accidents Alexey Yu. Vinogradov, Viktor A. Obyazov, Olga V. Zubova, Mariya M. Kadatskaya, Alexey V. Kuchmin.....	Ошибка! Закладка не определена.
Author Guidelines	320

ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГИДРОСФЕРЕ:
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ АСПЕКТЫ
HAZARDOUS PROCESSES IN THE HYDROSPHERE:
FUNDAMENTAL AND ENGINEERING ASPECTS

УДК 624.131.544: 627.141.1

DOI: 10.34753/HS.2020.2.3.228

СЕЛИ И КАРЧЕХОДЫ НА
РАВНИННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

А.Ю. Виноградов^{1,2}, Н.А. Казаков³

¹ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай,
Россия; ²ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова», г. Санкт-Петербург,
Россия; ³ФГБУН Специальное конструкторское
бюро средств автоматизации морских
исследований ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск,
Россия
gd@npogtp.ru

DEBRIS-FLOWS, MUDFLOWS AND
SUBMERGED TREE DRIFTING IN
THE PLAINS

Alexey Yu. Vinogradov^{1,2},
Nikolay A. Kazakov³

¹Scientific and Industrial Research Association
Gidrotehproekt, Valday, Russia; ²Saint Petersburg
State Forest Technical University, St. Petersburg,
Russia; ³Special Research Bureau for Automation of
Marine Researches of the Far Eastern Branch of
Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk,
Russia

gd@npogtp.ru

Аннотация. Традиционно считается, что сели формируются только в горных районах, а их возникновение на равнинных территориях невозможно. Эти представления об условиях развития и распространения селевых процессов отражены в Российских нормативных документах, определяющих состав инженерных изысканий для строительства: в них как селеопасные и потенциально селеопасные районы выделены только горные территории, а равнинные и холмистые территории показаны как не селеопасные. Таким образом, селевые риски при проектно-изыскательских работах как на большей части территории России, так и в мировой практике, не учитываются и соответственно уязвимость объектов, сооружений и территорий для селей не оценивается ни при разработке градостроительной документации, ни при проектировании объектов и сооружений, ни при развитии рекреационных территорий. Так, при проектировании гидротехнических сооружений рассчитываются нагрузки, создаваемые водными потоками плотностью до 1000 кг/м³, а не

Abstract. Traditionally, it is believed that debris-flows are formed only in mountainous areas, and their occurrence in flat areas is impossible. These ideas about the conditions for the development and spread of debris-flow processes are reflected in the Russian Technical Regulations that determine the composition of engineering surveys for construction. In these Regulations, debris-flow and potentially debris-flow areas are identified only in mountainous areas, while flat and hilly areas are shown as non-debris-flow. Debris-flow risks are not calculated for flat and hilly areas both in Russia and in other countries. The vulnerability of objects, structures and territories to the impact of debris-flows is not taken into account either in the development of urban planning documentation, or in the design of objects and structures, or in the development of recreational areas. When designing hydraulic engineering and other structures, the loads created by water flows with a density of up to 1000 kg/m³ are calculated, and not by debris-flows, mudflows and suspended streams with a density of 1100-2000 kg/m³. The results of the research show that the presence, even in local areas, of slopes exceeding (depending on the

грязекаменными, грязевыми и наносоводными потоками плотностью 1100-2000 кг/м³. Результаты проведённых исследований показывают, что наличие, даже на локальных участках, уклонов, превышающих (в зависимости от типа горной породы) 5°-10°, создаёт возможность возникновения на равнинных малых реках несвязных селей (наносоводных потоков). Например, количество таких малых рек в Новгородской области составляет 20%. Наличие на равнинных реках даже локальных участков с уклонами более 100‰, создаёт условия для формирования грязевых и грязекаменных селей. Грязевые и грязекаменные сели малого объёма формируются на равнинных территориях не только в оврагах, но и в руслах постоянных и временных малых водотоков и в эрозионных бороздах на склонах холмов и речных террас. Плотность грязекаменных и грязевых селей небольших объёмов, формирующихся в эрозионных врезах на склонах холмов и речных террас может достигать 2000 кг/м³, наносоводных потоков, проходящих по руслам малых рек, – 1100-1200 кг/м³. Карчеходы, проходящие по мелким водотокам по своему составу являются не водными потоками, а несвязными селями.

Ключевые слова: грязекаменный сель; грязевой сель; наносоводный поток; карча; карчеход; селевой бассейн; селевой процесс; равнина; критический уклон

Введение

Традиционно считается, что сели формируются только в горных районах, а их возникновение на равнинных территориях невозможно.

Эти представления об условиях развития и распространения селевых процессов нашли своё отражение и в нормативных документах, определяющих состав инженерных изысканий для строительства.

type of rock) 5°-10°, creates the possibility of incoherent debris-flows (suspended streams) on lowland small rivers. For example, the number of such small rivers in the Novgorod region is 20%. The presence of even local sections with slopes of more than 100‰ on flat rivers creates conditions for the formation of debris-flows and mudflows. Debris-flows and mudflows are formed on plains not only in ravines, but also in the beds of permanent and temporary small watercourses and in erosion furrows on the slopes of hills and river terraces. The density of debris-flows and mudflows of small volumes formed in erosion cuts on the slopes of hills and river terraces can reach 2000 kg/m³, and sediment flows passing through the beds of small rivers – 1100-1200 kg/m³. Submerged tree drifting on small watercourses in its composition are not water streams, and the incoherent debris flows.

Keywords: debris-flow; debris-flow basin; debris flow process; mudflow; suspended stream; submerged tree stump; submerged tree drifting; plain; critical slope

На Схеме зонирования селевых явлений на территории Российской Федерации, размещённой в СП 479.1325800.2019 «Инженерные изыскания для строительства в районах развития селевых процессов. Общие требования»¹, и в работе [Атлас..., 2010] как селеопасные и потенциально селеопасные районы выделены только горные территории, большая же часть территории России на этой карте показана как не селеопасная.

¹ СП 479.1325800.2019 "Инженерные изыскания для строительства в районах развития селевых процессов. Общие требования". М., 2020
SP 479.1325800.2019 "Inzhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva v rajonah razvitiya selevyh processov. Obshchie trebovaniya". Moscow, 2020

В результате селевые риски при проектно-изыскательских работах на большей части территории России не учитываются. Соответственно, уязвимость объектов, сооружений и территорий для селей не оценивается ни при разработке градостроительной документации, ни при проектировании объектов и сооружений, ни при развитии рекреационных территорий.

Между тем факты свидетельствуют о том, что на равнинных территориях связанные и несвязные сели формируются очень часто – и повсеместно распространены на равнинных территориях.

Методы исследования

В основу настоящей статьи положены результаты полевых исследований селевых процессов на территории Новгородской области и результаты анализа сведений о формировании селей на равнинных территориях, содержащихся в научной литературе.

Постановка проблемы

Антропогенные сели формируются на равнинных территориях достаточно часто [Айзенберг, Семенихина, 1978; Яблонский, 1991].

В первую очередь это сели, формирующиеся в оврагах, которые описываются многими авторами [Бодров, 1957; Дрозд, 1962; Сальников, 1963; Сластухин, 1969; Прока, Яковлев, 1969; Швец, 1969; Айзенберг, Грачева, 1975; Прока, 1983; Леваднюк, 1987; Сластухин, 1987; Перов, 1989; Любимов, Перов, 2001; Любимов, 2001; География овражной эрозии, 2006]. Большинство овражных селей является антропогенными [География овражной эрозии, 2006].

Объёмы селей, формирующихся в оврагах, могут достигать 16 тыс. м³ [Бодров, 1957] – 22 тыс. м³ [Сальников, 1963].

Факты, однако, свидетельствуют и о том, что на равнинных территориях грязевые и

грязекаменные сели и наносоводные потоки формируются и в естественных условиях в руслах водотоков.

Например, формирование селей в водотоках на Русско-Европейской равнине наблюдалось в бассейне реки Ока (Виноградов Ю.Б., грязевой сели небольшого объёма, устное свидетельство), в районе Новосильской станции [Козменко, 1963], в районе города Новгород-Северский [Ещенко, Кутовой, Шпак, 1969], в районе города Волгоград [Брылев, 1998].

Сели наблюдались и на Валдае [Вольфцун, Крестовский, 1961; Виноградов, Виноградова, 2016].

Многие паводки, проходящие по оврагам, балкам и мелким водотокам на Европейской части России, несущие карчи, наносы и мелкие камни, по своему составу являются не водными потоками, а несвязными селями. С этой точкой зрения согласны некоторые авторы [Лапердин, Качура, 2010; Казаков, Генсировский, 2012].

Такие паводки, а также грязевые и грязекаменные сели, проходящие по руслам равнинных водотоков, должны описываться именно как сели, поскольку расчёт характеристик таких потоков как водных приводит к занижению расчётных значений давления потоков на препятствие и к занижению их эродирующей способности. Как следствие, это приводит к серьёзным ошибкам при проектировании объектов и сооружений и в свою очередь создаёт риск аварий и катастроф.

Известно, что область применения существующего «Свода Правил по определению расчётных гидрологических характеристик» (СП 33-101-2003)² не распространяется на определение расчётных гидрологических характеристик при изысканиях и проектировании объектов на селеопасных реках. Это связано с тем, что после прохождения селевого паводка резко меняются морфометрические показатели русла реки.

² СП 33-101-2003. Свод Правил по определению расчётных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 73 с.

Svod Pravil po opredeleniyu raschetnyh gidrologicheskikh harakteristik (p. 1 SP 33-101-2003). Moscow, Publ. Gosstroii Rossii, 2003. 74 p. (In Russian).

В таком случае, возникает практический вопрос – какую реку считать селеопасной? Ту, на берегах которой имеются следы селевых отложений, или реку, по которой сель теоретически сможет сойти? Является ли селеопасной река, по которой сели не проходят, но в которую селевые выносы периодически вбрасывают многочисленные притоки?

С точки зрения инженерной практики, не важно, вследствие каких причин происходит резкое изменение морфометрии русла – селевых отложений или последствий карчехода.

Следовательно, и реки, по которым возможно движение карчехода, тоже необходимо вывести из области применения указанного СП 33-101-2003.

Все эти вопросы крайне важны, поскольку от них зависит принятие тех или иных проектных решений и в конечном итоге жизнеспособность находящейся в долине реки инфраструктуры, а также человеческие жизни. Попробуем последовательно разобраться в проблеме.

Условия возникновения селевого процесса на равнинной территории

Итак, важнейший вопрос – какая река может быть признана селеопасной? Приведём определение селевого потока. «Селями или селевыми потоками называют стремительные русловые потоки, состоящие из смеси воды и обломков горных пород, внезапно возникающие в бассейнах небольших горных рек» [Перов, 2012].

С.С. Черноморец на вопрос «Когда человечество столкнулось с селями?» отвечает: «Видимо это произошло тогда, когда стали строиться здания и прокладываться торговые пути в горах» [Черноморец, 2006].

Ю.Б. Виноградов: «Что же такое сель? Это – горный поток, состоящий из смеси воды и рыхлообломочной породы» [Виноградов, 1980].

Как указывалось выше, большинство исследователей сходятся на том, что селевые потоки возможны только в условиях горной местности, то есть для возникновения селя в первую очередь необходим уклон.

«Возникают селевые потоки ... в результате взаимодействия воды и рыхлообломочной

породы в ложбинах и ущельях, имеющих большой уклон» [Виноградов, 1980].

Следовательно, вторая обязательная составляющая – наличие переносимого субстрата (рыхлообломочной породы).

И наконец третья – наличие достаточного количества воды, необходимого для транспортировки этого субстрата или запуска селевого процесса.

Важнейший для селеведения вопрос: «какой уклон является достаточным для образования селей?» – решён ещё Ю.Б. Виноградовым [Виноградов, 1980]. В зависимости от уклона α , селевые процессы он разделял на: сдвиговые (при $\alpha > \alpha_1$), транспортно-сдвиговые (при $\alpha_1 \geq \alpha \geq \alpha_2$) и транспортные (при $\alpha < \alpha_2$).

Критические уклоны α_1 и α_2 определяются соотношениями:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{(\rho - \rho_0)(1 - \varepsilon) \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{gh \cos \alpha_1}}{\rho(1 - \varepsilon) + \rho_0 \varepsilon} \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{(\rho - \rho_0)(1 - \varepsilon) \operatorname{tg} \varphi}{\rho(1 - \varepsilon) + \rho_0 \varepsilon} \quad (2)$$

где ρ – плотность вещества, кг/м³;

ρ_0 – плотность воды, кг/м³;

ε – пористость, б/р;

φ – угол внутреннего трения, град;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

h – толщина слоя размываемой породы, м;

c – сцепление заполненной водой породы, кг/м².

Поскольку в нашем случае абсолютно не важно, какой именно селевой процесс будет иметь место на рассматриваемом нами гипотетическом водотоке, то для нас имеет значение только второй критический уклон. Попробуем определить его для различных горных пород (таблица 1).

Дальнейшая наша задача – определить минимальный уклон α_3 , при котором возможен размыв дна и берегов русла: то есть начало транспортного селевого процесса. Он определяется следующим соотношением:

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{h((\rho + \rho_0) - \varepsilon(\rho - \rho_0)) \operatorname{tg} \varphi + c}{h((\rho + \rho_0) - \varepsilon(\rho - \rho_0)) + H \rho_0} \quad (3)$$

где H – глубина потока на пойме.

Таблица 1. Критический уклон, при котором возможен транспортно-сдвиговой селевой процесс**Table 1.** The critical slope at which there is a possibility of a transport-shear debris-flow process

Горная порода <i>Rock</i>	Пористость, ε <i>Porosity, ε</i>	Угол внутреннего трения φ , град <i>The angle of internal friction φ, deg</i>	Критический уклон α_2 , град <i>Critical slope α_2, deg</i>
Глина <i>Clay</i>	0,522	20	8
Суглинок <i>Loam</i>	0,465	23	11
Супесь <i>Sandy loam</i>	0,421	29	15
Песок <i>Sand</i>	0,364	38	23

Таблица 2. Критический уклон, при котором возможен транспортный селевой процесс**Table 2.** The critical slope at which there is a possibility of a transport debris-flow process

Горная порода <i>Rock</i>	Пористость, ε <i>Porosity, ε</i>	Угол внутреннего трения, φ , град <i>The angle of internal friction, φ, deg</i>	Сцепление заполненной водой породы, c , кг/м ² <i>Water-filled rock coupling, c, kg/m²</i>	Минимальный уклон, при котором возможен размыв горной породы, α_3 <i>Minimum slope at which rock erosion is possible, α_3</i>		Гидравлический радиус, R , м <i>The hydraulic radius, R, m</i>	Минимальная скорость, при которой начинается размыв горной породы, V , м/с <i>The minimum velocity at which the erosion of rocks, V, m/s</i>
				град. <i>deg</i>	‰		
Глина <i>Clay</i>	0,522	20	600	10,3	180	0,20	0,74
Суглинок <i>Loam</i>	0,465	23	300	6,7	120	0,20	0,60
Супесь <i>Sandy loam</i>	0,421	29	100	4,9	90	0,20	0,51
Песок <i>Sand</i>	0,364	38	0	4,5	80	0,20	0,49

Результаты расчётов можно сравнить с значениями, получаемыми из специальной литературы. Показатели механических свойств переувлажнённых грунтов для расчёта

(таблица 2) взяты из таблицы 14 Методических рекомендаций³.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что при выходе потока на пойму, если скорость его течения достаточно велика (больше 0,3-0,5 м/с),

³ Методические рекомендации по сбору инженерно-геологической информации и использованию табличных геотехнических данных при проектировании земляного полотна автомобильных дорог. М.: Союздорпроект, 1981. 53 с.

Metodicheskie rekomendatsii po sboru inzhenerno-geologicheskoi informatsii i ispol'zovaniyu tablichnykh geotekhnicheskikh dannyykh pri projektirovanii zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog. Moscow, Publ. Soyuzdorproekt, 1981. 53 p. (In Russian).

может происходить размыв дна и берегов русла, насыщение потока твёрдой составляющей и трансформация его в несвязный или связный сель даже при уклонах русла менее 5° , то есть в руслах равнинных водотоков.

Например, размывающие скорости для различных типов дисперсных горных пород (таблица 3) представлены в таблицах и номограммах соответствующих справочников^{4,5} и учебников [Виноградов и др., 2019].

Для того чтобы в первом приближении оценить уклоны, при которых возможно достижение размывающих скоростей при выходе на пойму, сделаем допущение об установившемся характере движения потока и воспользуемся известным уравнением Шези:

$$I = \frac{v^2}{C^2 R} \quad (4),$$

где I – уклон, б/р;
 v – скорость движения потока, м/с;
 C – коэффициент Шези, $m^{0,5}/c$;
 R – гидравлический радиус, м.

Коэффициент Шези можно рассчитать по формуле Павловского (5):

$$C = \frac{1}{n} R^{2,5\sqrt{n}-0,13-0,75\sqrt{R}(\sqrt{n}-0,1)} \quad (5),$$

где n – коэффициент шероховатости, характеризующий состояние поверхности русла.

Для малых рек глубина потока при выходе на пойму обычно не превышает 0,2 м, поэтому для создания критических скоростей необходимы уклоны порядка 80‰ для песчаных почв и 120‰ для суглинистых. Примерные расчёты приведены в таблице 3.

Таблица 3. Расчёты лимитирующих уклонов для размыва пойм и берегов по РД 51-2.4-007-97

Table 3. Calculations of limiting slopes for floodplain and riverside erosion according to RD 51-2. 4-007-97

Подстилающая поверхность <i>Underlying surface</i>	Гидравлический радиус R , м <i>The hydraulic radius R, m</i>	Коэффициент шероховатости, n <i>Roughness coefficient, n</i>	Коэффициент Шези C , $m^{0,5}/c$ <i>Shezi coefficient C, $m^{0,5}/s$</i>	Минимальная скорость, при которой начинается размыв горной породы V , м/с <i>The minimum velocity for rock erosion V, m/s</i>	Минимальный уклон, при котором возможен размыв горной породы α_3 , ‰ <i>Minimum slope for rock erosion possibility α_3, ‰</i>
Песок <i>Sand</i>	0,2	0,1	3,9	0,20	80
Супесь <i>Sandy loam</i>	0,2	0,1	3,9	0,45	90
Суглинок <i>Loam</i>	0,2	0,1	3,9	0,52	120
Глина <i>Clay</i>	0,2	0,1	3,9	0,98	180

⁴ Пособие к СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (ПМП-91). Москва, ПКТИТС, 1992. 425 с.

Posobie k SNiP 2.05.03-84 «Mosty i truby» po izyskaniyam i proektirovaniyu zheleznodorozhnykh i avtodorozhnykh mostovykh perekhodov cherez vodotoki (PMP-91). Moscow, Publ. PKTITS, 1992. 425 p. (In Russian)

⁵ РД 51-2.4-007-97 Борьба с водной эрозией грунтов на линейной части трубопроводов Москва, 1998. 81 с.

RD 51-2.4-007-97 Bor'ba s vodnoi eroziei gruntov na lineinoi chasti truboprovodov Moscow, 1998. 81 p. (In Russian)

Приведённые уклоны показывают, что селевые явления возможны и на равнинах в условиях холмистого рельефа или развитых долин с крупными врезами больших рек.

Объём рыхлообломочной или мелкодисперсной породы, вовлекаемой в селевой процесс, в равнинных условиях может быть недостаточным.

В этом случае значимым становится наличие в потоке карчей. И если в грязекаменном селевом потоке высокой плотности на участке транзита или отложения объёмная часть карчей по отношению к горной породе не превышает обычно 1%, то для равнинных рек это соотношение может составлять 70% и более.

На основании этого некоторые авторы [Лапердин, Качура, 2010; Казаков, Генсиоровский, 2012] относят карчеход к разновидности селевого потока, аргументируя это тем, что в обоих случаях в потоке имеется твёрдая составляющая.

Карчеход представляет собой движение в паводок деревьев с кроной и корневой системой и широко распространён на всей горной и равнинной территории России.

Карчеходы должны описываться не как водные потоки, поскольку расчёт характеристик карчеходов как водных потоков приводит к серьёзным ошибкам при проектировании объектов и сооружений, создавая риск аварий и катастроф. С этой точкой зрения согласны некоторые авторы [Домогашев, 1982; Лапердин, Качура, 2010; Казаков, Генсиоровский, 2012].

Последний вопрос, поднятый нами в настоящей статье – какие реки можно назвать достаточно малыми [Перов, 2012], чтобы считать их селеопасными?

Известно, что чем крупнее река, тем меньше на ней уклоны.

Но всегда ли правильно считать даже и относительно большую реку, при уклонах заведомо меньших критических, не селеопасной? Предположим, в нашу реку какой-нибудь из притоков вынес селевые отложения. Какие могут быть последствия?

1. Русло полностью перекрыто отложениями, возникает временное

водохранилище с последующим прорывом. Волна прорыва, несущая отложения притока, размывающая свою пойму, сносящая мосты и другие сооружения ниже по течению, вполне может считаться селевой волной. Даже если воздействие этой волны будет прослежено на небольшом протяжении, данную реку надо учитывать как селеопасную.

2. Русло частично перекрывается отложениями, временный подпор имеет место. Если в результате режим наносов изменится значительно – превысит максимально возможный обычный паводковый в несколько раз, что приведёт к значительным изменениям морфометрии русла, – такую реку также надо считать селеопасной.

3. В остальных случаях селевым воздействием притоков можно пренебречь.

Следует, однако, заметить, что грязевые и грязекаменные сели малого объёма (насыщенные дресвяно-щебнистым и гравийно-галечным материалом) на равнинных территориях формируются не только в оврагах, но и в руслах малых водотоков и особенно в постоянных и временных руслах ручьёв, а также в эрозионных бороздах на склонах холмов и речных террас.

Горными породами потенциальных селевых массивов равнинных водотоков являются аллювиальные и пролювиальные отложения в днищах и на берегах водотоков, а также отложения обвалов, осыпей и оползней у подножия склонов.

Плотность грязекаменных и грязевых селей в оврагах может достигать 1100-1700 кг/м³ [География овражной эрозии, 2006].

Плотность грязекаменных и грязевых селей малых объёмов, формирующихся в эрозионных врезках на склонах холмов и речных террас, может достигать 2000 кг/м³.

Сели в Новгородской области

На Европейской территории России скорости течения малых рек по пойме, даже в условиях паводков редкой повторяемости, редко превышают 0,3 м/с. Однако известны случаи, когда на малых реках Европейской территории России проходят карчеходы и наносоводные селевые потоки.

В качестве примера приведём паводок, прошедший в ночь с 6 на 7 июля 2013 года в Валдайском районе Новгородской области. Селевые потоки малой плотности прошли по ручьям Рогову и Безымянный (далее – ручей №1) в районе населённого пункта Варницы в 5 км от посёлка Яжелбицы. Характеристики ручьёв представлены в таблице 4.

Согласно данным Валдайской метеостанции слой осадков за сутки составил 41 мм. Локальный ливень в районе посёлка Яжелбицы достигал, по экспертной оценке, интенсивности 1 мм/мин и превысил слой 100 мм. Послепаводковое обследование проводилось 7 июля 2013 года.

Выше автодороги Яжелбицы – Дворец русло ручья №1 практически не было размывто, ширина по бровкам составляла около 2 м,

глубина – 0,6-1 м. Ниже автодороги уклон резко повышается, долина спускается к пойме реки Полометь. На этом участке в результате паводка образовалась селевая рытвина шириной до 5 м и глубиной до 3,5 м (рисунок 1). Трубный переход через автодорогу был частично разрушен.

Характеристики паводка и вызванного им селевого потока представлены в таблице 5.

Паводок на Роговом ручье характеризовался следующей особенностью.

В связи с тем, что средний уклон по ручью меньше, чем в предыдущем случае, а размеры поймы, русловой части ручья и расход были намного больше, то поток нёс в основном карчи (рисунок 2). Мостовой переход не справился с пропуском паводка, что привело к частичному его разрушению и размыву дороги (рисунок 3).

В 500 м ниже по течению, в месте выхода ручья на пойму реки Полометь, потоком была размывта старая автодорога к пионерскому лагерю (рисунок 4). Водопропускное отверстие размерами 2х2 м было полностью забито карчами и наносами, толщина пробки составила 1,5 м. Уровень воды поднялся до верха дороги, размыв дорожные одежды, в результате чего образовалась промоина размерами 7х3,5 м.

Таблица 4. Характеристики водотоков

Table 4. Characteristics of the Creeks

Объект <i>Object</i>	Подстилающая поверхность <i>Underlying surface</i>	Площадь водосбора, км ² <i>Catchment area, km²</i>	Средние уклоны русла, ‰ <i>The average slope of the channel, ‰</i>
Ручей №1, верхнее течение <i>Creek No.1, upstream</i>	Суглинки <i>Loam</i>	0,06	0,040
Ручей №1 ниже автодороги <i>Creek No.1 below the highway</i>	Легкие суглинки <i>Light loam</i>	0,08	0,128
Рогов ручей <i>Rogov Creek</i>	Легкие суглинки <i>Light loam</i>	2,75	0,032

Таблица 5. Характеристики селевого потока на ручье №1

Table 5. Characteristics of the debris-flow on the Creek No.1

Объект <i>Object</i>	Максимальный расход паводка м ³ /с <i>Maximum flood discharge m³/s</i>	Максимальный расход селя м ³ /с <i>Maximum debris-flow discharge, m³/s</i>	Объём селя, м ³ <i>Volume of debris-flow, m³</i>
Ручей №1 <i>Creek No.1</i>	0,05	0,2	1000



Рисунок 1. Селевая рытвина на ручье №1. Фото А.Ю. Виноградова

Figure 1. Debris-flow pothole on the Creek No.1. Photo by Alexey Yu. Vinogradov



Рисунок 2. Карчи, скопившиеся перед мостовым отверстием дороги Яжелбицы-Дворец.

Фото А.Ю. Виноградова

Figure 2. Submerged tree stump, accumulated in front of the bridge opening of the road Yazhelbitsy-Dvorec. Photo by Alexey Yu. Vinogradov



Рисунок 3. Размыв автодороги и частичное разрушение мостового перехода. Фото А.Ю. Виноградова
Figure 3. Road erosion and partial destruction of the bridge crossing. Photo by Alexey Yu. Vinogradov



Рисунок 4. Водопропускное отверстие автодороги было полностью забито карчами, что привело к разрушению дорожного полотна. Фото А.Ю. Виноградова
Figure 4. The culvert of the road was completely clogged by submerged tree stumps, which led to the destruction of the roadway. Photo by Alexey Yu. Vinogradov



Рисунок 5. Селевые отложения и карчи в русле Рогова ручья. Фото А.Ю. Виноградова

Figure 5. Debris-flow deposits and submerged tree stumps in the bed of Rogov Creek.

Photo by Alexey Yu. Vinogradov



Рисунок 6. Конус выноса грязекаменного селя. Фото А.Ю. Виноградова

Figure 6. Debris-flow deposits. Photo by Alexey Yu. Vinogradov

Таблица 6. Характеристики селевого потока на Роговом ручье

Table 6. Characteristics of the debris-flow on the Rogov Creek

Объект <i>Object</i>	Максимальный расход паводка, м ³ /с <i>Maximum flood discharge, m³/s</i>	Максимальный расход селя, м ³ /с <i>Maximum debris-flow discharge, m³/s</i>	Объем селя, м ³ <i>Volume of debris-flow, m³</i>
Рогов ручей <i>Rogov Creek</i>	1,5	1,8	800

В результате прорыва волна, несущая с собой карчи, песок и камни, прошла до реки Полометь и перекрыла её русло. Подъём уровня реки Полометь до прорыва временной запруды составил 1,2 м. Мощность селевых отложений в русле ручья составила 0,3-0,6 м (рисунки 5, 6).

Характеристики паводка на Роговом ручье и вызванного им селевого потока представлены в таблице 6.

Максимальный размер принесённых потоком обломков горных пород достигал 0,3 м

(рисунок 6), ширина конуса выноса – 20 м, максимальная мощность отложений в месте выхода в прирусловую часть реки Полометь – 1,1 м.

Тип селя – грязекаменный (рисунок 6).

В обоих рассмотренных случаях только отсутствие на пойме промышленной инфраструктуры и жилых строений позволило избежать жертв и больших восстановительных затрат (рисунок 7).



Рисунок 7. Карчеход остановился перед жилым домом в д. Варницы. Фото В.В. Романова (<http://www.valdayadm.ru/9-iyul-2013-1800/o-chrezvychaynoy-situacii>)

Figure 7. The submerged tree drifting stopped in front of a residential building in Varnitsy. Photo by V.V. Romanov (<http://www.valdayadm.ru/9-iyul-2013-1800/o-chrezvychaynoy-situacii>)

Выводы

1. Наличие уклонов, даже на локальных участках, превышающих (в зависимости от типа горной породы) 5° - 10° , создаёт возможность возникновения на равнинных малых реках несвязных селей (наносоводных потоков). Например, количество таких малых рек в Новгородской области, по экспертной оценке, составляет 20%.

2. Наличие на равнинных реках даже локальных участков с уклонами прирусловых/пойменных частей больших 100% создаёт условия для формирования грязевых и грязекаменных селей.

Грязевые и грязекаменные сели малого объёма формируются на равнинных территориях не только в оврагах, но и в руслах постоянных и временных малых водотоков и в эрозионных

бороздах на склонах холмов и речных террас. Плотность грязекаменных и грязевых селей малых объёмов, формирующихся в эрозионных врезках на склонах холмов и речных террас, может достигать 2000 кг/м^3 , наносоводных потоков, проходящих по руслам малых рек, – $1100\text{-}1200 \text{ кг/м}^3$.

3. В практике изысканий и проектирования вероятность формирования селей на равнинных территориях не рассматривается. Соответственно практически никогда особенности местности (русловые уклоны), позволяющие формироваться селям, не учитываются, а при проектировании гидротехнических сооружений рассчитываются нагрузки, создаваемые водными потоками плотностью до 1000 кг/м^3 , а не селевыми и селеподобными потоками плотностью $1100\text{-}2000 \text{ кг/м}^3$.

4. Необходимо в кратчайшие сроки ввести дополнения в СП 479.1325800.2019 «Инженерные изыскания для строительства в районах развития селевых процессов. Общие требования» и СП 33-101 «Свод Правил по определению

расчётных гидрологических характеристик» в части требований проведения селевых изысканий на любых территориях и соответствующих расчётов гидрологических характеристик на малых реках как на селеопасных.

Литература

Айзенберг М.М., Грачева Л.Н. Селевые потоки на юге и юго-западе европейской территории Советского Союза // Труды Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. 1975. Вып. 140. С. 148-161.

Айзенберг М.М., Семенихина А.С. К природе антропогенных селей // Труды Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. 1978. Вып. 168. С. 109-114.

Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Российской Федерации / Под общ. ред. С.К. Шойгу. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2010. 696 с.

Бодров В.А. Проблема борьбы с эрозией почв в районе Каневских дислокаций // Материалы Всесоюзного совещания по борьбе с эрозией почв, (г. Москва, 12-16 декабря 1955 г.). М.: Сельхозгиз, 1957. С. 369-378.

Брылев В.А. Современные геодинамические процессы на территории Волгоградской агломерации // Сборник материалов 13-го пленарного межвузовского координационного совещания по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (г. Псков, 13-15 октября 1998 г.). Псков: ПГУ, 1998. С. 178-179.

Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 143 с.

Виноградов А.Ю., Виноградова Т.А. Селевые явления на равнинных территориях (на примере Новгородской области) // Материалы IV Международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита» (г. Иркутск, 6-10 сентября 2016 г.) Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. С. 50-54.

References

Aizenberg M.M., Gracheva L.N. Selevye potoki na yuge i yugo-zapade evropeiskoi territorii Sovetskogo Soyuz [Mudflows in the south and southwest of the European territory of the Soviet Union]. *Trudy Ukrainского nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo institute [Proceedings of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute]*, 1975, iss. 140, pp. 148-161. (In Russian).

Aizenberg M.M., Semenikhina A.S. K prirode antropogennykh selei [To the nature of anthropogenic mudflows]. *Trudy Ukrainского nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo institute [Proceedings of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute]*, 1978, iss. 168, pp. 109-114. (In Russian).

Bodrov V.A. Problema bor'by s eroziei pochv v raione Kanevskikh dislokatsii [The problem of combating soil erosion in the region of Kanev's dislocations]. *Materialy Vsesoyuznogo soveshchaniya po bor'be s eroziei pochv, (g. Moskva, 12-16 dekabrya 1955) [Materials of the All-Union meeting on combating soil erosion, (Moscow, December 12-16, 1955)]*, Moscow, Publ. Sel'khozgiz, 1957, pp. 369-378. (In Russian).

Brylev V.A. Sovremennye geodinamicheskie protsessy na territorii Volgogradskoi aglomeratsii [Modern geodynamic processes on the territory of the Volgograd agglomeration]. *Sbornik materialov trinadtsatogo plenarnogo mezhvuzovskogo koordinatsionnogo soveshchaniya po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov (g. Pskov, 13-15 oktyabrya 1998 g.) [Collection of materials of the thirteenth plenary interuniversity coordination meeting on the problem of erosion, channel and estuarine processes (Pskov, October 13-15, 1998)]*, Pskov, Publ. of Pskov state university, 1998, pp. 178-179. (In Russian).

Виноградов А.Ю., Кадацкая М.М., Бирман А.Р., Виноградова Т.А., Обязов В.А., Кацадзе В.А., Угрюмов С.А., Бачеригов И.В., Коваленко Т.В., Хвалев С.В., Парфенов Е.А. Расчёт неразрывающих скоростей водного потока на высоте верхней границы пограничного слоя // Resources and Technology. 2019. Т. 16. №3. С. 44-61. DOI: [10.15393/j2.art.2019.4782](https://doi.org/10.15393/j2.art.2019.4782).

Вольфун И.Б., Крестовский О.И. Катастрофический ливневой паводок на Валдае // Метеорология и гидрология. 1961. №1. С. 40-43.

География овражной эрозии / Под ред. Е.Ф. Зориной. М.: Изд-во МГУ, 2006. 323 с.

Домогашев В.Н. Проектирование мостовых переходов в условиях карчехода // Тезисы докладов и сообщений региональной научно-практической конференции Основные направления повышения эффективности и качества капитального строительства в Красноярском крае (г. Красноярск, 10-12 июня 1982 г.). Часть III. Красноярск, 1982. С. 12-13.

Дрозд Н.И. Грязевые потоки в овражных районах Украины // Материалы V Всесоюзного совещания по изучению селевых потоков и мер борьбы с ними. Баку: Издательство Академии наук АзССР, 1962. С. 94-98.

Ещенко Н.Д., Кутовой С.С., Шпак И.С. Влияние хозяйственной деятельности на заиление речных долин // Влияние хозяйственной деятельности на водный баланс / Под ред. С.М. Перехрест. Киев, 1969. С. 87-104.

Казakov Н.А., Генсировский Ю.В. Паводки на малых реках низкогогорья Южного и Среднего Сахалина как несвязные селевые потоки // Труды Второй конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита», посвященной 100-летию С.М. Флейшмана (г. Москва, 17-19 октября 2012 г.). М.: Географический факультет МГУ, 2012. С. 49-50.

Козменко А.С. Борьба с эрозией почв на сельскохозяйственных угодьях. М.: Сельхозгиздат, 1963. 208 с.

Лапердин В.К., Качура Р.А. Геодинамика опасных процессов в зонах природно-

Chernomorets S.S. Selevye issledovaniya v Rossii i stranakh byvshego Sovetskogo Soyuza: istoriya i perspektivy [Debris flow research in Russia and Former Soviet Union: history and perspectives]. *Trudy Mezhdunarodnoi elektronnoi konferentsii «Izmeneniya prirodnoi sredy na rubezhe tysyacheletii» [Proceedings of International Internet Conference "Change of Environment at the Turn of the Millennium"]*, Tbilisi-Moscow, 2006, p. 67-75. (In Russian; abstract in English).

Domogashev V.N. Proektirovanie mostovykh perekhodov v usloviyakh karchekhoda [Design of bridge crossings in the conditions of a submerged tree driftings]. *Tezisy dokladov i soobshchenii regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii Osnovnye napravleniya povysheniya effektivnosti i kachestva kapital'nogo stroitel'stva v Krasnoyarskom krae (g. Krasnoyarsk, 10-12 iyunya 1982) [Abstracts of reports and messages of the regional scientific and practical conference The main directions of increasing the efficiency and quality of capital construction in the Krasnoyarsk Territory (Krasnoyarsk, June 10-12, 1982)]*, Krasnoyarsk, 1982, part 3, pp. 12-13. (In Russian).

Droz N.I. Gryazevy potoki v ovrazhnykh raionakh Ukrainy [Mud flows in ravine regions of Ukraine]. *Materialy pyatogo Vsesoyuznogo soveshchaniya po izucheniyu selevykh potokov i mer bor'by s nimi [Materials of the Fifth All-Union meeting on the study of mud flows and measures to combat them]*, Baku, Publ. of Academy of Sciences of the Azerbaijan SSR, 1962, pp. 94-98. (In Russian).

Eshchenko N.D., Kutovoi S.S., Shpak I.S. Vliyanie khozyaistvennoi deyatel'nosti na zailenie rechnykh dolin [The influence of economic activity on the siltation of river valleys]. In Perekhrest S.M. (ed.) *Vliyanie khozyaistvennoi deyatel'nosti na vodnyi balans [The influence of economic activity on the water balance]*, Kiev, 1969, pp. 87-104. (In Russian).

Kazakov N.A., Gensiorovskii Yu.V. Pavodki na malykh rekakh nizkogor'ya Yuyuzhnogo i Srednego Sakhalina kak nesvyaznye selevye potoki [Floods on small rivers of southern and middle Sakhalin Island as incoherent debris-flows: the suspended

техногенных комплексов Восточной Сибири. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2010. 311 с.

Леваднюк А.Т. Особенности развития овражной эрозии в оползневых районах Молдавии // Тезисы докладов Четвертой Всесоюзной научной конференции «Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях» (г. Москва, 24-26 декабря 1987 г.). М.: МГУ, 1987. С. 155.

Любимов Б.П. Селевые потоки в оврагах на Сатинском полигоне МГУ // Доклады и сообщения 16-ого пленарного межвузовского координационного совещания по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (г. Санкт-Петербург, 2-4 октября 2001 г.). СПб.: МГУ-СПбГУВК, 2001. С. 150-151.

Любимов Б.П., Перов В.Ф. Селевые потоки в оврагах равнин // Вестник МГУ. Серия 5. География. 2001. № 3. С. 56-62.

Перов В.Ф. Селевые явления на территории СССР // Итоги науки и техники. Серия Гидрология суши. Том 7. М.: ВИНТИ, 1989. 147 с.

Перов В.Ф. Селеведение: учебное пособие. М.: МГУ, 2012. 272 с.

Прока В.Е. Будущее природы агропромышленного района. Кишинев: Штиинца, 1983. 237 с.

Прока В.Е., Яковлев В.М. О селевых явлениях на территории Молдавии // Охрана природы Молдавии. 1969. Выпуск 7. С. 15-23.

Сальников П.И. Оврагообразование, селевые паводки и песчаные заносы в городах Забайкалья и борьба с ними // Записки Забайкальского отдела Всесоюзного географического общества СССР. 1963. Выпуск 22. С. 77-92.

Сластухин В.В. Селевые потоки Молдавского Приднестровья // Материалы Первой Научной конференции по проблемам развития и размещения производ. сил Приднестровья «Проблемы использования природных богатств и охраны природы». Львов: Каменяр, 1969. С. 30-32.

streams Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection]. *Trudy Vtoroi konferentsii «Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita, posvyashchennoi 100-letiyu S.M. Fleishmana (g. Moskva, 17-19 oktyabrya 2012) [Proceedings of the Second Conference «Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection» dedicated to 100th anniversary of S.M. Fleishman (Moscow, October 17-19, 2012)]*, Moscow, Publ. of Faculty of Geography MSU, 2012, pp. 49-50. (In Russian; abstract in English).

Kozmenko A.S. *Bor'ba s eroziei pochv na sel'skokhozyaistvennykh ugod'yakh [Combating soil erosion on agricultural land]*. Moscow, Publ. Selkhozgizdat, 1963. 208 p. (In Russian).

Laperdin V.K., Kachura R.A. *Geodinamika opasnykh protsessov v zonakh prirodno-tekhnogennykh kompleksov Vostochnoi Sibiri [The geodynamics of hazardous processes in the zones of natural-technical complexes of East Siberia]*. Irkutsk, Publ. of Institute of the Earth's Crust SB RAS, 2010. 311 p. (In Russian).

Levadnyuk A.T. Osobennosti razvitiya ovrazhnoi erozii v opolznevnykh raionakh Moldavii [Features of the development of gully erosion in landslide regions of Moldova]. *Tezisy докладов Chetvertoi Vsesoyuznoi nauchnoi konferentsii «Zakonomernosti proyavleniya erozionnykh i ruslovykh protsessov v razlichnykh prirodnnykh usloviyakh» (g. Moskva, 24-26 dekabrya 1987) [Abstracts of the Fourth All-Union Scientific Conference "Patterns of manifestation of erosion and channel processes in various natural conditions" (Moscow, December 24-26, 1987)]*. Moscow, Publ. of MSU, 1987, pp. 155. (In Russian).

Lyubimov B.P. Selevye potoki v ovragakh na Satinskoy poligone MGU [Mudflows in ravines at the Satinsky test site of Moscow State University]. *Doklady i soobshcheniya 16-ogo plenarnogo mezhvuzovskogo koordinatsionnogo soveshchaniya po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov (g. Sankt-Peterburg, 2-4 oktyabrya 2001) [Reports and messages of the 16th plenary interuniversity coordination meeting on the problem of erosion, channel and estuarine processes (St. Petersburg, October 2-4, 2001)]*, St. Petersburg,

Сластухин В.В. Процесс эрозии на селеактивных водосборах в Молдавии // Тезисы докладов Четвертой Всесоюзной научной конференции «Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях» (г. Москва, 24-26 декабря 1987 г.). М.: МГУ, 1987. С. 136-137.

Черноморец С.С. Селевые исследования в России и странах бывшего Советского Союза: история и перспективы // Труды Международной электронной конференции «Изменения природной среды на рубеже тысячелетий». Тбилиси-Москва, 2006. С. 67-75.

Швебс Г.И. Селевые явления в негорных районах Украины // Метеорология, климатология и гидрология. 1969. Выпуск 5. С. 181-186.

Яблонский В.В. Сель в Киеве // Свет. Природа и человек. 1991. № 7. С. 32-33.

Publ. MSU-SPbGUVK, 2001, pp. 150-151. (In Russian).

Lyubimov B.P., Perov V.F. Selevye potoki v ovragakh ravnin [Mudflows in the ravines of the plains]. *Vestnik MGU. Seriya 5. Geografiya* [Vestnik MSU. Series 5. Geography], 2001, no. 3, pp. 56-62. (In Russian; abstract in English).

Perov V.F. *Selevye yavleniya na territorii SSSR* [Mudflows in the USSR]. Moscow, Publ. of VINITI, 1989, 147 p. (In Russian).

Perov V.F. *Selevedenie: uchebnoe posobie*. Moscow, Moscow University Press, 2012. 272 p. (In Russian).

Proka V.E. *Budushchee prirody agropromyshlennogo raiona* [The future of nature in the agro-industrial region]. Kishinev, Publ. Shtiintsa, 1983. 237 p. (In Russian).

Proka V.E., Yakovlev V.M. O selevykh yavleniyakh na territorii Moldavii [About mudflows on the territory of Moldova]. *Okhrana prirody Moldavii* [Nature Protection of Moldova], 1969, iss. 7, pp. 15-23. (In Russian).

Sal'nikov P.I. Ovrageobrazovanie, selevye pavodki i peschanye zanosy v gorodakh Zabaikal'ya i bor'ba s nimi [Gully formation, mudflows and sand drifts in the cities of Transbaikalia and the fight against them]. *Zapiski Zabaikal'skogo otdela Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva SSSR* [Notes of the Transbaikal Department of the All-Union Geographical Society of the USSR], 1963, iss. 22, pp. 77-92. (In Russian).

Shoigu S.K. (ed.) *Atlas prirodnikh i tekhnogennykh opasnostei i riskov chrezvychainykh situatsii Rossiiskoi Federatsii* [Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergencies in the Russian Federation]. Moscow, Publ. "Dizain. Informatsiya. Kartografiya", 2010. 696 p. (In Russian).

Shvebs G.I. Selevye yavleniya v negornykh raionakh Ukrainy [Mudflows in non-mountainous regions of Ukraine]. *Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya* [Meteorology, climatology and hydrology], 1969, iss. 5, pp. 181-186. (In Russian).

Slastikhin V.V. Selevye potoki Moldavskogo Pridnestrov'ya [Mudflows of Moldavian

Transnistria]. *Materialy Pervoi Nauchnoi konferentsii po problemam razvitiya i razmeshcheniya proizvodit. sil Pridnestrov'ya «Problemy ispol'zovaniya prirodnikh bogatstv i okhrany prirody» [Materials of the First Scientific Conference on the Problems of Development and Distribution of the Productive Forces of Transnistria "Problems of Using Natural Resources and Environmental Protection"]*, Lvov, Publ. Kamenyar, 1969, pp. 30-32. (In Russian).

Slastikhin V.V. Protsess erozii na selektivnykh vodosborakh v Moldavii [The process of erosion on mudflow catchments in Moldova]. *Tezisy dokladov Chetvertoi Vsesoyuznoi nauchnoi konferentsii «Zakonomernosti proyavleniya erozionnykh i usloviykh protsessov v razlichnykh prirodnikh usloviyakh» (g. Moskva, 24-26 dekabrya 1987) [Abstracts of the Fourth All-Union Scientific Conference "Patterns of manifestation of erosion and channel processes in various natural conditions" (Moscow, December 24-26, 1987)]*, Moscow, Publ. of MSU, 1987, pp. 136-137. (In Russian).

Vinogradov Yu.B. *Etyudy o selevykh potokakh [Sketches about mudflows]*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1980. 143 p. (In Russian).

Vinogradov A.Yu., Kadatskaya M.M., Birman A.R., Vinogradova T.A., Obyazov V.A., Katsadze V.A., Ugryumov S.A., Bacherikov I.V., Kovalenko T.V., Khvalev S.V., Parfenov E.A. Raschet nerazmyvayushchikh skorostei vodnogo potoka na vysote verkhnei granitsy pogranichnogo sloya [Calculation of non-eroding water flow velocities at the height of the upper boundary layer]. *Resources and Technology [Resources and Technology]*, 2019, vol. 16, no. 3, pp. 44–61. DOI: [10.15393/j2.art.2019.4782](https://doi.org/10.15393/j2.art.2019.4782). (In Russian; abstract in English).

Vinogradov A.Yu., Vinogradova T.A. Selevye yavleniya na ravninnykh territoriyakh (na primere Novgorodskoi oblasti) [Mudflows in flat areas (on the example of the Novgorod region)]. *Materialy Chetvertoi Mezhdunarodnoi konferentsii «Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita.» (g. Irkutsk, 6-10 sentyabrya 2016) [Materials of Forth International Conference "Debris flows:*

risks, forecast, protection" (Irkutsk, September 6-10, 2016)], Irkutsk: Publ. of the Institute of Geography SB RAS, 2016, pp. 50-54. (In Russian).

Vol'f'sun I.B., Krestovskii O.I. Katastroficheskie livnevoi pavadok na Valdae [Catastrophic flash flood in Valdai]. *Meteorologiya i gidrologiya [Russian Meteorology and Hydrology]*, 1961, no. 1, pp. 40-43. (In Russian; abstract in English).

Yablonskii V.V. Sel' v Kieve [Mud in Kiev]. *Svet. Priroda i chelovek [Light. Nature and man]*, 1991, no. 7, pp. 32-33. (In Russian).

Zorina E.F. (ed.) Geografiya ovrazhnoi erozii [Geography of gully erosion]. Moscow, Publ. of MSU, 2006. 323 p. (In Russian).

УДК 551.506: 551.581.2: 551.582: 551.585.7

DOI: 10.34753/HS.2020.2.3.246

ПРОМЕРЗАНИЕ ПОЧВ И ГРУНТОВ И ВЕСЕННИЕ ЛАВИНЫ НА СЕВЕРНОМ МАКРОСКЛОНЕ ХРЕБТА АИБГА

Г.Л. Морозов

Главный инженер проекта, г. Сочи, Россия

gabion@list.ru

Аннотация. Исследования промерзания грунта на северо-восточном склоне хребта Аибга проводились по материалам натурных наблюдений за ходом метеорологических элементов, наблюдавшимся на трёх автоматизированных метеостанциях, располагающихся выше плато Роза Хутор на абсолютных отметках от 2130 до 1580 м. Для территории горнолыжного комплекса «Роза Хутор» (посёлок Красная Поляна) проблемы, связанные с промерзанием грунта, не являются актуальными. Установлено, что промерзание грунта на северо-восточном склоне хребта Аибга отсутствует, что, с одной стороны, позволяет значительно удешевить строительства фундаментной части зданий и сооружений, но, с другой стороны, не даёт возможности проводить раннее (по календарным датам) оснежение горнолыжных трасс. Искусственное оснежение склонов (напыление снега на голый грунт) осенью является весьма проблематичным из-за большого притока тепла от грунтов горного массива. Работы по оснежению склонов целесообразно производить после установления устойчивого снежного покрова, причём его минимальная толщина должна составлять 25 см. Частые оттепели и связанные с ними осадки в жидкой фазе способны сформировать в толще снежного покрова влагонасыщенные пласты, образующие термоклин, способствующий образованию весенних лавин влажного и мокрого снега. На всех снеговых метеостанциях за период их наблюдения среднемесячная температура на контакте снежного покрова с поверхностью грунта была всегда положительна на протяжении всего холодного периода.

THE FREEZING OF THE SOIL AND SPRING AVALANCHES ON THE NORTHERN SLOPES OF THE AIBGA RIDGE

Georgy L. Morozov

Chief project engineer, Sochi, Russia

gabion@list.ru

Abstract. Studies of ground freezing on the North-Eastern slope of the Aibga ridge (Western Caucasus) were conducted based on observations of the course of meteorological elements at three automated weather stations. Weather stations are located above the Rosa Khutor plateau at absolute elevations from 2130 to 1580 m. For the territory of the Rosa Khutor ski resort in the village. Krasnaya Polyana problems associated with the freezing of the soil, are not relevant. It is established that there is no ground freezing on the North-Eastern slope of the Aibga ridge. This allows you to significantly reduce the cost of construction of the foundation part of buildings and structures, but does not allow you to carry out early (on calendar dates) snowmaking of ski slopes. Artificial snowmaking of slopes (spraying snow on bare ground) in the fall is very problematic due to the large influx of heat from the soil of the mountain range. It is advisable to carry out snowmaking operations on the slopes after the establishment of a stable snow cover. Its minimum thickness should be 25 cm. Frequent thaws and associated precipitation in the liquid phase can form moisture-saturated layers in the snow cover that form a thermocline. This contributes to the formation of spring avalanches of wet snow. At all snow weather stations during the period of their observation, the average monthly temperature at the contact of the snow pack with the ground surface was always positive throughout the cold period. Studies have shown that before the establishment of a stable snow pack, the ground surface temperature fluctuates in a fairly large range. Since the establishment of a stable snow cover, the ground surface temperature begins to gradually increase, and by January 1 next year it already reaches +0.2°C. In the spring of 2010, snow

Исследования показали, что до установления устойчивого снежного покрова температура поверхности грунта колеблется в достаточно большом диапазоне. С момента установления устойчивого снежного покрова температура поверхности грунта начинает постепенно расти и к 1 января следующего года уже достигает $+0,2^{\circ}\text{C}$. Весной 2010 года на горнолыжном комплексе «Роза Хутор» сошли снежные лавины, разрушившие подстилающий почвенный слой. Причиной разрушения почвенного слоя явилось талое состояние грунтов под снежным покровом. Подобные снежные лавины случайны и происходят крайне редко.

Ключевые слова: метеорологическая станция; Роза Хутор; Кавказ; лавина; промерзание грунтов; снежный покров; теплопроводность снега

Введение

Весной 2010 года на горнолыжном комплексе «Роза Хутор» (посёлок Красная Поляна) сошли снежные лавины, разрушившие подстилающий почвенный слой. Лавины вызвали тревогу у руководства горнолыжного комплекса. Образование лавин было связано с состоянием грунтов, подстилающих снежный покров.

Исследование явлений, связанных с промерзанием грунта, на северном макросклоне хребта Аибга ранее никогда не проводились. Не освещён в литературе и вопрос о промерзании почв и грунтов в предгорьях и высокогорной зоне Западного склона Главного Кавказского хребта

Не проводились и исследования связи между состоянием почв и грунтов в период весеннего снеготаяния с образованием лавин.

Сведения о промерзании грунтов являются важными для проектирования объектов и сооружений.

Методы исследования

В основу данной работы положены материалы натурных наблюдений за ходом

avalanches descended on the Rosa Khutor ski complex (Krasnaya Polyana), destroying the underlying soil layer. The reason for the destruction of the soil layer was the thawed state of the soil under the snow cover. Such avalanches are random and extremely rare.

Keywords: Caucasus; Rosa Khutor; avalanche; ground freezing; snow pack; thermal conductivity of snow

метеорологических элементов, наблюдавшимся на 3-х автоматизированных метеостанциях РХ-2, РХ-3, РХ-4 (далее по тексту – снеговые станции), располагающихся выше плато Роза Хутор на абсолютных отметках от 2130 до 1580 м.

Указанные метеостанции разработаны в Швейцарии (поставщик SensAlpin GmbH) и прошли соответствующую сертификацию на территории Российской Федерации. Опрос датчиков на автоматических метеостанциях производится каждые полчаса. Получаемые на них данные измерений приводятся в величинах Международной системы единиц и соответствуют Российским стандартам.

За исключением данных об интенсивности ливней, метеостанции передают данные о сумме осадков в мм/час (по Российским стандартам – мм/мин).

Монтаж и наладка станций осуществлялись специалистами ООО «Инжзащита» (город Сочи) с привлечением Швейцарских специалистов. Эксплуатация метеостанций осуществляется специалистами ООО «Инжзащита».

Схема размещения снеговых метеостанций показана на рисунке 1.

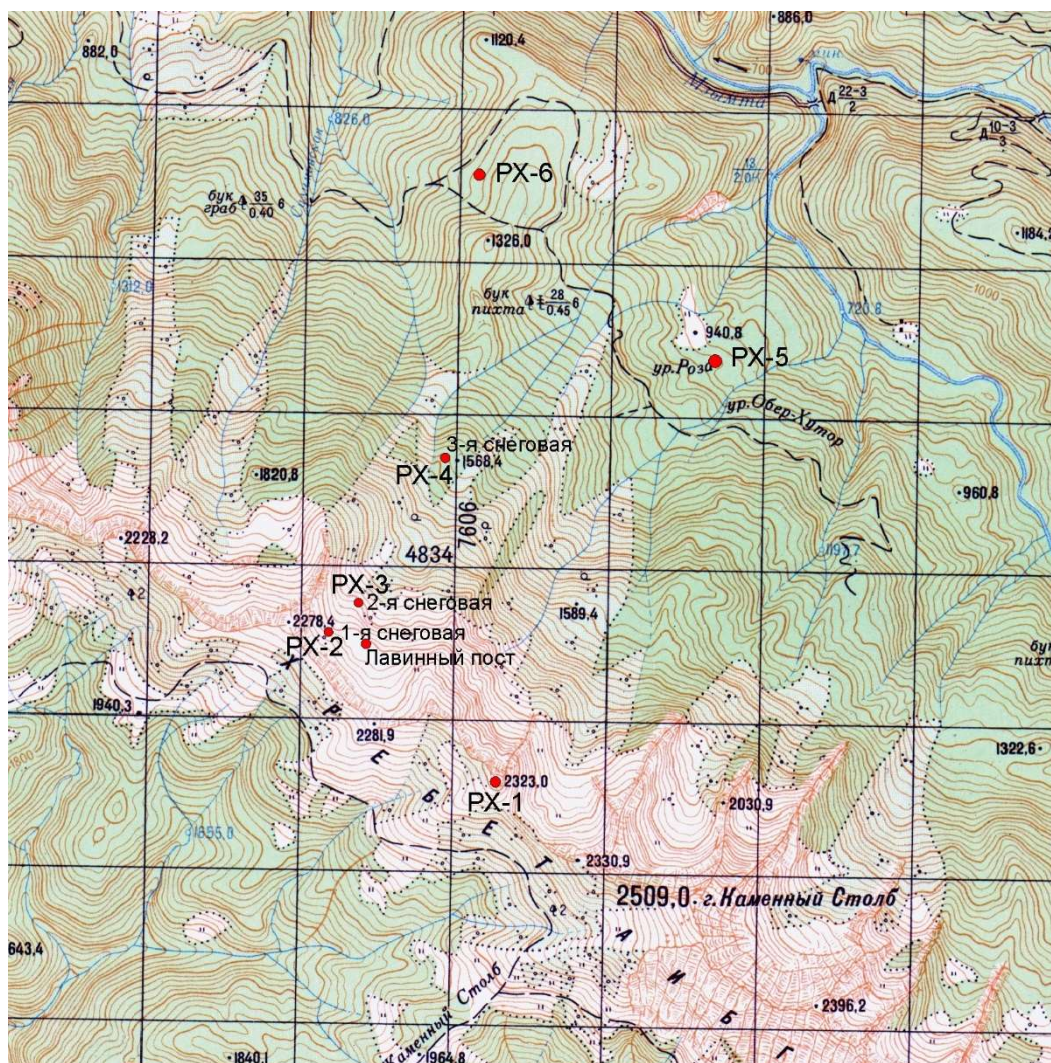


Рисунок 1. Схема расположения метеостанций

Figure 1. The scheme of weather stations location

К сожалению, данные об осадках, выпадающих на вышеуказанных снеговых станциях, можно получать только в тёплый период года, в виду отсутствия электропитания для обогрева стаканов осадкомеров. Стандартная солнечная батарея, располагаемая на этих станциях, обслуживает датчики, процессор и модем для передачи данных в центр. На отопление осадкомерного стакана её мощности не хватает (потребляемая мощность спирали нагревателя – 400 Вт) и для её работы необходимо подвести отдельный кабель питания 220 В.

Исходя из вышеизложенного, о количестве осадков в холодный период года можно судить лишь косвенно по динамике изменения высоты снежного покрова и по данным об осадках,

наблюдавшихся на лавинном посту «Роза Хутор». Это несколько некорректно, но, принимая во внимание, что лавинный пост находится практически на одной высотной отметке с 1-й снеговой станцией и удалён от неё на 130 м, их можно считать репрезентативными.

Результаты и обсуждения

Исследование было выполнено на основе метеорологических наблюдений за температурой воздуха, температурой снежного покрова на разных глубинах и высотой снежного покрова.

Рассмотрим комплексные графики хода среднемесячных значений метеозаписей по снежным станциям (рисунки 2-7).

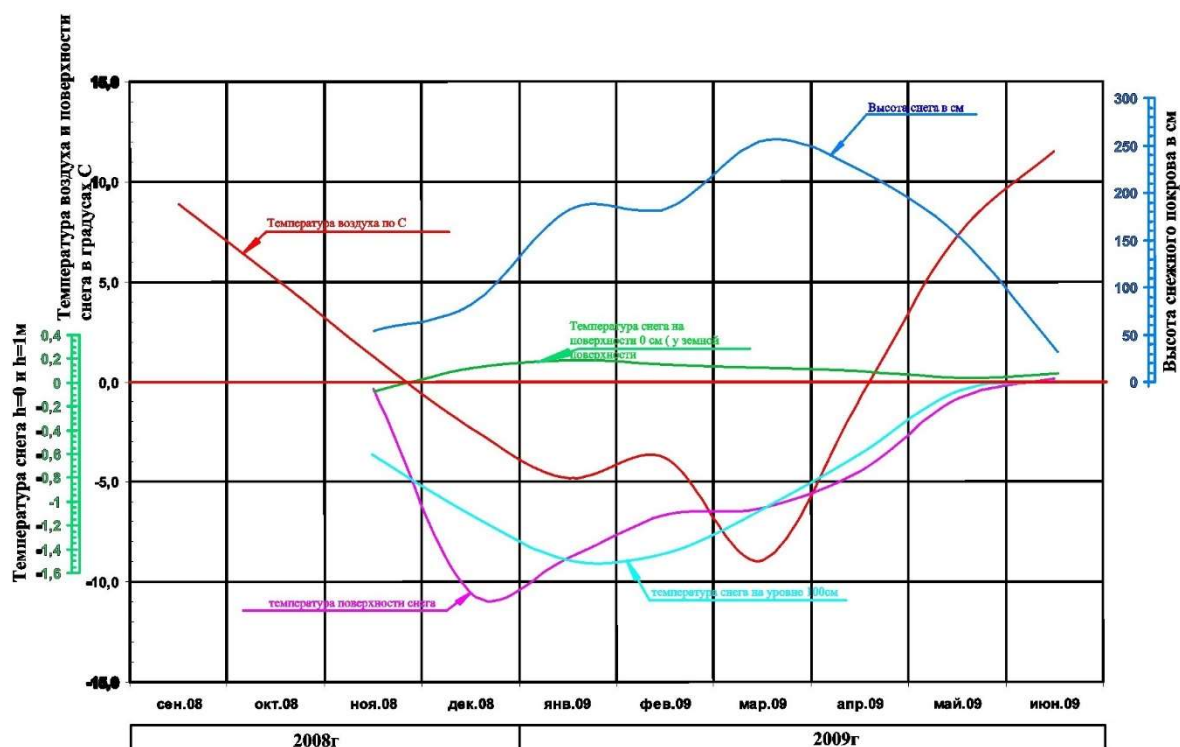


Рисунок 2. Комплексный график хода среднемесячных величин температуры воздуха, снежного покрова на разных глубинах и высоты снежного покрова на метеостанции «1-я снеговая Роза Хутор» (абсолютная отметка 2130 м) зимой 2008-2009 годов

Figure 2. Graph of the average monthly values of air temperature, snow pack at different depths and snow pack height at the weather station "1st snow Rose Khutor" (altitude 2130 m) in the winter of 2008-2009

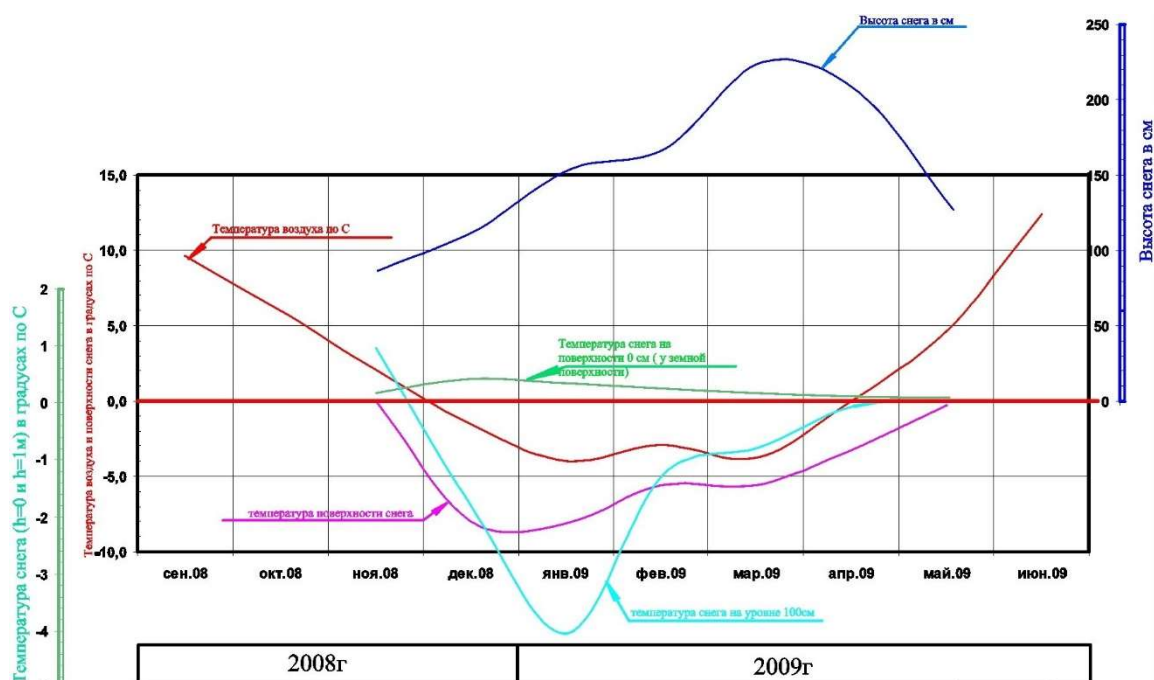


Рисунок 3. Комплексный график хода среднемесячных величин температуры воздуха, снежного покрова на разных глубинах и высоты снежного покрова на метеостанции «2-я снеговая Роза Хутор» (абсолютная отметка 2010 м) зимой 2008-2009 годов

Figure 3. Graph of the average monthly values of air temperature, snow pack at different depths and snow pack height at the weather station "2st snow Rose Khutor" (altitude 2010 m) in the winter of 2008-2009

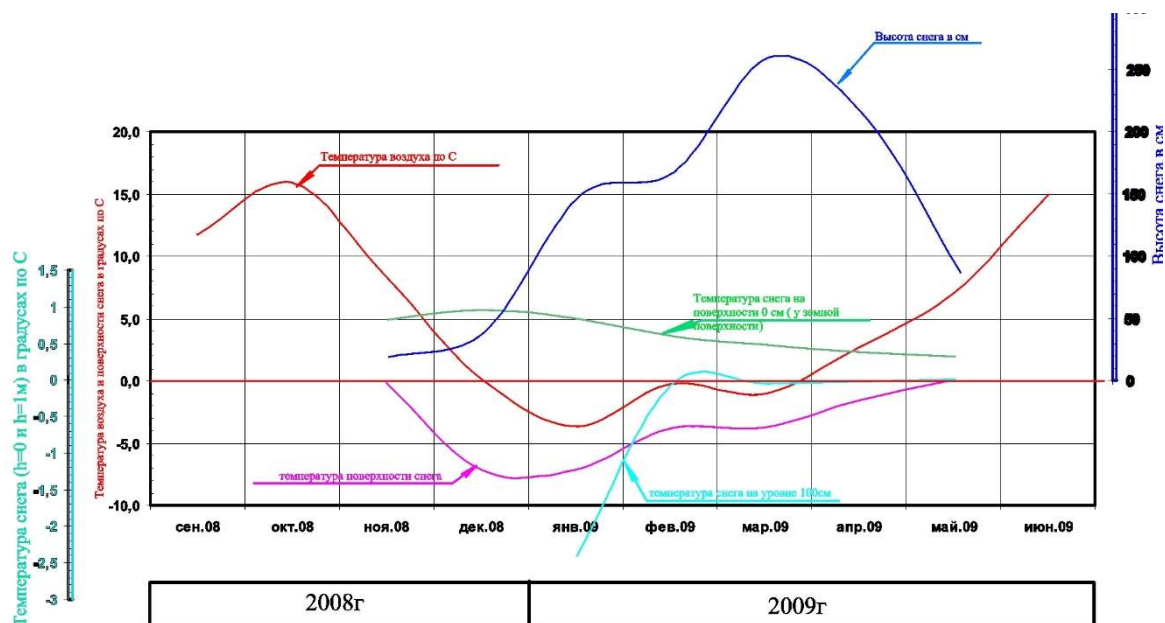


Рисунок 4. Комплексный график хода среднемесячных величин температуры воздуха, снежного покрова на разных глубинах и высоты снежного покрова на метеостанции «3-я снеговая Роза Хутор» (абсолютная отметка 1580 м) зимой 2008-2009 годов

Figure 4. Graph of the average monthly values of air temperature, snow pack at different depths and snow pack height at the weather station "3st snow Rose Khutor" (altitude 1580 m) in the winter of 2008-2009

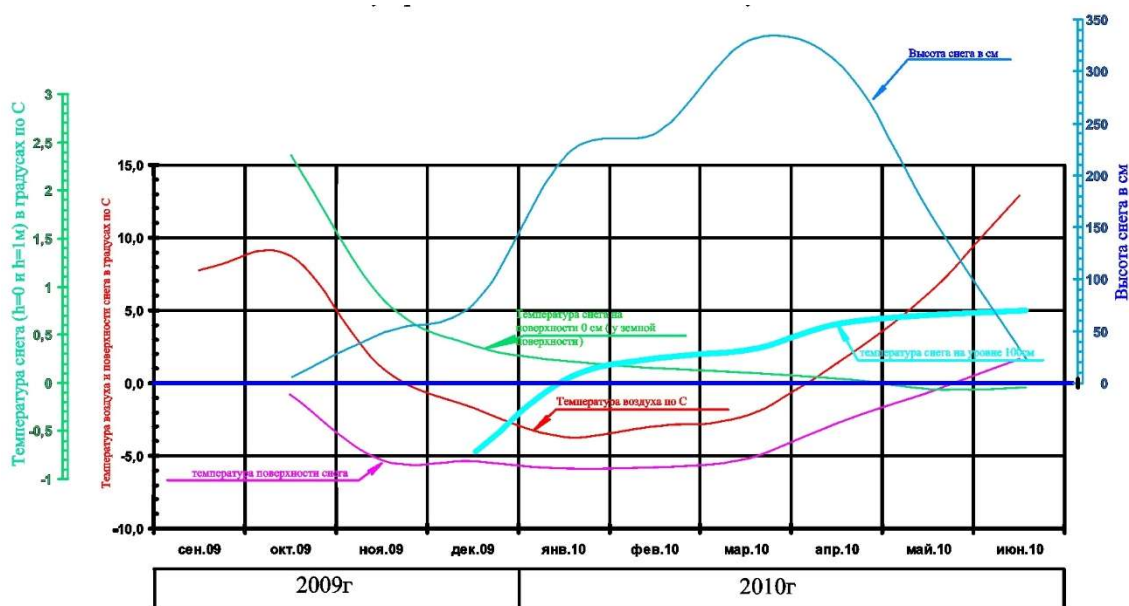


Рисунок 5. Комплексный график хода среднемесячных величин температуры воздуха, снежного покрова на разных глубинах и высоты снежного покрова на метеостанции «1-я снеговая Роза Хутор» (абсолютная отметка 2130 м) зимой 2009-2010 годов

Figure 5. Graph of the average monthly values of air temperature, snow pack at different depths and snow pack height at the weather station "1st snow Rose Khutor" (altitude 2130 m) in the winter of 2009-2010

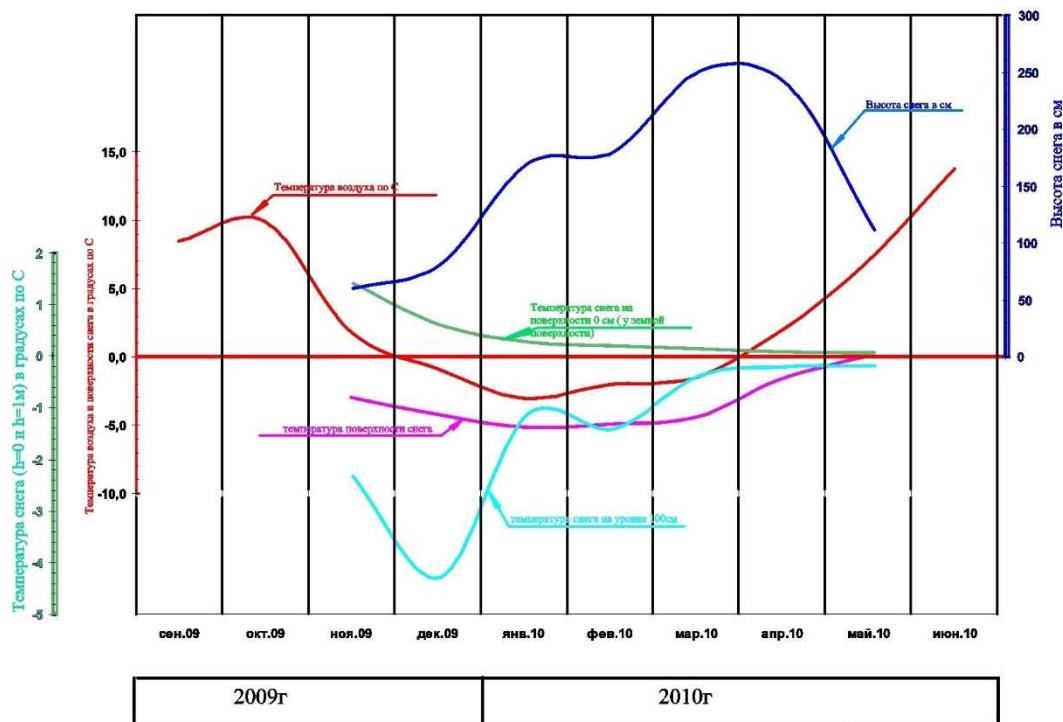


Рисунок 6. Комплексный график хода среднемесячных величин температуры воздуха, снежного покрова на разных глубинах и высоты снежного покрова на метеостанции «2-я снеговая Роза Хутор» (абсолютная отметка 2010 м) зимой 2009-2010 годов

Figure 6. Graph of the average monthly values of air temperature, snow pack at different depths and snow pack height at the weather station "2st snow Rose Khutor" (altitude 2010 m) in the winter of 2009-2010

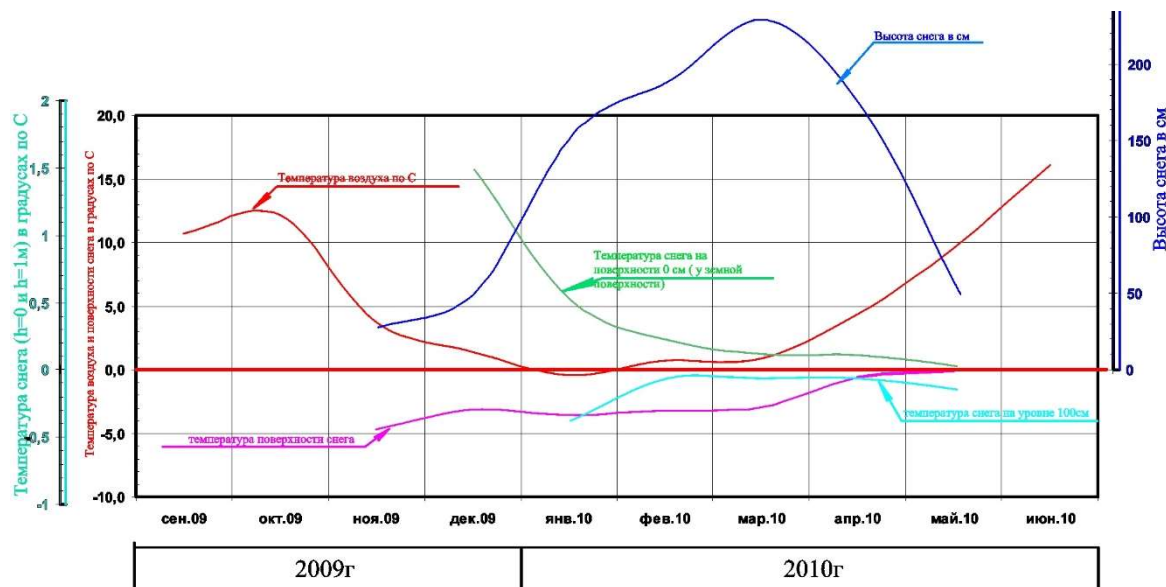


Рисунок 7. Комплексный график хода среднемесячных величин температуры воздуха, снежного покрова на разных глубинах и высоты снежного покрова на метеостанции «3-я снеговая Роза Хутор» (абсолютная отметка 1580 м) зимой 2009-2010 годов

Figure 7. Graph of the average monthly values of air temperature, snow pack at different depths and snow pack height at the weather station "3st snow Rose Khutor" (altitude 1580 m) in the winter of 2009-2010

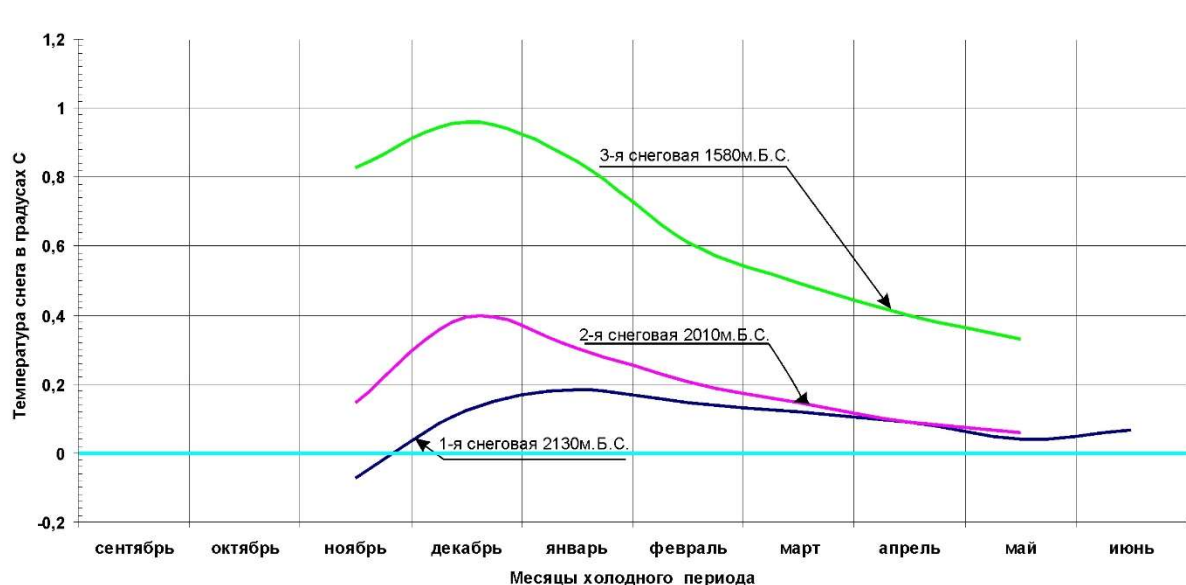


Рисунок 8. Ход среднемесячных величин температуры снега на поверхности грунта на снеговых метеостанциях зимой 2008-2009 годов

Figure 8. The average monthly values of snow temperature on the ground surface at the snow weather stations in the winter of 2008-2009

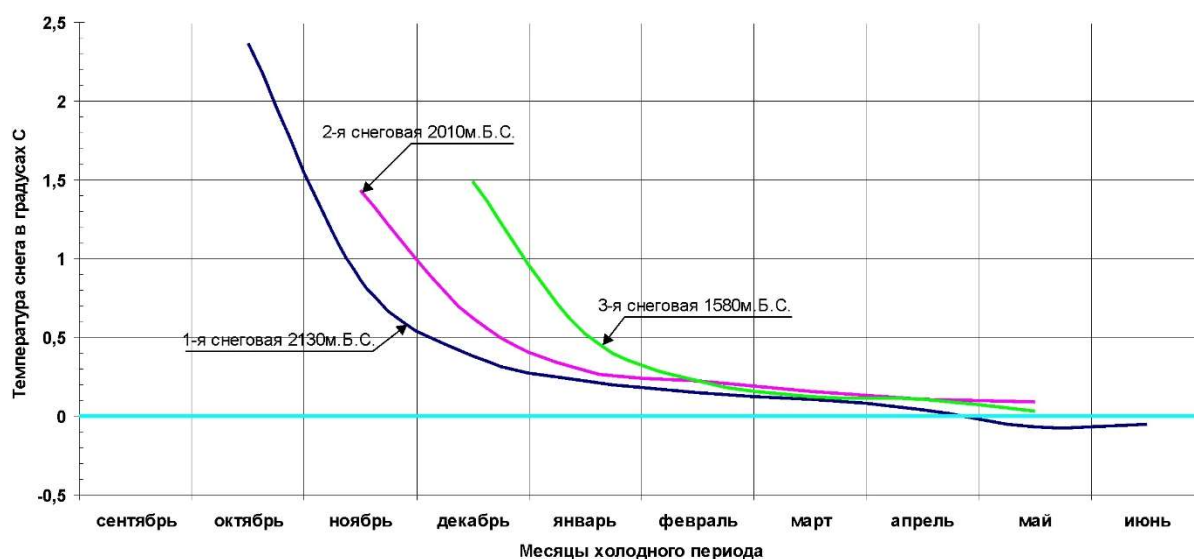


Рисунок 9. Ход среднемесячных величин температуры снега на поверхности грунта на снеговых метеостанциях зимой 2009-2010 годов

Figure 9. The average monthly values of snow temperature on the ground surface at the snow weather stations in the winter of 2009-2010

Анализ имеющейся информации в аспекте промерзания почв и грунтов показал, что на всех снеговых метеостанциях за период их наблюдения среднемесячная температура снежного покрова для термометров на уровне $h=0$ см (на контакте с поверхностью грунта) была всегда положительна на протяжении всего холодного периода.

Ход среднемесячных температур снега на уровне $h=0$ см показан на рисунках 8, 9. При этом среднемесячные температуры воздуха и поверхности снега имели отрицательные значения.

Исключением является 1-я снеговая станция в зимний период 2009-2010 годов, по которой в мае на уровне снега $h=0$ см

наблюдались незначительные отрицательные температуры ($-0,15^{\circ}\text{C}$), но о причинах и последствиях этой аномалии мы расскажем далее.

Чтобы досконально понять эти процессы, нами были проанализированы данные срочных наблюдений по 1-й снеговой метеостанции за период становления устойчивого снежного покрова (рисунок 10, направление графика обратное).

Из приведённого графика видно, что в период до установления устойчивого снежного покрова температура поверхности грунта колеблется в достаточно большом диапазоне. Последнее объясняется радиационным выхолаживанием незащищённого грунта в ночное время и ветрами в дневное.

С момента установления устойчивого снежного покрова, температура поверхности грунта начинает постепенно расти и к 1 января следующего года уже достигает $+0,2^{\circ}\text{C}$, причём аналогичная картина наблюдается и на остальных

снеговых станциях.

В соответствии с уравнением теплового баланса очевидно, что приток тепла от подстилающих грунтов превосходит его отток через толщу снега, что и ведёт к росту температуры поверхности грунта под снегом.

В середине зимы картина меняется, температура поверхности грунта начинает очень медленно падать, что объясняется двумя причинами.

1. Приток тепла от грунтов, накопленный горным массивом за тёплый период, постепенно падает.

2. Вследствие уплотнения снега его теплопроводность постепенно увеличивается, что в свою очередь приводит к росту оттока тепла через снежную толщу. Последнее хорошо иллюстрирует формула Янсона для снега различной плотности:

$$\lambda = 10^{-3}(0,05 + 1,9\rho + 6\rho^4) \quad (1).$$

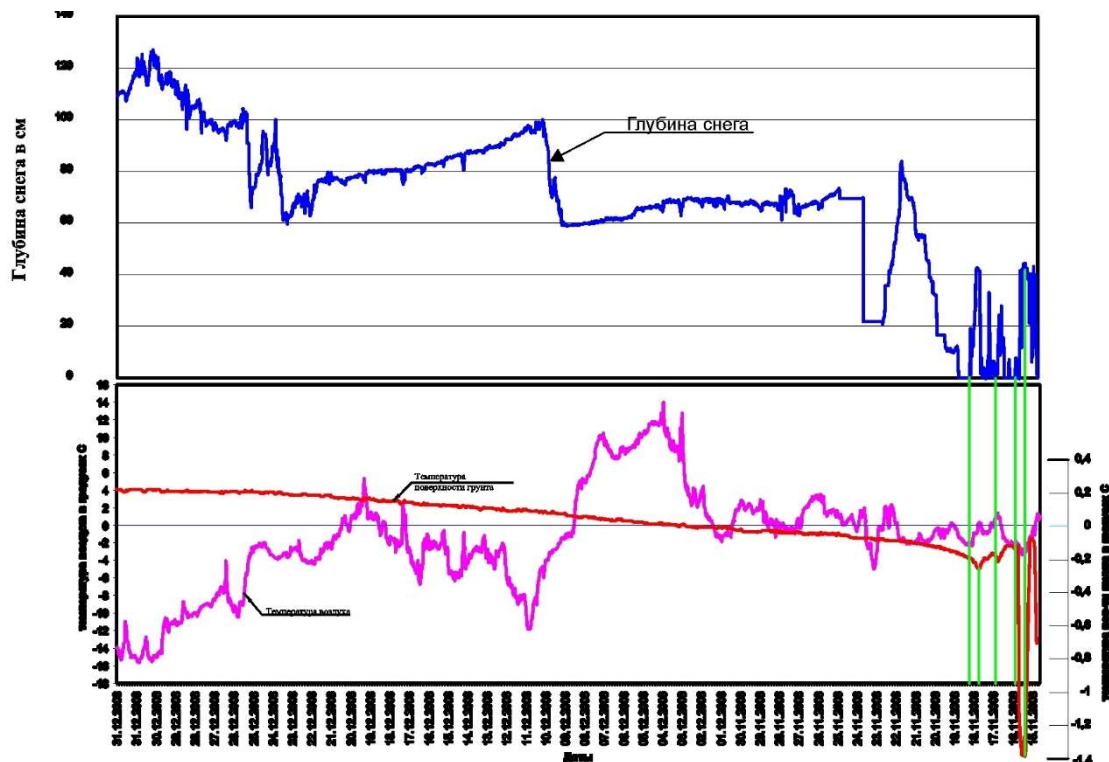


Рисунок 10. Комплексный график хода среднемесячных величин температуры воздуха, температуры поверхности почвы и высоты снежного покрова на метеостанции «1-я снеговая Роза Хутор» (абсолютная отметка 2130 м) зимой 2009-2010 годов

Figure 10. Graph of the average monthly values of air temperature, snow temperature on the ground surface and the snow pack height at the weather station "1st snow Rose Khutor" (altitude 2130 m) in the winter of 2009-2010

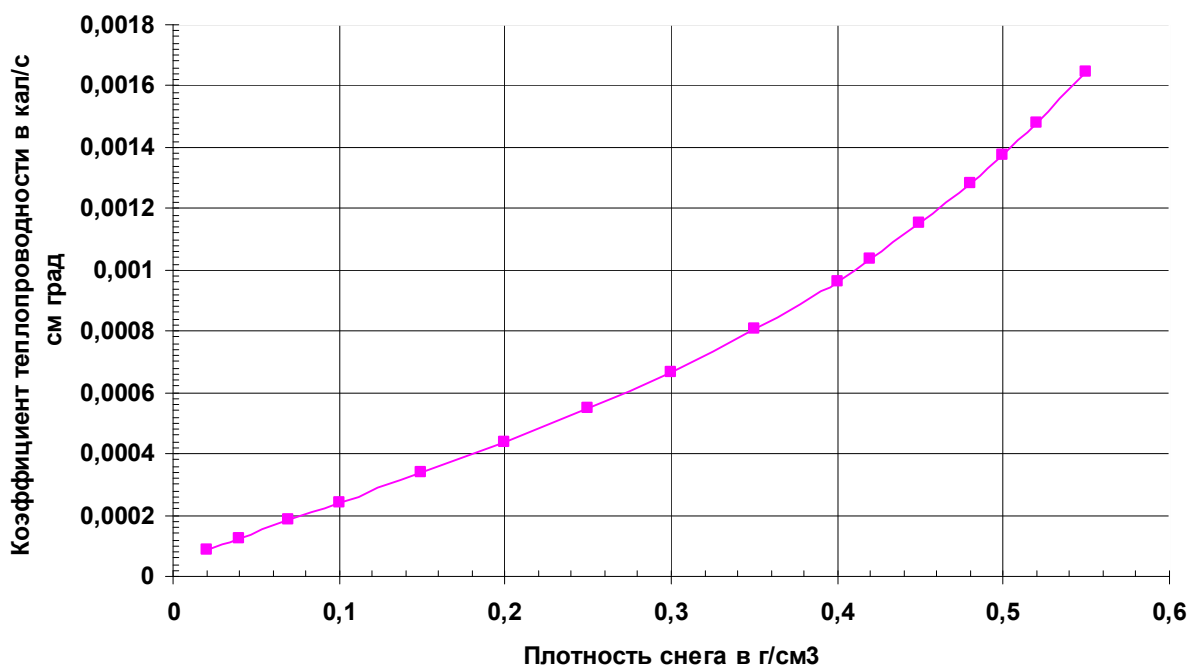


Рисунок 11. Зависимость коэффициента теплопроводности снега от его плотности

Figure 11. Dependence of the snow thermal conductivity coefficient on its density

На рисунке 11 показано изменение теплопроводности снега в зависимости от его плотности в соответствии с формулой (1). Для свежеснежавшего снега при плотности $\rho=0,07$ г/см³ коэффициент теплопроводности $K_t=0,0002$ кал/(с·см·градус), а для слежавшегося, перекристаллизовавшегося весеннего снега плотностью $\rho=0,4$ г/см³ коэффициент теплопроводности уже $K_t=0,001$ кал/(с·см·градус) – то есть в 10 раз больше.

Конечно в реальных условиях в толще снега могут наблюдаться скачки плотности, что обусловлено генезисом формирования снежного массива (видом осадков, ходом температур воздуха, ветровым режимом, экспозицией склона, инсоляцией и так далее).

Однако, возвращаясь к теме данной работы, необходимо подчеркнуть, что при толщине снежного покрова более 0,5 м температура поверхности грунта под снегом, для рассматриваемого района, на протяжении всего холодного периода остаётся положительной, что в свою очередь свидетельствует в пользу того, что промерзание почв и грунтов отсутствует.

Не вступая в спор с оппонентами, соглашусь, что ряд наблюдений, состоящий из

двух зим, отнюдь не является репрезентативным. Однако даже такой короткий ряд наблюдений позволяет увидеть основные закономерности исследуемого процесса.

Необходимо отметить, что снеготопысы двух холодных периодов, рассматриваемых в данной работе (зимы 2008-2010 годов), являются весьма скромными для этих высот, по сравнению с ранее наблюдаемыми по метеостанциям Ачишхо (1929-1988 годы) и Аибга (1995-2010 годы).

Теперь вернёмся к графику, представленному на рисунке 9, и попробуем объяснить аномальное поведение температур снега на уровне $h=0$ см (подстилающая поверхность) на первой снеговой станции в мае и июне 2010 года.

Рассмотрим график хода среднемесячных температур снега на первой снеговой станции (рисунк 12) на разных уровнях зимой 2009-2010 годов.

Как видно, к концу декабря 2009 года в снежном покрове на 1-й снеговой станции на уровне $h=100$ см сформировался устойчивый термоклин положительных температур.

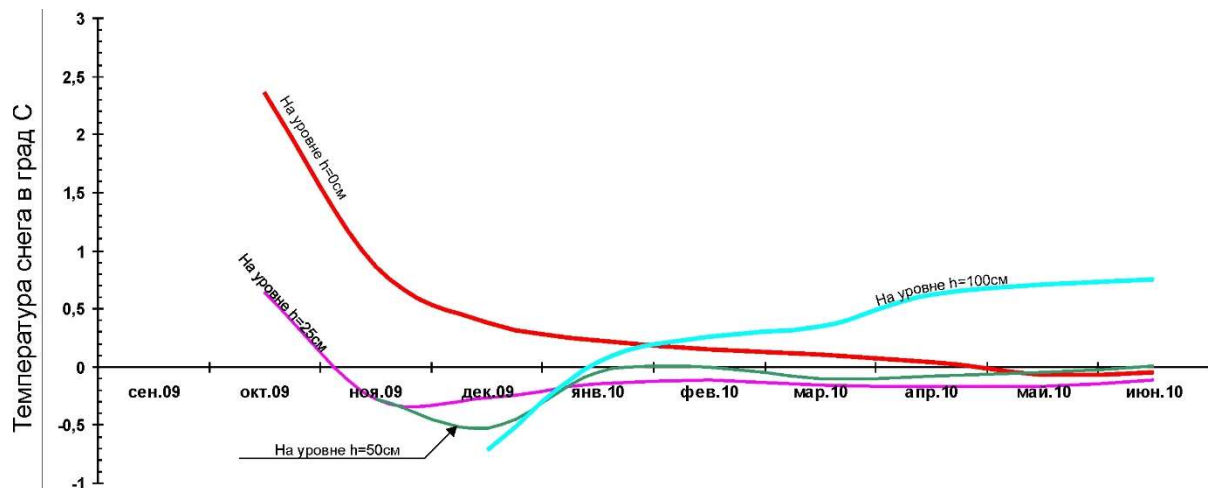


Рисунок 12. Ход среднемесячных величин температуры снега на разных глубинах зимой 2009-2010 годов. Метеостанция «1-я снеговая Роза Хутор»

Figure 12. The course of the average monthly values of snow temperature at different depths in the winter of 2009-2010. Weather station "1st snow Rose Khutor"

Анализ хода среднемесячной температуры воздуха (рисунок 5) показывает, что среднемесячная температура воздуха в рассматриваемый период была отрицательной, однако не будем забывать, что речь идёт о среднемесячной температуре воздуха. Фактическая (срочная) наблюденная температура воздуха имела значительные колебания. В этот период были отмечены оттепели, в течение которых выпадали осадки в жидкой фазе.

Именно эти тёплые осадки и сформировали вышеуказанный термоклин в виде влажного, водонасыщенного, тяжёлого снежного пласта.

График метеорологических элементов на 1-й снеговой станции за декабрь-январь 2009-2010 годов и данные по метеозементам на 1-й снеговой станции и на снеголавинном посту «Роза Хутор» показаны в таблицах 1, 2 и на рисунке 13.

Таблица 1. Метеорологические данные на 1-й снеговой станции за 29.12.2009 год

Table 1. Meteorological data at the 1st snow station for 29.12.2009

Число	Время (МС) от ср. мирового	t. воздуха (°C)	Влажность отн. (%)	Напр. ветра (град)	Ск. ветра, ср. (м/с)	Ск. ветра, макс. (м/с)	Отр. коротк. изл. (W/m2)	Глубина снега (см)	t пов. снега (°C)	t снега, 100см (°C)	t снега, 50см (°C)	t снега, 25см (°C)	t снега, 0см (°C)	К-во осад. сум. (мм)	К-во осад. пер. (мм)	Интенсивно- сть средн. (мм/ч)	Интенсивно- сть макс. (мм/ч)
29.12.2009	10:00:00	-1,679	100	A	A	A	43,34	98,3	-0,932	-1,076	-0,477	-0,328	0,313	924	0	0	0
29.12.2009	10:30:00	-2,124	100	A	A	A	47,92	99,4	-1,497	-1,064	-0,472	-0,325	0,314	924	0	0	0
29.12.2009	11:00:00	-2,404	100	A	A	A	65,31	102,2	-1,881	-1,052	-0,471	-0,321	0,319	924	0	0	0
29.12.2009	11:30:00	-3,185	100	A	A	A	66,39	101,9	-2,627	-1,042	-0,458	-0,32	0,318	924	0	0	0
29.12.2009	12:00:00	-3,077	100	A	A	A	70,85	99,2	-2,501	-1,035	-0,453	-0,32	0,313	924	0	0	0
29.12.2009	12:30:00	-2,861	100	A	A	A	65,18	97,9	-2,364	-1,021	-0,452	-0,32	0,313	924	0	0	0
29.12.2009	13:00:00	-2,477	100	A	A	A	80,3	98,7	-2,316	-1,014	-0,444	-0,32	0,314	924	0	0	0
29.12.2009	13:30:00	-3,431	100	A	A	A	64,32	104,6	-3,09	-1,003	-0,436	-0,32	0,313	924	0	0	0
29.12.2009	14:00:00	-3,426	100	A	A	A	36,33	109,7	-2,761	-0,991	-0,433	-0,32	0,311	924	0	0	0
29.12.2009	14:30:00	-3,439	100	A	A	A	37,7	106,1	-2,954	-0,983	-0,433	-0,319	0,31	924	0	0	0
29.12.2009	15:00:00	-3,641	100	A	A	A	36,27	106,7	-3,347	-0,974	-0,428	-0,314	0,305	924	0	0	0
29.12.2009	15:30:00	-3,877	100	A	A	A	27,42	108,6	-3,535	-0,965	-0,417	-0,31	0,302	924	0	0	0
29.12.2009	16:00:00	-4,089	100	A	A	A	20,82	110,3	-3,607	-0,954	-0,414	-0,304	0,298	924	0	0	0
29.12.2009	16:30:00	-4,218	100	353,4	0,874	3,462	9,64	106,6	-3,745	-0,943	-0,414	-0,301	0,294	924	0	0	0
29.12.2009	17:00:00	-4,177	100	356,4	0,99	4,147	1,469	107,5	-3,376	-0,935	-0,414	-0,301	0,295	924	0	0	0
29.12.2009	17:30:00	-3,908	100	2,504	0,738	4,538	0,046	110	-3,261	-0,926	-0,406	-0,3	0,295	924	0	0	0
29.12.2009	18:00:00	-4,663	100	332,5	1,547	6,142	0	117,5	-4,232	-0,916	-0,405	-0,301	0,294	924	0	0	0
29.12.2009	18:30:00	-4,311	100	357,3	0,874	4,127	0	115,2	-3,327	-0,905	-0,405	-0,301	0,288	924	0	0	0
29.12.2009	19:00:00	-3,251	100	44,42	1,315	5,125	0	116,4	-2,543	-0,888	-0,404	-0,294	0,281	924	0	0	0
29.12.2009	19:30:00	-3,025	100	67,2	1,158	4,714	0	115,6	-2,43	-0,888	-0,395	-0,293	0,285	924	0	0	0
29.12.2009	20:00:00	-2,929	100	54,94	1,276	6,572	0	116,5	-2,405	-0,876	-0,393	-0,291	0,285	924	0	0	0
29.12.2009	20:30:00	-3,539	100	71,67	1,565	3,834	0	114,3	-2,947	-0,87	-0,387	-0,292	0,283	924	0	0	0
29.12.2009	21:00:00	-3,793	100	38,12	0,448	2,347	0	114,3	-3,334	-0,865	-0,386	-0,291	0,276	924	0	0	0
29.12.2009	21:30:00	-4,242	100	46,47	0,163	2,328	0	115,6	-3,897	-0,854	-0,384	-0,29	0,276	924	0	0	0
29.12.2009	22:00:00	-4,814	100	105	0,383	3,306	0	120	-4,356	-0,846	-0,382	-0,288	0,276	924	0	0	0
29.12.2009	22:30:00	-5,04	100	108,9	0,041	1,995	0	120,5	-4,571	-0,839	-0,378	-0,286	0,275	924	0	0	0
29.12.2009	23:00:00	-5,133	100	A	A	A	0	124,1	-4,579	-0,831	-0,377	-0,283	0,275	924	0	0	0
29.12.2009	23:30:00	-5,093	100	A	A	A	0	121,2	-4,519	-0,825	-0,373	-0,282	0,275	924	0	0	0

Примечание. Данные по ветру с вписанным значением «А» в голубом поле указывают на отсутствие данных (датчик анеморумбомера – обледенел и не вращался)

Таблица 2. Метеорологические данные на снеголавинном посту «Роза Хутор» за 27-31.12.2009 год

Table 2. Meteorological data at the Rosa Khutor snow-avalanche post for 27-31.12.2009

Число	t°C cp	t°C MIN	t°C MAX	% CP	% MIN	t°C снега, средн.	t°C снега, мин.	t°C снега, макс.	h снега	ветер, напр.	ветер, средн.	ветер, макс.	облачность, общ.	облачность, нижн.	E	D	осадки	давление	атмосферные явления
27	-0,4	-2,5	1	94	87	-1,2	-5,5	0	115	св	3	10	3	3	5,59	0,38	31,8		снег, туман
28	1,3	0,2	2,1	96	90	0	-0,8	0	108	в	12	20	8	8	6,45	0,26	29,2		дождь, снег, дымка, туман
29	-1,4	-4	2,1	96	93	-0,5	-0,5	0	116	в	7	20	?	?	5,34	0,23	93,4		дождь, снег, туман
30	-6,8	-7,9	-3,5	95	93	-6,1	-8,2	-2,5	150	в юв	2,5	10	3	3	3,5	0,18	25,2		
31	-6,7	-10,1	-2,3	68	44	-9,6	-14,0	-5	139	юв	3,8	12	6	1	2,75	1,31			

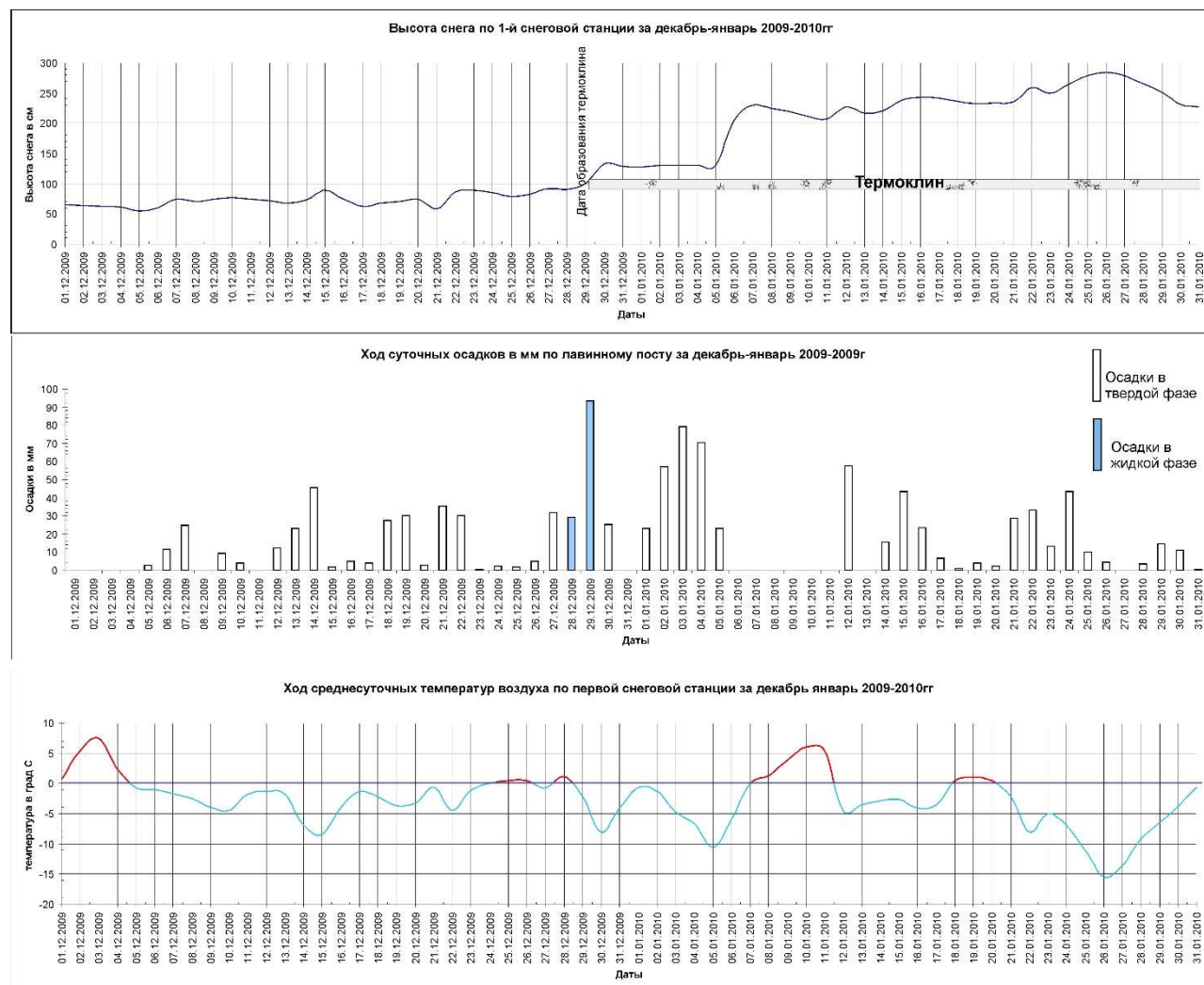


Рисунок 13. Ход температуры воздуха, осадков и высоты снежного покрова зимой 2009-2010 годов на снеголавинном посту в цирке Роза Хутор (окрестности метеостанции «1-я снеговая Роза Хутор»)

Figure 13. Air temperature, precipitation and snow pack height in the winter of 2009-2010 at the snow avalanche post in the Rosa Khutor circus (near the weather station "1st snow Rosa Khutor")

Рассматриваемый слой уплотнённого снега на уровне $h=100$ см благополучно просуществовал в снежной толще до мая, пока не оказался, вследствие таяния снега, верхним

слоем, что хорошо видно на графике хода среднесуточных температур снега на разных уровнях на первой снеговой станции за май 2010 года (рисунок 14).

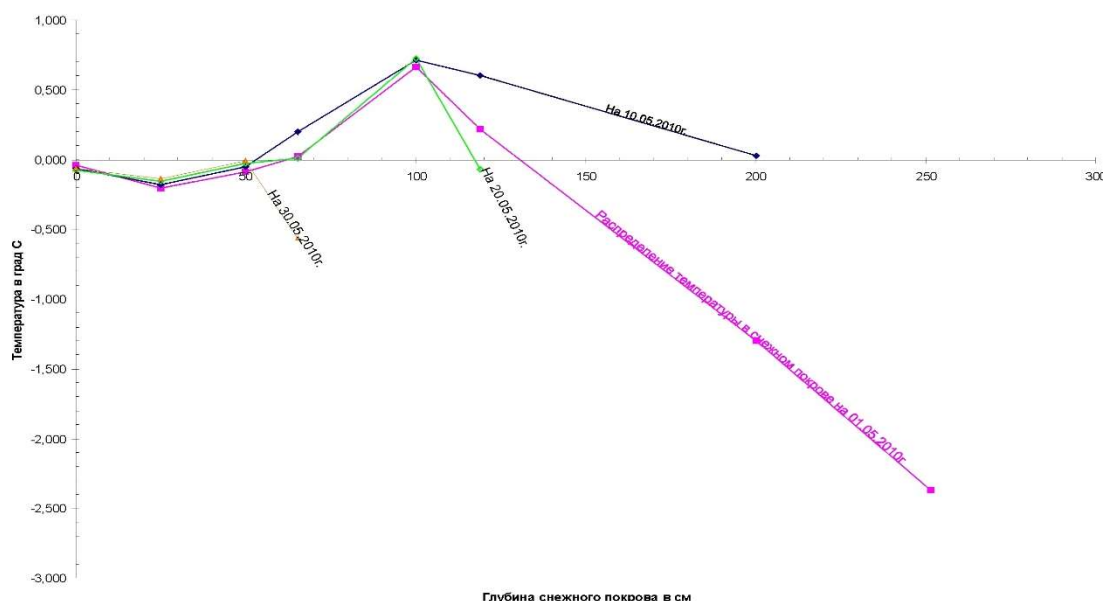


Рисунок 14. Ход температур в снежном покрове в мае 2010 года.

Метеостанция «1-я снеговая Роза Хутор»

Figure 14. Temperature of the snow pack in May 2010. Weather station "1st snow Rose Khutor"

Необходимо отметить, что этот термоклин существенно изменил естественный ход теплового потока от грунта вверх через снежную толщу. Обладая высокой плотностью и соответственно теплопроводностью, он значительно увеличил отток тепла от поверхности грунта, что в свою очередь привело к росту отрицательных температур снега на уровне $h=0$ см: то есть к понижению температуры на почве под слоем снега до отрицательных значений.

Подобные явления часто возникают в атмосфере, где так же возникает термоклин. В метеорологии его называют слоем инверсии.

Затем майские тёплые дожди ещё более насытили снежную толщу тёплой влагой, что привело к неустойчивости снежного покрова на

крутых склонах пригребневой части хребта Аибга и к сходу весенних лавин влажного и мокрого снега.

Эти лавины привели к уничтожению растительного покрова склонов (рододендрона понтийского), который, будучи замороженным (стеблями и листвой) в снежную толщу передавал нагрузку от движущегося снежного пласта на корневую систему. Вследствие, малой толщи почвенного слоя (10-15 см), он не выдержал нагрузки и был содран вместе с растительностью (рисунок 15, 16).

Необходимо отметить, что подобные лавины были зафиксированы и на других участках: как на северном, так и на южном склоне хребта Аибга.

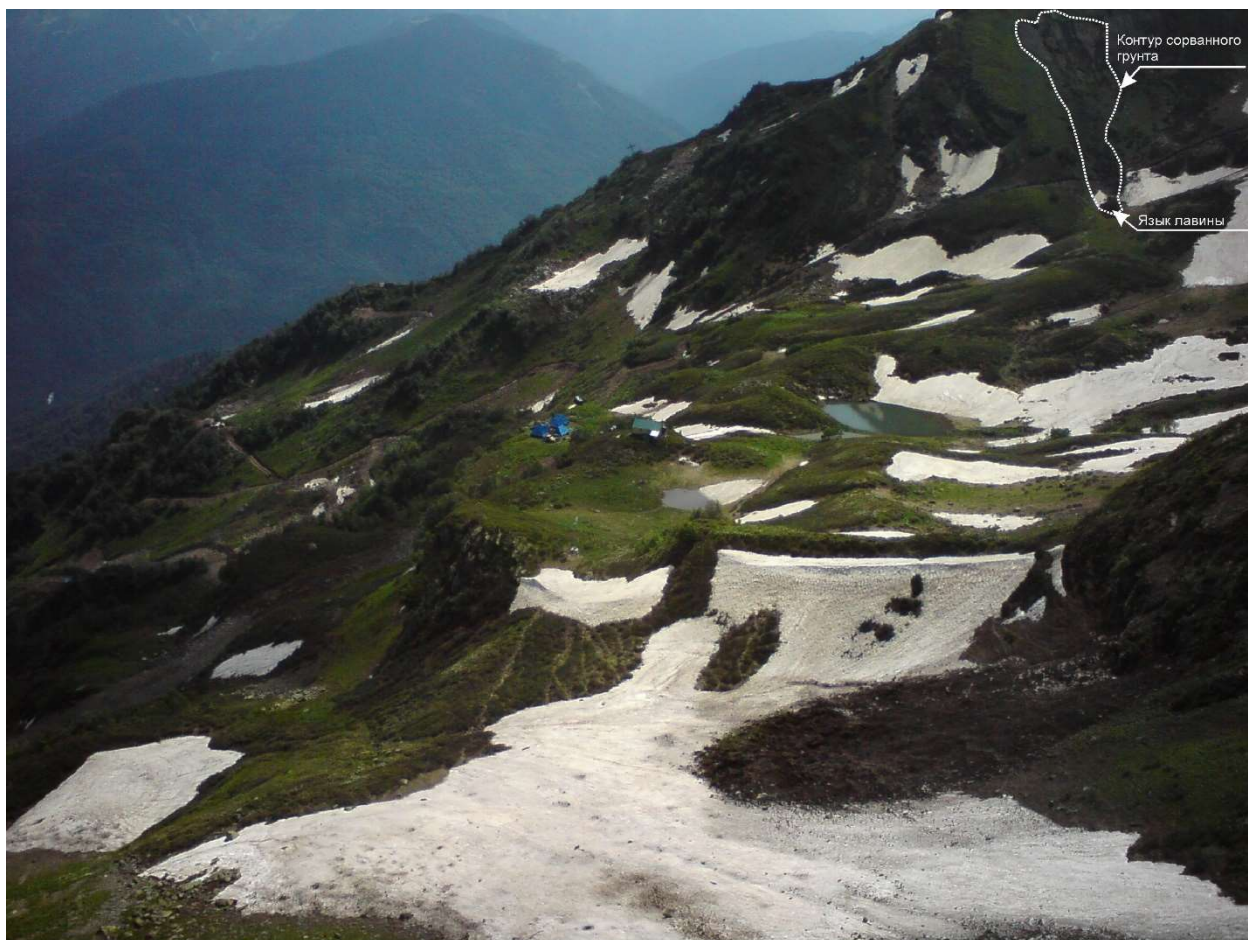


Рисунок 15. Грунт, сорванный весенней лавиной мокрого снега в цирке Роза Хутор в районе лавинного поста. Фото Г.Л. Морозова

Figure 15. Soil torn off by a spring avalanche of wet snow in the Rosa Khutor circus near the avalanche post. Photo by Georgy L. Morozov



Рисунок 16. Лавинный снежник. Снежные валы перекрыты сорванным грунтом и растительностью. Фото Г.Б. Горлова

Figure 16. Avalanche snow patch. Snow ramparts are blocked by torn soil and vegetation. Photo by G.B. Gorlov

Заключение

1. Для рассматриваемой территории проблемы, связанные с промерзанием грунта, не являются актуальными. Промерзание на северо-восточном склоне хребта Аибга отсутствует. Последнее имеет как положительные, так и отрицательные стороны. К положительным относится значительное удешевление строительства фундаментной части зданий и сооружений. К отрицательным – невозможность раннего (по календарным датам) оснежения склонов.

2. Искусственное оснежение склонов (напыление снега на голый грунт) осенью является весьма проблематичным из-за большого притока тепла от грунтов горного массива. Работы по оснежению склонов целесообразно производить после установления устойчивого снежного покрова, причём его минимальная толщина должна составлять 25 см.

Литература

ГОСТ 16350-80. Климат СССР районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1981. 150 с.

3. Частые оттепели и связанные с ними осадки в жидкой фазе способны сформировать в толще снежного покрова влагонасыщенные пласты, образующие термоклин, способствующий образованию весенних лавин влажного и мокрого снега.

4. Весной 2010 года на горнолыжном комплексе «Роза Хутор» (Красная Поляна) сошли снежные лавины, разрушившие подстилающий почвенный слой. Причиной разрушения почвенного слоя явилось талое состояние грунтов под снежным покровом. Подобные снежные лавины случайны и происходят крайне редко.

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам ООО «Инжзащита» (г. Сочи) Горлову Г.Б., Исаевой Е.Х., Бенделиани С.С. за сбор и обработку материалов, положенных в основу данной статьи.

References

GOST 16350-80. Klimat SSSR raionirovanie i statisticheskie parametry klimaticeskikh faktorov dlya tekhnicheskikh tselei [*GOST 16350-80.* Climate of the USSR. Regionalism and statistical parameters of climatic factors for technical purposes]. Moscow, Publ. of USSR State Committee for Standards, 1981. 150 p. (In Russian).

УДК 550.344.42

DOI: 10.34753/HS.2020.2.3.260

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ ЦУНАМИ

Г.И. Долгих, С.Г. Долгих

*Тихоокеанский океанологический институт им.
В.И. Ильичёва ДВО РАН, г. Владивосток, Россия*
dolgikh@poi.dvo.ru

Аннотация. Цунами являются одними из самых катастрофических природных явлений, приносящих колоссальные разрушения и уносящих большое число человеческих жизней. Причины возникновения цунами могут быть различными: подводные землетрясения, подводные оползни, извержения вулканов. Даже известны случаи возникновения цунами в результате обрушения в море больших оползней и обвалов. Изучением физики возникновения и развития цунами занимались с древности и продолжают заниматься учёные разных стран. Основное направление исследований связано с построением краткосрочного прогноза землетрясений. В настоящее время традиционные методы краткосрочного прогнозирования цунами основаны только на сейсмологической информации (магнитуде землетрясения, времени главного толчка и местоположении эпицентра). Магнитуда землетрясения, превышающая установленное пороговое значение, которое различается для разных цунамигенных зон, обычно приводит к выдаче предупреждения о цунами. Научная значимость и актуальность обозначенной проблемы очень высока, более того, она жизненно необходима для большинства населения планеты, живущего в прибрежных районах. Как показывает история последних десятилетий, особенно события 2004 и 2011 годов и последних лет, эффективность работы службы предупреждений о цунами далека от своего совершенства. Не предсказанные катастрофические цунами, плохая оценка энергии возникающих цунами, объявление ложных тревог приводят к большим экономическим и социальным потерям. Это связано, прежде всего, с отсутствием

DEFORMATIONAL FEATURES OF TSUNAMI

Grigory I. Dolgikh, Stanislav G. Dolgikh

*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB
RAS, Vladivostok, Russia*
dolgikh@poi.dvo.ru

Abstract. Tsunamis are one of the most catastrophic phenomena, causing tremendous destruction and claiming a significant number of lives. The causes of tsunamis can be different: water-quake, underwater landslides and volcanic eruptions. Even cases of tsunami are known as a result of the collapse of a huge mass of rocks in the sea. Scientists from different countries since antiquity have been studying the physics of the occurrence and development of tsunamis. The main direction of research is related to the construction of a short-term forecast of earthquakes. Currently, the traditional method of short-term tsunami forecasting is based only on seismological information (earthquake magnitude, main shock time and epicenter location). An earthquake magnitude exceeding a predetermined threshold value that differs between tsunamigenic zones usually results to a tsunami warning. The scientific significance and relevance of this problem is very high, moreover, it is vital for the majority of the world's population living in coastal regions. As the history of recent decades, especially the events of 2004 and 2011, and even recent years, shows, the efficiency of the tsunami service, to put it mildly, is far from perfect. The misses of catastrophic tsunamis, poor estimation of the energy of the arising tsunamis, false alarms, lead to very sad consequences. This is primarily due to the lack of a reliable short-term tsunami forecast. The works of recent years, based on the use of a distributed network of GPS receivers, DART systems, satellite technologies, are aimed at solving this problem, the final results of which are not yet visible. We believe that solving the problem of short-term tsunami forecast based on remote registration of deformational processes occurring in the source area of the tsunami origin is the most promising area of

достоверного краткосрочного прогноза цунами. Работы последних лет, основанные на применении распределённой сети GPS-приёмников, системы DART, спутниковых технологий, направлены на решение данной проблемы, но итоговые результаты этих исследований пока не видны. Мы считаем, что решение задачи краткосрочного прогноза цунами, основанного на дистанционной регистрации деформационных процессов, происходящих в очаговой области места возникновения цунами, является самым перспективным направлением исследований.

Ключевые слова: цунами; землетрясение; краткосрочный прогноз; деформационные аномалии; лазерный деформограф; GPS-приёмник; система DART

Введение

Известно, что одним из самых опасных катастрофических явлений Земли является цунами, которое приносит значительный экономический ущерб и приводит к человеческим жертвам. В качестве характерного примера можно привести цунами, которое возникло 26 декабря 2004 года в Индийском океане и унесло жизни более 283 000 человек. Оно было вызвано мощным землетрясением с максимальным значением магнитуды около 9,3 [Stein, Okal, 2005]. От действия цунами страдают различные регионы планеты, но в наибольшей степени это касается Японии. Учитывая в какой степени Япония страдает от воздействия землетрясений и цунами, а также её высокое научно-техническое развитие, можно ожидать, что в данном регионе планеты будут сосредоточены передовые научно-технические разработки, направленные на прогноз возникновения и развития землетрясений и цунами.

Если проблема краткосрочного прогноза землетрясений далека от своего решения, то задача обнаружения момента возникновения цунами кажется вполне решаемой. На Японских островах и на прилегающих акваториях установлено большое количество сейсмостанций, GPS-приёмников (более 5 000), донных

research, which will be partially confirmed in this paper.

Keywords: tsunami; earthquake; short-term forecast; deformational anomalies; laser strainmeter; GPS receivers; DART systems

сейсмостанций и высокоточных измерителей уровня моря/океана. Но тем не менее, события 2011 года в ещё большей степени показали степень нерешённости проблемы краткосрочного прогноза цунами.

В настоящее время огромное количество научных работ посвящается физике возникновения и развития цунами, которые можно разделить на:

- 1) экспериментальные, с некоторым физическим объяснением наблюдаемых сигналов;
- 2) модельные, которых значительное большинство;
- 3) теоретические, которых меньшинство.

Можно утверждать, что генеральное направление работ, посвящённых проблеме цунами, связано с регистрацией цунами на стадии их возникновения и выполнения дальнейших модельных расчётов.

В работе [Titov et al., 2016] сформулированы основные направления выполнения данных исследований. Раннее предупреждение о цунами зависит от быстрого определения потенциальной опасности цунами в режиме реального времени, до того, как волны пересекут береговые линии.

Энергия цунами может характеризовать разрушительный потенциал генерируемых волн.

Недавно были предложены два независимых подхода для определения энергии источника цунами: один основан на данных Deep-Ocean Assessment and Reporting of Tsunamis (далее – DART) во время распространения цунами, а другой основан на наземной прибрежной системе глобального позиционирования (далее – GPS) при генерации цунами.

Основополагающими инструментальными средствами в настоящее время большинством исследователей признаны системы DART и GPS-приёмники.

Подход GPS учитывает динамический процесс землетрясения, подход инверсии DART обеспечивает фактическую оценку энергии распространяющихся волн цунами. Оба подхода приводят к согласованным энергетическим шкалам для раннего изучения цунами.

На основе этих многообещающих результатов в работе [Titov et al., 2016] изучен подход к определению энергии источника цунами в реальном времени, объединяющий эти два метода. На первой стадии определяется источник цунами по глобальной сети GPS сразу после землетрясения с целью раннего предупреждения в ближней зоне. Затем по ближайшим измерениям DART уточняется энергия цунами с целью повышения точности прогнозов или отмены тревоги. Комбинация этих двух сетей реального времени может предложить привлекательную возможность для раннего определения угрозы цунами с целью спасения большего числа человеческих жизней и ранней отмены предупреждений о цунами с целью недопущения ложных тревог об угрозе цунами.

За последнее десятилетие количество датчиков в открытом океане, способных анализировать информацию о проходящем цунами, неуклонно увеличивалось, особенно благодаря национальным кабельным сетям и международным системам: таким как системы DART.

Полученная информация анализируется с целью предупреждения цунами. Большинство текущих предупреждений о цунами направлены на районы средней и дальней зоны. В работе [Williamson, Newman, 2018] проанализированы

регионы, окружающие четыре сейсмически активные зоны субдукции (Японию, Чили и Яву), на предмет их потенциала в плане возможности использования для раннего предупреждения о местных цунами с использованием таких систем. Основные выводы работы заключаются в том, что хотя некоторые регионы плохо подходят для этого типа раннего предупреждения (например, береговая линия Чили), другие регионы (такие как Ява, Индонезия) могут включать прямые наблюдения цунами в свои прогнозы с достаточной заблаговременностью, позволяющей принимать своевременные меры для эффективного реагирования на угрозу цунами.

Следует отметить, что невозможно учесть все типы цунамигенных явлений на море в этих местах. Землетрясение на Суматре 26 декабря 2004 г. ($M_w=9,2-9,3$) вызвало самое смертоносное цунами в истории. Однако в течение первого часа сейсмическими методами не была установлена настоящая опасность крупного цунами в океане.

В работе [Blewitt et al., 2006] показано, что истинный размер землетрясения и потенциал цунами можно определить с помощью глобальной системы позиционирования (GPS) уже через 15 минут после начала данного землетрясения, отслеживая среднее смещение поверхности Земли, связанное с приходом сейсмических волн. В течение нескольких минут смещение >10 мм обнаруживается даже в Индии, что согласуется с результатами, полученными с использованием данных, полученных после события. Эти смещения подразумевают $M_w=9,0\pm0,1$, что указывает на высокий потенциал цунами. В работе утверждается, что существующая инфраструктура GPS может быть использована как эффективная компонента систем предупреждения о цунами.

В работах [Song, Han, 2011; Gusman et al., 2012; Xu, Song, 2013; Tang et al., 2016] также обосновывается перспективность использования GPS-систем и распределённых систем типа DART для раннего предупреждения цунами.

В работе [Song et al., 2005] анализируются данные о цунами и вызвавшего его землетрясения по данным цифровой сейсмометрии и спутниковой радиолокационной альтиметрии.

Оба метода независимо записали данное событие. Сейсмические данные затем использовались для оценки параметров разлома землетрясения, а трёхмерная модель общей циркуляции океана (OGCM) использовалась для моделирования волн цунами, наблюдаемых со спутников. В работе показано, что эти два набора данных обеспечат информацию об источнике цунами с помощью независимых методик инверсии сейсмических волн и моделирования океана. Анализ этих двух независимых результатов говорит, что функция скольжения является наиболее важным условием, определяющим мощность цунами, а геометрия и скорость разрушения тектонической плоскости определяют пространственные закономерности цунами.

Несмотря на последние инновационные разработки, авторы работы [Korolev, 2011] считают, что краткосрочный прогноз цунами и эффективное предупреждение о цунами – ключевая проблема службы цунами. В настоящее время традиционный метод краткосрочного прогнозирования цунами основан только на сейсмологической информации (магнитуде землетрясения, времени главного толчка и местоположении эпицентра). Магнитуда землетрясения, превышающая установленное пороговое значение, которое различается для разных цунамигенных зон, обычно приводит к выдаче предупреждения о цунами. Такой подход, основанный на «магнитудно-географическом принципе», прост и довольно эффективен: по крайней мере он обеспечивает небольшое количество пропусков цунами.

Пропуски катастрофических цунами, неверная оценка энергии возникающих цунами, объявления ложных тревог приводят к очень печальным последствиям. Это связано прежде всего с отсутствием достоверного краткосрочного прогноза цунами.

Работы последних лет, основанные на применении распределённой сети GPS-приёмников, системы DART, спутниковых технологий, направлены на решение данной проблемы, но итоговые результаты пока не видны.

Но на наш взгляд наиболее перспективен метод краткосрочного прогноза цунами, основанный на инструментальных методах [Долгих и др., 1998; Долгих и др., 2002; Долгих, 2011], и применённый для оценки цунамиопасности Суматранского землетрясения 2004 года [Долгих и др., 2007а; Долгих и др., 2007б].

Деформационный метод регистрации признаков цунами

Разработка новых технологий краткосрочного прогноза опасных гидродинамических процессов Земли (волны цунами, «волны-убийцы» и др.), их пеленгации и идентификации на стадии зарождения и развития имеет громадное значение.

На данный момент практически нет достаточно надёжных методов регистрации возникновения опасных гидродинамических процессов Земли, что привело к катастрофическим событиям последних лет.

В качестве характерного примера можно привести два события, которые связаны с землетрясениями, произошедшими в земной коре под морским дном. В декабре 2004 года произошло мощное землетрясение в Индийском океане, в результате чего образовалось цунами, унёсшее жизни более 283 000 человек [Stein, Okal, 2005]. При этом не была объявлена тревога в связи с образованием цунами. В январе 2007 года произошло мощное землетрясение в Тихом океане. Была объявлена опасность цунами на Курильских островах и на острове Хоккайдо, но цунами не было.

Данные примеры говорят о том, что службы предупреждения, связанные с опасностью возникновения цунами, работают неэффективно. Если в первом случае погибло много людей и был нанесён большой экономический и социально-политический ущерб, то во втором случае был нанесён большой экономический ущерб хозяйствующим объектам, расположенным в зоне, где была объявлена тревога: в связи с прекращением их функционирования и проведением противоцунамиопасных

мероприятий и эвакуацией людей из предполагаемых районов затопления.

Деформационные аномалии, вызывающие цунами, возникают при различных геодинамических процессах. Подавляющее их большинство связано с землетрясениями.

Сами землетрясения всего лишь вызывают сотрясения океанского дна в диапазоне периодов от нескольких секунд до нескольких десятков секунд и не могут вызвать цунами. А деформационные аномалии, вызванные землетрясениями, находятся в крайне левом частотном диапазоне и не могут быть зарегистрированы любыми, даже широкополосными сейсмографами.

В связи с тем, что гидрологические установки находятся на небольшом расстоянии от места выхода цунами на шельф и времени недостаточно для эффективного проведения противоцунамиопасных мероприятий, они тоже являются неэффективными.

Наиболее эффективными для регистрации цунами являются установки, способные регистрировать деформационные подвижки, приводящие к возникновению волны. Скорость распространения деформационной подвижки в упругой среде на порядок больше скорости распространения цунами. Наиболее перспективными для их регистрации и пеленгации являются лазерные деформографы благодаря своим основным характеристикам: точность измерения микросмещений земной коры – 0,1 нм и меньше, частотный диапазон – от 0 (условно) до 1000 Гц,

динамический диапазон – практически неограничен при измерении естественных процессов инфразвукового диапазона.

Изучение записей лазерного деформографа, установленного на мысе Шульца Приморского края России, позволило обнаружить не только характерные для землетрясений колебания, определяемые длиной разрыва в очаге землетрясения, но и выделить аномальный деформационный сигнал, который характеризует смещение морского дна в месте возникновения цунами, которое и привело к образованию цунами (рисунок 1).

Можно отметить, что по записи любого широкополосного сейсмографа/велосиметра невозможно обнаружить этот деформационный сигнал.

В качестве характерного примера можно привести запись широкополосного сейсмографа, расположенного на одной из сейсмостанций Японии (рисунок 2). Как видно из данного рисунка, ни по записи, ни по динамической спектрограмме невозможно определить степень цунамиопасности происшедшего землетрясения. Более того, можно заметить, что длительность деформационной аномалии, которая в данном случае равна около 21 мин (рисунок 1), связана с длительностью деформационных подвижек дна океана в месте образования цунами, а величина деформационной аномалии, которая значительно больше величины суточного прилива в месте расположения лазерного деформографа, связана с величиной смещений морского/океанического дна.

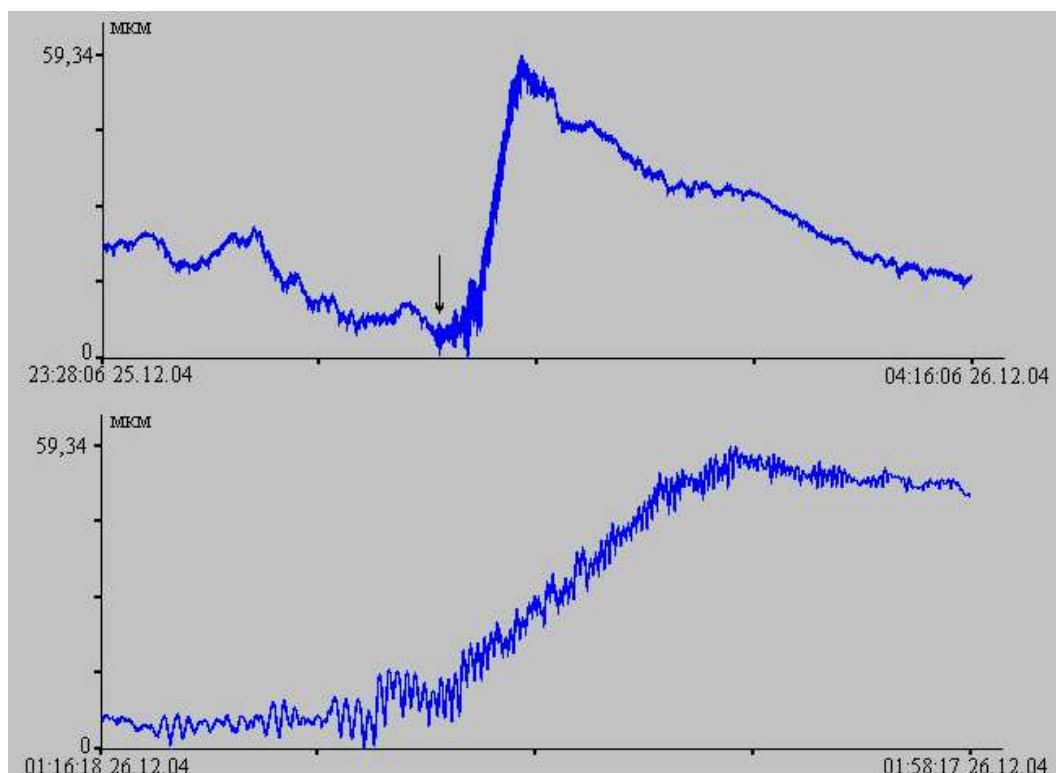


Рисунок 1. Фрагмент записи 52,5-метрового лазерного деформографа за декабрь 2004 года. Запись индонезийского цунамигенного землетрясения (верхний) и выделенный участок записи землетрясения (нижний)

Figure 1. Capture sample of 52.5-meter laser strainmeter in December 2004. Indonesian tsunamigenic earthquake record (top) and highlighted section of earthquake record (bottom)

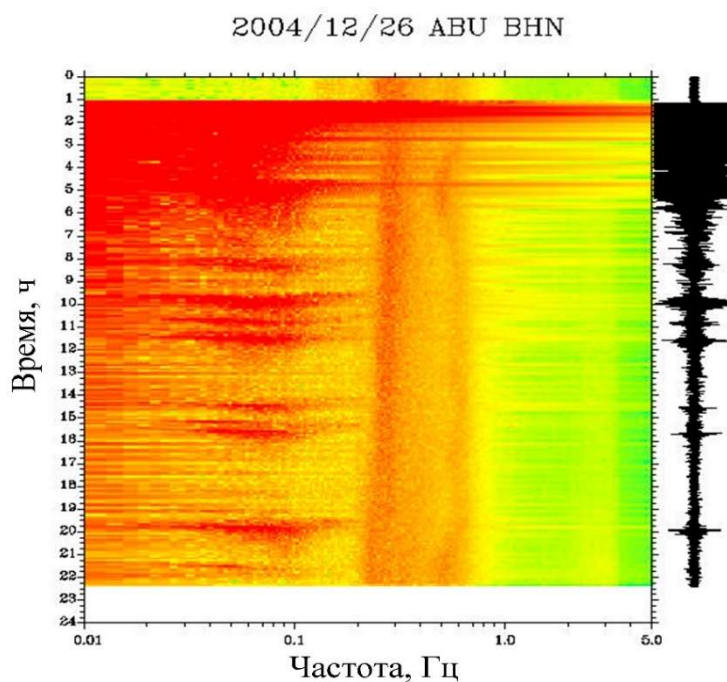


Рисунок 2. Запись широкополосного сейсмографа (правый) и динамическая спектрограмма записи широкополосного сейсмографа (левый)

Figure 2. Recording of a broadband seismograph (right) and dynamic spectrogram of a broadband seismograph record (left)

Обработка и анализ других записей лазерного деформографа

С момента начала работы лазерного деформографа горизонтального типа с ориентацией север-юг и с длиной измерительного плеча 52,5 м, установленного на МЭС ТОИ ДВО РАН «м. Шульца», в точке с координатами 42,58°N, 131,157°E, был получен большой объем данных в широком диапазоне частот искусственного и естественного происхождения.

Общий вид записей землетрясений отличается от искусственных сигналов импульсного характера. Существенные отличия наблюдаются при анализе спектрограмм. Частоты, характерные для землетрясений и взрывов, определяются размером разрыва в гипоцентре землетрясений и зоной локализации взрывов.

Проанализируем записи лазерного деформографа при регистрации сигналов, связанных с некоторыми цунамигенными землетрясениями.

5 сентября 2004 года на южном побережье острова Хонсю (Япония), произошло два мощных землетрясения. Первое землетрясение с

магнитудой 7,2 произошло в 10:07:07 в точке с координатами 33,14°N, 136,62°E, на расстоянии около 75 км к востоку от острова Хонсю, на глубине 20 км от уровня моря. Второе землетрясение с магнитудой 7,5 произошло в 14:57:16. Его гипоцентр находился в точке с координатами 33,19°N, 137,05°E, на расстоянии около 130 км к востоку от южной части острова Хонсю, на глубине 10 км от уровня моря.

Землетрясения с магнитудой около 5 были зарегистрированы на южном побережье острова Хонсю после второго сильного землетрясения.

На рисунке 3 приведена карта-схема расположения эпицентров двух сильных землетрясений (красный круг) и череды землетрясений с магнитудой около 5 (оранжевые круги). Оба сильных землетрясения были зарегистрированы лазерным деформографом.

Расстояние от эпицентров землетрясений до лазерного деформографа составляет около 1162 км. На рисунке 4 (верхний) приведена запись первого нецунамигенного землетрясения. Сигнал от землетрясения был зарегистрирован лазерным деформографом в 10:13:46 5 сентября 2004 года.

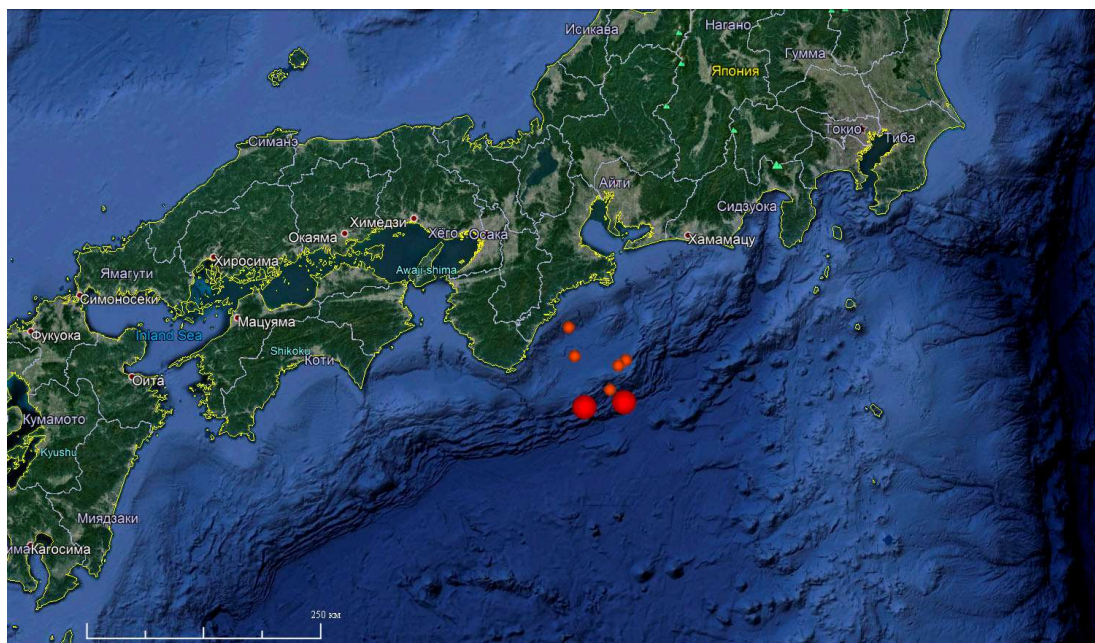


Рисунок 3. Карта-схема расположения эпицентров землетрясений в районе южного побережья острова Хонсю 5 сентября 2004 г.

Figure 3. Sketch map of earthquake epicenters location in the area of the southern coast of Honshu on September 5, 2004

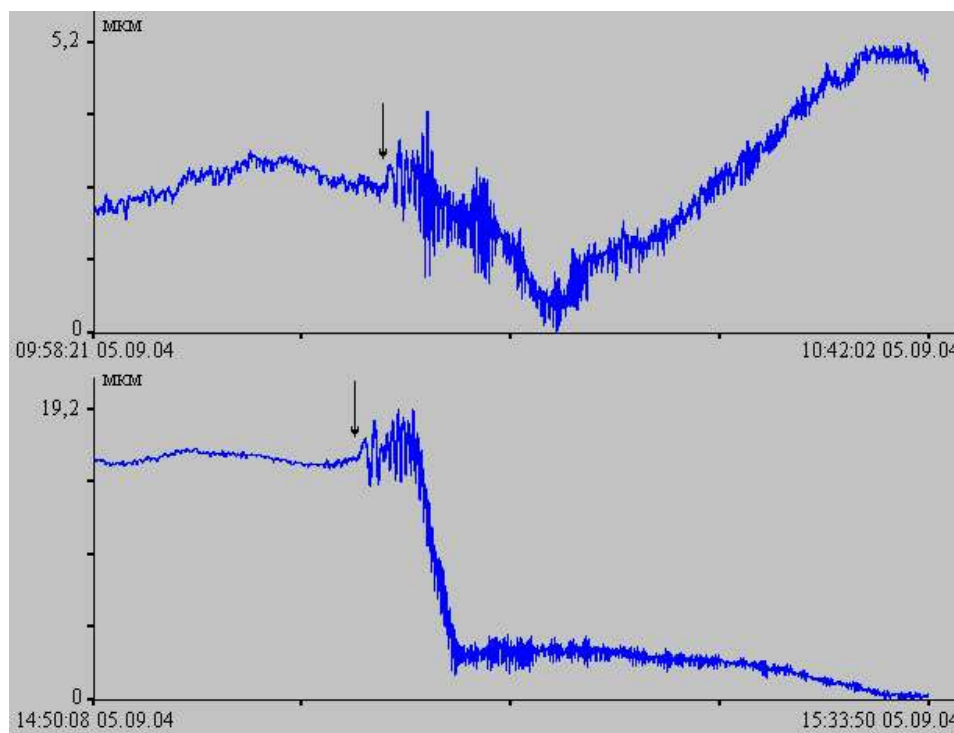


Рисунок 4. Фрагмент записи 52,5-метрового лазерного деформографа за сентябрь 2004 года. Запись нецунамигенного землетрясения (верхний) и запись цунамигенного землетрясения (нижний) на южном побережье острова Хонсю

Figure 4. Capture sample of 52.5-meter laser strainmeter in September 2004. Record of non-tsunamigenic earthquake (top) and record of tsunamigenic earthquake (bottom) on the south of the west coast of Honshu

Учитывая время распространения колебаний от эпицентра землетрясения до места установки лазерного деформографа, скорость их распространения примерно равна 2 909 м/с. На рисунке 4 (нижний) приведена запись второго цунамигенного землетрясения. Сигнал от землетрясения был зарегистрирован лазерным деформографом в 15:03:52 5 сентября 2004 года. Расстояние от эпицентра землетрясения до лазерного деформографа составляет около 1 152 км. Учитывая время распространения колебаний от эпицентра землетрясения до места установки лазерного деформографа, скорость их распространения примерно равна 2 909 м/с.

25 марта 2020 года в 02:49 GMT (05:49 по московскому времени) к востоку от Курильских островов в районе острова Парамушир произошло сильное землетрясение магнитудой $M=7,5$, эпицентр землетрясения и контуры

интенсивности по 12-балльной шкале MSK-64 показаны на рисунке 5. Оно вызвало цунами на ряде островов Курильской гряды. Землетрясение и скачок деформаций, связанный с перемещениями морского дна в центре формирования цунами, были зафиксированы лазерным деформографом, который находился на расстоянии почти 2 150 км от эпицентра (Курильский остров Парамушир).

На рисунке 6 показана обработанная запись лазерного деформографа.

Для выделения вариаций деформаций земной коры, вызванных цунамигенным землетрясением, из данных лазерного деформографа были вычтены вариации микродеформаций земной коры, вызванные колебаниями атмосферного давления. По наблюдаемому скачку деформации можно было говорить о возможной опасности цунами.

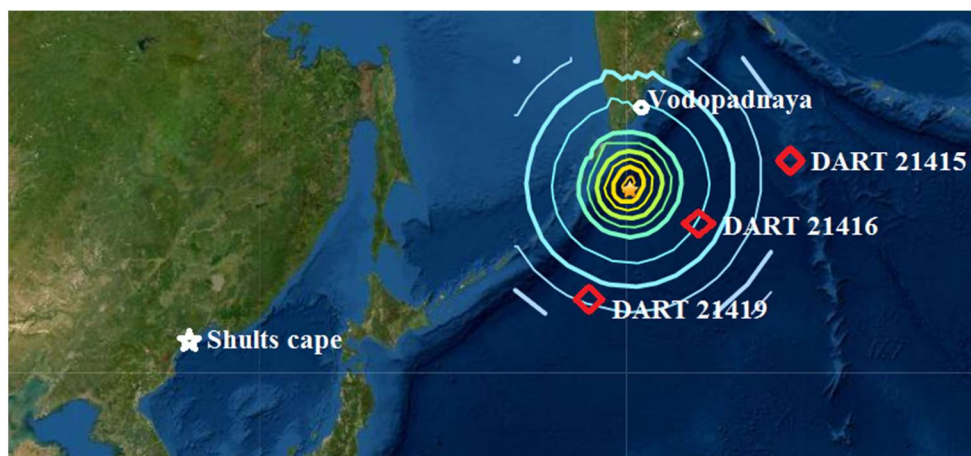


Рисунок 5. Эпицентр землетрясения 25 марта 2020 года с контурами интенсивности

Figure 5. Earthquake epicenter on March 25, 2020 with intensity circuits

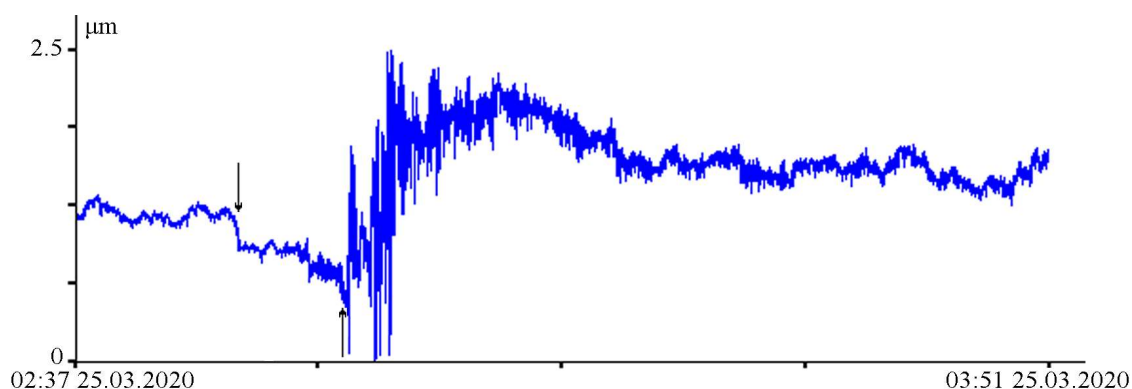


Рисунок 6. Участок записи лазерного деформографа. Стрелка вниз показывает начало землетрясения, стрелка вверх показывает начало деформационной аномалии. Землетрясение 25 марта 2020 г.

Figure 6. Section of the laser strainmeter recording. Down arrow shows the earthquake beginning, up arrow shows the deformational anomaly beginning. Earthquake on March 25, 2020

На записи лазерного деформографа землетрясение было зафиксировано в 02:53 GMT, а через 4 минуты было зафиксировано начало деформационной аномалии, вызвавшей цунами, то есть уже через 15 минут после начала землетрясения можно было говорить о возникновении цунами.

Заключение

Результаты ранее опубликованных исследований и результаты, представленные в данной статье, показывают, что возникновение цунами сопровождается возникновением деформационной аномалии, регистрируемой на записи лазерного деформографа.

По-видимому, после начала землетрясения в некоторый момент времени происходят движения участков морского дна, которые и

приводят к образованию цунами. Данные перемещения участков морского дна на записи лазерного деформографа отображаются в виде аномального деформационного сигнала (скачка деформации).

При дальнейшем анализе экспериментальных данных, полученных с помощью лазерных деформографов, будет изучена физика возникновения деформационных аномалий, связанных с генерацией цунами, и изучена зависимость их основных характеристик (амплитуда, скорость деформации, соотношение дисперсии и нелинейности и тому подобное) от особенностей подвижек морского/океанического дна (направления смещений, характера смещений, скорости смещений, объемов перемещающихся масс, деформационного градиента и тому подобное).

Литература

Долгих Г.И., Ковалев С.Н., Корень И.А., Овчаренко В.В. Двухкоординатный лазерный деформограф // Физика Земли. 1998. № 11. С. 76-81.

Долгих Г.И., Валентин Д.И., Долгих С.Г., Ковалёв С.Н., Корень И.А., Овчаренко В.В., Фищенко В.К. Применение лазерных деформографов вертикальной и горизонтальной ориентаций в геофизических исследованиях переходных зон // Физика Земли. 2002. № 8. С. 69-73.

Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалев С.Н., Корень И.А., Овчаренко В.В., Чупин В.А., Швеи В.А., Яковенко С.В. Регистрация деформационной аномалии цунамигенного землетрясения лазерным деформографом // Доклады Академии наук. 2007а. Т. 412. № 1. С. 104-106.

Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалев С.Н., Овчаренко В.В., Чупин В.А., Швеи В.А., Яковенко С.В. Деформационный метод определения цунамигенности землетрясений // Доклады Академии наук. 2007б. Т. 417. № 1. С. 109-112.

Долгих Г.И. Принципы построения однокоординатных лазерных деформографов // Письма в журнал технической физики. 2011. Т. 37. Вып. 5. С. 24-30.

Blewitt G., Kreemer C., Hammond W.C., Plag H.-P., Stein S., Okal E. Rapid determination of earthquake magnitude using GPS for tsunami warning systems // Geophysical Research Letters. 2006. Vol. 33. Iss. 11. P. L11309. DOI: [10.1029/2006GL026145](https://doi.org/10.1029/2006GL026145).

Gusman A.R., Tanioka Y., Sakai S., Tsushima H. Source model of the great 2011 Tohoku earthquake estimated from tsunami waveforms and crustal deformation data // Earth and Planetary Science Letters. 2012. Vol. 341-344. P. 234-242. DOI: [10.1016/j.epsl.2012.06.006](https://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.06.006).

Korolev Yu.P. An approximate method of short-term tsunami forecast and the hind casting of some recent events // Natural Hazards and Earth System

References

Blewitt G., Kreemer C., Hammond W.C., Plag H.-P., Stein S., Okal E. Rapid determination of earthquake magnitude using GPS for tsunami warning systems. *Geophysical Research Letters*, 2006, vol. 33, iss. 11, p. L11309. DOI: [10.1029/2006GL026145](https://doi.org/10.1029/2006GL026145).

Dolgikh G.I., Kovalev S.N., Koren' I.A., Ovcharenko V.V. A Two-Coordinate Laser Strainmeter. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 1998, vol. 34, no. 11, pp. 946-950. (Russ. ed.: Dolgikh G.I., Kovalev S.N., Koren' I.A., Ovcharenko V.V. Dvukhkoordinatnyi lazernyi deformograf. *Fizika Zemli*, 1998, no. 11, pp. 76-81).

Dolgikh G.I., Valentin D.I., Dolgikh S.G., Kovalev S.N., Koren' I.A., Ovcharenko V.V., Fishchenko V.K. Application of horizontally and vertically oriented strainmeters in geophysical studies of transitional zones. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2002, vol. 38, no. 8, pp. 686-689. (Russ. ed.: Dolgikh G.I., Valentin D.I., Dolgikh S.G., Kovalev S.N., Koren' I.A., Ovcharenko V.V., Fishchenko V.K. Primenenie lazernykh deformografov vertikal'noi i gorizonta'noi orientatsii v geofizicheskikh issledovaniyakh perekhodnykh zon. *Fizika Zemli*, 2002, no. 8, pp. 69-73).

Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Kovalev S.N., Koren I.A., Ovcharenko V.V., Chupin V.A., Shvets V.A., Yakovenko S.V. Recording of deformation anomaly of a tsunamigenous earthquake using a laser strainmeter. *Doklady Earth Sciences*, 2007а, vol. 412, no. 1, pp. 74-76. DOI: [10.1134/S1028334X07010163](https://doi.org/10.1134/S1028334X07010163) (Russ. ed.: Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Kovalev S.N., Koren I.A., Ovcharenko V.V., Chupin V.A., Shvets V.A., Yakovenko S.V. Registratsiya deformatsionnoi anomalii tsunamigenogo zemletryaseniya lazernym deformografom. *Doklady Akademii nauk*, 2007а, vol. 412, no. 1, pp. 104-106).

Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Kovalev S.N., Ovcharenko V.V., Chupin V.A., Shvets V.A., Yakovenko S.V. A deformation method of tsunamigenic earthquakes definition. *Doklady Earth Sciences*, 2007b, vol. 417, no. 1, pp. 1261-1264.

Sciences. 2011. Vol. 11. Iss. 11. P. 3081-3091. DOI: [10.5194/nhess-11-3081-2011](https://doi.org/10.5194/nhess-11-3081-2011).

Song Y.T., Han S.C. Satellite observations defying the long-held tsunami genesis theory // *Remote Sensing of the Changing Oceans* / Tang D. (ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. P. 327-342. DOI: [10.1007/978-3-642-16541-2_17](https://doi.org/10.1007/978-3-642-16541-2_17).

Song Y.T., Ji C., Fu L.-L., Zlotnicki V., Shum C. K., Yi Y., Hjorleifsdottir V. The 26 December 2004 Tsunami source estimated from satellite radar altimetry and seismic waves // *Geophysical Research Letters*. 2005. Vol. 32. Iss. 20. P. L20601. DOI: [10.1029/2005GL023683](https://doi.org/10.1029/2005GL023683).

Stein S., Okal E.A. Speed and size of the Sumatra earthquake // *Nature*. 2005. Vol. 434. No. 7033. P. 581-582. DOI: [10.1038/434581a](https://doi.org/10.1038/434581a).

Tang L., Titov V.V., Moore C., Wei Y. Real-time assessment of the 16 September 2015 Chile tsunami and implications for near-field forecast // *Pure and Applied Geophysics*. 2016. Vol. 173. Iss. 2. P. 369-387. DOI: [10.1007/s00024-015-1226-3](https://doi.org/10.1007/s00024-015-1226-3).

Titov V.V., Song Y.T., Tang L., Bernard E.N., Bar-Sever Y., Wei Y. Consistent estimates of tsunami energy show promise for improved early warning // *Pure and Applied Geophysics*. 2016. Vol. 173. Iss. 12. P. 3863-3880. DOI: [10.1007/s00024-016-1312-1](https://doi.org/10.1007/s00024-016-1312-1).

Williamson A.L., Newman A.V. Suitability of open-ocean instrumentation for use in near-field tsunami early warning along seismically active subduction zones // *Pure and Applied Geophysics*. 2018. Vol. 176. Iss. 7. P. 3247-3262. DOI: [10.1007/s00024-018-1898-6](https://doi.org/10.1007/s00024-018-1898-6).

Xu Z., Song Y.T. Combining the all-source Green's functions and the GPS-derived source for fast tsunami prediction-illustrated by the March 2011 Japan tsunami // *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2013. Vol. 30. Iss. 7. P. 1542-1554. DOI: [10.1175/JTECH-D-12-00201.1](https://doi.org/10.1175/JTECH-D-12-00201.1).

DOI: [10.1134/S1028334X07080296](https://doi.org/10.1134/S1028334X07080296) (Russ. ed.: Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Kovalev S.N., Ovcharenko V.V., Chupin V.A., Shvets V.A., Yakovenko S.V. Deformatsionnyi metod opredeleniya tsunamigennosti zemletryasenii. *Doklady Akademii nauk*, 2007b, vol. 417, no. 1, pp. 109-112).

Dolgikh G.I. Principles of designing single-coordinate laser strainmeters. *Technical Physics Letters*, 2011, vol. 37, iss. 3, pp. 204-206. DOI: [10.1134/S1063785011030035](https://doi.org/10.1134/S1063785011030035) (Russ. ed.: Dolgikh G.I. Printsipy postroeniya odnokoordinatnykh lazernykh deformografy. *Pis'ma v zhurnal tekhnicheskoi fiziki*, 2011, vol. 37, iss. 5, pp. 24-30).

Gusman A.R., Tanioka Y., Sakai S., Tsushima H. Source model of the great 2011 Tohoku earthquake estimated from tsunami waveforms and crustal deformation data. *Earth and Planetary Science Letters*, 2012, vol. 341-344, pp. 234-242. DOI: [10.1016/j.epsl.2012.06.006](https://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.06.006).

Korolev Yu.P. An approximate method of short-term tsunami forecast and the hind casting of some recent events. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2011, vol. 11, iss. 11, pp. 3081-3091. DOI: [10.5194/nhess-11-3081-2011](https://doi.org/10.5194/nhess-11-3081-2011).

Song Y.T., Han S.C. Satellite observations defying the long-held tsunami genesis theory. In Tang D. (ed.), *Remote Sensing of the Changing Oceans*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011, pp. 327-342. DOI: [10.1007/978-3-642-16541-2_17](https://doi.org/10.1007/978-3-642-16541-2_17).

Song Y.T., Ji C., Fu L.-L., Zlotnicki V., Shum C. K., Yi Y., Hjorleifsdottir V. The 26 December 2004 Tsunami source estimated from satellite radar altimetry and seismic waves. *Geophysical Research Letters*, 2005, vol. 32, iss. 20, p. L20601. DOI: [10.1029/2005GL023683](https://doi.org/10.1029/2005GL023683).

Stein S., Okal E.A. Speed and size of the Sumatra earthquake. *Nature*, 2005, vol. 434, no. 7033, pp. 581-582. DOI: [10.1038/434581a](https://doi.org/10.1038/434581a).

Tang L., Titov V.V., Moore C., Wei Y. Real-time assessment of the 16 September 2015 Chile tsunami and implications for near-field forecast. *Pure and Applied Geophysics*, 2016, vol. 173, iss. 2, pp. 369-387. DOI: [10.1007/s00024-015-1226-3](https://doi.org/10.1007/s00024-015-1226-3).

Titov V.V., Song Y.T., Tang L., Bernard E.N., Bar-Sever Y., Wei Y. Consistent estimates of tsunami energy show promise for improved early warning. *Pure and Applied Geophysics*, 2016, vol. 173, iss. 12, pp. 3863-3880. DOI: [10.1007/s00024-016-1312-1](https://doi.org/10.1007/s00024-016-1312-1).

Williamson A.L., Newman A.V. Suitability of open-ocean instrumentation for use in near-field tsunami early warning along seismically active subduction zones. *Pure and Applied Geophysics*, 2018, vol. 176, iss. 7, pp. 3247–3262. DOI: [10.1007/s00024-018-1898-6](https://doi.org/10.1007/s00024-018-1898-6).

Xu Z., Song Y.T. Combining the all-source Green's functions and the GPS-derived source for fast tsunami prediction-illustrated by the March 2011 Japan tsunami. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2013, vol. 30, iss. 7, pp. 1542-1554. DOI: [10.1175/JTECH-D-12-00201.1](https://doi.org/10.1175/JTECH-D-12-00201.1).

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОПАСНОСТИ В ГИДРОСФЕРЕ ECOLOGICAL PROBLEMS AND HAZARDS IN THE HYDROSPHERE

УДК 556.114.001.24(282.247.326.2)

DOI: 10.34753/HS.2020.2.3.272

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАСЧЁТОВ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА СТОКА ПО ДАННЫМ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Э.А. Румянцева¹, Н.Н. Бобровицкая¹,
М.В. Шмакова²

¹Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Государственный гидрологический
институт», г. Санкт-Петербург, Россия;

²Институт озераедения Российской академии
наук – обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Санкт-Петербургский
Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук», г. Санкт-
Петербург, Россия
bobrovi@ggi.nw.ru

THE USE OF AUTOMATED TECHNOLOGY TO CALCULATE THE RUNOFF QUALITY CHARACTERISTICS ACCORDING TO HYDROCHEMICAL AND HYDROLOGICAL OBSERVATIONS

El'vira A. Rumyantseva¹, Nelly N.
Bobrovitskaya¹, Marina V. Shmakova²

¹Federal State Budgetary Institution "State
Hydrological Institute", Russia, St. Petersburg;

²The Institute of Limnology of the Russian Academy
of Sciences is a separate structural unit of the
Federal State Budgetary Institution of Science "St.
Petersburg Federal Research Center of the Russian
Academy of Sciences"

bobrovi@ggi.nw.ru

Аннотация. Для расчётов характеристик качества стока воды рек в ФГБУ «ГТИ» был разработан автоматизированный программный комплекс, позволяющий проводить совместную обработку режимной гидрохимической и гидрологической информации. Задачей настоящей работы является представление возможностей программы в получении характеристик качества стока воды на примере реки Луга по данным 2000–2017 гг. Первой характеристикой качества стока воды является доля объёмов, загрязнённых единичными химическими компонентами ($V_{\text{заг}}\%$). С применением автоматизированного программного комплекса рассчитаны годовые и многолетние значения $V_{\text{заг}}\%$ стока воды реки Луга для каждого загрязняющего вещества и

Abstract. To calculate the characteristics of river water flow quality, the FSBI "SHI" developed an automated software package that allows for joint processing of regime hydro chemical and hydrological information. The objective of this work is to present the capabilities of the program in obtaining characteristics of water flow quality using the example of the Luga River according to data from 2000 to 2017. The first characteristic of the flow quality is the proportion of volumes contaminated with single chemical components (V_{poll}). With the use of an automated software package, the annual and long-term values of V_{poll} of the Luga river runoff for each polluting component were calculated and their probabilistic estimates were given. It is shown that the upper limit of $V_{\text{poll}}\%$ values for water saturation with O_2 is below the norm, for the content

даны их вероятностные оценки. Показано, что верхний предел значений $V_{\text{заг}}\%$ для насыщения воды O_2 ниже нормы, для содержания Mn^{2+} , Cu^{2+} , $N-NO_2^-$, $Fe_{\text{общ}}$ и ХПК составил 100%; для содержания Pb^{2+} и нефтепродуктов – 64-79%, для содержания O_2 – 39% и для остальных компонентов не превысил 16,5%. Рассчитаны тенденции изменения годовых значений $V_{\text{заг}}\%$ для всех загрязняющих веществ. Второй характеристикой качества стока воды является доля его частичных объёмов, загрязнённых совокупностями химических компонентов, и оценённая по классам и разрядам в соответствии с РД 52.24.643-2002. Показано, что наиболее загрязнённым был сток воды в 2006 и 2010 годах. Он отнесён к 4-му классу, разряд "а" и охарактеризован как грязный. Слабо загрязнённым 2-го класса сток воды реки Луга был только в 2016 и 2017 годах. В остальные годы он являлся загрязнённым 3-го класса, разряд "а" либо разряд "б". Все результаты расчётов представлены в программном комплексе, как в табличной форме, так и в графическом виде.

Ключевые слова: автоматизированный программный комплекс; режимные наблюдения; загрязнённый сток; качество речного стока; динамика качества стока; оценка загрязнённости стока

Введение

Качество стока речной воды в настоящее время определяется независимо от гидрологических показателей. Поэтому актуальной явилась разработка программного комплекса, позволяющего получать оценку качества речного стока путём автоматизированной совместной обработки больших объёмов сетевой (режимной) гидрологической и гидрохимической информации.

Первая часть автоматизированного программного комплекса (далее – АПК)

of Mn^{2+} , Cu^{2+} , $N-NO_2$, Fe_{tot} and COD was 100%; for the content of Pb^{2+} and oil products – 64-79%, for the content of O_2 – 39% and for other components did not exceed 16.5%. Trends in the change in annual values of V_{poll} for all pollutants were calculated. The second characteristic of runoff quality is the proportion of its partial volumes contaminated with aggregates of chemical components, and assessed by classes and categories in accordance with RD 52.24.643-2002. The most polluted was the water runoff in 2006 and 2010. It is assigned to the 4th grade, category "a" and is characterized as dirty.

Keywords: automated software complex; regime observations; polluted runoff; river runoff quality; runoff quality dynamics; runoff pollution assessment

полностью соответствует методике ⁶, разработанной в ФГБУ «ГГИ» ранее [Караушев, Скакальский, 1973; Караушев, Скакальский, 1979; Скакальский, 1980; Методические основы, 1987]. Методика позволяет разделить объём речного стока по единичным компонентам на чистый, когда их содержание в стоке воды не превышает предельно допустимую концентрацию (далее – ПДК), и на загрязнённый, когда она выше ПДК.

Основной характеристикой качества речного стока воды в этой методике является относительный объём стока воды (далее – $V_{\text{заг}}\%$),

⁶ Рекомендации по применению интегральных показателей для оценки качества воды и загрязнённости рек и водоёмов. Л.: ГГИ, 1977. 72 с.

загрязнённой единичным компонентом. Он выражается отношением объёма стока воды, загрязнённой этим компонентом, через заданный створ за год ко всему годовому стоку реки. Характеристика относительной продолжительности загрязнённого стока воды (далее – $T_{\text{заг}}\%$) выражается отношением времени, в течение которого концентрация вещества в потоке выше ПДК, к общей продолжительности рассматриваемого промежутка времени, например, одному году.

Методика неоднократно использовалась в ФГБУ «ГГИ» для решения разных задач в ручном варианте. С помощью АПК все расчёты автоматизированы [Румянцева, Бобровицкая, 2012].

Вторая часть АПК разработана в отделе мониторинга и экспедиционных исследований ФГБУ «ГГИ» [Румянцева, Бобровицкая, Ильин, 2014] и в настоящее время совершенствуется. В этой части АПК производится разделение годового объёма речного стока на частичные объёмы, различающиеся по количеству и составу компонентов, и оценивается их степень загрязнённости по классам в соответствии с РД 52.24.643-2002⁷.

Характеристики качества стока воды универсальны и могут быть использованы как для изучения региональных особенностей различных рек, так и для управления качеством воды водохозяйственных систем. Возможность применения обеих характеристик для изучения факторов, формирующих качество стока воды как во времени, так и в пространстве показана в работах [Румянцева, Бобровицкая, 2015; Румянцева, Бобровицкая, Сухоногова, 2020; Румянцева, Бобровицкая, 2020].

Задачи и методы

АПК работает под управлением операционной системы Microsoft Windows. Интерфейс программы состоит из трёх основных структурных элементов: главного меню, управления данными по постам и результатов расчётов. Добавление в базу АПК как

гидрохимических, так и гидрологических данных наблюдений осуществляется в формате Microsoft Excel. В одной рабочей области приводятся таблицы с расходами воды выбранного гидрометрического створа за весь представленный в архиве период наблюдений, в другой – таблицы с гидрохимическими данными выбранного гидрохимического створа также за весь период наблюдений.

Программа состоит из двух основных форм. Первая форма – стартовая. На ней расположена краткая информация о программном продукте, возможность ознакомления с методикой и инструкцией по работе с программой, а также кнопка вызова основной расчётной формы. Вторая форма – расчётная область. Представляет собой набор элементов графического и табличного интерфейса для отображения и сохранения на соответствующих ресурсах.

Использование АПК значительно упрощает обработку и анализ данных наблюдений за качеством стока воды и позволяет оперативно получать как характеристики исходных данных наблюдений, так и расчётные характеристики.

Для получения расчётных характеристик качества стока воды производится линейная интерполяция измеренных значений компонентов с использованием посуточного шага гидрографа. Дальнейшие расчёты осуществляются не только по измеренным, но и по их суточным интерполированным значениям. Это позволяет сгладить основные особенности исходных рядов гидрохимической информации: её неоднородность, зависимость концентрации от водности реки [Смыжова, 2010; Шелутко, Колесникова, Смыжова, 2010].

Задачей данной работы является представление возможностей АПК в получении характеристик качества речного стока на примере реки Луга. Все таблицы и рисунки, приведённые в статье, получены с применением АПК.

Характеристика исходных данных

Для расчётов качества стока воды реки Луга использовались данные гидрохимических и

⁷ РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 48 с.

гидрологических наблюдений Северо-Западного УГМС за 2000–2017 гг. Пост гидрохимических наблюдений находится на 1 км выше п.г.т. Толмачёво. Гидрологический пост (код 72 569) расположен у ст. Толмачёво. Далее для удобства изложения названия постов не будут упоминаться.

Рабочая область «Характеристика исходных гидрохимических данных»

В рабочей области АПК «Характеристика исходных гидрохимических данных» приводятся две таблицы – «Количество проб по годам» и «Пределы варьирования компонентов».

В таблице 1 представлены пределы варьирования измеренных концентраций химических веществ в воде реки Луга за период наблюдений с 2000 по 2017 год. Полу жирным шрифтом отмечены значения, превышающие ПДК для рыбохозяйственного применения⁸.

Превысили норму содержания органических веществ, установленные по косвенным показателям ХПК и БПК₅, биогенные азотсодержащие соединения (N-NO_2^- , N-NH_4^+), $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Cu^{2+} , Mn^{2+} и Pb^{2+} , а также СПАВ и нефтепродукты. Выше верхнего предела нормы отмечено значение рН и ниже нормы содержание и насыщение воды кислородом.

В таблице 2 показано ежегодное количество проб воды, отобранных в реке Луга на гидрохимические анализы. Оно весьма

неоднородно и включает 7 компонентов: кислород, нефтепродукты, медь, марганец и кадмий, – которые определяли регулярно 12 раз в год, свинец и СПАВ – 11-12 раз в год. Также 12 раз в год определяли органические вещества по ХПК и БПК₅ и рН. Биогенные азотсодержащие соединения, фосфаты, общее железо, главные ионы в пробах воды анализировали реже – 4 раза в год. Пробы на содержание в воде пестицидов (ПП_ДДТ, ПП_ДДЭ, Альфа ГХЦГ, Гамма ГХЦГ) отбирали от 3 до 9 раз в год и только с 2001 года, а на содержание фенолов – от 1 до 7 раз в год и только в 2013, 2014, 2015, 2017 годах.

Следует отметить, что компоненты, которые определялись менее 4 раз в год, АПК не учитывает в расчётах.

Характеристика загрязнённости стока воды реки Луга по единичным химическим компонентам фактически может быть сделана для всех, перечисленных выше, кроме иона HCO_3^- , содержание которого не нормируется.

В РД 52.24.643-2002⁹ для оценки качества воды по комплексу загрязняющих веществ рекомендован основной перечень, включающий 15 компонентов. Для основного перечня загрязняющих веществ в данном случае не хватает трех – никеля, цинка и недостаточно определений фенолов. Поэтому согласно РД его можно отнести к свободному перечню, используемому для конкретных задач.

⁸ Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: Издательство ВНИРО, 1999. 304 с.

⁹ РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 48 с.

Таблица 1. Пределы варьирования измеренных в воде реки Луга значений химических компонентов за период 2000–2017 гг.

Table 1. Limits of variation of the values of hydro chemical components measured in the water of the Luga River for the period 2000–2017

Показатели	Размерность	ПДК рыбохозяйственного назначения	Пределы варьирования значений	
			Минимум	Максимум
Водородный показатель (рН)		6,5 – 8,5	6,73	8,89
Растворённый кислород, O ₂	мг/дм ³	6 летом; 4 зимой	2,6	13,5
Насыщение воды O ₂	%	>70	28	99
Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мгO ₂ /дм ³	2	0	3,6
Химическое потребление кислорода (ХПК)	мгO/дм ³	15	0	98
Аммоний солевой (N-NH ₄ ⁺)	мгN/дм ³	0,39	0	0,46
Нитриты (N-NO ₂ ⁻)	мгN/дм ³	0,02	0	0,22
Нитраты (N-NO ₃ ⁻)	мгN/дм ³	9	0,04	1,79
Фосфаты	мгP/дм ³	0,2	0	0,04
Fe _{общ}	мг/дм ³	0,1	0,01	1,1
Cu ²⁺	мг/дм ³	0,001	0	0,029
Mn ²⁺	мг/дм ³	0,01	0	0,301
Cd ²⁺	мг/дм ³	0,005	0	0,0025
Нефтепродукты	мг/дм ³	0,05	0	0,11
Фенолы	мг/дм ³	0,001	0	0
Синтетические поверхностно- активные вещества (СПАВ)	мг/дм ³	0,1	0	0,3
Ca ²⁺	мг/дм ³	180	17,8	84,2
Mg ²⁺	мг/дм ³	40	4,5	28,4
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	100	0	63,5
Cl ⁻	мг/дм ³	300	1,1	25,7
K ⁺	мг/дм ³	50	1	5,4
Na ⁺	мг/дм ³	120	1,3	13,4
HCO ₃ ⁻	мг/ дм ³		67	270
Температура	Град, С		0	25
Pb ²⁺	мг/ дм ³	0,006	0	0,017
Пестициды				
ПП_ДДЭ	мкг/дм ³	0,01	0	0
ПП_ДДТ	мкг/дм ³	0,01	0	0
Альфа ГХЦГ	мкг/дм ³	0,01	0	0,006
Гамма ГХЦГ	мкг/дм ³	0,01	0	0,005

Таблица 2. Количество проб воды, отобранных в воде реки Луга на химические анализы за период 2000-2017 годов
 Table 2. Annual number of water samples taken in the water of the Luga River for hydro chemical analyzes for the period 2000-2017

Показатели	Количество определений в год																		
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
pH	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
O ₂	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
O ₂ %	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
БПК ₅	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
ХПК	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
N-NH ₄ ⁺	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
N-NO ₂ ⁻	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
N-NO ₃ ⁻	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Фосфаты	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Fe _{общ}	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Cu ²⁺	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
Mn ²⁺	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
Cd ²⁺	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
Нефтепродукты	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
Фенолы	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	4	1	0	7
СПАВ	11	12	11	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
ПП ДДЭ	0	7	4	4	6	9	6	5	4	5	6	6	4	4	4	4	3	4	4
ПП ДДТ	0	7	4	4	6	9	6	5	4	5	6	6	4	4	4	4	3	4	4
АльфаГХЦГ	0	7	4	4	6	9	6	5	4	5	6	6	4	4	4	4	3	4	4
ГаммаГХЦГ	0	7	4	4	6	9	6	5	4	5	6	6	4	4	4	4	3	4	4
Ca ²⁺	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mg ²⁺	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SO ₄ ²⁻	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Cl ⁻	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
K ⁺	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Na ⁺	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
HCO ₃ ⁻	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Температура	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
pH ²⁺	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11

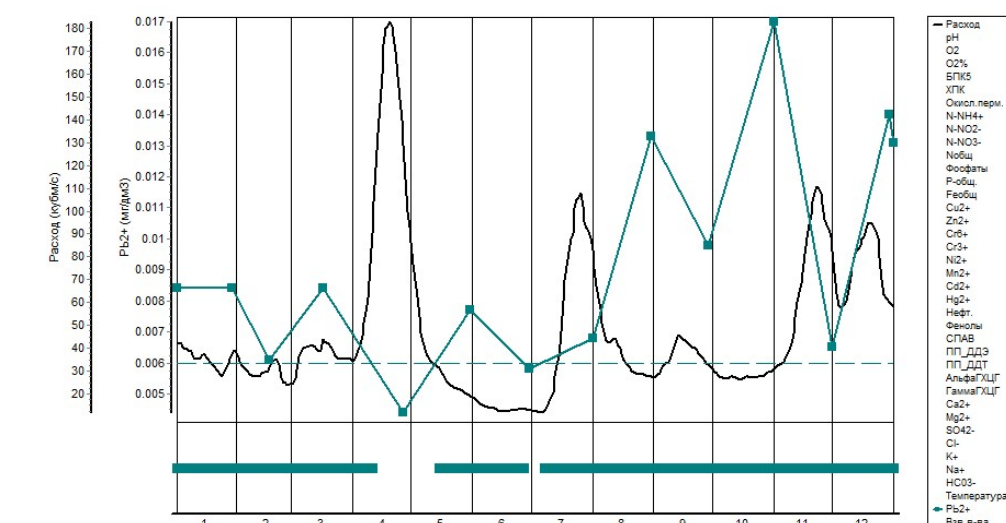


Рисунок 1. Диаграмма годового хода концентраций свинца в воде реки Луга, совмещённого с гидрографом в 2000 году

Figure 1. Diagram of the annual course of lead concentrations in the water of the Luga River, combined with a hydrograph in 2000

Рабочая область «Диаграмма»

Эта рабочая область АПК представляет собой набор ранжированных по годам графиков изменения концентраций загрязняющих веществ по эмпирическим данным, загруженным из архива. Кроме того, при наличии данных о суточных расходах воды отображается гидрограф стока.

Используя АПК, для каждого компонента и для каждого года возможно получить изображения диаграмм годового хода концентраций, совмещённого с гидрографом. Для примера на рисунке 1 представлена диаграмма годового хода концентраций свинца в воде реки Луга в 2000 году.

На графике присутствует линия, обозначенная пунктиром и соответствующая ПДК для данного компонента, снизу графика яркими прямоугольниками показаны продолжительности периодов превышения ПДК. Диаграммы являются основополагающими для расчётов объёмов стока воды, загрязнённого данным компонентом.

Рабочая область «Периоды продолжительностей загрязнённого стока»

Эта рабочая область АПК представляет собой набор графиков, в которых изображены

периоды продолжительностей загрязнённого стока воды за все годы наблюдений в виде ярких прямоугольников произвольной окраски для каждого загрязняющего компонента. Бесцветные полосы свидетельствуют об отсутствии данных, бежевые – об отсутствии загрязнённого стока воды для данного компонента.

На рисунке 2 показаны графики с наиболее различающимися периодами продолжительностей стока воды реки Луга, загрязнённой разными химическими компонентами.

Единичны и незначительны продолжительности периодов стока воды, загрязнённой СПАВ (рисунок 2А), аналогичны ему периоды продолжительностей стока воды для значений pH выше ПДК. Количество таких периодов для БПК₅ несколько больше (рисунок 2Б). Так же выглядят, не приведённые в данном тексте, графики для нефтепродуктов, растворённого кислорода и свинца. Наиболее часты и более продолжительны периоды стока воды, загрязнённой нитритным азотом (рисунок 2В) и для насыщения воды кислородом. Максимальны продолжительности загрязнённого стока воды для меди (рисунок 2Г), а также для марганца, железа и ХПК.

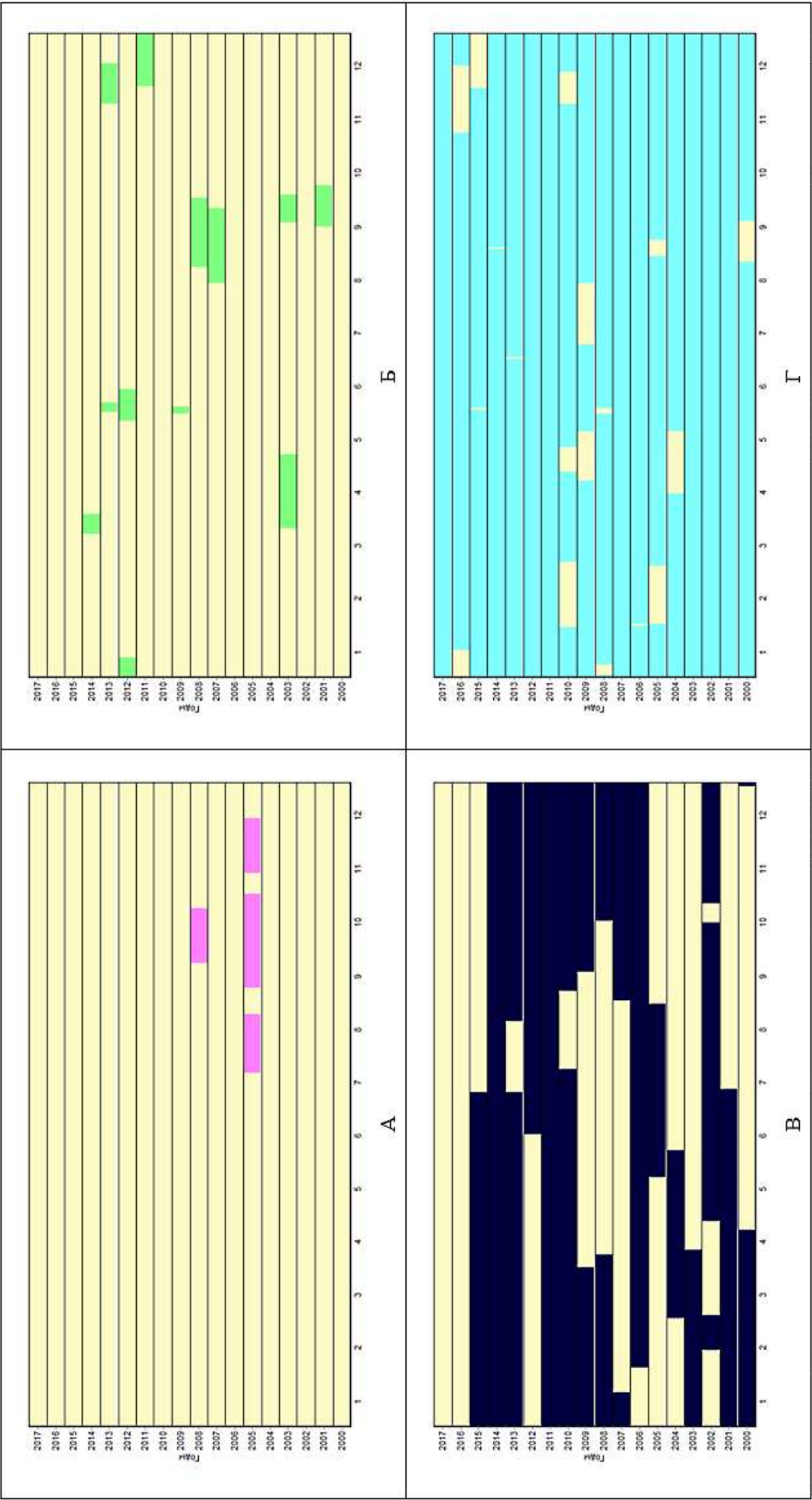


Рисунок 2. Периоды продолжительностей стока, загрязнённого СПАВ (А), органическими веществами по БПК₅ (Б), нитритным азотом (В) и медью (Г) за все годы наблюдений с 2000 по 2017 годы

Figure 2. Periods of runoff durations contaminated with synthetic surfactants (A), organic substances according to BOD₅ (B), nitrite nitrogen (C) and copper (D) for all observation years from 2000 to 2017

Оценка качества стока воды реки Луга по единичным показателям

Рабочая область «Таблицы результатов»

Результаты расчётов продолжительностей и объёмов загрязнённого стока воды рек приводятся в виде двух объёмных таблиц и, как правило, помещаются в приложениях.

В первой таблице для каждого года изучаемого периода приводятся значения годового стока воды. Для каждого компонента и каждого года рассчитываются абсолютные значения продолжительностей и объёмов чистого и загрязнённого стока воды в сутках и м³/год и относительные – в процентах. Указаны также периоды загрязнённого и чистого стока воды для каждого года и приведены их конкретные даты.

Во второй таблице представлена та же информация по относительным объёмам загрязнённого стока воды и его продолжительностям для каждого компонента в хронологическом порядке. Кроме того, для каждого года и для каждого компонента рассчитаны величины массового стока воды в тоннах и массового стока компонентов со сверхнормативными концентрациями.

В третьей таблице под названием «Обобщённые характеристики загрязнённого стока» приведены значения минимальных, максимальных и средних относительных объёмов, а также продолжительностей загрязнённого стока воды реки, усреднённые за весь период наблюдений. Для реки Луга данная информация представлена в таблице 3 за период 2000–2017 гг.

Очевидно, что для таких компонентов как Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, K⁺, Na⁺, Cd²⁺ и фосфаты (18 лет наблюдений), N-NO₃⁻, Гамма ГХЦГ, Альфа ГХЦГ, ПП_ДДТ и ПП_ДДЭ (16 лет наблюдений) и фенолов (4 года наблюдений) загрязнённый сток отсутствует.

Для Fe_{общ}, Mn²⁺, Cu²⁺, ХПК и O₂% загрязнённый сток присутствует ежегодно в течение всего периода наблюдений. Средние

значения стока воды, загрязнённой каждым из этих компонентов, были максимальными и превысили в разных случаях 70, 80 и даже 90%.

В течение 18 лет наблюдений сток воды, загрязнённой нитритами, имел место только 16 лет, сток воды с содержанием кислорода ниже нормы прослеживался 15 лет, загрязнение стока воды свинцом наблюдалось только 13 лет. Объём стока воды, загрязнённой лабильными органическими веществами по БПК₅, в течение всего периода наблюдений был отмечен только 9 лет, нефтепродуктами – 5 лет, СПАВ – только 2 года. Всего 1 год из 18 лет наблюдений зафиксирован сток воды, загрязнённой N-NH₄.

Верхний предел значений V_{заг}% для O₂%, Mn²⁺, Cu²⁺, N-NO₂⁻, Fe_{общ} и ХПК составил 100%; для Pb²⁺ и нефтепродуктов 60-80%, для содержания O₂ – около 40%, для БПК₅ и N-NH₄⁺ – чуть более 14%, для СПАВ – 8%.

Таблица «обеспеченности» качества стока

С помощью АПК для каждого года и соответствующего компонента, имеющего сверхнормативные значения, рассчитываются вероятностные оценки величин основных характеристик загрязнённого стока воды.

В таблице 4 приведены вероятностные оценки относительных величин объёмов и продолжительностей стока воды, загрязнённой нитритным азотом.

В соответствии с правилами, принятыми в гидрологии при оценке распределения среднесуточных расходов воды в течение года, за основу внутригодовой продолжительности взяты 30-й, 90-й, 180-й, 270-й и 365-й день, что соответствует 8,2; 24,7; 49,3; 74,0; 97,3% вероятностей, и соответствующим вероятностным значениям концентрации нитритного азота в воде.

В вероятностной кривой распределения концентраций отмечены значения основных критериев уровня загрязнения: ПДК, высокого загрязнения (далее – ВЗ) и экстремально высокого загрязнения (далее – ЭВЗ) – и рассчитаны соответствующие им вероятности.

Таблица 3. Средние значения относительных продолжительностей и объёмов стока воды реки Луга для единичных компонентов и пределы их значений за 2000–2017 гг.

Table 3. Averaged over 2000–2017 values of the relative durations and volumes of water flow in the Luga River with an excess of the standard content of single components and the limits of their values

Показатели	T _{заг} %			V _{заг} %			Количество лет наблюдений	
	Среднее	Мин.	Макс.	Среднее	Мин.	Макс.	С загрязнённым стоком	Всего
pH	0,5	0	6,0	0,8	0	10,8	2	18
O ₂	13,3	0	41,1	10,5	0	39,3	15	18
O ₂ %	65,6	12,6	100	71,3	9,2	100	18	18
БПК ₅	4	0	15,9	3,6	0	16,5	9	18
ХПК	95	57,5	100	97,2	67,1	100	18	18
N-NH ₄ ⁺	0,4	0	6,8	0,8	0	14,5	1	18
N-NO ₂ ⁻	52,9	0	100	54,4	0	100	16	18
N-NO ₃ ⁻	0	0	0	0	0	0	0	16
Фосфаты	0	0	0	0	0	0	0	18
Fe _{общ}	95,7	55,3	100	98,6	86,4	100	18	18
Cu ²⁺	95,1	81,1	100	94,6	77,9	100	18	18
Mn ²⁺	84,9	5,8	100	84,3	1,8	100	18	18
Cd ²⁺	0	0	0	0	0	0	0	18
Нефтепродукты	5,4	0	36,7	6,2	0	64,3	5	18
Фенолы	0	0	0	0	0	0	0	4
СПАВ	2,2	0	32,1	0,6	0	8,1	2	18
ПП_ДДЭ	0	0	0	0	0	0	0	16
ПП_ДДТ	0	0	0	0	0	0	0	16
АльфаГХЦГ	0	0	0	0	0	0	0	16
ГаммаГХЦГ	0	0	0	0	0	0	0	16
Ca ²⁺	0	0	0	0	0	0	0	18
Mg ²⁺	0	0	0	0	0	0	0	18
SO ₄ ²⁻	0	0	0	0	0	0	0	18
Cl ⁻	0	0	0	0	0	0	0	18
K ⁺	0	0	0	0	0	0	0	18
Na ⁺	0	0	0	0	0	0	0	18
Pb ²⁺	23,4	0	88,5	18,1	0	79,2	13	18

Таблица 4. Вероятностные оценки относительных величин объемов и продолжительностей стока воды со значениями нитритного азота выше нормы в 2000 году

Table 4. Probabilistic estimates of the relative values of volumes and durations of water runoff with nitrite nitrogen values above the norm in 2000

Продолжительность, сутки	Вероятность, %	Концентрация, мг/дм ³	Критерии	V _{заг} , м ³ /год	V _{заг} %
30	8,2	>0,08		9,21E+7	6,16
80	21,9	>0,0508	ВЗ	2,37E+8	15,85
90	24,7	>0,0417		2,67E+8	17,89
115	31,5	>0,0203	ПДК	4,97E+8	33,26
180	49,3	>0,012			
270	74,0	>0,0034			
355	97,3	>0			
		0	Минимум		
		0,08	Максимум		

Например, в 2000 году с вероятностью 21,9% объём стока воды $2,37 \cdot 10^8$ м³/год, то есть 15,85% годового стока, имел содержание нитритного азота на уровне и выше ВЗ, но концентрации не достигли значений ЭВЗ.

С вероятностью 31,5% объём стока воды $4,97 \cdot 10^8$ м³/год, то есть 33,26% годового стока, имел концентрацию нитритного азота на уровне и выше ПДК. Так можно охарактеризовать загрязнённый сток по любому году и по любому компоненту, имеющему превышения ПДК.

Следует отметить, что значения концентраций выше ВЗ встречаются в исследуемый период только в воде реки Луга, загрязнённой нитритами и марганцем. В обоих случаях значения ЭВЗ не достигаются.

Рабочая область «Тенденции»

Эта рабочая область АПК представляет собой набор графиков, описывающих тенденции изменения годовых значений относительной продолжительности и относительного объёма загрязнённого стока воды за исследуемый период.

Для примера на рисунке 3 представлены графики разнонаправленных тенденций многолетнего хода только относительных объёмов стока воды (V_{заг}%), загрязнённых разными химическими компонентами, так как графики многолетнего хода их продолжительностей почти идентичны.

За весь период наблюдений можно отметить тенденцию увеличения V_{заг}% стока воды с насыщением кислородом ниже нормы (рисунок 3А). Аналогична ему тенденция увеличения объёмов стока воды с содержанием в воде кислорода ниже нормы. Относительный объём стока воды, загрязнённой нитритами, в период 2000–2014 гг. имеет тенденцию к увеличению, а с 2014 по 2017 год – к уменьшению.

В 2000–2017 гг. характерно уменьшение V_{заг}% стока воды, загрязнённой свинцом (рисунок 3Б). Так же выглядит, не приведённый в данной статье, график тенденции уменьшения V_{заг}% для нефтепродуктов, а с 2014 года – для марганца.

Относительные объёмы стока воды, загрязнённой железом, медью и органическими веществами по ХПК за весь период 2000–2017 гг., постоянно высокие с незначительными снижениями в отдельные годы. На рисунке 3В показана многолетняя динамика V_{заг}% стока воды, загрязнённой медью.

V_{заг}% для NH₄⁺, СПАВ, органических веществ по БПК₅ и со значениями рН выше нормы, как правило, отсутствует, но имеют место его небольшие всплески в отдельные годы, аналогично тому, как показано на рисунке 3Г для стока воды, загрязнённой СПАВ.

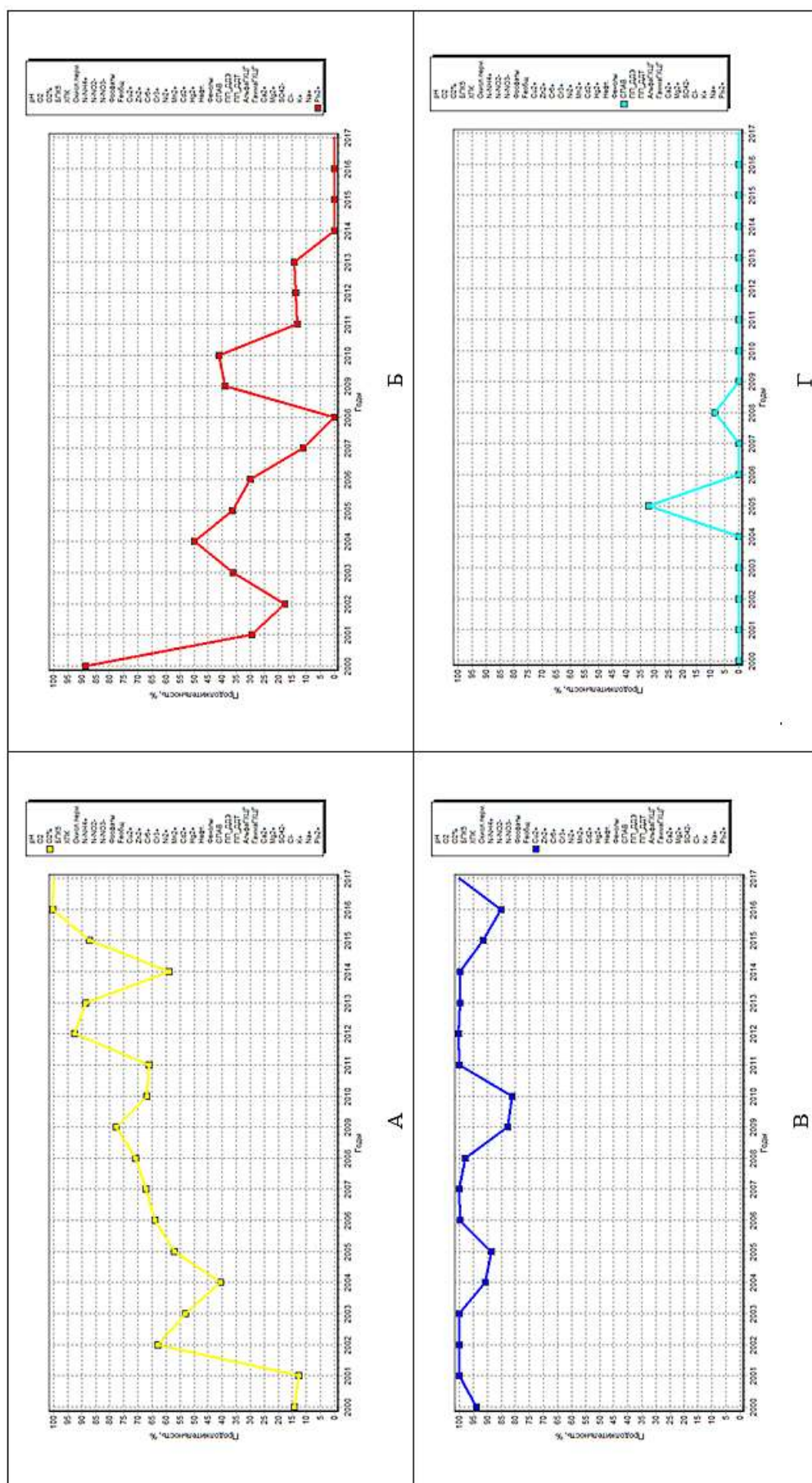


Рисунок 3. Тенденция изменений относительных объёмов стока воды реки Луга с насыщением воды кислородом ниже нормы (А), загрязнённых свинцом (Б), медью (В) и СПАВ (Г) в 2000-2017 годах

Figure 3. Tendency of changes in the relative volumes of water flow in the Luga River with oxygen saturation below normal (А), contaminated with lead (В), copper (С) and synthetic surfactants (D) in 2000-2017

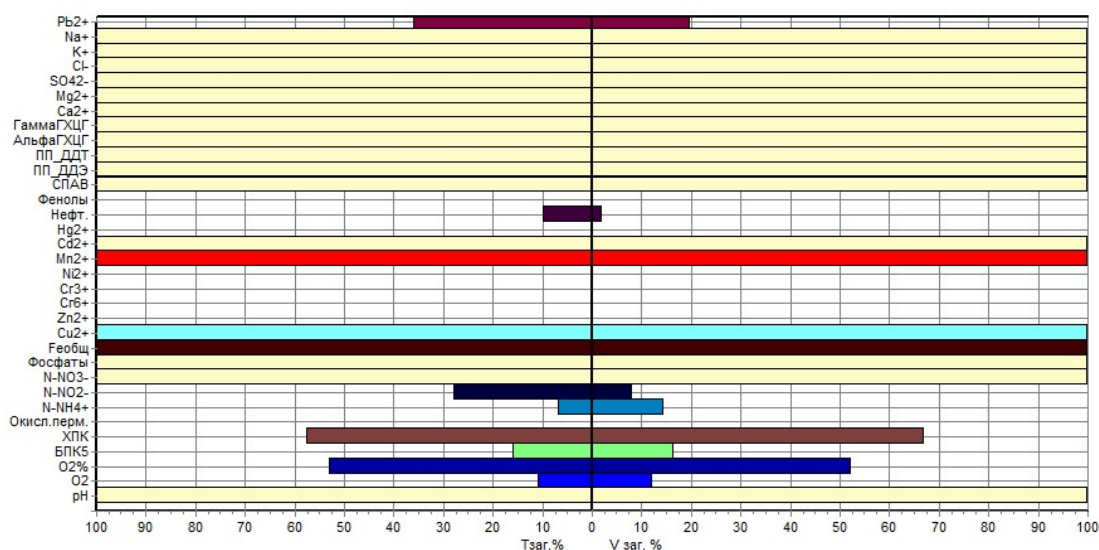


Рисунок 4. Относительные объёмы ($V_{\text{заг}}\%$) и продолжительности ($T_{\text{заг}}\%$) стока воды реки Луга для единичных компонентов в 2003 году

Figure 4. Relative volumes ($V_{\text{poll}}\%$) and duration ($T_{\text{poll}}\%$) of the water flow of the Luga River for single components in 2003

Рабочая область «Гистограммы»

Эта рабочая область АПК представляет собой набор графиков, в которых периоды продолжительностей и объёмов стока реки со сверхнормативным содержанием загрязнённого стока воды для всех единичных компонентов конкретного года изображены в виде ярких прямоугольников произвольной окраски. Бесцветные полосы говорят об отсутствии данных, бежевые – об отсутствии загрязнённого стока воды для данного компонента.

Гистограммы являются интегральной оценкой качества стока воды по единичным компонентам для каждого года.

На рисунке 4 представлена гистограмма качества стока воды реки Луга за 2003 год.

Внутригодовые особенности загрязнённости стока воды хорошо видны из составленной таблицы 5, в которой обобщён для каждого года состав единичных компонентов, загрязняющих сток на основании всех гистограмм за исследуемый период 2000–2017 гг. Очевидно,

что среди компонентов, загрязняющих сток воды реки Луга, ежегодно присутствуют органические вещества по ХПК, общее железо, медь и марганец, также ежегодно вода не насыщена кислородом до нормы.

Загрязнение стока воды нитритами отсутствует только в 2016 и 2017 годах, а содержание ниже нормы кислорода – только в 2000, 2001 и 2015 годах.

Особенностью 2000–2007, 2009–2013 гг. является наличие объёмов стока воды, загрязнённой свинцом. Кроме того, сток воды реки Луга загрязняют следующие химические компоненты: нефтепродукты в 2001–2003, 2006, 2010 годах, лабильные органические вещества по БПК₅ в 2001, 2002, 2007–2009, 2011–2014 годах, СПАВ в 2005, 2008 годах и аммонийный азот в 2003 году.

Общее количество загрязняющих сток веществ минимально в 2015–2017 годах и равно шести. Максимального количества оно достигает в 2003 году – одиннадцать компонентов.

Таблица 5. Внутригодовые особенности качества стока воды реки Луга по составу компонентов, значения которых выше, а для кислорода ниже ПДК
 Table 5. Intra-annual features of water flow pollution in the Luga River by the composition of single polluting components

Показатели	Годы																	
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
pH												*	*					
Растворённый кислород			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*
Кислород насыщения	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Нитритный азот	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Аммонийный азот				*														
ХПК	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Нефтепродукты		*	*	*			*				*							
СПАВ						*			*									
БПК ₅		*		*				*	*	*		*	*	*	*			
Общее железо	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Медь	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Марганец	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Свинец	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*				

* – Наличие значений компонента с превышением (для растворенного кислорода – ниже) ПДК

* – The presence of component values with an excess (for dissolved oxygen - with a low) MPC

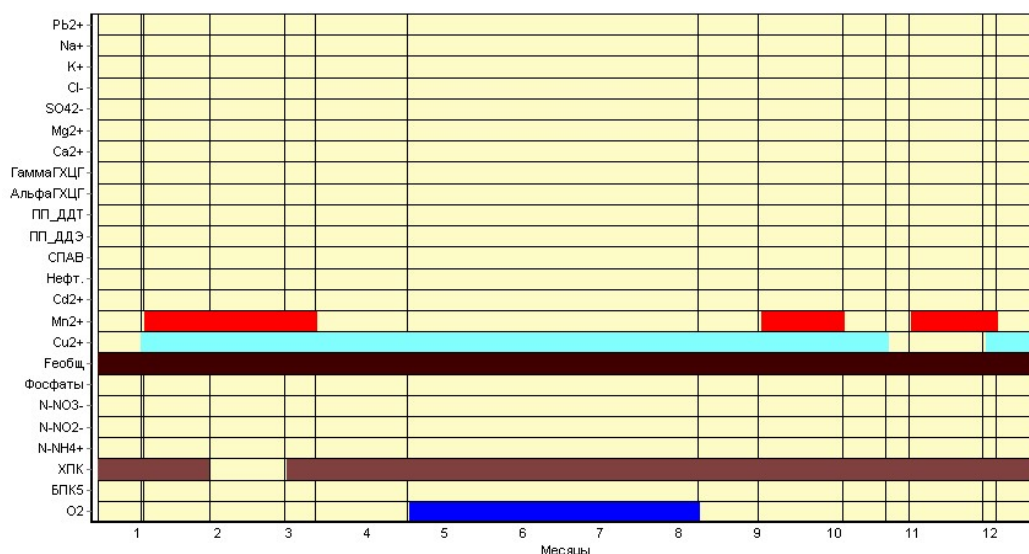


Рисунок 5. Частичные продолжительности стока воды реки Луга, различающиеся по составу компонентов, значения которых не соответствуют норме в 2016 году

Figure 5. Partial runoff durations of the Luga River, differing in the composition of the components, the values of which do not correspond to the norm in 2016

Оценка качества стока воды реки Луга по комплексу химических показателей

Рабочая область «Частичные продолжительности стока»

Оценка качества стока воды по комплексу химических компонентов производится путём разделения годового объёма речного стока воды на частичные объёмы, различающиеся по составу компонентов, и оценивается их степень загрязнённости по классам в соответствии с РД 52.24.643-2002.

Для выделения частичных объёмов годового стока воды, различающихся по составу загрязняющих компонентов, были совмещены периоды продолжительностей их стока на одном хронологическом графике (рисунок 5).

С помощью вертикальных линий выделяют продолжительности частичных объёмов годового стока воды, содержащей разное количество компонентов в разных сочетаниях, которые проецируются на оси абсцисс.

Расчётная область «Таблицы результатов»

Область «Таблицы результатов» представлена двумя вариантами таблиц –

«Оценка загрязнённости частичных объёмов стока» и «Паспорта качества речного стока».

В таблице «Оценка загрязнённости частичных объёмов стока» для каждого частичного объёма, отличающегося по составу загрязняющих веществ, в соответствии с РД 52.24.643-2002 рассчитаны все показатели их степени загрязнённости, включая определение классов и разрядов. Определены объёмы и продолжительности их стока в абсолютных и относительных величинах и их календарные даты. Эта таблица является рабочей основой для расчётов второй таблицы, названной «Паспорта качества речного стока». Таблица включает объединённые по классам и разрядам величины частичных расходов воды и продолжительностей их стока, рассчитанные в первой таблице и реализуемые в разные календарные даты года, их абсолютные и относительные величины. Кроме того, в нём дана характеристика состояния загрязнённости для объединённых частичных объёмов каждого класса и разряда для года в целом и для всего периода.

В таблице 6 приведены образцы «Паспорта качества речного стока» реки Луга за 2017 год как пример слабо загрязнённого стока; за 2010 год как пример грязного стока, а также среднего за период 2000–2017 гг. стока, который охарактеризован как очень загрязнённый.

Таблица 6. Характеристики качества стока реки Луга по комплексу загрязняющих веществ за 2010, 2017 годы и за весь период с 2000 по 2017 годы
Table 6. Characteristics of the flow quality of the Luga River by the complex of pollutants for 2010, 2017 and for the period 2000-2017

Год	V стока, м³/год	№	Интервалы	T _{зак.} , сутки	T _{зак.} %,	X _{зак.} , м³	X _{зак.} , (%)	УКЗВ ⁵	Класс и разряд	Характеристика стока воды	Критические показатели с обобщённым оценочным баллом S≥9
2010	1,47E+09	1	21.08-04.10 06.10-09.10 23.11-10.12	67	18,36	1,06E+08	7,17	1,83	3-й класс, разряд "а"	Загрязнённый	Fe _{общ.} , Cu ²⁺ , Mn ²⁺ , ХПК, N-NO ₃
		2	31.01-08.03 29.04-14.05 24.07-20.08 05.10-05.10 10.10-22.11	126	34,52	2,98E+08	20,22	2,06	3-й класс, разряд "б"	Очень загрязнённый	ХПК, N-NO ₃ , Fe _{общ.} , Mn ²⁺ , Cu ²⁺
		3	01.01-30.01 09.03-28.04 15.05-08.06 07.07-23.07 11.12-31.12	144	39,45	1,02E+09	68,95	2,44	4-й класс, разряд "а"	Грязный	ХПК, N-NO ₃ , Fe _{общ.} , Cu ²⁺ , Mn ²⁺
		4	09.06-06.07	28	7,67	5,39E+07	3,66	3,07	4-й класс, разряд "б"	Грязный	ХПК, N-NO ₃ , Fe _{общ.} , Cu ²⁺ , Mn ²⁺
2017	1,78E+09	5	Оценка за год	365	100	1,47E+09	100	2,34	4-й класс, разряд "а"	Грязный	ХПК, N-NO ₃ , Fe _{общ.} , Cu ²⁺ , Mn ²⁺
		1	27.02-03.03	5	1,37	6,40E+06	0,36	0,78	1-й класс	Условно чистый	Fe _{общ.} , Cu ²⁺
		2	01.01-26.02 04.03-31.12	360	98,63	1,77E+09	99,64	1,1	2-й класс	Слабо загрязнённый	ХПК, Fe _{общ.} , Cu ²⁺
		3	Оценка за год	365	100	1,78E+09	100	1,2	2-й класс	Слабо загрязнённый	ХПК, Fe _{общ.} , Cu ²⁺
2000- 2017	2,23E+10	1	За весь период	196	2,98	1,19E+08	0,4	0,66	1-й класс	Условно чистый	-----
		2		816	12,41	3,06E+09	13,72	1,21	2-й класс	Слабо загрязнённый	
		3		1889	28,73	6,26E+09	28,1	1,76	3-й класс, разряд "а"	Загрязнённый	
		4		2248	34,19	7,13E+09	32,0	2,08	3-й класс, разряд "б"	Очень загрязнённый	
		5		1398	21,26	5,65E+09	25,39	2,33	4-й класс, разряд "а"	Грязный	
		6		28	0,43	5,39E+07	0,24	3,07	4-й класс, разряд "б"	Грязный	
				6575	100	2,23E+10	100	1,92	3-й класс, разряд "б"	Очень загрязнённый	

*УКЗВ – удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды

⁵ РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеонавт, 2002. 48 с.

Расчёты показали, что загрязнённым в исследуемом ряду был сток воды реки Луга в 2003, 2005, 2015 годах, когда его качество было отнесено к 3-му классу, разряд "а". Менее загрязнённым был сток воды в 2016 и 2017 годах, он охарактеризован как слабо загрязнённый 2-го класса. Наиболее загрязнённым в этом ряду был сток воды в 2006 и 2010 годах. Он отнесён к 4-му классу, разряд "а" и охарактеризован как грязный. Следует отметить, что только в 2010 году в стоке была небольшая доля воды, отнесённая к 4-му классу, разряд "б".

В остальные годы сток воды характеризуется как очень загрязнённый 3-го класса, разряд "б".

Рабочая область «Хронологический график степени загрязнённости»

В этой рабочей области АПК представлены хронологические графики для каждого года, на которых изображены гидрограф, линия удельного комбинаторного индекса загрязнённости воды и выделены области гидрографа, имеющие разные классы загрязнённости.

Для примера представлены только два рисунка: (6А) для 2017 года, когда сток оценивался как слабо загрязнённый, и (6Б) для 2010 года, когда сток был грязным.

Анализ всех графиков 2000–2017 гг. показал, что доля загрязнённого стока 4-го класса, разряд "а" реализуется в периоды осень-зима в 2007, 2008, 2009 и 2012 годах, зима-весна в 2001 и 2013 годах, а в 2002, 2004, 2006, 2010, 2011 и 2014 годах ещё и в летнее время. Наиболее загрязнённая доля стока 4-го класса, разряд "б" в 2010 году также реализуется летом.

Рабочая область «Структура загрязнённости стока»

В этой рабочей области АПК для наглядности представлено для каждого года и для всего периода распределение частичных объёмов стока воды разных классов загрязнённости по отношению к общему объёму стока в виде круговой диаграммы.

На рисунке 7 показана круговая диаграмма частичных объёмов стока воды реки Луга в

2010 году (А), когда сток был грязным, и в 2016 году (Б), когда сток оценивался как слабо загрязнённый. Круговая диаграмма частичных объёмов стока, усреднённого для всего периода 2000–2017 гг., представлена на рисунке 8.

За весь исследуемый период водный сток реки Луга состоял из 0,54% условно чистого стока 1 класса, 13,72% слабо загрязнённого – 2 класса, 28,1% – загрязнённого стока 3 класса, разряд "а", 32% – очень загрязнённого стока 3 класса, разряд "б", 25,39% – грязного стока 4-го класса, разряд "а" и 0,24% – 4-го класса, разряд "б". Средний для периода 2000–2017 гг. сток реки Луга оценён, как очень загрязнённый отнесён к 3-му классу, разряд "б".

Выводы

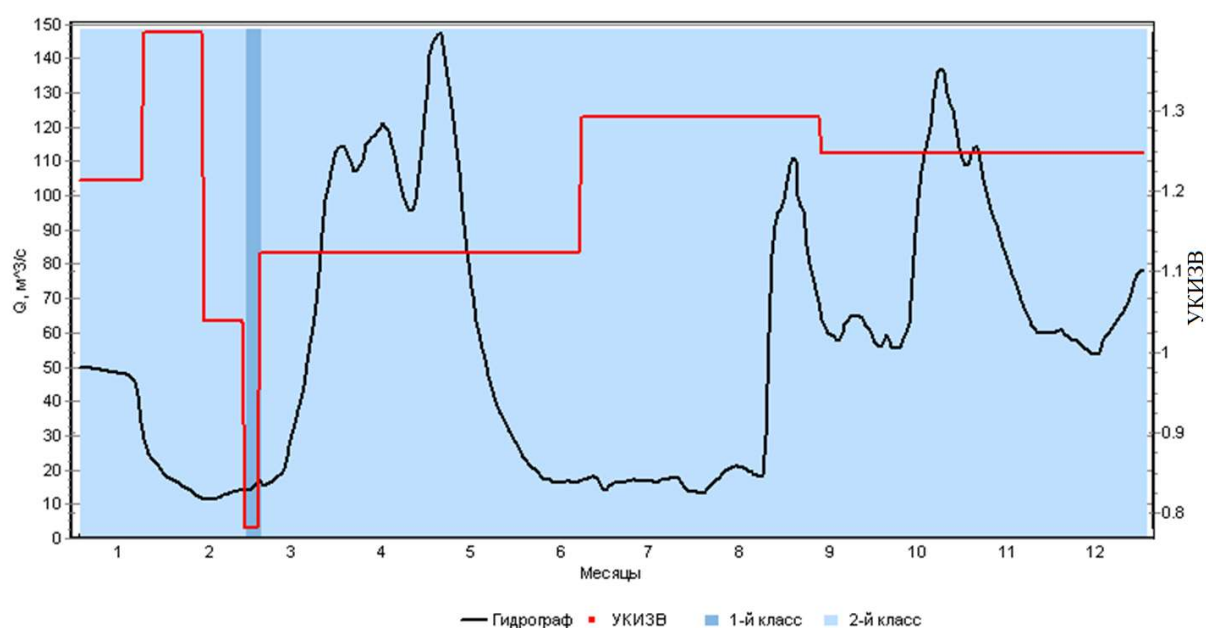
На примере реки Луга показаны возможности использования АПК «Оценки показателей загрязнённого и чистого стока воды» в получении следующих характеристик исходных данных и качества речного стока.

1. Характеристики исходных данных:

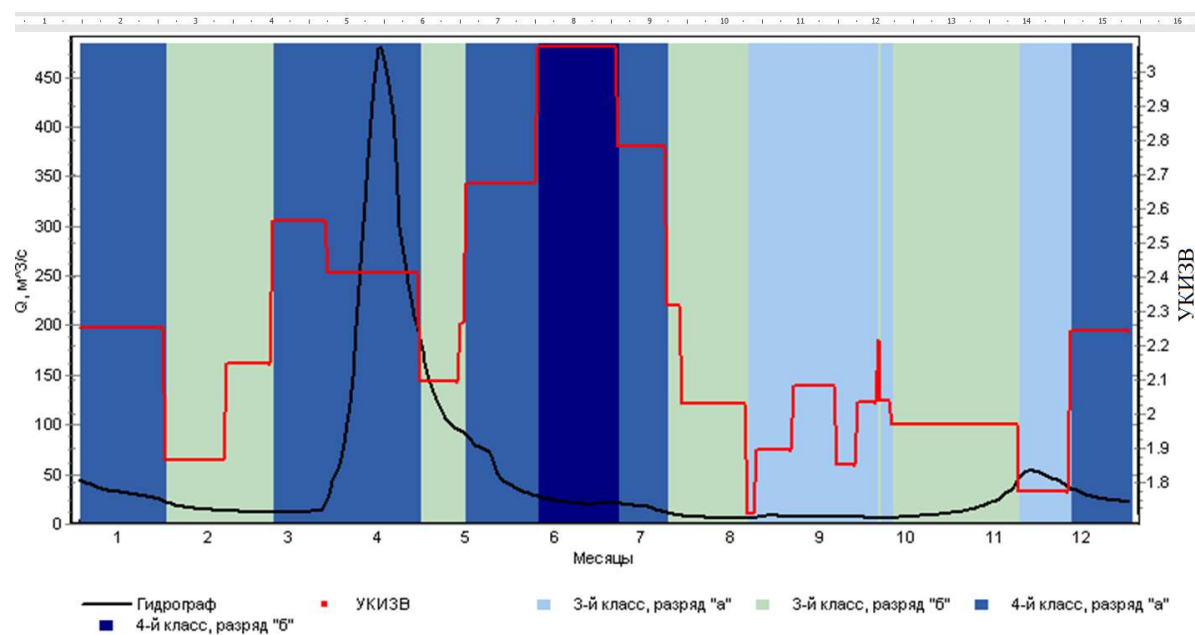
1.1 С помощью АПК введены в программу таблицы исходных гидрологических и гидрохимических данных реки Луга у п.г.т. Толмачёво за период 2000–2017 гг. Получены таблицы пределов варьирования измеренных значений гидрохимических показателей и ежегодного количества отобранных на гидрохимические анализы проб воды.

1.2. Построены изображения диаграмм годового хода концентраций, совмещённого с гидрографом, для всех компонентов и показаны продолжительности периодов их превышения ПДК.

1.3. Графически показаны календарные периоды продолжительностей стока воды, загрязнённой единичным компонентом одновременно за все годы наблюдений. Ежегодны и максимальны продолжительности стока воды, загрязнённой медью, марганцем, железом и ХПК, а также стока воды с насыщением воды кислородом ниже нормы.



А



Б

Рисунок 6. Частичные объёмы стока воды реки Луга разных классов загрязнённости, реализуемые в разные календарные даты в 2010 (А) и в 2017 (Б) годах

Figure 6. Partial volumes of water flow in the Luga river of different pollution classes, realized on different calendar dates in 2010 (A) and 2017 (B)

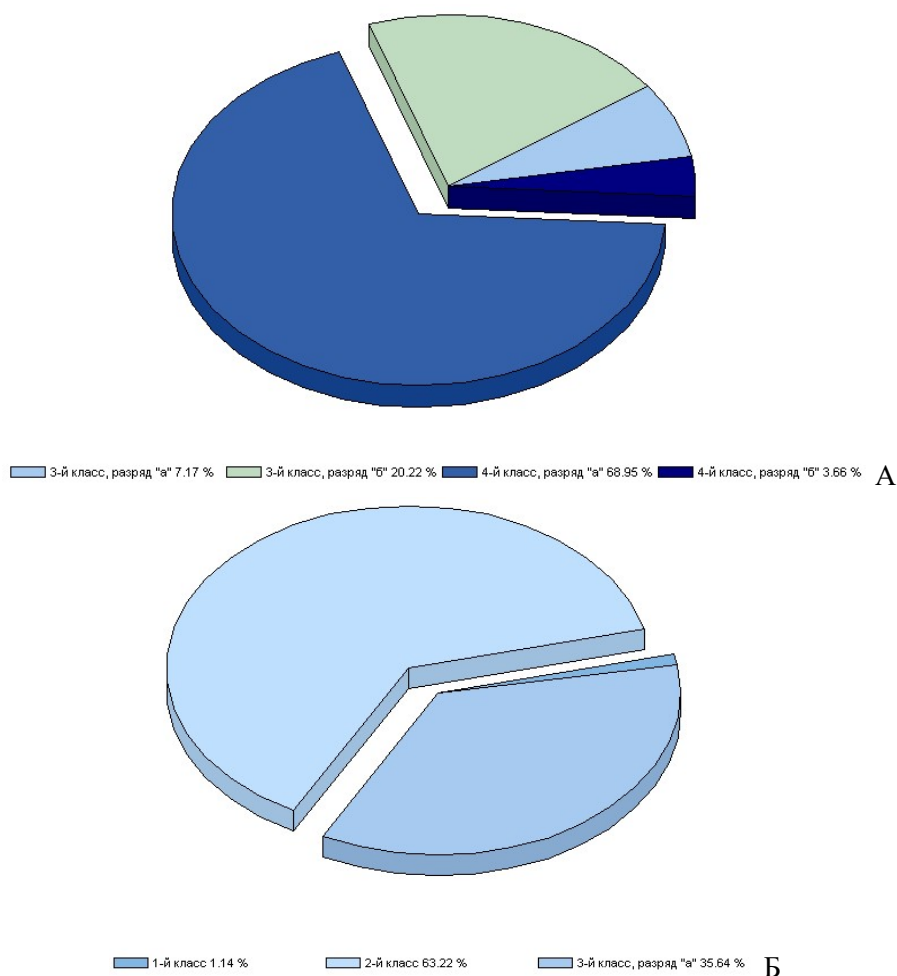


Рисунок 7. Доли частичных объёмов стока воды реки Луга разной загрязнённости, оценённые по классам в 2010 году (А) и в 2017 году (Б)

Figure 7. Shares of partial volumes of the Luga River runoff of different pollution, estimated by classes in 2010 (A) and in 2017 (B)

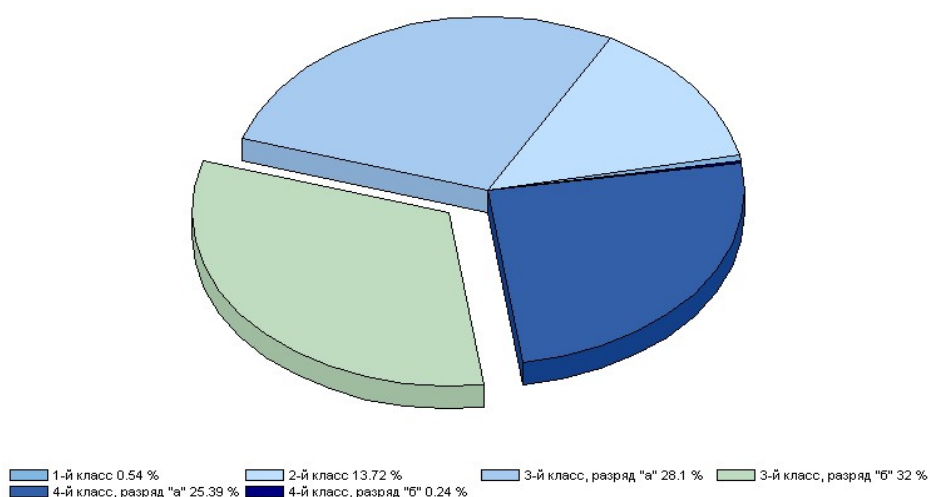


Рисунок 8. Доли частичных объёмов стока воды реки Луга разной загрязнённости, оценённые по классам, средние за период с 2000 по 2017 год

Figure 8. Shares of partial volumes of the Luga River runoff of different pollution, estimated by classes, average for the period from 2000 to 2017

2. Расчётные характеристики качества стока воды реки Луга по единичным показателям.

2.1. Рассчитаны абсолютные значения продолжительностей и объёмов чистого и загрязнённого стока воды в сутках и м³/год и относительные – в процентах. Обобщённые за 2000–2017 гг. характеристики подтвердили, что сток воды, загрязнённой Fe_{общ}, Mn²⁺, Cu²⁺, ХПК и с насыщением воды O₂ ниже нормы, присутствует ежегодно в течение всего периода наблюдений. Средние значения стока воды, загрязнённой каждым из этих компонентов, были максимальными и превысили в разных случаях 70, 80, и даже 90%.

Верхний предел значений V_{заг}% для насыщения воды O₂ ниже нормы, Mn²⁺, Cu²⁺, N-NO₂⁻, Fe_{общ} и ХПК составил 100%; для Pb²⁺ и нефтепродуктов 64,3-79,2%, для O₂ – 39,3%, для остальных компонентов не превысил 16,5%.

2.2 Вычислены «обеспеченности» стока абсолютных и относительных загрязнённых объёмов. Отмечено, что значения концентраций выше ВЗ встречаются в исследуемый период в воде реки Луга, загрязнённой только нитритами и марганцем. В обоих случаях значения ЭВЗ не достигается.

2.3 Рассчитаны графики тенденций изменения годовых значений V_{заг} и V_{заг}% для всех загрязняющих компонентов. Отмечено, что за весь период с 2000 по 2017 год имеет место тенденция уменьшения относительных объёмов стока воды, загрязнённой нефтепродуктами и свинцом, а за период с 2014 по 2017 год – стока воды, загрязнённой нитритами и марганцем. В то же время происходит увеличение относительных объёмов стока воды с содержанием и насыщением воды кислородом ниже нормы.

2.4 Гистограммы – интегральные оценки качества стока воды для каждого года показали, что общее количество загрязняющих компонентов составляло 6 в 2015–2017 гг. и было минимальным. Максимального количества 11 оно достигло в 2003 году. Каждый год в период с 2000 по 2017, часть стока была не насыщена кислородом до нормы, загрязнена органическими веществами по ХПК, общим железом, медью и марганцем, что, по-видимому, можно считать

региональным признаком бассейна реки Луга. Загрязнение нитритами отсутствует только в 2016 и 2017 годах, содержание ниже нормы кислорода не наблюдается в 2000, 2001 и 2015 годах. Особенностью 2000–2007, 2009–2013 гг. является наличие объёмов стока воды, загрязнённой свинцом. Кроме того, сток воды реки Луга загрязняют следующие химические компоненты: нефтепродукты (в 2001-2003, 2006, 2010 годах), лабильные органические вещества по БПК₅ (в 2001, 2002, 2007-2009, 2011-2014 годах), СПАВ (в 2005, 2008 годах), аммонийный азот в 2003 году.

3. Сделана оценка качества стока воды реки Луга по комплексу химических компонентов.

3.1 Был получен «индивидуальный паспорт качества речного стока» для изучаемого участка реки. Загрязнённым в исследуемом ряду был сток воды реки Луга в 2003, 2005, 2015 годах, когда его качество было отнесено к 3-му классу, разряд "а". Менее загрязнённым был сток воды в 2016 и 2017 годах, когда он был охарактеризован как слабо загрязнённый 2-го класса. Наиболее загрязнённым в этом ряду был сток воды в 2006 и 2010 годах. Он отнесён к 4-му классу, разряд "а" и охарактеризован как грязный. Следует отметить, что только в 2010 году в стоке была небольшая доля воды, отнесённая к 4-му классу, разряд "б". В остальные годы сток воды характеризуется как очень загрязнённый 3-го класса, разряд "б". Обобщённое за весь период с 2000 по 2017 год качество стока отнесено к 3-му классу, разряд "б" и охарактеризовано как очень загрязнённый сток.

3.2 Частичные объёмы стока воды разных классов загрязнённости, реализуемые в разные календарные даты, представлены на ежегодных хронологических графиках.

3.3 Для наглядности для каждого года и для всего периода изображено распределение частичных объёмов стока воды разных классов загрязнения по отношению к общему объёму стока в виде круговой диаграммы.

4. Оценка качества стока воды реки Луга с помощью АПК показала, что его использование значительно упрощает обработку и анализ данных наблюдений. Комплекс позволяет автоматически получать как характеристики исходных данных, так и расчётные

характеристики, описывающие качество стока и тенденции его изменения в виде графиков и таблиц, которые могут стать основой для более глубокого изучения причинно-следственных связей их изменчивости в бассейновой геосистеме.

Литература

Караушев А.В., Скакальский Б.Г. Актуальные проблемы исследования качества поверхностных вод // Метеорология и гидрология. 1973. № 10. С. 73-81.

Караушев А.В., Скакальский Б.Г. Проблемы мониторинга качества поверхностных вод суши // Проблемы современной гидрологии: сборник статей. Л.: Гидрометеиздат, 1979. С. 94-105.

Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / Под ред. А.В. Караушева. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 288 с.

Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н. Методика интегральной оценки многолетних изменений качества речного стока на примере р. Ворскла // Метеорология и гидрология. 2012. №5. С. 85-95.

Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н., Ильин Е.В. Новый подход к автоматизированному расчёту частичных объёмов речного стока разной степени загрязнения (на примере р. Селенга) // Метеорология и гидрология. 2014. №6. С. 51-60.

Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н. Загрязнённый сток трансграничных рек на Юго-Востоке Украины, как индикатор угрозы экологической безопасности Ростовской области Российской Федерации при разработке на Украине сланцевого газа // Международные аспекты водного законодательства / Под общ. ред. Г.А. Карлова. М.: Издание Государственной Думы, 2015. С.46-52.

Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н., Сухоногова Е.С. Единая оценка количества и качества водного стока реки Сейм с помощью новой автоматизированной технологии // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2020. Т.2. Вып. 1. С. 53-70.

References

Karaushev A.V. (ed.). *Metodicheskie osnovy otsenki i reglamentirovaniya antropogennogo vliyaniya na kachestvo poverkhnostnykh vod* [Methodological foundations for assessing and regulating the anthropogenic impact on surface water quality]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1987. 288 p. (In Russian).

Karaushev A.V., Skakal'skii B.G. Aktual'nye problemy issledovaniya kachestva poverkhnostnykh vod [Actual problems of surface water quality research]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Russian Meteorology and hydrology], 1973, no. 10, pp. 73-81. (In Russian).

Karaushev A.V., Skakal'skii B.G. Problemy monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod sushi [Problems of monitoring land surface water quality]. *Problemy sovremennoi gidrologii: sbornik statei* [Problems of Modern Hydrology: collection of Articles]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1979, pp. 94-105. (In Russian).

Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N. Technique of integral assessment of long-term variations of streamflow quality by the example of the Vorskla River. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2012, vol. 37, no. 5, pp. 346-353. DOI: [10.3103/S1068373912050081](https://doi.org/10.3103/S1068373912050081) (Russ. ed.: Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N. Metodika integral'noi otsenki mnogoletnikh izmenenii kachestva rechnogo stoka na primere reki Vorskla. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2012, no. 5, pp. 85-95).

Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N., Il'in E.V. A new approach to the automatic computation of partial volumes of river runoff with various degrees of pollution (a case study for the Selenga River). *Russian Meteorology and Hydrology*, 2014, vol. 39, no. 6, pp. 395-401. DOI: [10.3103/S1068373914060053](https://doi.org/10.3103/S1068373914060053) (Russ. ed.: Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N., Il'in E.V.

Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н. Характеристика качества стока рек России, трансграничных с Беларусью, Украиной и Казахстаном, и его связь с бассейновыми геосистемами // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2020. Т. 2. Вып. 2. С. 173-195. DOI: [10.34753/HS.2020.2.2.173](https://doi.org/10.34753/HS.2020.2.2.173).

Скакальский Б.Г. Оценка качества речных вод // Методы расчёта речного стока: Международные высшие гидрологические курсы ЮНЕСКО при МГУ: в 2 частях. Часть 1. М.: изд. МГУ (МКГК ЮНЕСКО), 1980. С. 98-112.

Смыжова Е.С. Оценка стока биогенных веществ с учётом особенностей гидрохимической информации: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. СПб., 2010. 27 с.

Шелутко В.А., Колесникова Е.В., Смыжова Е.С. Вопросы оценки качества поверхностных вод по гидрохимическим данным // Материалы V Международной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон» (г. Санкт-Петербург, 7-9 июля 2010 г.). СПб.: Крисмас+, 2010. С. 30-39.

Novyi podkhod k avtomatizirovannomu raschetu chastichnykh ob'emov rechnogo stoka raznoi stepeni zagryazneniya (na primere r. Selenga). *Meteorologiya i gidrologiya*, 2014, no. 6, pp. 51-60).

Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N., Sukhonogova E.S. Edinaya otsenka kolichestva i kachestva vodnogo stoka reki Seim s pomoshch'yu novoi avtomatizirovannoi tekhnologii [A unified assessment of the quantity and quality of the Seim river water flow using new automated technology]. *Gidrosfera. Opasnye protsessy i yavleniya* [Hydrosphere. Hazard processes and phenomena], 2020, vol. 2, iss. 1, pp. 53-70. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.34753/HS.2020.2.1.53](https://doi.org/10.34753/HS.2020.2.1.53).

Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N. The quality characteristic of the Russia rivers runoff, transboundary with Belarus, Ukraine, Kazakhstan and its relationship with basin geosystems. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2020, vol. 2, iss. 2, pp. 173-195. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.34753/HS.2020.2.2.173](https://doi.org/10.34753/HS.2020.2.2.173).

Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N. Zagryaznennyyi stok transgranichnykh rek na Yugo-Vostoke Ukrainy, kak indikator ugrozy ekologicheskoi bezopasnosti Rostovskoi oblasti Rossiiskoi Federatsii pri razrabotke na Ukraine slantsevogo gaza [Contaminated runoff of transboundary rivers in the South-East of Ukraine as an indicator of the threat to the environmental safety of the Rostov region of the Russian Federation in the development of shale gas in Ukraine]. In Karlov G.A. (ed.) *Mezhdunarodnye aspekty vodnogo zakonodatel'stva* [International aspects of water legislation. Moscow, Publ. of the State Duma, 2015, pp. 46-52. (In Russian).

Shelutko V.A., Kolesnikova E.V., Smyzhova E.S. Voprosy otsenki kachestva poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim dannym [Issues of assessing the quality of surface water based on hydrochemical data]. *Materialy Pyatoi Mezhdunarodnoi konferentsii «Ekologicheskie i gidrometeorologicheskie problemy bol'shikh gorodov i promyshlennykh zon»* (St. Petersburg, 7-9 iyulya 2010) [Proceedings of the Fifth International Conference "Environmental and

Hydrometeorological Problems of Large Cities and Industrial Zones" (St. Petersburg, July 7-9, 2010)], St. Petersburg, Publ. Krismas+, 2010, pp. 30-39. (In Russian; abstract in English).

Skakal'skii B.G. Otsenka kachestva rechnykh vod [River water quality assessment]. *Metody rascheta rechnogo stoka: Mezhdunarodnye vysshie gidrologicheskie kursy YuNESKO pri MGU: v 2 chastyakh. Chast' 1. [Methods for calculating river flow: UNESCO International Higher Hydrological Courses at Moscow State University: in 2 parts. Part 1.]*. Moscow, MGU Publ. (MKGK YuNESKO), 1980, pp. 98-112. (In Russian).

Smyzhova E.S. Otsenka stoka biogennykh veshchestv s uchetom osobennostei gidrokhimicheskoi informatsii. Avtopef. diss. kand. geogr. nauk. [Assessment of the runoff of biogenic substances, taking into account the characteristics of hydrochemical information Ph. D. (Geography) Thesis]. St. Petersburg, 2010. 27 p. (In Russian).

**ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНОЙ
ДОКУМЕНТАЦИИ
ISSUES OF IMPROVING REGULATORY DOCUMENTATION**

УДК 551.322

DOI: 10.34753/HS.2020.2.3.295

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ
РЕГУЛИРОВАНИЕ
ОЦЕНИВАНИЯ ЛАВИННОЙ
ОПАСНОСТИ В РОССИИ**

**STATE REGULATION OF
AVALANCHE DANGER
ASSESSMENT IN RUSSIA**

П.А. Черноус

Pavel A. Chernous

*Специальное конструкторское бюро средств
автоматизации морских исследований
Дальневосточного отделения Российской
академии наук, г. Южно-Сахалинск, Россия
pchernous48@gmail.com*

*Special Research Bureau for Automation of Marine
Researches, Far East Branch of Russian Academy of
Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

pchernous48@gmail.com

Аннотация. В России виды деятельности, в которые входит оценивание лавинной опасности (активности), лицензируются государством. Исключением являются изыскания для строительства, допуск к которым есть лишь у членов саморегулируемых организаций. Но даже в этом случае ряд нормативов и правил устанавливается государственными органами. Опыт работы по оценке характеристик лавинной опасности при изысканиях, оперативном прогнозировании и активных воздействиях для предупредительного спуска лавин показывает, что все они далеки от совершенства, а в некоторых из них содержатся грубые ошибки. В статье рассмотрены основные документы, на основании которых проводились и проводятся оценки снеголавинных характеристик при изысканиях для строительства, а также при оперативном обеспечении безопасности. Оценено качество методик расчёта скоростей и дальностей выброса лавин, объёмов лавин, ударного давления лавин и методик прогнозирования возникновения лавин. Например, в одной из методик, которая используется почти полвека, сильно занижается дальность выброса лавины, скорость лавины может занижаться в два раза, а ударное давление в четыре раза. Сейчас она уже не обязательна к применению (но и не отменена), но изыскания для многих проектов с её использованием

Abstract. In Russia, the types of activities that include the assessment of avalanche danger (activity) are licensed by the government, with the exception of that when the assessments are carried out for construction, which is regulated by self-regulating organizations. But even in this case, a number of standards and rules are established by state bodies. Experience in assessing of avalanche danger during surveys, operational forecasting and for the artificial avalanche releases shows that all methods are far from perfect, and some of them contains significant errors. The quality of the methods for calculating the avalanche velocities and runout distances, avalanche volumes, impact pressures and methods of avalanche occurrence forecasting are estimated. For example, in one of the methods that has been used for almost half a century, the avalanche runout distance is greatly underestimated, the avalanche speed underestimated by half, and the shock pressure by four times. Now it is no mandatory (but the document not canceled), but researches for many projects with its using were carried out for many years. Of course it is necessary to review all projects where the method was applied. In all documents, there is a common drawback - many of the initial data for the calculations are not defined correctly. Their ambiguous interpretation is allowed. Some techniques are based on incorrect assumptions and incorrect data interpretations. The paper provides an analysis of the imperfections in considered

выполнялись много лет. Напрашивается вывод о необходимости пересмотра всех изысканий, выполненных с её применением, с соответствующими последствиями. Во всех документах присутствует общий недостаток – многие исходные данные для расчётов определены некорректно. Допускается их неоднозначное толкование, что, естественно, сказывается на результатах. Некоторые методики основаны на неправильных допущениях и неверной интерпретации данных. В работе приводится анализ конкретных недостатков рассматриваемых документов, указаны возможности их улучшения.

Ключевые слова: государственное регулирование; лавинная опасность; терминология; интерпретация данных; расчёты; качество оценок

Введение

Оценка лавинной опасности достаточно сложная и до конца не решённая задача, прежде всего в силу недостаточной исследованности процессов лавинообразования и лавинопроявления, а также малого объёма и низкого качества исходных данных для таких оценок. Под оценкой лавинной опасности понимается определение её атрибутов – параметров возможных лавин и их вероятностей. В настоящей работе термин лавинная опасность тождественен термину лавинная активность. Оценка лавинной опасности используется прежде всего при оперативном прогнозировании лавин и при инженерных гидрометеорологических изысканиях для строительства. Для упорядочения специфических требований и процедур, обязательных при проведении оценок лавинной опасности, государством создаётся нормативная база. Значительную часть нормативной базы представляют собой снеголавинные расчёты. Для оценки лавинной опасности разработано множество, но большинство из них носят

documents. Possibilities for their improvement are proposed.

Keywords: state regulation; avalanche danger; terminology; data interpretation; calculations; quality of assessments

рекомендательный характер и ответственность за их использование ложится на тех, кто их использует. С правовой точки зрения использование методов, представленных в существующих нормативных документах, является достаточным и избавляет исполнителя от обоснования необходимости их использования. Но оказывается нормативные документы в этой области далеки от совершенства и не обеспечивают надёжной оценки лавинной опасности в отдельном лавиносборе. Целью настоящей работы является анализ основных недостатков существующих нормативных документов и возможностей их совершенствования. Документы рассмотрены прежде всего с точки зрения тех, кому приходится оценивать лавинную опасность, – лавинных прогнозистов и изыскателей. Для оперативной оценки лавинной опасности можно говорить лишь об одном нормативном документе: РД 52.37.612-2000¹⁰ (далее – РД). В лавинных изысканиях за последние полвека использовались три основных общегосударственных нормативных документа: ВСН 02-73¹¹ (далее –

¹⁰РД 52.37.612-2000. Инструкция. Прогнозирование лавинной опасности. М.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2000. 15 с.

¹¹ВСН 02-73. Указания по расчёту снеголавинных нагрузок при проектировании сооружений. М.: Гидрометеиздат, 1973. 22 с.

Указания); СН 517-80¹² (далее – Инструкция) и СП 428.1325800.2018¹³ (далее – СП). На самом деле их несколько больше, но рабочими правилами для изыскателей, в которых представлены методики расчётов, являются именно они. Указания и СП являются действующими, а Инструкция, хотя и отменена, но её основные положения продолжают использоваться. Практика показывает, что все вышеупомянутые документы не лишены недостатков, которые могут отрицательно сказаться на качестве оценки лавинной опасности и привести (и уже приводили) к человеческим жертвам и материальному ущербу от лавин. В работе сделана попытка, на основании опыта проведения оценок лавинной опасности, рассмотреть качество каждого из документов, их достоинства и недостатки, возможности совершенствования.

Общие замечания

Прежде всего необходимо отметить объективно существующее в практике оценивания лавинной опасности фундаментальное противоречие между требованием к высокому качеству таких оценок и имеющимися для этого возможностями. Если у изыскателей есть возможность и даже требуется выполнять эти оценки в вероятностной форме, то прогнозисты практически лишены такой возможности. Как правило, если речь идёт о конкретном лавиносборе, от них требуют категорических заключений о лавинной опасности. Но для этого, как отмечалось выше, нет ни соответствующих методик, ни надёжных и полных данных, ни нормативных параметров допустимой опасности. В то же время на прогнозисте лежит основная ответственность за возможные последствия неправильного прогноза. Практика показывает, что ответственность может быть весьма суровой. До сих пор это противоречие никак не урегулировано в нормативных документах.

Оперативное прогнозирование лавинной опасности

Методик оперативного прогнозирования лавинной опасности разработано довольно много [Практическое пособие..., 1979]. Они отличаются заблаговременностью и пространственной детализацией. Как правило, прогнозируется событие схода лавин, иногда объёмы лавин и совсем редко другие параметры лавин. Прогнозы составляются в категорической и вероятностной форме. Часть из них имеют в основе физически обоснованную модель, часть основана на формальных процедурах оценки близости текущей ситуации к лавинным либо не лавинным ситуациям, наблюдавшимся в прошлом, в пространстве выбранных предикторов. Большинство методик являются эмпирическими и привязаны к методам и местам получения используемых в них данных. Всем методикам прогнозирования присущи ошибки, но, как правило, о них очень мало информации: иногда разработчики таких методик приводят её, но не в полном объёме; иногда оценки качества прогнозирования не проводятся на независимых выборках. Часто говорят лишь об общей оправдываемости прогнозов, хотя очевидно, что значение ошибок «лавиных» и «не лавинных» прогнозов для их потребителей сильно различается. Иногда прогнозы даются в вероятностной форме – оценить качество таких прогнозов (методик прогнозирования) практически невозможно из-за малых размеров контрольных выборок и редкостью возникновения лавин, особенно если речь идёт о прогнозе для отдельного лавиносбора. Кроме того, прогнозы вероятностей могут быть достаточно точными, но в силу недостаточности исходной для прогнозирования информации далеки от вероятностей достоверных событий и следовательно не представляющие ценности. Надёжных методов прогнозирования даже просто события схода лавины в отдельно взятом лавиносборе не существует не только в России.

¹²СН 517-80. Инструкция по проектированию и строительству противолавинных защитных сооружений. М.: Стройиздат, 1980. 15 с.

¹³СП 428.1325800.2018. Инженерные изыскания для строительства в лавиноопасных районах. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2019. 40 с.

Не даром сейчас уже почти во всех странах используется так называемая европейская шкала лавинной опасности, предназначенная для некоторой достаточно большой территории со множеством лавиносборов. Конечно, уровни лавинной опасности, присутствующие в шкале, дают представление об общей лавинной угрозе в районе, но лишь до некоторой степени. Принятие решений о поведении потребителей таких прогнозов лежит на самих потребителях. Формальных методов выработки таких решений у потребителей, как правило, нет, и они настаивают на составлении прогнозов в категорической форме. В больших организациях, имеющих собственные противолавинные службы, часто ответственность за принятие решений в соответствии с лавинным прогнозом перекладывается на прогнозиста лавин. Часто прогнозирование выполняется даже не по результатам применения расчётных методик, а лишь на основе некоторых прогностических признаков. Например, так поступают горнолыжные гиды, сопровождающие фрирайдеров. Имея общую информацию, характеризующую ситуацию в районе, и выполнив несколько простых полевых тестов на устойчивость снега, они принимают решение о допуске лыжников на склон.

РД 52.37.612-2000

Этот документ применяется для прогноза лавинной опасности, связанной практически с любым типом лавин в любом горном районе. К сожалению, в РД ничего не сказано о том, кем она должна применяться. Учитывая, что это единственная методика, утверждённая государственным органом (Росгидрометом), осуществляющим лицензирование этого вида деятельности, – видимо всеми, кто занимается лавинным прогнозированием. Как утверждается, с её помощью можно с высокой точностью осуществлять не только прогнозирование возникновения лавин различных типов в отдельно взятом лавиносборе, но и их размер. Применение методики базируется на метеорологических данных и данных о рельефе. При этом ничего не говорится о том, каково должно быть качество исходных данных: например, как определяется

угол склона и зона зарождения лавин, используемые в расчётах. Про метеорологические данные сказано, что желательно их получать непосредственно из зоны зарождения лавин, а если такая информация недоступна, то надо использовать результаты измерений на метеоплощадке, расположенной достаточно близко к лавиносбору. Про то, как могут повлиять различия в положении зоны зарождения лавин и мест измерения метеорологических характеристик в РД ничего не говорится: метеорологические характеристики на склоне измеряются на наклонной поверхности, а метеоплощадки располагаются на горизонтальной поверхности. Используемая в РД характеристика – толщина снега – совпадает с измеряемой на метеоплощадке высотой снега, но на склоне может от неё существенно отличаться. Соответственно будут отличаться и расчётные градиенты температуры снега, используемые в РД. Не сказано и о влиянии пространственной изменчивости метеорологических характеристик на склоне на определение исходных данных для расчётов и на качество получаемых результатов. Например, толщина снега в различных точках лавиносбора может различаться более чем на порядок. Такие же различия характерны и для градиентов температуры снега. Документ посвящён расчётам вероятностей возникновения лавин различных объёмов в лавиносборе. Но при этом формулировки составляемых прогнозов не являются ни вероятностными (вероятности ожидаемых событий в формулировках отсутствуют), ни категорическими (в формулировках присутствует слово «возможно»). В РД сказано, что расчётное число непредсказанных лавин составляет одну из тысячи. Неясно, что это означает. Проводились ли эти расчёты на независимых выборках? Относится ли полученный результат к конкретному району? Как оценивались прогнозы с формулировкой «возможно»? Ответа на эти вопросы в РД нет. Кроме того, оценивать качество лавинных прогнозов с помощью лишь приведённого показателя недопустимо. Например, прогнозируя возникновение лавин всегда, когда на склоне есть снег, не

предсказанных лавин не будет совсем. Но для потребителя такой прогноз ценности не имеет.

Оценка лавинной опасности при инженерных изысканиях для строительства. Общие замечания

Одним из основных недостатков всех нормативных документов, касающихся изысканий, является недостаточная и плохо обоснованная терминология. В документах нет определения лавины. Есть определения лавин различных типов, но определения лавины нет. Причём такого определения, которое бы позволило отличить снежную лавину от других подобных явлений: например, от водоснежных потоков. В случае ущерба от них вопрос возможной юридической ответственности лавинных изыскателей остаётся открытым. На наш взгляд неоправданным является понятие «пылевидная лавина». Всегда или почти всегда пылевое облако начинается с движения снега по подстилающей поверхности, то есть имеет место «смешанная лавина». Движение пылевой части за пределы отложений текущей лавины названо воздушной волной, хотя на самом деле это снеговоздушный поток. Воздушной волной правильней было бы назвать движение воздуха перед лавиной. В документах нет строгих определений характеристик, используемых в расчётах. Во всех документах используются осреднённые величины высоты снега. Причём иногда трудно понять, идёт ли речь о пространственном или временном осреднении. В районах с интенсивной метелевой деятельностью средняя многолетняя величина в отдельной точке наблюдений может значительно отличаться от многолетних характерных значений в лавинном очаге или его частях. Для более полной характеристики снегонакопления в лавинном очаге желательно использовать параметры пространственной статистической структуры высоты (толщины) снежного покрова. Это в свою очередь может потребовать специальных натурных наблюдений. О специфических

недостатках отдельных нормативных документов говорится ниже.

ВСН 02-73

Указания были первым нормативным документом, регламентирующим оценку характеристик лавинной опасности при проведении изысканий. В документе изложены основные требования к проведению изысканий в лавиноопасных районах и приведены методики расчётов основных характеристик лавинной опасности. Для своего времени это был востребованный, хорошо структурированный документ, в котором были прописаны основные имевшиеся тогда методики снеголавинных расчётов. Многие из них в последствии, практически без изменений, перешли в последующие нормативные документы. Указания были обязательными для применения до 2010 года, когда вступил в силу Перечень национальных стандартов и сводов правил (частей национальных стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона №384-ФЗ¹⁴. Как уже было отмечено выше, документ остаётся действующим и поныне, но его использование требует обоснований. В то же время в Указаниях имеются некоторые неопределённости в формулировках и просто грубые ошибки в методиках расчётов. Сейчас трудно установить источники этих ошибок, поскольку никаких ссылок на публикации, в которых имеются описания этих методов, в Указаниях нет. В частности ¹⁵ : «Если профиль склона удовлетворительно аппроксимируется вплоть до его подножия (дна долины) прямой линией, скорость лавины¹⁶ определяется по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{aS}{2}} \quad (1)$$

где v – скорость лавины в данной точке ее пути, м/с;

¹⁴Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

¹⁵Здесь и далее в кавычках приводится оригинальный текст документов

¹⁶Видимо речь идёт о максимально возможной скорости, хотя в Указаниях об этом ничего не сказано

$$a = 9,8(\sin\alpha - f\cos\alpha), \text{ м/с}^2;$$

f – коэффициент трения, принимаемый равным 0,25 для скальных, снежноледяных и травяных гладких поверхностей и 0,3 для всех остальных поверхностей;

α – угол наклона склона (град) (при движении лавины вверх по склону его угол наклона считается отрицательным);

S – длина склона, м».

Очевидно, что расчёт по этой формуле занижает скорость ровно в два раза. Для движения материальной точки по наклонной плоскости с трением, скорость рассчитывается с помощью выражения:

$$v = \sqrt{2aS} \quad (2)$$

«В случае более сложного профиля склона он разбивается на отдельные отрезки с постоянными углами наклона α . Для первого отрезка скорость рассчитывается в соответствии с (1). Скорость лавины на каждом последующем отрезке определяется в зависимости от конечной скорости на предыдущем отрезке по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{a(S_0+S)}{2} + \left(\frac{S_0}{S_0+S}\right)^3 \left(v_0^2 \cos^2 \Delta\alpha - \frac{aS_0}{2}\right)} \quad (3)$$

где S_0 – сумма длин предыдущих отрезков пути лавины ($S_{01}=0$), м;

S – длина данного отрезка пути, м;

V_0 – скорость лавины в конце предыдущего отрезка пути, м/с;

$\Delta\alpha$ – разность между углами наклона предыдущего и данного участков пути, град».

Очевидно, что и здесь допущена ошибка. В 2017 году в лавиносборе №22 с горы Юкспор, у подножия которой находится микрорайон Кукисвумчорр города Кировск, сошла лавина, погибли люди. Лавина сошла именно в том месте, где 5 декабря 1935 года сошла лавина, унёсшая жизни 89 человек. После той катастрофы были построены противолавинные сооружения (две дамбы и карьер-ловушка между ними), которые в соответствии с расчётами дальности выброса лавины по методике, изложенной в Указаниях,

должны были все лавины задерживать. К сожалению методика оказалась ошибочной.

Несколько слов о так называемых пылевидных лавинах. В чистом виде пылевидные или пылевые лавины, в которых отсутствует текучая часть, встречаются очень редко: обычно при падении сухого рыхлого снега с очень крутых участков склона. В то же время все скоростные лавины из сухого снега генерируют пылевое облако, которое по внешнему виду и воздействию на препятствие не отличается от пылевой лавины.

«Если в материалах изысканий есть указание о сходе пылевидных лавин (или возможности их схода) на одном или нескольких участках района проектируемого строительства, для всех лавинных очагов, находящихся в аналогичных условиях, следует определить скорости и дальности пути лавин пылевидного снега.

Скорость таких лавин¹⁷ определяется приближённо по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{9,8\sin\alpha}{c}} \quad (4)$$

где α – средний угол наклона лавиноопасного склона, град;

c – коэффициент в м⁻¹, определяемый в зависимости от угла наклона склона¹⁸».

Странно, что скорость таких лавин не зависит от протяжённости либо перепада высот склона, на котором они возникают и движутся. Кроме того, расчётные скорости получаются сильно завышенными (от 107 до 140 м/с) – такие скорости лавин никогда не регистрировались, соответственно и величины давления пылевидной лавины на препятствия получаются огромными. И ещё одна странность этого метода – при увеличении крутизны склона скорость пылевой лавины падает, что противоречит законам механики.

«За дальность пути пылевидной лавины по дну долины принимается длина участка основного склона, на котором возможен захват снега лавиной (без расчленённых участков). Это расстояние откладывается от подножия склона по

¹⁷Как и в предыдущем случае, видимо максимально возможная, в Указаниях об этом также ничего не сказано

¹⁸В указаниях приводится соответствующая таблица

дну долины в направлении продольной оси лавинного очага».

В Указаниях не сказано, что понимается под окончанием её пути. Поэтому приведённый метод её количественной оценки не имеет смысла. Не очень понятно также как определяется точка подножия склона, от которой надо откладывать расстояние. Целесообразно было бы за предельную границу воздействия пылевой лавины принять её местоположение, где может быть достигнуто давление снеговоздушного потока определённой величины: например, при котором человека сбивает с ног, разбиваются окна и тому подобное.

СН 517-80

Очевидно, что разработчики Инструкции обратили внимание на недостатки Указаний. Картографирование лавинных очагов предложено на картах М 1:5000, поскольку используя карты более мелкого масштаба, можно неправильно выделить и даже пропустить зоны зарождения лавин. Для расчёта динамических характеристик лавин использована простая и надёжная методика. Из существенных замечаний к данному документу можно отметить лишь одно: при недостатке сведений о границах выброса лавин, Инструкция допускает возможность использовать расчёт дальности выброса лавин с повторяемостью реже одного раза в 50 лет. В документе используются минимальные коэффициенты эффективного сопротивления, полученные для реальных лавин, как отношение превышения верхней точки отрыва лавины над передним краем лавинных отложений к длине отрезка, соединяющего проекции этих точек на горизонтальную плоскость. Очевидно, что при этом не учитывается повторяемость возникновения лавин в самой верхней части лавиносбора. Кроме того, имеется и противоречие в определении минимальных коэффициентов сопротивления, которые задаются зависимостью от средней крутизны снегосбора и пути схода лавин, что эквивалентно знанию нижней границы лавиносбора (которую и требуется определить). Как рассчитывать характеристики так называемой воздушной волны в Инструкции ничего не сказано.

СП 428.1325800.2018

СП является новым шагом в развитии нормативной базы, регулирующей проведение снеголавинных расчётов при изысканиях. Его авторы постарались избавиться от ошибок и недостатков, имевшихся в Указаниях и Инструкции. Так, например, в СП нет ссылок на карты лавиноопасных районов России, в которых проведение снеголавинных изысканий в соответствии с Указаниями является обязательным, хотя и не сказано чётко в каких случаях такие изыскания необходимо проводить. Описана методика выделения лавинных очагов, что очень важно и чего не было в предыдущих документах. В СП впервые предложен метод расчёта предельной возможной дальности выброса текучей лавины. Учитывая, что на практике чаще всего дальности выброса различной обеспеченности корректно определить невозможно, такой подход вполне оправдан. Имеются в СП и недостатки.

Повторяемость схода снежных лавин предлагается определять по её зависимости от средней многолетней величины максимальной декадной высоты снежного покрова (h_m , м), и температуры воздуха января ($^{\circ}\text{C}$), представленной в таблице А2 СП. Видимо такая статистическая зависимость, полученная на больших территориях, существует для некоего осреднённого лавинного очага, но когда речь идёт о конкретном лавинном очаге, а суть изысканий состоит в оценке повторяемости именно в нём, её использование смысла не имеет. То есть оценки параметров интересующей изыскателя генеральной совокупности предлагается делать с помощью оценок, полученных для совершенно другой генеральной совокупности. Например, в находящемся в Хибинах вблизи города Кировск, лавинном очаге №18 лавины образуются в среднем в 25 раз чаще, чем в рядом находящемся очаге №20. Для отдельных очагов повторяемость гораздо сильнее связана не с температурой января, а, например, с крутизной лавинного очага или другими характеристиками очага. Приняв предлагаемый метод определения повторяемости для конкретного лавинного очага, можно как завысить, так и занижить повторяемость лавин в

нем. Что касается продолжительности лавиноопасного периода, то в СП нет указаний какая это продолжительность – средняя или максимальная – и на основе каких данных она должна определяться.

Использование построения вариационных рядов различных характеристик лавин с помощью статистического моделирования для определения их повторяемости (вероятности появления, обеспеченности) в предложенном виде не является оправданным и создаёт лишь иллюзию возможности определения характеристик лавинной опасности по незначительному объёму входных данных. Используемые для статистического моделирования зависимости представлены как универсальные, хотя очевидно, что они различны для различных физико-географических условий в которых находятся места изысканий. На практике нет возможности оценить надёжность получаемых вероятностей (обеспеченности) из-за отсутствия длинных рядов наблюдений за лавинами и их характеристиками, так как надёжность вероятностных оценок возможна лишь на основе достаточно большого ансамбля исходов. Кроме того, предложенные методы определения некоторых параметров распределений генерируемых характеристик вызывают сомнения. Например, среднее квадратичное отклонение максимальной за год высоты снежного покрова при высоте снега 1 м составляет лишь 1 см. Скорость пылевой лавины определяется с помощью той же методики, что и в Указаниях, на недостатки которой указывалось выше. Предложенный метод расчётного определения границы действия воздушной волны не имеет смысла, так как не определено само понятие этой границы. Кроме того, методы определения дальности и скорости воздушной волны не имеют в основе общей модели движения снеговоздушного потока.

Заключительные замечания

Оценка лавинной опасности может проводиться различными методами, но при этом надо понимать каковы при этом возможны ошибки и как их возможно учесть для достижения приемлемого результата (оценки).

В расчётах, представленных в действующей нормативной документации, используется много нечётко сформулированных понятий, взятых из описательной географии, что делает невозможным получение однозначных оценок лавинной опасности и является препятствием для автоматизации процесса оценивания. Необходимо избавиться от таких определений.

Для оперативной оценки лавинной опасности таких строго формализованных методов создано очень мало. А, как уже отмечалось выше, государством (в лице Росгидромета, лицензирующего этот вид деятельности органа) утверждён лишь один документ. Как было показано, утверждённая инструкция обладает рядом недостатков, которые не позволяют её использовать. На практике прогнозист оценивает лавинную опасность субъективно на основе методик, не являющимися нормативными и/или на основе различных прогностических признаков. Причём положение о прогнозировании на основе формальных методик с использованием опыта и знаний прогнозиста реализуется следующим образом: оценивается лавинная опасность на основе формальных методик, но окончательная формулировка прогноза является по сути дела мнением прогнозиста и может не совпадать с формальными оценками. Не всегда такие оценки улучшают результаты, получаемые с помощью лишь формальных методов [Черноус, 2002]. Более того, прогнозисту часто приходится оценивать не только характеристики возможного лавинопроявления, но и различные связанные с ним риски. Оценка лавинных рисков при оперативном прогнозировании лавин вообще ничем не регулируется и не нормируется. Учитывая возможность тяжких последствий при ошибочной оценке лавинной опасности и большую ответственность, лежащую на прогнозисте при формулировании прогнозов, он находится в очень уязвимом с юридической точки зрения положении. Хотя, справедливости ради, надо отметить, что не только в России, но и в мире (помимо упомянутого РД) расчётные методики прогнозирования лавинной опасности в конкретном лавиносборе, утверждённые на

государственном уровне отсутствуют. Наличие нормативных методов может облегчить работу прогнозиста. С точки зрения прогнозиста лавин, если его деятельность лицензируется государством, хотелось бы иметь такие нормативные методики оценки лавинной опасности, при выполнении которых с него бы снималась ответственность в случае ошибочного прогноза и связанным с ним ущербом. К сожалению, такие методики отсутствуют. С этой точки зрения государственное лицензирование этой деятельности выглядит излишним и в других странах не используется. В своё время лицензирование этой деятельности при проведении инженерных изысканий для строительства было отменено, но на качестве изысканий это не сказалось. Введение лицензирования деятельности по оперативной оценке лавинной опасности также не улучшило качество лавинных прогнозов. За рубежом часто для прогнозистов допускается формулирование прогнозов в достаточно произвольной форме, допускающей неоднозначную трактовку, но позволяющей наиболее адекватно выразить своё мнение о будущей ситуации. В этом случае ответственность за возможный ущерб от лавин перекладывается на потребителей таких прогнозов. Они же часто принимают коллективное решение о действиях на основе таких прогнозов – таким образом индивидуальная ответственность размывается.

Выводы

Существующая нормативная документация, используемая для оценки лавинной опасности недостаточно чёткая, содержит множество ошибок и нуждается в улучшении.

Используемые в нормативных документах терминология и определения должны быть ясными и однозначными, не допускающими различных толкований. Желательно, там, где это возможно, определяемые характеристики сопровождать графическими пояснениями.

В нормативной документации либо в какого-либо рода пояснительных записках к ней

необходимо указывать ссылки на исследования, по результатам которых она создана.

РД не может быть использован в качестве нормативного документа из-за неопределённостей и неточностей, допущенных в нем.

Лицензирование деятельности по оперативной оценке и прогнозу лавинной опасности представляется излишним. Ситуация в этой области может быть улучшена путём создания качественной нормативной документации, регулирующей технологию выработки таких оценок от сбора исходной информации до их формулирования.

Учитывая возможность образования лавин на небольших склонах, в том числе на искусственно созданных, желательно ввести в нормативную документацию понятие презумпции лавинной опасности для всех проводимых перед строительством объектов изысканий.

Оценку лавинной опасности при изысканиях необходимо проводить на основе топографических карт и планов масштаба 1:5000 и крупнее.

Нормативный документ ВСН 02-73 необходимо отменить из-за существенных ошибок, допущенных в нем. Результаты инженерных изысканий и проекты, выполненные с его использованием, необходимо пересмотреть.

СП 428.1325800.2018 нуждается в изменениях и добавлениях.

С учётом невозможности корректно выполнить оценку лавинной опасности с помощью существующих нормативных документов, есть возможность обосновывать результаты изысканий с помощью:

- 1) результатов исследований;
- 2) расчётов и/или испытаний, выполненных по сертифицированным или апробированным иным способом методикам;
- 3) моделирования сценариев возникновения лавин;
- 4) оценки риска возникновения лавин¹⁹.

Важно, чтобы учреждения экспертизы были готовы к этому.

¹⁹Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

Литература

Практическое пособие по прогнозированию лавинной опасности. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 200 с.

Черноус П.А. Некоторые результаты оценки качества определения лавинного риска // Материалы гляциологических исследований. 2002. Вып. 91. С. 105-109.

References

Prakticheskoe posobie po prognozirovaniyu lavinnoi opasnosti [A practical guide for avalanche hazard forecasting]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1979. 200 p. (In Russian)

Chernous P.A. Nekotorie rezultati ochenki kachestva opredeleniya lavinnogo riska [Some results of determination of avalanche risk quality assessment]. *Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy [Materials of glaciological studies]*, 2002, iss. 91, pp. 105-109. (In Russian; abstract in English).

УДК 627; 630*3; 556

DOI: 10.34753/HS.2020.2.3.305

КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РУКОВОДЯЩИХ ДОКУМЕНТОВ ПО РАСЧЁТУ РАЗВИТИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АВАРИЙ

А.Ю. Виноградов^{1,2}, В.А. Оязов¹,
О.В. Зубова², М.М. Кадацкая¹, А.В. Кучмин¹

¹ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай,
Россия; ²ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский
государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия
gd@npogtp.ru

Аннотация. В руководящих документах Российской Федерации (РД 03-607-03 и РД 09-391-00) представлены методики расчёта развития гидродинамических аварий на накопителях и хранилищах жидких промышленных и производственных отходов. Поскольку аварии на таких объектах представляют собой прорыв плотины с образованием прорана в ее теле, для расчётов используется методическая основа, разработанная для грунтовых плотин любого назначения. Это позволило рассмотреть применимость указанных документов к плотине водохранилища на реке Кокпекты в Казахстане, на которой произошла авария в марте 2014 года. Анализ применимости рассматриваемых документов показал, что численные значения большинства параметров, рассчитанных по ним, не соответствуют действительности и/или не имеют физического смысла, их нельзя использовать на практике. В частности, в предлагаемых документах не учитывается время на образование эрозионных рытин, что приводит к ошибке оценки времени образования прорана на порядок. В рассматриваемых руководящих документах принята прямоугольная форма прорана, хотя на практике в большинстве случаев она трапецевидная. Сравнение расчётных и измеренных размеров прорана показало их различие в два раза. Даже результаты расчёта размеров прорана по

CRITICAL ANALYSIS OF THE GUIDELINES ON THE CALCULATION OF HYDRODYNAMIC ACCIDENTS

Alexey Yu. Vinogradov^{1,2}, Viktor A. Obyazov¹,
Olga V. Zubova², Mariya M. Kadatskaya¹,
Alexey V. Kuchmin¹

¹Scientific and Industrial Research Association
Gidrotehproekt, Valday, Russia; ²Saint Petersburg
State Forest Technical University, St. Petersburg,
Russia
gd@npogtp.ru

Abstract. The guidance documents of the Russian Federation (RD 03-607-03 and RD 09-391-00) present calculation methods of hydrodynamic accidents in storage tanks and facilities for liquid industrial and waste. Because the accidents at such facilities represent a breakthrough of a dam with the formation of a hole in its body, there is used a methodological framework developed for ground dams of any purpose for calculations. This fact made it possible to consider the applicability of these documents to the reservoir dam on the Kokpekty River in Kazakhstan, where an accident occurred in March 2014.

An analysis of the applicability of the considered guidance documents showed that the values of the most parameters calculated by them do not correspond to reality and / or have no physical sense, they cannot be used in practice. In particular, the considered documents do not take into account the time for the formation of erosion tracks, which puts to an error (by an order of magnitude) in the estimating time of a break formation. There is taken the rectangular shape of the tracks in the considered guidelines, although in practice it is trapezoidal in most cases. Comparison of the calculated and measured sizes of the erosion tracks showed their difference by two times. Even the size of the erosion track according to the proposed formula may differ by 25% depending on the selected calculation step. RD 03-607-03 and RD 09-391-00 give different

предлагаемой формуле в зависимости от выбранного расчётного шага могут отличаться на 25%. В РД 03-607-03 и РД 09-391-00 приводятся разные формулы для расчёта гидравлической крупности, что приводит к различию в результатах в 1,65 раза. Кроме того, при расчёте гидравлической крупности вместо динамической используется кинематическая вязкость. Одна из важнейших характеристик – транспортирующая (размывающая) способность потока в рассматриваемых документах безразмерна и не имеет физического смысла. Обращает также на себя внимание, что предлагаемые руководящие документы, в нарушение ГОСТ 8.417-2002, не только используют нестандартизированные величины размерностей, но даже в одной из формул в качестве сомножителей соседствуют метры, сантиметры и миллиметры.

Таким образом, РД 03-607-03 и РД 09-391-00 не рекомендуется использовать для расчётов развития гидродинамических аварий и зон затопления, данные документы требуют немедленного пересмотра.

Ключевые слова: проран; размывающая скорость; гидравлическая крупность; транспортирующая (размывающая) способность потока; гидродинамическая авария; грунтовая плотина

Введение

В лесостепной и степной зонах России, Украины и Казахстана в 30-80 годах XX века было сооружено около 30 000 малых водохранилищ, водоподпорными сооружениями для которых послужили грунтовые плотины. Такие водохранилища получили широкое распространение, поскольку их строительство было самым дешёвым. Однако большинство плотин этих водохранилищ имеют срок эксплуатации 40-80 лет, последние 30 лет практически не обслуживаются и в настоящее время находятся в аварийном состоянии.

Этот факт является причиной ежегодных катастрофических наводнений в результате прорыва паводковых вод с образованием прорана в теле грунтовой плотины. На сегодняшний день

formulas for hydraulic size calculating, which puts to a difference by 1.65 times. Moreover, there is used the kinematic viscosity instead of the dynamic one while the hydraulic size calculating. One of the most important characteristics, the transporting (erosion) flow ability, in the considered documents is dimensionless and has no physical sense. It is also notable that the proposed guidance documents, in violation of GOST 8.417-2002, use non-standardized dimension values and in the same formula coexist as multiplier meters, centimeters and millimeters.

Thus, RD 03-607-03 and RD 09-391-00 are not recommended for use in calculation of hydrodynamic accidents and flooding zones, these documents require immediate revision.

Keywords: erosion track; non-eroding velocities; hydraulic size; the transporting (erosion) flow ability; hydrodynamic accidents; ground dam

в некоторых областях России и Украины разрушено до 20% таких сооружений, в Казахстане – до 80%.

Существует несколько методик расчётов морфометрических характеристик прорана и максимальных расходов прорывной волны [Виноградова и др., 2019]. Часть из них [Пономарчук, 2011] описана в специальной литературе и используется только в специальных расчётах, часть представлена в нормативных документах и рекомендована, в частности, для расчёта параметров прорана и количественной оценки уровня безопасности при гидродинамических авариях. К сожалению, в специализированной литературе недостаточно работ, посвящённых сравнительной оценке соответствия рассчитанных по различным

методикам параметров гидродинамической аварии измеренным, отсутствует также оценка их пригодности для расчётов.

В данной работе рассмотрим следующие действующие на сегодняшний день в России руководящие документы: РД 03-607-03 «Методические рекомендации по расчёту развития гидродинамических аварий на накопителях жидких промышленных отходов»²⁰ (далее – РД 03-607-03) и РД 09-391-00 «Методика расчёта зон затопления при гидродинамических авариях на хранилищах производственных отходов химических предприятий»²¹ (далее – РД 09-391-00). Рассматриваемые документы предназначены для расчётов параметров прорана и зон затопления при гидродинамической аварии на эксплуатируемых и проектируемых накопителях и хранилищах жидких отходов, шламов, стоков, технических вод предприятий и организаций, поднадзорных Госгортехнадзору России.

При соответствующем обосновании методики, изложенные в них, могут быть использованы для расчёта параметров прорана и зон затопления при авариях на грунтовых плотинах предприятий, подконтрольных иным органам надзора.

Цель данной работы – оценить возможность обоснования использования рассматриваемых руководящих документов для расчёта параметров прорана и зон затопления при авариях на любых грунтовых плотинах, в частности, на примере прорыва Кокпектинского водохранилища.

Объект исследования

Работоспособность рассматриваемых руководящих документов для оценки аварий на грунтовых плотинах водохранилищ нами проверялась на примере катастрофы на реке

Кокпекты (Казахстан) произошедшей 31 марта 2014 года.

Кокпектинское водохранилище сооружено в 1958 году в 10 км от места впадения реки Кокпекты в реку Солонка. Река Кокпекты образуется слиянием двух притоков: река Борлысай, правый, и река Кокбулак, левый. Длина реки Кокпекты – 14,5 км.

Площадь бассейна реки Кокпекты до плотины – 166,4 км². Водоохранилище было подпёрто грунтовой плотиной длиной 700 м, шириной по гребню 6 м, с заложением откосов 1:3.

Переливы через тело плотины возникли в 18:05 30.03.2014 года. Размыв начался в 01:30 31.03.2014 года и к 02:15 основной проран был сформирован полностью.

Условные обозначения²²

H_{max} , H_i – максимальная глубина (для водохранилищ – высота дамбы) и глубина на i -ом шаге итерации слоя жидкости, вытекающего из водохранилища, м;

ΔH_i – понижение уровня жидкости в водохранилище, м;

y_0 , y_i , Δy – начальная, на i -ом шаге итерации и приращение глубины прорана, м;

b_0 , b_i – начальная и на i -ом шаге итерации ширина прорана, м;

l_i – длина прорана на i -ом шаге итерации, м

h_0 , h_i , Δh_i – начальная, на i -ом шаге итерации и приращение глубины потока, м;

V_{0i} , V_i , ΔV_i – неразмывающая, на i -ом шаге итерации и приращение скорости потока в проране, м/с;

V_{cri} – критическая скорость потока на i -ом шаге итерации, м/с;

Q_i – расход воды в створе прорана на i -ом шаге итерации, м³/с;

R_i – гидравлический радиус на i -ом шаге

²⁰РД 03-607-03 Методические рекомендации по расчёту развития гидродинамических аварий на накопителях жидких промышленных отходов. М.: НТЦ Промышленная безопасность, 2003. 27 с.

²¹РД 09-391-00 Методика расчёта зон затопления при гидродинамических авариях на хранилищах производственных отходов химических предприятий М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-

технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. 68 с.

²²Условные обозначения приводятся в полном соответствии с РД 03-607-03 и РД 09-391-00 и иллюстрируются рисунком 1, заимствованным из рассматриваемых руководящих документов

итерации, м;

Δt_i – время размыва элементарного объёма, с;

F – площадь водохранилища по максимальной отметке гребня дамбы, м²;

m – коэффициент водослива, б/р, в РД 03-607-03 и РД 09-391-00 принят равным 0,31;

g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с²;

ρ_s – плотность частиц грунта тела дамбы, т/м³;

ρ_d – средняя плотность сухого грунта тела дамбы, т/м³;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости, т/м³;

ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости, см²/с;

μ_i – транспортирующая (размывающая) способность потока, б/р;

$W_0, \Delta W_i$ – начальный и приращение объёма прорана на i -ом шаге итерации, м³;

d – средневзвешенный размер частиц грунта, мм.

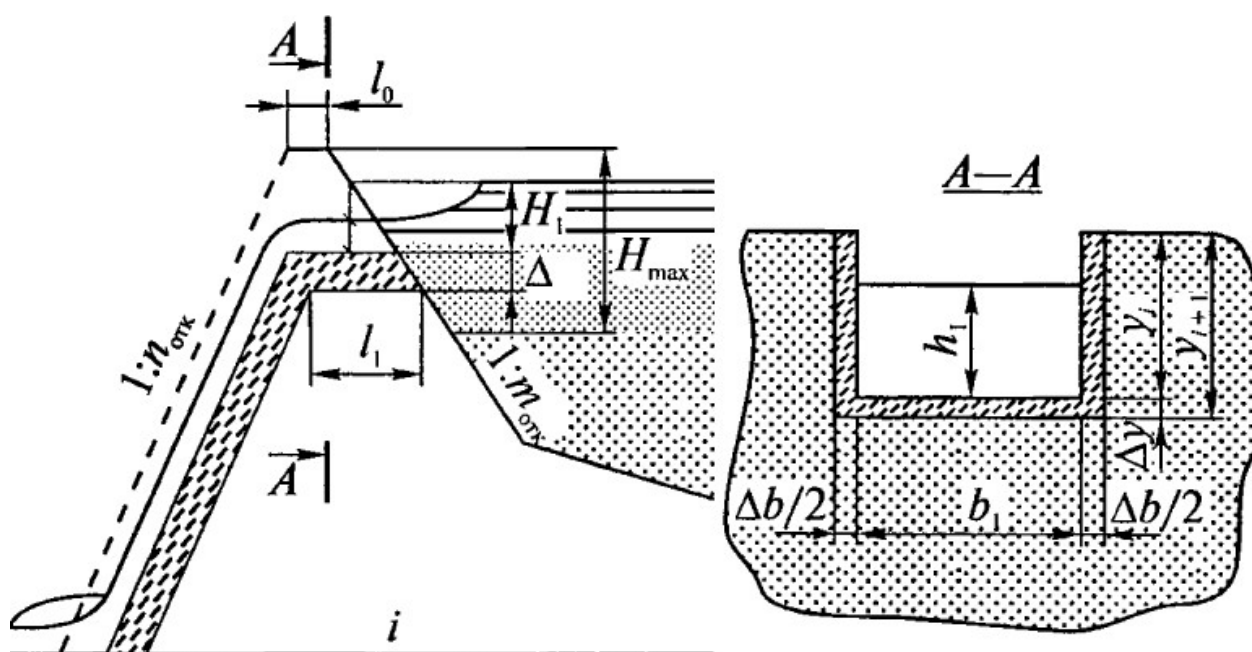


Рисунок 1. Схема расчёта размыва прорана

Figure 1. Scheme for erosion calculating

Результаты и обсуждение

Вначале общие соображения. В России действует ГОСТ 8.417-2002²³, в пункте 4.1 которого сказано: «Подлежат обязательному применению единицы Международной системы единиц». Рассматриваемые руководящие документы в нарушение ГОСТ 8.417-2002 не только используют не стандартизированные величины размерностей (что видно из раздела Условные обозначения), но даже в некоторых формулах в качестве сомножителей соседствуют метры, сантиметры и миллиметры (что будет показано далее по тексту статьи)

Согласно пунктам 1.3 РД 03-607-03 и 1.4 РД 09-391-00, рассматриваемые руководящие документы позволяют определить следующие показатели, характеризующие аварию:

- время образования прорана;
- размеры прорана;
- форму развития прорана (РД 03-607-03);
- расходы и объёмы выливающейся жидкости по мере развития прорана.

Кроме того, на промежуточном этапе рассчитываются скорость и глубина прорывной волны, что соответствует требованиям [Тарабаев и др., 2000].

²³ГОСТ 8.417-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. М.: Стандартинформ, 2018. 33 с.

За начальные условия расчёта размыва элементарного прорана принимается равенство:

$$y_0 = b_0 = h_0 = 0,5 \text{ (РД 03-607-03), м}$$

$$y_0 = b_0 = h_0 = 0,1 \cdot H_{\max} \text{ (РД 09-391-00), м}$$

Анализ начальных условий показывает, что авторы рассматриваемых руководящих документов априори пренебрегают временем, за которое образовалась эрозионная рытвина с соответствующими размерами.

На основании наших наблюдений можно сделать вывод, что при переливе воды через гребень дамбы время, затраченное на размыв эрозионных рытвин с глубиной 0,5 м (и более – при расчётах по методике РД 09-391-00), сравнимо со временем дальнейшего развития прорана. Это связано со сравнительно малыми скоростями потока на начальном этапе размыва и наличием множественных очагов перелива.

Поэтому на основании рассматриваемых руководящих документов оценивать время образования прорана нельзя. Ошибка априори

может многократно превышать расчётное время развития прорана. В рассматриваемом примере (Кокпектинская катастрофа) время на образование эрозионных рытвин составило 440 минут, на размыв самого прорана – около 45 минут.

В начальных условиях РД 03-607-03 и РД 09-391-00 форма и размеры прорана в сечении задаются в виде квадрата со стороной 0,5 м или $0,1 \cdot H_{\max}$, соответственно.

Большинство эрозионных рытвин по уплотнённому грунту, которые наблюдаются в природе, в сечении имеют трапецеидальную форму с глубиной в разы меньшей, чем ширина (рисунок 2). В рассматриваемом примере (Кокпектинская катастрофа) глубина рытвины составляла 0,6 м, ширина – 2,3 м. Исключение составляют рытвины на свежесыпанных склонах, где наблюдается обратная зависимость (рисунок 3). Следовательно первичные размеры и форма прорана авторами рассматриваемых руководящих документов заданы некорректно.



Рисунок 2. Размыв низового откоса грунтовой плотины р. Кокпекты. Фото А.Ю. Виноградова

Figure 2. Erosion of the lower slope of the ground dam on Kokpeky river. Photo by Alexey Yu. Vinogradov



Рисунок 3. Эрозионные рытвины на незадернованной неуплотненной дамбе. Фото А.В. Шалаева

Figure 3. Erosion tracks on an unturfed unpressed dam. Photo by Anatoly V. Shalaev

Приращение глубины прорана в рассматриваемых руководящих документах на каждом расчётном шаге задаётся постоянным и равно

$$\Delta y \leq y_0$$

Приращение ширины прорана при этом равно:

$$\Delta b = \Delta y \frac{b_0}{y_0 + \Delta y} \quad (\text{РД 03-607-03}) \quad (1a)$$

$$\Delta b = \Delta y \frac{y_0}{y_0 + \Delta y} \quad (\text{РД 09-391-00}) \quad (16).$$

При достижении $y_i = H_{max}$ увеличение сечения прорана достигается за счёт изменения ширины:

$$b_i = b_{i-1} + 2,5 \Delta y \frac{y_0}{y_0 + \Delta y},$$

проран при этом приобретает прямоугольную форму.

На самом деле даже при размыве грунтовой плотины обычным водным потоком, вертикальный размыв не останавливается при достижении низом прорана отметки дна водохранилища/реки, а продолжается на

некоторую глубину, зависящую от оставшегося объёма воды в водохранилище.

В рассматриваемом примере (Кокпектинская катастрофа) проран имеет окончательную форму в виде трапеции с шириной по основанию 38 м, по верху – 59 м.

Теперь рассмотрим расчёт расходов воды и объёма жидкости, выливающейся по мере развития прорана.

Расход воды в створе прорана по рассматриваемым руководящим документам рассчитывается по формуле, которая используется для различных типов водосливов [Чугаев, 1982]:

$$Q_i = m b_i H_i^{3/2} \sqrt{2g}$$

Численное значение коэффициента m определяет следующие параметры прорана: прямоугольный водослив с широким порогом с не скруглённым входным горизонтальным ребром и боковым сжатием $\varepsilon = 0,95$. Глубина потока на пороге водослива определена по способу Беланже [Виноградова и др., 2019].

Скорость потока в проране на i -ом шаге

$$V_i = m \sqrt{2g H_i}.$$

Расчёт неразмывающих скоростей мелкозернистых грунтов ($0,05 < d < 0,25$ мм – РД 03-607-03) и ($0,1 < d < 0,25$ мм – РД 09-391-00) производится по эмпирической зависимости В.С. Кнороза для несвязных грунтов:

$$V_{0i} = 0,71 \frac{\nu^{0,3} (g\rho_{ж})^{0,35} d^{0,05}}{\sqrt{0,0008 + 0,006 R_i^{-0,25}}} \quad (2)$$

Для грунтов с $d < 0,1$ мм (РД 09-391-00) значение V_0 рекомендуется определять по нормативно-справочной литературе с учётом силы сцепления между частицами грунта. В случае РД 03-607-03 имеет место пробел для грунтов с размерами частиц $0,05 < d < 0,1$ мм.

Однако, силы сцепления становятся значимы уже с $d < 0,25$ мм, что показано например в СО 34.21.204-2005²⁴. Большинство грунтовых плотин строится из суглинков с крупностью частиц 0,1 мм и меньше.

Тело Кокпектинской плотины сложено суглинками со средним размером частиц 0,05 мм, отдельностей – 4 мм. Плотность грунта ρ_d тела дамбы принята равной 1 750 кг/м³.

В результате расчётов по рекомендуемым в рассматриваемых руководящих документах формулам для величин с размерностями, приведёнными в разделе Условные обозначения, неразмывающие средние скорости превышают 4 м/с, что однозначно неверно.

Однако если принять значение кинематического коэффициента вязкости воды в м²/с в соответствии с ГОСТ 8.417-2002, а не в см²/с (как предписано в рассматриваемых руководящих документах), то значения

неразмывающих средних скоростей составит 0,35 м/с и выше, что согласуется с данными [Кадацкая и др., 2019] и с таблицей 7 СО 34.21.204-2005.

Транспортирующая (размывающая) способность потока в рассматриваемых руководящих документах определяется по отличающимся коэффициентом формулам:

$$\mu_i = 0,01 \left(\frac{V_{kpi} - V_{0i}}{3W_0} \right)^4 \left(\frac{d}{R_i} \right)^{1,6} \text{ РД 03-607-03} \quad (3a)$$

$$\mu_i = \left(\frac{V_{kpi} - V_{0i}}{3W_0} \right)^4 \left(\frac{d}{R_i} \right)^{1,6} \text{ РД 09-391-00} \quad (3б)$$

где R_i – гидравлический радиус, м.

Анализ размерности зависимостей (3a), (3б)

$\left[\left(\frac{m/c - m/c}{m/c} \right) \left(\frac{mm}{m} \right) \right]$ говорит о том, что транспортирующая способность потока в рассматриваемых руководящих документах безразмерна (что и указано в разделе условные обозначения). Но транспортирующая способность потока имеет соответствующий физический смысл и размерность: кг/с [Шмакова, Кондратьев, 2019] или м³/с [Гришанин, 1969].

В таблице 1 представлены значения транспортирующей (размывающей) способности, рассчитанные по зависимостям (3a), (3б); средняя неразмывающая скорость $V_{0i} = 0,79$ м/с, при подстановке d в различных размерностях – метры (в соответствии с ГОСТ 8.417-2002) или миллиметры (как предписано в рассматриваемых руководящих документах).

Таблица 1 Значения транспортирующей (размывающей) способности μ_i , б/р

Table 1. The value of transporting (erosion) flow ability μ_i , dimensionless

V_{kpi} , м/с		1,5	2	2,5	3	4	5
R_i , м		0,14	0,24	0,33	0,42	0,70	1,06
$d=0,004$ м	(3б)	0,004	0,037	0,148	0,412	1,83	5,42
	(3a)	$4 \cdot 10^{-5}$	$0,37 \cdot 10^{-5}$	$1,48 \cdot 10^{-3}$	$4,12 \cdot 10^{-3}$	$1,83 \cdot 10^{-2}$	$5,42 \cdot 10^{-2}$
$d=4$ мм	(3б)	276	1017	9313	25985	116000	342200
	(3a)	2,76	10,2	93,1	260	1160	3422

²⁴СО 34.21.204-2005 Рекомендации по прогнозу трансформации русла в нижних бьефах гидроузлов. СПб.: ОАО ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева, 2006. 104 с.

Полученные минимальные значения при использовании $d=4$ мм (при принятой как в пункте 2.2.1 размерности средневзвешенного размера частиц грунта РД 09-391-00) отличаются от приведённого в пункте 2.2.3 документа на 5 порядков, а от приведённого в РД 03-607-03 на 3 порядка. При использовании $d=0,004$ м адекватные численные значения имеют место только при использовании РД 09-391-00.

Следовательно, принятая в пунктах 2.2.1 РД 09-391-00 и 3.1 РД 03-607-03 размерность средневзвешенной величины частиц грунта в мм, в данной конкретной формуле, в отличие от других, должна приниматься в м. Подобные нестыковки в документах подобного уровня недопустимы.

Исходя из нашей экспертной оценки, мутность при размыве грунтовых плотин в зависимости от скорости потока колеблется в пределах 10-250 кг/м³. Значения

соответствующей транспортирующей способности, в зависимости от расхода воды через проран, представлены в таблице 2.

Используемую в рассматриваемых руководящих документах формулу транспортирующей способности предложил В.С. Кнороз [Гришанин, 1969] и в первоисточнике выглядит она следующим образом:

$$\mu_i = k \left(\frac{V_{kpi} - V_{0i}}{W_0} \right)^4 \left(\frac{d}{R_i} \right)^{1,6} Q \quad (4)$$

Эта зависимость имеет размерность м³/с и принципиально отличается от (3б) на множитель Q (расход воды) и коэффициент $(1/3)^4$. Примерно на величину этого коэффициента (0,012) отличается соответствующая формула в РД 03-607-03 от РД 09-391-00.

Таблица 2. Транспортирующая способность потока при размыве грунтовых плотин в зависимости от скорости

Table 2. The transporting flow ability during ground dam erosion depending on the velocity

$V_{kpi}, \text{ м/с}$	1,5	2	2,5	3	4	5
$R_i, \text{ м}$	0,14	0,24	0,33	0,42	0,70	1,06
$Q_i, \text{ м}^3/\text{с}$	0,25	1,0	2,5	4,8	18,0	53,1
$\mu_i, \text{ кг/с}$	2	10	98	324	2880	16600
$\mu_i, \text{ м}^3/\text{с} (4)$	0,001	0,014	0,08	0,3	2,2	9,8

Коэффициент k у В.С. Кнороза (формула (4)) для мелкозернистого и пылеватого песка принят 0,00026 [Гришанин, 1969]. В рассматриваемом примере (Кокпектинская катастрофа) расчёт с использованием такого численного значения коэффициента k занижает транспортирующую способность потока на порядок. Пример расчёта для данной аварии приведён в конце статьи (таблица 6).

Следующий проблемный пункт в рассматриваемых руководящих документах – расчёт гидравлической крупности. Гидравлическая крупность W_0 частиц размером

0,05 мм при температуре воды 10°C согласно табличным данным Р 52.24.627-2007²⁵ (приложение Г) и СТО ГУ ГГИ 08.29-2009²⁶ при ламинарном режиме течения жидкости составит 0,002 м/с, при турбулентном колеблется между 0,031 [Ананенков и др., 2003] и 0,233 м/с (таблица 9.16 СТО ГУ ГГИ 08.29-2009) (экстраполированные значения). При размыве дамбы, несомненно, имеет место турбулентный режим.

При принятом среднем размере отдельностей 4 мм, гидравлическая крупность отрывающихся отдельностей связного грунта

²⁵Р 52.24.627-2007 Рекомендации. Усовершенствованные методы прогностических расчётов распространения по речной сети зон высокозагрязнённых вод с учётом форм миграции

наиболее опасных загрязняющих веществ. Р. н/Д.: Росгидромет, ГУ ГХИ, 2007. 172 с.

²⁶СТО ГУ ГГИ 08.29-2009 Учёт руслового процесса на участках подводных переходов трубопроводов через реки. СПб.: Издательство Нестор-История, 2009. 184 с.

согласно данным таблицы А.3 СП 32-102-95²⁷ для Кокпектинской плотины составляет 0,22 м/с.

Величину гидравлической крупности, W_0 м/с, для размываемых грунтов в проране при диаметре частиц грунта $d \leq 0,1$ мм рекомендуется определять по формуле:

$$W_0 = \frac{gd^2 \rho_{жс}}{18\nu} \quad (\text{РД 03-607-03}) \quad (5)$$

$$W_0 = \frac{gd^2}{18\nu} \left(\frac{\rho_s}{\rho_{жс}} - 1 \right) \quad (\text{РД 09-391-00}) \quad (6)$$

Численное различие в формулах (5) и (6), при прочих «вольностях», невелико:

$$\left(\frac{\rho_s}{\rho_{жс}} - 1 \right) = 1,65 \quad (\text{б/р}) \quad (\rho_{жс} = 1 \text{ т/м}^3)$$

Приведём размерности для формулы из РД 03-607-03:

$$\left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right] = \left[\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \frac{\text{мм}^2 \cdot \text{с}}{\text{см}^2} \frac{\text{т}}{\text{м}^3} \right] = 0,01 \left[\frac{\text{т}}{\text{с} \cdot \text{м}^2} \right]$$

На основании этого можно сделать вывод, что формула гидравлической крупности РД 03-607-03 не имеет физического смысла, никаких размерностных коэффициентов в ней нет.

Рекомендованная формула основана на законе Стокса, приведённом например в [Александров, Зубарев, Исакова, 2012; Чижиумов, 2007]. Но в первоисточниках в формуле присутствует динамическая, а не кинематическая вязкость. Авторы рассматриваемых руководящих документов обошли эту ошибку, подставив в формулу значение кинематической вязкости в $\text{см}^2/\text{с}$. Поскольку, как мы уже отмечали, во всех формулах отсутствует строгость в использовании размерностей, данная вольность осталась незамеченной. Однако, если вместо кинематической вязкости в формулу ввести динамическую, то все становится на свои места и наконец-то гидравлическая крупность приобретает правильную размерность – м/с!

Перейдём к разбору формулы из РД 09-391-00.

На падающую частицу действуют три силы:

сила тяжести, направленная вниз: $F_{\text{тяж}} = mg$

сила Архимеда: $F_{\text{арх}} = W \rho_{жс} g$,

где $W = \frac{4}{3} \pi r^3$ – объём частицы;

сила вязкого трения $F_{\text{тр}}$, направленная вверх, навстречу скорости. Расчёт внутреннего трения для движения частицы грунта в вязкой среде при ламинарном режиме (который всегда отсутствует при прорыве дамб и плотин), описывается формулой Стокса:

$$F_{\text{тр}} = 6\pi\eta \cdot rW_0$$

где r – радиус частицы,

W_0 – скорость её движения (здесь: гидравлическая крупность),

η – коэффициент динамической вязкости жидкости.

Уравнение движения для падающей частицы в проекциях на вертикальную ось

$$F_{\text{тяж}} - F_{\text{арх}} - F_{\text{тр}} = ma$$

как бы приводит к зависимости (6), но с существенным различием: вместо динамической вязкости авторы рассматриваемых руководящих документов подставляют вязкость кинематическую

$$W_0 = \frac{gd^2}{18\eta} \left(\frac{\rho_d}{\rho_{жс}} - 1 \right)$$

Для воды кинематический коэффициент вязкости вне зависимости от температуры в рассматриваемых руководящих документах принят равным $0,0101 \text{ см}^2/\text{с}$. Однако, согласно например [Большаков, Константинов, Попов, 1977], кинематический коэффициент вязкости воды меняется от $0,00000179 \text{ м}^2/\text{с}$ при 0°C до $0,00000106 \text{ м}^2/\text{с}$ при 20°C .

Динамический коэффициент вязкости при этом меняется от $0,00179 \text{ кг/м}\cdot\text{с}$ при 0°C до $0,00106 \text{ кг/м}\cdot\text{с}$ при 20°C .

Как нам представляется, правильное

²⁷СП 32-102-95 Сооружения мостовых переходов и подтопляемых насыпей. Методы расчёта местных размывов. М.: Центр Трансстройиздат, 1996. 79 с.

использовать ρ_d , а не ρ_s , поскольку мы говорим об отдельностях, а не о частицах!

В результате расчёта по полученной зависимости, гидравлическая крупность для конкретной ситуации (Кокпектинская плотина) при температуре 5°C составляет 0,004 м/с.

Единственная возможность получить «правильный» ответ – подставить следующие значения: диаметр частиц (а не отдельностей!) $d=0,05$ мм и $\nu = 0,0101$ см²/с.

Результат – 0,22 м/с, что согласуется с таблицей 9.16 СТО ГУ ГГИ 08.29-2009 и даёт адекватные значения μ_i (таблица 1)!

Если принять значение гидравлической крупности частиц для ламинарного режима равной 0,0015 м/с (табл. Г1 Р52.24.627-2007 с пересчётом на $t=5^\circ\text{C}$), то величина транспортирующей способности составит $15,5 \cdot 10^6$. А если подставить диаметр отдельностей (даже в метрах) 0,004 м – то гидравлическая крупность составит 10 м/с, а транспортирующая способность – 10^{-8} .

На основании этого разбора можно сделать вывод, что даже такая простая задача, как расчёт гидравлической крупности и связанной с ней транспортирующей способности (в неизвестных размерностях) по методике, прописанной в рассматриваемых руководящих документах, представляет собой нерешаемый ребус.

Время размыва элементарного объёма прорана в рассматриваемых руководящих документах предлагается вычислять по формуле:

$$\Delta t_i = \frac{2\rho_d \Delta W_i}{\mu_i Q_i} \quad (7)$$

где ΔW_i – увеличение объёма прорана, за время Δt_i , м³.

Размерность зависимости (7): $[c] = \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}}{\text{м}^3 \cdot \text{м}^2} \right]$.

Вывод – зависимость (7) физического смысла не имеет. Даже в случае, если принимаем μ_i в кг/с, то размерность Δt_i составляет с²/м³.

Понижение уровня воды в водохранилище в рассматриваемых руководящих документах предлагается рассчитывать по формуле:

$$\Delta H_i = \frac{\Delta V_i}{F}$$

где ΔV_i – объём жидкости, вытекающей из водохранилища за время Δt_i : $\Delta V_i = \frac{2\rho_d \Delta W_i}{\mu_i}$,

ΔW_i – увеличение объёма размыва прорана, м³:

$$\Delta W_i = 0,5(b_i y_i l_i - b_{i-1} y_{i-1} l_{i-1})$$

Например, при высоте дамбы 10 м, длина и глубина прорана на 20-ом шаге становятся постоянными, объём увеличивается только за счёт приращения ширины: при принятом увеличении глубины $y_0=0,5$ м (РД 03-607-03) приращение ширины составит $\Delta b = 0,625$ м, следовательно, на шаге $i=20+1$ приращение объёма будет постоянным и равным 0,313 м³.

Объём проходящей через проран воды, ΔV_i , на каждом расчётном шаге зависит только от транспортирующей способности в предположении, что её значения могут меняться от 0,003 (пункт 2.2.3 РД 09-391-00) до 30 (таблица 3).

Глубина слоя воды, вытекающего из водохранилища:

$$H_i = H_{i-1} + \Delta y - \Delta H_{i-1}$$

Поскольку приращение Δy фиксированное, а понижение уровня на шаге может быть очень небольшим (реальные площади водохранилищ составляют сотни тысяч квадратных метров), то глубина слоя воды будет расти в арифметической прогрессии и в рассматриваемом примере при $\Delta y = 0,5$ м превысит $H_{\max}$ уже на 21 шаге, а в случае расчёта по РД 09-391-00 (при принятом $\Delta y = 0,1 \cdot H_{\max}$) – уже на 11 шаге.

При дальнейших итерациях расчётная глубина потока может многократно превысить $H_{\max}$, что абсурдно.

Таблица 3. Падение уровня воды или жидких отходов в водохранилище ΔH_i , м, при площади зеркала $F=1\ 000\ \text{м}^2$ на каждом расчётном шаге

Table 3. The water level decline in the reservoir, m, from area $F=1\ 000\ \text{м}^2$ at each calculated step

μ		0,003	0,03	0,3	3	30
$\Delta y = 0,5\ \text{м}$	$\Delta V_i, \text{м}^3$	365,17	36,517	3,652	0,3652	0,0365
	$\Delta H_i, \text{м}$	0,3652	0,0365	0,0036	0,00036	0,00004
$\Delta y = 0,01\ \text{м}$	$\Delta V_i, \text{м}^3$	67,88	6,787	0,679	0,0679	0,0068
	$\Delta H_i, \text{м}$	0,0678	0,0068	0,0007	0,00007	0,00007

Таблица 4. Сравнение рассчитанных и оценочных характеристик прорана и волны прорыва при Кокпектинской катастрофе

Table 4. Compare of the calculated and estimated characteristics of the erosion track and the breakthrough wave under the Kokpekty catastrophe

характеристики	$b, \text{м}$	$W, \text{м}^3*$	$t, \text{мин}$	$Q_{\max}$	$V_{\max}$	$\mu_{\max}$	$\mu_{\text{ср}}, \text{м}^3/\text{с}$
экспертная оценка	59	21240	440+45	1000 ± 200	5,5	-	7,8
расчётные	$\Delta y = 0,5\ \text{м}$	94,6	34 050 / 3 300	124	1570	6,5	0,34
	$\Delta y = 0,01\ \text{м}$	115,4	41 550 / 4 200	75	1860	6,5	0,25

Примечание: * – в знаменателе приведён суммарный объём прорана, полученный на основании расчёта размывающей способности $\mu_{\text{ср}}$ по зависимости В.С. Кнороза [Гришанин, 1969].

Решением проблемы, на наш взгляд, может быть добавление условия, что приращение глубины Δy имеет место только до достижения $H_i = H_{i-1} + \Delta y - \Delta H_{i-1} < H_{\max}$. Тогда далее расчёт ведётся по формуле $H_i = H_{i-1} - \Delta H_i$, численные значения глубины слоя воды, вытекающего из водохранилища, приобретают физический смысл.

К сожалению, приемлемое решение в рассматриваемых руководящих документах не представлено, что обуславливает невозможность их практического использования.

Выводы

1. Рассмотренные руководящие документы, в нарушение ГОСТ 8.417-2002 «Государственная система обеспечения единства измерений», используют нестандартизированные величины размерностей. Размерности параметров, приведённые в условных обозначениях руководящих документов, часто не соответствуют таковым в формулах.
2. В рассмотренных руководящих документах не учитывается время на образование эрозионных рытин, что приводит к ошибке оценки времени

образования прорана на конкретном примере (Кокпектинская катастрофа) на порядок.

3. В рассмотренных руководящих документах принята прямоугольная форма прорана, которая на практике в подавляющем большинстве случаев представляет собой трапецию. В рассматриваемом примере (Кокпектинская катастрофа) ширина прорана по основанию составляла 38 м, по верху – 59 м.

4. Расчётные размеры прорана превышают измеренные в два раза. В зависимости от выбранного шага различие в расчётных его размерах может достигать 25%.

5. Величину неразмывающей скорости V_0 рекомендуется определять (РД 09-391-00) с учётом силы сцепления между частицами грунта. В случае РД 03-607-03 не учитываются силы сцепления для грунтов с размерами частиц $0,05 < d < 0,1$ мм. Значение кинематического коэффициента вязкости воды при расчёте V_0 необходимо подставлять в $\text{м}^2/\text{с}$, а не в $\text{см}^2/\text{с}$.

6. Гидравлическую крупность W_0 , м/с, для размываемых грунтов (при диаметре частиц грунта $d < 0,1\ \text{мм}$) в проране рекомендуется определять из РД 09-391-00. В РД 03-607-03 для расчёта W_0 уже используется другая зависимость,

численное различие в формулах составляет 1,65 раза. Кроме того, в используемой формуле вместо динамической рекомендуется использовать кинематическую вязкость.

7. Транспортирующая (размывающая) способность потока в рассматриваемых руководящих документах безразмерна и не имеет физического смысла, поэтому не представляется возможность оценить адекватность полученных значений. Транспортирующая способность потока, полученная по зависимости В.С. Кнороза, используемой как первоисточник для формул

30 (РД 09-391-00) и 23 (РД 03-607-03) занижает величину размыва почти на порядок.

8. Расходы и объёмы воды, изливающейся из прорана грунтовой плотины, оцениваются методикой адекватно.

В целом численные значения большинства параметров, рассчитанных по рассматриваемым методикам, не соответствуют действительности и/или не имеют физического смысла, их нельзя использовать на практике, а сами методики нуждаются в незамедлительном пересмотре.

Литература

Александров Д.В., Зубарев А.Ю., Исакова Л.Ю. Введение в гидродинамику: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2012. 112 с.

Ананенков А.Г., Ставкин Г.П., Андреев О.П., Хабибуллин И.Л., Лобастова С.А. Эколого-экономическое управление охраной окружающей среды. М.: Недра, 2003. 227 с.

Большаков В.А., Константинов Ю.М., Попов В.Н. Справочник по гидравлике. К.: Вища школа, 1977. 280 с.

Виноградова Т.А., Макушин М.А., Виноградов И.А., Парфенов Е.А., Кадацкая М.М., Сазонова С.И. Расчёт морфометрических характеристик прорана и максимальных расходов при прорывах грунтовых плотин // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2019. Том 1. Вып. 2. С. 280-295. DOI: [10.34753/HS.2019.1.2.006](https://doi.org/10.34753/HS.2019.1.2.006).

Гришанин К.В. Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 428 с.

Кадацкая М.М., Виноградов А.Ю., Кацадзе В.А., Бельский Ю.И., Бачериков И.В., Хвалев С.В., Каляшов В.А. Анализ методов расчёта неразмывающей скорости при проектировании водопропускных и водоотводных сооружений лесного хозяйства // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 227. С. 174–187. DOI: [10.21266/2079-4304.2019.227.174-187](https://doi.org/10.21266/2079-4304.2019.227.174-187).

References

Aleksandrov D.V., Zubarev A.Yu., Isakova L.Yu. *Vvedenie v gidrodinamiku: uchebnoe posobie [Introduction to fluid dynamics: a tutorial]*. Ekaterinburg, Publ. of the Ural University, 2012. 112 p. (In Russian).

Ananenko A.G., Stavkin G.P., Andreev O.P., Khabibullin I.L., Lobastova S.A. *Ekologo-ekonomicheskoe upravlenie okhranoi okruzhayushchei sredy [Ecological and economical control over environment protection]*. Moscow, Publ. Nedra, 2003. 227 p. (In Russian).

Bol'shakov V.A., Konstantinov Yu.M., Popov V.N. *Spravochnik po gidravlike [Handbook of hydraulics]*. Kiev, Publ. Vishcha shkola, 1977. 280 p. (In Russian).

Chizhiumov S. D. *Osnovy gidrodinamiki: uchebnoe posobie [Fundamentals of hydrodynamics: a tutorial]*. Komsomolsk-on-Amur, Publ. of GOUVPO "KnAGTU", 2007. 106 p. (In Russian).

Chugaev R.R. *Gidravlika: uchebnik dlya vuzov [Hydraulics: a textbook for high schools]*. Leningrad, Publ. Energoizdat, 1982. 672 p. (In Russian).

Grishanin K.V. *Dinamika ruslovykh potokov [The dynamics of channel flows]*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1969. 428 p. (In Russian).

Kadatskaya M.M., Vinogradov A.Yu., Katsadze V.A., Belenkiy Yu.I., Bacherikov I.V., Grigor'ev G.V., Hvalev S.V. *Analiz metodov rascheta nerazmyvayushchei skorosti pri proektirovanii vodopropusknykh i vodootvodnykh sooruzhenii lesnogo khozyaistva [Analysis of*

Пономарчук К.Р. Оценка параметров развития прорана при разрушении грунтовой плотины // Природообустройство. 2011. №3. С. 77-82.

Тарабаев Ю.Н., Зотов Ю.М., Чагаев В.П. Шульгин В.Н. Инженерное обеспечение предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций при наводнениях (учебное пособие). Новогорск: Академия гражданской защиты МЧС России, 2000. 207 с.

Чижиумов С.Д. Основы гидродинамики: учеб. пособие. Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КНАГТУ», 2007. 106 с.

Чугаев Р.Р. Гидравлика: учебник для вузов. Л.: Энергоиздат, 1982. 672 с.

Шмакова М.В., Кондратьев С.А. Транспортирующая способность речного потока// Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2019. № 56. С. 176-187 DOI: [10.33933/2074-2762-2019-56-176-187](https://doi.org/10.33933/2074-2762-2019-56-176-187).

methods for calculating non-blurring speed in the design of culverts and drainage facilities of forestry]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii [Bulletin of the St. Petersburg Forestry Academy]*, 2019, iss. 227, pp. 174-187. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.21266/2079-4304.2019.227.174-187](https://doi.org/10.21266/2079-4304.2019.227.174-187).

Ponomarchuk K.R. Otsenka parametrov razvitiya prorana pri razrushenii gruntovoi plotiny [Assessment of parameters of closure channel development at destruction of earth dams]. *Prirodoobustroistvo [Environmental Engineering]*, 2011, no. 3, pp. 77-82. (In Russian; abstract in English).

Shmakova M.V., Kondratyev S.A. Transportiruyushchaya sposobnost' rechnogo potoka [Transporting capacity of river flow]. *Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta [Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University]*, 2019, iss. 56, pp. 176-187. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.33933/2074-2762-2019-56-176-187](https://doi.org/10.33933/2074-2762-2019-56-176-187).

Tarabaev Yu.N., Zotov Yu.M., Chagaev V.P. Shul'gin V.N. *Inzhenernoe obespechenie preduprezhdeniya i likvidatsii chrezvychaynykh situatsii pri navodneniyakh (uchebnoe posobie) [Engineering support for prevention and elimination of emergency situations during floods (textbook)]*. Novogorsk, Publ. of Academy of Civil Protection EMERCOM of Russia, 2000. 207 p. (In Russian).

Vinogradova T.A., Makushin M.A., Vinogradov I.A., Parfenov E.A., Kadatskaya M.M., Sazonova S.I. Raschet morfometricheskikh kharakteristik prorana i maksimal'nykh raskhodov pri proryvakh gruntovykh plotin [Calculation of the morphometric characteristics of the closure channel and the extreme discharge during break-throughs of ground dams]. *Gidrosfera. Opasnye protsessy i yavleniya [Hydrosphere. Hazard processes and phenomena]*, 2019, vol. 1, iss. 2, pp. 280-295. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.34753/HS.2019.1.2.006](https://doi.org/10.34753/HS.2019.1.2.006).

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

В научный журнал «Гидросфера. Опасные процессы и явления» принимаются статьи на русском и английском языках в соответствии с основными тематическими разделами:

1. Фундаментальные проблемы гидросферы Земли.
2. Опасные процессы в гидросфере: фундаментальные и инженерные аспекты
3. Экологические проблемы и опасности в гидросфере.
4. Эволюция гидросферы.
5. Методы, модели и технологии.
6. Вопросы совершенствования нормативной документации.
7. Мониторинговые, экспериментальные и экспедиционные исследования.
8. Научные дискуссии.
9. Наследие.
10. Хроника.

Плата за публикации статей не взимается. Гонорар авторам не выплачивается. Все статьи после формирования выпуска размещаются на сайте журнала в свободном доступе.

Общие требования к оформлению статьи:

- формат **.doc** или **.docx**; все поля страницы – по 2 см;
- шрифт Times New Roman, размер – 11 pt;
- междустрочный интервал – множитель 1,15, переносы в словах не допускаются;
- абзацный отступ – 1 см, выравнивание текста – по ширине (за исключением титульной страницы, формул, сносок, рисунков и таблиц).

Титульная страница должна содержать следующие элементы:

- УДК (выравнивание по левому краю);
- название статьи (регистр как в предложении, выравнивание по центру) не более 14 слов;
- инициалы и фамилия автора (авторов) (выравнивание по центру);
- полное название организации, в которой работают авторы, с указанием города и страны (курсив, выравнивание по центру);
- e-mail контактного автора (выравнивание по центру);
- аннотация объемом 230-250 слов, которая должна включать актуальность темы исследования, постановку проблемы, цели исследования, методы исследования, результаты и ключевые выводы;
- ключевые слова – 6-10 слов, предельно отражающих предмет исследования.

При подготовке статьи редакция настоятельно рекомендует придерживаться формата **IMRAD**, подразумевающего структурирование статьи на следующие элементы:

- введение (Introduction), содержащий актуальность исследования, обзор литературы, постановку проблемы, формулирование целей и задач исследования;
- методы (Methods), содержащий описание методики (методов) и схем экспериментов/наблюдений, материалов, приборов, оборудования и условий экспериментов/наблюдений;
- результаты (Results) – фактические результаты исследования и их интерпретация;
- обсуждение (Discussion) – краткие итоги разделов статьи без дословного повторения.

Таблицы и рисунки оформляются без абзацного отступа с выравниванием по центру, отделяются пустыми строками от основного текста. Все рисунки должны быть максимального качества. В таблицах допускается использование одинарного междустрочного интервала, шрифта меньшего размера (не менее 10 pt). Каждая таблица и рисунок должны иметь номер (используются арабские цифры) и название. Все подписи к таблицам и рисункам должны содержать источники информации (за исключением случаев, когда они созданы автором статьи).

Единицы измерения по тексту статьи указываются в международной системе единиц.

Десятичные числа набираются через запятую (например, 1,25).

Аббревиатуры и сокращения должны быть расшифрованы при первом употреблении. Если

таких элементов много, статью можно дополнить списком сокращений с расшифровкой.

Формулы должны быть вставлены как объект Microsoft Equation или набраны в редакторе формул Word, располагаться по центру страницы без абзацного отступа, сопровождаться сквозной нумерацией (по правому краю), а также иметь экспликацию (расшифровку обозначений при первом их упоминании с указанием единиц измерения).

В конце статьи могут быть приведены **Благодарности**, в котором следует упоминать людей, которые помогали при работе над статьей; источники финансирования.

Отсылка на затекстовые библиографические ссылки приводится по тексту статьи в квадратных скобках путем упоминания всех авторов (при отсылке к источнику с 1-3 авторами), либо первого автора и слов «и др.» («et al.») (при отсылке к источнику с 4 и более авторами) и года издания. Ссылки на несколько публикаций одного автора за один год помечаются добавлением буквы к году издания. В случае отсылки на несколько источников, они приводятся в хронологическом порядке и разделяются точкой с запятой.

Форматы оформления основных видов затекстовых библиографических ссылок:

Ссылка на книгу: *Фамилия И.О.* Заглавие книги: Сведения, относящиеся к заглавию книги / Сведения об ответственности (например, редактор). Место издания (город): Издательство, год. Количество страниц в книге. DOI:

Ссылки на диссертацию или автореферат: *Фамилия И.О.* Заглавие диссертации. Тип диссертации. Место издания (город), год. Количество страниц в диссертации. DOI:

Ссылки на статью в книге: *Фамилия И.О.* Заглавие статьи // Заглавие книги: Сведения, относящиеся к заглавию книги / Сведения об ответственности. Место издания (город): Издательство, год издания. Страницы статьи. DOI:

Ссылки на статью в периодическом издании: *Фамилия И.О.* Заглавие статьи // Заглавие журнала. Год. Том. №. Страницы статьи. DOI:

Ссылки на материалы в сборнике конференции: *Фамилия И.О.* Заглавие статьи // Заглавие сборника конференции: Сведения, относящиеся к заглавию сборника (место и даты проведения конференции). Место издания (город): Издательство, год. Том. Страницы статьи. DOI:

Ссылки на электронный источник: *Фамилия И.О.* Заглавие материала [Электронный ресурс]: сведения, относящиеся к заглавию // Заглавие интернет-источника. Год создания ресурса. URL: адрес статьи (дата обращения: 01.01.2013).

В затекстовые библиографические ссылки включаются только рецензируемые источники (статьи из научных журналов, материалы конференций, разделы книг и книги). Если необходимо сослаться на нормативный документ либо на статью в газете, текст на сайте или в блоге, следует поместить информацию об источнике в сноску по основному тексту статьи. **Сноски** оформляются сквозной нумерацией по всему документу арабскими цифрами. В сносках помимо источников может быть другая дополнительная информация. Текст в сносках оформляется без абзацного отступа, выравнивается по ширине, размер шрифта – 9 pt.

Кроме того, обязательно подается **авторская справка**, содержащая информацию обо всех авторах: фамилия, имя, отчество (полностью); ученые степень и звания; место работы с указанием должности; контактный телефон; e-mail; авторские индексы.

На **английском языке** в обязательном порядке приводятся: титульная страница; названия таблиц и рисунков; благодарности (при наличии); литература (содержащая, как транслитерацию, так и перевод на английский язык); авторская справка. При этом англоязычный вариант аннотации (**Abstract**) должен быть информативным (не содержать общих слов); оригинальным (не быть калькой русскоязычной аннотации); содержательным (отражать основное содержание статьи и результаты исследований); структурированным (следовать логике описания результатов в статье); «англоязычными» (написаны качественным английским языком); компактным (укладываться в объем до 250 слов).

Подробные правила приведены <http://hydro-sphere.ru/index.php/hydrosphere/requirements>.

AUTHOR GUIDELINES

Articles in Russian and English accepted at the journal "Hydrosphere. Hazard processes and phenomena" in accordance with the main sections:

1. Fundamental problems of the Earth's hydrosphere
2. Hazardous processes in the hydrosphere: fundamental and engineering aspects
3. Ecological problems and hazards in the hydrosphere
4. The evolution of the hydrosphere
5. Methods, models and technologies
6. Issues of improving regulatory documentation
7. Monitoring, experimental and expeditionary research
8. Scientific discussions
9. Heritage
10. Chronicles

There is no fee for publishing articles. The authors are not paid a fee.

All articles after the formation of the issue are posted on the journal's website in the public domain.

Materials published in journal are freely available and posted on the journal website.

The general format requirements for articles to be published:

- file format .doc or .docx; fields 2 cm on the perimeter of the page;
- font Times New Roman, the main font size – 11 pt;
- line spacing – 1,15, the use of automatic hyphenation in words is not permitted;
- indent – 1 cm, text alignment on the page width (except for the title page, formulas, links, figures and tables).

The title page should contain the following elements:

- title of the article (register as in the sentence, alignment in the centre) no more than 14 words;
- author (s)' name (alignment in the centre);
- organization affiliation, indicating the city and country (in italics, alignment in the centre);
- e-mail of the contact author (center alignment);
- abstract up to 250 words, which should include the relevance of the research topic, problem statement, research objectives, research methods, results and key findings;
- keywords – 6-10 words, reflecting the content of an article.

The main text.

The editors strongly recommend original research articles are structured in IMRAD format:

Introduction – Why was the study undertaken? What was the research question, the tested hypothesis or the purpose of the research?

Methods – When, where, and how was the study done? What materials were used or who was included in the study groups (patients, etc.)?

Results – What answer was found to the research question; what did the study find? Was the tested hypothesis true?

Discussion – What might the answer imply and why does it matter? How does it fit in with what other researchers have found? What are the perspectives for future research?

Tables and figures should be centered on page without indentation, separated from the main text by empty lines. All figures should be in highest quality. There are allowed of using a single line spacing, and a smaller font (no less 10 pt) in tables. Each table and figure should have a number and a title. All signatures to tables and figures should contain sources of information (except when they are created by the author of the current article).

Units of measurement in the text of the article are indicated in the international system of units.

Decimal numbers are comma-separated (e.g. 1,25).

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter. If there are a lot of abbreviations, the article can be supplemented by a section with a list of abbreviations with decryption.

For equations use a Microsoft Equation object or Word equation editor, they should be located in the center of the page without indentation and accompanied by continuous numbering (on the right edge). All equations must have an explication (defining of symbols at the first mention of them with units measurements).

If it necessary **Acknowledgments** of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section before the reference list. The names of funding organizations should be written in full.

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. Footnotes to the text are numbered consecutively.

Cite references in the text by last name and year in square brackets. If reference consist not more than three authors, you should place in text all author. If there are more than four authors - place in brackets the first author and words "et al." and not forget about year of publishing. If you need several reference cite in one place of text - please separate each reference by semicolons. If you use several references of one author in the same published year - you must separate it by letter near the year in reference list and in text.

References list should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should be mentioned in the footnotes. Reference list should be alphabetized by the last names of the first author. If you use several references of author

Some formats for references list:

Book reference: Author A.A. *Title of book*. City, Publisher, year. 100 p. DOI:

Book chapter reference: Author A.A. Title of chapter. In Editor E.E. (ed.), *Title of book*. City, Publisher, year, pp. 1-20. DOI:

Dissertation reference: Author A.A. *Title of thesis*. *Thesis type*. City, year. 100 p. DOI:

Jornal article reference: Author A.A., Author B.B., Author C.C., Author D.D. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49-53. DOI:

Conference Proceedings reference: Author A.A., Author B.B., Author C.C., Author D.D. Title of article. *Title of Conference Proceedings (date and place of the conference)*, City, Publisher, 2005, vol. 1, pp. 49-53. DOI:

Online document reference: Author A.A., Author B.B., Author C.C., Author D.D. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol.10, no. 2, pp. 49-53. Available at: <http://example.com/example>.

For the detailed information about the author(s), please at the end of article give us some additional information:

full names of author(s);

academic degree and title;

organization affiliation with full address (including Post Code);

position in organization;

contact telefon (for all authors);

contact e-mail (for all authors);

scientific indexes (scopus, orcid, web of science etc.).

Detailed rules for articles will be given on the website of the journal "Hydrosphere. Hazard processes and phenomena": <http://hydro-sphere.ru/index.php/hydrosphere/requirements>

Научное издание

**ГИДРОСФЕРА. ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ.
HYDROSPHERE. HAZARD PROCESSES AND PHENOMENA
(GIDROSFERA. OPASNYE PROTSESSY I YAVLENIYA)**

Главный редактор: академик РАН Г.И. Долгих
Компьютерная верстка: М.М. Кадацкая

На обложке фото А.Х. Хайдарова,
рисунки Е.Ф. Штеблау и М.А. Парфеновой

Подписано в печать 30.09.2020. Формат: 60х84/8
Бумага: офсетная. Печать плоская
Усл. печ. л. 19,2. Тираж 50 экз. Заказ № ____
Выход в свет __.10.2020

Тип распространения: бесплатно на сайте журнала www.hydro-sphere.ru

Издатель: ООО НПО «Гидротехпроект»
Санкт-Петербург, 14-я линия В.О. д. 97 пом. 3н
Для почтовых отправлений:
199155 Санкт-Петербург, а/я 136

Редакция журнала «Гидросфера. Опасные процессы и явления»
Тел. +7(812)313-83-48
e-mail: info@hydro-sphere.ru

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в издательстве «Лема»
Санкт-Петербург, 1-я линия В.О., д. 28

