

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

ГИДРОСФЕРА

ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ



www.hydro-sphere.ru

Том 2

Выпуск 2



**ГИДРОСФЕРА.
ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ****Том 2, Выпуск 2****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 2****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

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОСФЕРЫ ЗЕМЛИ	102
ГИДРОЛОГИЯ: СООТНОШЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ	
ГИДРОЛОГИИ Т.А. Виноградова, А.Ю. Виноградов	102
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРИОГЕННЫХ ЯВЛЕНИЙ И ПРОЦЕССОВ НА ПИТАНИЕ	
РЕК РОССИИ ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ М.Л. Марков	112
ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГИДРОСФЕРЕ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И	
ИНЖЕНЕРНЫЕ АСПЕКТЫ.....	122
ЛАВИНЫ, СЕЛИ И ОПОЛЗНИ НА ОСТРОВЕ МОНЕРОН Н.А. Казаков.....	122
ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОСФЕРЫ	148
PALAEORUNOFF FROM LAKE LADOGA TO THE BALTIC SEA DURING THE	
HOLOCENE Dmitry A. Subetto, Denis D. Kuznetsov, Maria V. Minina, Olga A. Druzhinina	148
МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ БЕРЕГОВ КОНТАКТНЫХ ЗОН	
СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКИ В.В. Афанасьев, Е.И. Игнатов, А.В. Уба	158
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОПАСНОСТИ В ГИДРОСФЕРЕ.....	173
ХАРАКТЕРИСТИКА КАЧЕСТВА СТОКА РЕК РОССИИ, ТРАНСГРАНИЧНЫХ С	
БЕЛАРУСЬЮ, УКРАИНОЙ И КАЗАХСТАНОМ, И ЕГО СВЯЗЬ С	
БАССЕЙНОВЫМИ ГЕОСИСТЕМАМИ Э.А. Румянцева, Н.Н. Бобровицкая	173
ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ	196
КЛИМАТ ГОРНОЙ СТРАНЫ КАВКАЗ. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
ФИШТ-ОШТЕНСКОЙ ГОРНОЙ ГРУППЫ И ПЛАТО ЛАГОНАКИ Г.Л. Морозов.	196
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	215

CONTENTS

FUNDAMENTAL PROBLEMS OF THE EARTH'S HYDROSPHERE	102
HYDROLOGY: RELATION BETWEEN THEORETICAL AND APPLIED	
HYDROLOGY Tatiana A. Vinogradova, Alexey Yu. Vinogradov	102
ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CRYOGENIC PHENOMENA AND PROCESSES	
ON THE SUPPLY OF RUSSIAN RIVERS WITH UNDERGROUND WATER Mikhail L. Markov	112
HAZARDOUS PROCESSES IN THE HYDROSPHERE: FUNDAMENTAL AND	
ENGINEERING ASPECTS.....	122
AVALANCHES, DEBRIS-FLOWES AND LANDSLIDES ON THE MONERON ISLAND	
Nikolay A. Kazakov	122
THE EVOLUTION OF THE HYDROSPHERE	148
ПАЛЕОСТОК ОТ ОЗЕРА ЛАДОГА ДО БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ВО ВРЕМЯ	
ГОЛОЦЕНА Д.А. Субетто, Д.Д. Кузнецов, М.В. Минина, О.А. Дружинина	148
MORPHOGENETIC DIFFERENTIATION OF THE SHORES OF THE CONTACT	
ZONES OF THE NORTH PACIFIC Victor V. Afanas'ev, Evgeniy I. Ignatov, Alexey V. Uba	158
ECOLOGICAL PROBLEMS AND HAZARDS IN THE HYDROSPHERE.....	173
THE QUALITY CHARACTERISTIC OF THE RUSSIA RIVERS RUNOFF,	
TRANSBOUNDARY WITH BELARUS, UKRAINE, KAZAKHSTAN AND ITS	
RELATIONSHIP WITH BASIN GEOSYSTEMS El'vira A. Rumyantseva, Nelly N. Bobrovitskaya	173
ISSUES OF IMPROVING REGULATORY DOCUMENTATION.....	196
CLIMATE OF THE CAUCASUS MOUNTAINOUS COUNTRY. CLIMATE	
CHARACTERISTICS OF THE FISHT-OSHTEN MOUNTAIN GROUP AND THE	
LAGONAKI PLATEAU Georgy L. Morozov.....	196
AUTHOR GUIDELINES	217

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОСФЕРЫ ЗЕМЛИ FUNDAMENTAL PROBLEMS OF THE EARTH'S HYDROSPHERE

УДК 556

DOI: 10.34753/HS.2020.2.2.102

ГИДРОЛОГИЯ: СООТНОШЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ГИДРОЛОГИИ

Т.А. Виноградова^{1,2}, А.Ю. Виноградов^{2,3}¹Санкт-Петербургский государственный
университет, г. Санкт-Петербург, Россия;²ООО Научно-производственное объединение
"Гидротехпроект", г. Валдай, Россия;³Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени

С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия

vinograd1950@mail.ru

HYDROLOGY: RELATION BETWEEN THEORETICAL AND APPLIED HYDROLOGY

Tatiana A. Vinogradova^{1,2},Alexey Yu. Vinogradov^{2,3}¹Saint Petersburg State University, St. Petersburg,
Russia;²Scientific and Industrial Research
Association Gidrotekhproekt, Valday, Russia;³Saint Petersburg State Forest Technical University,
St. Petersburg, Russia

vinograd1950@mail.ru

Аннотация. Предлагаемая статья относится к разделу философии конкретной научной дисциплины – гидрологии. Она опирается на идеологию Юрия Борисовича Виноградова, учениками и последователями которого мы являемся. Статья составлена по его беседам, записям, огромному, ещё не до конца рассмотренному и обработанному наследию. Целью работы является попытка обратить внимание на такой важный и актуальный вопрос, как соотношение уровней наших теоретических разработок в гидрологии и их практического применения. В статье показано, что на данном этапе гидрология больше рассматривается как технология, чем как наука. Положительный имидж результатам исследовательских работ в области гидрологии создаёт технологический, а не профессиональный уровень исполнения. В работе рассмотрены методологические и экспериментальные аспекты «традиционной гидрологии» и «гидрологии нового поколения»; дана оценка состояния современной прикладной гидрологии; рассмотрены новые концепции прикладной гидрологии. Также в статье рассмотрены задачи оперативной гидрологии, прогнозирования гидрологических явлений и процессов, поставлены главные вопросы гидрологии – расчёты формирования речного

Abstract. The proposed article relates to the philosophy of a specific scientific discipline – hydrology. It is based on the ideology of Yuri Borisovich Vinogradov, whose students and followers we are. The article is based on his conversations, records, a huge heritage. The aim of this study is an attempt to draw attention to such an important and relevant issue as the correspondence of modern theoretical developments in hydrology and their application in practical hydrology.

It is shown that at this stage, hydrology is seen more as a technology than a science. A positive image of the results of research in the field of hydrology creates a technological rather than professional level of performance. The paper assesses the state of modern applied hydrology; new concepts of applied hydrology. The tasks of operational hydrology, forecasting hydrological phenomena and processes are considered. The main questions of hydrology are posed - calculations of the formation of river flow. New generation hydrology should prevail over traditional hydrology. This should be manifested in the achievement of the true adequacy of our modeling systems to nature. The danger of simplification of natural phenomena and processes, which is traditionally used in calculation methods in hydrology, is considered. The article addresses general issues regarding the future of hydrology and

стока. Гидрология нового поколения должна повсеместно возобладать над традиционной гидрологией 20-го века. Это должно проявиться в достижении подлинной адекватности наших моделирующих систем природе. Рассмотрена опасность неадекватного упрощения некоторых природных явлений и процессов, которое традиционно используется в расчётных методах в гидрологии. Кроме того, в статье затронуты общие вопросы, касающиеся будущего гидрологии и системы гидрометеорологических наблюдений. Первой особенностью новой системы будет использование в ней принципиально новых приборов и установок, которые должны совершить переворот в гидрометеорологической фундаментальной и прикладной науке, позволяющих иное разрешение наблюдаемых гидрометеорологических полей во времени и пространстве. Это касается и традиционных, и новых способов измерений. Если сейчас для массового моделирования формирования стока, осуществляемого по стандартным данным наблюдений сети гидрометеорологических станций, расчётный интервал времени равен суткам, то в будущем наблюдения должны проводиться с интервалами суммирования или осреднения от минут до часов.

Ключевые слова: фундаментальная (теоретическая) гидрология; прикладная гидрология; полевая гидрология; инженерная гидрология; гидрометеорологические наблюдения

Введение

Последние годы полностью прекратилась всякая дискуссия относительно целей и места гидрологии среди наук о Земле. Подавляющее большинство молодых специалистов воспринимают гидрологические расчёты и прогнозы как последовательность определённых заранее регламентированных действий. Никто не задумывается не только о качестве используемого в расчётах первичных материалов, но и об адекватности получаемых результатов. Всё это привело к деградации научной мысли в

the hydrometeorological observation system. The first feature of the new system will be the use of fundamentally new devices and installations. These devices should make a revolution in the hydrometeorological fundamental and applied science. Give greater accuracy to measurements of observed hydrometeorological parameters in time and space. Now, to simulate runoff formation, the calculated time interval is equal to days. In the future, observations should be made at intervals of averaging from minutes to hours.

Keywords: fundamental (theoretical) hydrology; practical hydrology; field hydrology; engineering hydrology; hydrometeorological survey

гидрологии, отсутствию видения нынешних проблем и будущего её развития. Наша статья является попыткой осмыслить существующие проблемы нашей науки.

Взаимосвязь между фундаментальной и прикладной гидрологией

Под фундаментальной (теоретической) гидрологией часто понимают постепенно складывающуюся и непрерывно развивающуюся методологическую и теоретическую основу

нашей науки. Именно фундаментальная гидрология питает прикладную, определяя её общее состояние, возможности и практическую полезность.

Фундаментальная гидрология характеризуется борьбой мнений, постепенной сменой своих теорий, кропотливым целеустремлённым построением общего здания своей науки. Все её достижения и недостатки неизбежно сказываются на надёжности и результативности своего прикладного продолжения.

Теперь следует обратить внимание на главное – на неизбежность следующей словесной формулы: развивая фундаментальную гидрологию, вы развиваете и прикладную. Обратное невозможно, так как в этом случае гидрология перестанет развиваться вообще, как это и произошло в России на границе прошлого и нынешнего веков.

Но существует и более важная и полезная обратная связь между фундаментальной и прикладной гидрологией. Она возникает при формулировании «правильных» вопросов со стороны «прикладников» в адрес «фундаментальщиков» или при их просьбах что-то улучшить в предлагаемых методах расчёта и моделях. Именно «прикладники» могут быть более объективными ценителями новых методологий. И именно с ними, как с единственно возможными арбитрами в спорах между гидрологами-«модельерами», может быть связана надежда на разрешение проблемы – чьи модели более приемлемы для практики. Ведь все прекрасно знают, что многие авторы моделей часто наделяют свою продукцию несуществующими достоинствами.

А как обстоит дело в гидрологии с взаимодействием между фундаментальной и прикладной её частями в настоящее время?

Конечно, такое взаимодействие есть, но оно сильно ослабело и искажено существующим положением дел, по крайней мере, в России. Фундаментальная гидрология оказалась брошенной на произвол судьбы. Приток новых технологий в прикладную гидрологию почти иссяк, ибо он подпитывается лишь немногими

уходящими со сцены энтузиастами. Финансируются лишь «сугубо практические» проработки, которые выполняются по старинке.

В то же время спрос на новые методы расчётов и прогнозов речного стока и опасных гидрологических явлений непрерывно растёт, но полностью ещё долго не сможет быть удовлетворён в связи с инертностью регулирующей системы.

Прикладная гидрология

Прикладная гидрология направлена на решение разного рода проблем и задач, связанных с появляющимися запросами о системе гидрологических сведений и методологий. Отсюда должен быть сделан жёсткий вывод о полной зависимости возможностей прикладной гидрологии от состояния гидрологии фундаментальной. И это несмотря на то, что развитие именно прикладной гидрологии всячески стимулируется водохозяйственными и проектными организациями, министерствами и ведомствами, лицами, принимающими решения. В то же время положение дел в фундаментальной гидрологии мало кого интересует, как и большинство самих гидрологов, приспособившихся к реалиям существующей действительности. Всё это привело к тому, что возможности прикладной гидрологии оказались чрезмерно суженными, более того такое положение вещей тормозит и развитие научно-обоснованного планирования и проектирования.

Современная прикладная гидрология, вроде бы находящаяся в непосредственном контакте с практикой, всё более удаляется от фундаментальной, не отражает многие достижения последней и, со своей стороны, так и не подготовила требований и пожеланий по отношению к своей одноименной фундаментальной дисциплине.

Неизбежен вывод – прикладная гидрология всегда несравненно более консервативна, чем фундаментальная. Два отличных друг от друга по своим целевым функциям основных традиционных направления прикладной гидрологии, которые, безусловно, сохраняют, а возможно даже и увеличат, своё значение в

будущем, – это расчёты и прогнозы стока и других гидрологических явлений.

Курсы прикладной гидрологии или этих её двух главных разделов обычно представляют достаточно обширное переложение основ фундаментальной гидрологии с добавлением конкретных рекомендаций и некоторых полностью прикладных аспектов.

Важно помнить, что неизбежно возникают новые практические проблемы, вследствие чего появляются новые аспекты и в прикладной гидрологии. Лучше предвидеть эти аспекты и быть готовыми к их решению.

Итак, прикладная гидрология состоит из следующих разделов:

- полевой гидрологии;
- инженерной гидрологии;
- оперативной гидрологии.

Полевая гидрология

Термин «полевая гидрология» пока не является общепринятым и распространённым, но полезность его применения сомнений не вызывает. Одновременно мы должны обратить внимание на следующее принципиальное расслоение полевых гидрологических исследований.

С одной стороны, содержание полевой гидрологии в какой-то мере ассоциируется у нас с «экспериментальными» исследованиями, проводимыми на немногочисленных воднобалансовых (стоковых) станциях, по сути дела стационарных. Поэтому эти исследования считать полевыми можно только условно.

С полевой гидрологией также связывают профессиональную деятельность гидрологов, которая совершается непосредственно при общении с природой. Целью таких гидрологических исследований является проведение измерений, наблюдения и систематизация данных о наблюдаемых в природе гидрологических объектах, явлениях и процессах. Полевая гидрология такого типа является основным источником наших представлений и нашей первичной информацией о гидрологическом мире во всех его подробностях.

Основной источник гидрометеорологической информации – это государственная стационарная сеть стандартных метеорологических и гидрологических станций и постов. Второй источник – это малая государственная сеть воднобалансовых (стоковых) и болотных станций, а также так называемых «парных» водосборов (лесных и полевых, расположенных поблизости друг от друга).

Основной недостаток экспериментальной гидрологии – частое проведение экспериментов и наблюдений в отрыве от теории стока и его математического моделирования (смысл эксперимента – в самом эксперименте). На этот недостаток можно взглянуть и с другой стороны – попытки накапливать данные впрок никогда не приводили к успеху.

Принципиально иным источником научной гидрологической информации являются специальные экспедиционные исследования, целью которых обычно является одна из двух основных причин:

- Пронаблюдать в естественных природных условиях за некоторыми тонкостями и оттенками плохо изученных сторон гидрологических процессов, что часто оказывается необходимым для адекватного построения некоторых элементов математических моделей формирования стока или опасных гидрологических явлений.
- Обследовать районы бедствия после прохождения особо крупных катастрофических явлений, что постепенно увеличит полноту наших знаний о последних.

Гидрологические расчёты также раздел прикладной гидрологии, определившийся в результате некоего двойного воздействия. Первое – это практические запросы со стороны планирующих и проектирующих организаций. Второе – постоянно, хотя и не столь быстро как бы хотелось, растущие возможности гидрологии совершенствовать свою методологию и повышать качество ответов на такие запросы.

В Советском Союзе, а затем в России, гидрологи всегда имели склонность к созданию строгих «норм и правил» ведения гидрологических расчётов для нужд

строительного проектирования. Единые правила способны в какой-то мере компенсировать недостаточность профессионализма отдельных гидрологов-проектировщиков. Но, с другой стороны, возможная ограниченность авторов единой и обязательной методикой в некоторых случаях способна ввергнуть «прикладников» в пучину безысходности.

Гидрографы стока в замыкающем створе – наиболее полная форма представления информации о режиме стока данной реки. Однако склонность к упрощению, иногда вынужденному, а иногда просто удобному, как не требующему дополнительного труда и особой квалификации, подвигла гидрологов на введение представления о «расчётных гидрологических характеристиках», как носителях обобщённой информации о гидрографах стока. Такими характеристиками являются суточные, декадные, месячные, годовые, максимальные и минимальные расходы воды, наносов, химических веществ, некоторых типов биоты. С ними гораздо проще иметь дело в разного рода таблицах и упрощённых зависимостях. Иногда используются средние расходы или объёмы стока за периоды, определения которых являются размытыми (половодье, паводок, межень), что немедленно влечёт за собой эффекты неопределённости.

Расчётные гидрографические характеристики легко подвергаются статистическому анализу, и их кривые распределения вероятностей являются основной традиционной формой представления результатов гидрологических расчётов. Обычно выделялись и продолжают выделяться методы построения кривых распределения гидрологических характеристик при наличии, неполноте или отсутствии данных наблюдений. В настоящее время кое-кто склоняется к мнению, что такое разделение методических подходов из-за проявления нестационарности рядов наблюдений теряет свой первоначальный смысл. Интересно, что отсутствие наблюдений всегда вызывало к жизни более сложные и интересные для фундаментальной гидрологии методы и подходы.

Примером крайней некорректности и искусственности является постановка задачи о внутригодовом распределении стока. Неопределённости, вводимые при решении данной задачи, связаны с желанием совместить выделение сезонных, месячных или других «внутригодовых элементов» стока с некоторым вероятностным оформлением, что делается чаще всего или очень условно, или же просто неверно.

Следует отметить, что существующее положение дел в области расчётов речного стока не в полной мере отвечает современным требованиям науки и практики. К числу недостатков применяемых методов прежде всего следует отнести эмпирический характер расчётных схем и формул при определении расчётных гидрологических характеристик в условиях отсутствия данных гидрометрических наблюдений в изучаемом створе, в основе которых лежат лишь самые общие и упрощённые представления о механизме формирования стока.

Одной из причин указанных недостатков является сложившаяся система взглядов на гидрологические расчёты. Имеет место парадоксальная ситуация: на обоснованную оценку расчётных гидрологических величин, которые в первую очередь определяют размеры и стоимость планируемых и проектируемых сооружений, тратится ничтожная доля средств, сил и времени, выделяемых на проект в целом. Создаётся ложное представление о естественной примитивности гидрологических расчётов. Такое состояние дел приводит к тому, что многие разработчики создаваемой гидрологической методологии, являющиеся по разным причинам сторонниками упрощённых эмпирических подходов, защищают свои позиции ссылками на то, что пользователь не примет более сложных методов. Последнее утверждение в большей мере противоречит тенденциям последнего времени, когда именно пользователи выказывают своё разочарование по поводу до сих пор регламентируемых методов гидрологических расчётов.

Отмеченное положение вещей в теории речного стока и развитии методов его расчёта

сложилось не само по себе, а явилось следствием, следующих обстоятельств:

- принижение при планировании научно-исследовательских работ роли фундаментальных исследований в области создания теории формирования речного стока и гидрологии вообще и выдвижение на первое место мелких задач текущего момента;
- недостаточность количества и качества информации с постоянно сокращающейся гидрометеорологической сети, включая воднобалансовые станции;
- снижение профессионального уровня подготовки кадров;
- практически полное прекращение исследовательских экспедиционных работ в области гидрологии;
- затруднения в получении даже стандартной гидрометеорологической информации, превращённой ныне в предмет купли-продажи.

Оперативная гидрология, прогнозы гидрологических явлений и процессов

Прогнозы должны:

- содержать информацию, необходимую для всех обслуживаемых отраслей народного хозяйства;
- обладать заблаговременностью, соответствующей требованиям потребителей;
- объявляться в сроки, удовлетворяющие все заинтересованные ведомства и организации;
- быть очень чётко сформулированными без возможности их неправильного понимания и толкования.

Гидрологическое прогнозирование должно восприниматься как важное вспомогательное средство для принятия решений. Поэтому прогностические службы должны постоянно решать ряд необходимых последовательных задач:

- выбирать наиболее эффективную и надёжную методику гидрологического прогнозирования с точки зрения получения наиболее достоверных оценок ситуации;
- принимать все необходимые меры к информационному обеспечению данной методики;

- в случае неудовлетворённости имеющимися в распоряжении методами прогнозирования обращаться в соответствующие инстанции с целью инициировать появление более работоспособных подходов с привлечением дополнительных научных сил;
- проводить среди потребителей прогностической информации работу по разъяснению сущности предлагаемых методов прогноза и добиваться понимания по поводу стоящих перед полноценным и эффективным гидрологическим прогнозированием объективных препятствий для дальнейшего их совместного преодоления.

Здесь же полезно назвать пограничные между службами гидрологических прогнозов и пользователями прогностической информации естественные вопросы, о которых обе стороны должны быть хорошо осведомлены:

- каковы цели управления водохозяйственными системами и средства этого управления?
- какова желаемая заблаговременность каждого вида прогноза?
- кто является потенциальным пользователем гидрологических прогнозов и решений, принятых на их основании?
- каковы пожелания потребителей разного уровня в адрес прогнозистов и разработчиков прогнозов?

Традиционная гидрология

Итак, под традиционной гидрологией будем понимать науку, которая существовала и развивалась в двадцатом веке и заложила основы для зарождения своей преемницы – гидрологии «нового поколения».

Обозначим некоторые характерные для традиционной гидрологии приёмы и подходы, которые, с нашей точки зрения, тормозили развитие научной гидрологии и от которых следует освободиться.

Это изучение соотношений между суммарными или осреднёнными за различные отрезки времени характеристиками стока и факторами их вызывающими, а не самих процессов формирования стока. Существуют многочисленные описания и рассуждения и

довольно упрощённые математические решения. При построении различного рода зависимостей используется ограниченное число аргументов (обычно не более двух-трёх). Для регламентации стокоформирующих свойств водосборов применяется такой показатель, как коэффициент стока, который столь же изменчив, как и сам сток. Для учёта озёрности, заболоченности, залесённости вводятся соответствующие коэффициенты влияния и разного рода поправки к оценкам стока, учитывающие местные условия или другие особенности речных бассейнов.

Примером упрощения некоторых природных явлений и процессов могут служить:

- неадекватная схема стекания сплошного слоя воды по гладкому плоскому склону вместо сложных последовательных процессов накопления воды в стоковых элементах и ее последующего микроручейкового истечения в русловую сеть;
- использование некоторых уравнений математической физики, не соответствующих описываемым природным процессам;
- применение редуционных кривых – временных и пространственных, имеющих очевидный математический смысл, но лишённых всякого физического обоснования;
- использование не очень корректных методов расчленения гидрографов стока при анализе источников питания рек;
- разделение единого процесса формирования стока на отдельные части – дождевой, снеговой, ледниковый, подземный, при этом очевидная проблема смешанного стока тщательно обходится;
- вроде бы независимое существование таких подразделов гидрологии, как минимальный и подземный сток, и в тоже время искусственность разделения стока по фазам водного режима (половодье, паводки, межень);
- не всегда обоснованное картирование разного рода гидрологических показателей;
- злоупотребление «районированием» и «классификациями» как акциями всегда произвольными, условными и неопределёнными: «поскольку весь процесс классификации производится мысленно, мы можем выполнять его независимо от того, существует ли в

действительности предмет, обладающий данной особенностью, или нет» [Кэрролл, 1973];

- использование «методов водного и теплового баланса», развившихся в силу слабости теории на базе законов сохранения вещества и энергии, особенно если это касается оценки одной из составляющих баланса как остаточного члена;

- использование аппарата математической статистики (в основном регрессий и корреляций) при решении задач, не требующих вероятностных подходов и оценок. Выделение большой группы гидрологических задач, в решении которых статистическим методам предоставлялась полная независимость – отсюда имело место увлечение некоторыми возможностями этих методов без глубокого понимания сущности совершаемого.

От чего в основном зависело и зависит развитие науки в целом и её отдельных отраслей, в том числе гидрологии? Можно ответить в порядке значимости: от количества духовно и интеллектуально подготовленных и наукоориентированных личностей в людском сообществе, социуме; от нравственного и экономического состояния социума; от характера и интенсивности обращений социума к развивающейся науке. Каким-то почти непостижимым образом все три названные причины тесно связаны между собой. Здесь не вступаем в бесполезную дискуссию о том, как отличить действительно увлечённых людей от бездарно или тонко играющих эту роль. Не обсуждаем и стратегию приведения социума в состояние, когда он будет способен воссоздавать корпус принимающих решения лиц, в свою очередь способных задавать науке настоящие вопросы и, главное, различать качество ответов.

То, что сейчас делается в гидрологии, ещё долго в ней будет делаться. Инерционность науки всё-таки огромна. И эта инерционность зависит не столько от самой науки, сколько от социума, его духовного, нравственного, интеллектуального и экономического состояния.

Гидрология больше рассматривается как технология, чем как наука. Эта позиция указывает на очень низкий уровень современной фундаментальной гидрологии, что, в свою очередь,

привело к несовершенству прикладной дисциплины.

Три четверти всех работ, сделанных под вывеской гидрологии, включая исследования, учебники, руководства, университетские курсы, не содержат гидрологии вообще. Это недопустимая смесь попыток решить прикладные вопросы, связанные с гидрологией, при отсутствии гидрологических знаний.

Почему гидрологи не отказываются отвечать на запросы, которые явно невыполнимы? Обычный ответ: они пытаются сделать лучшее из того, что может быть сделано в данной ситуации. В ретроспективе видно, что это привело к большим ошибкам. Большинство гидрологов в своей душе являются технологами. Типично, что имидж исследовательским работам в области гидрологии создаёт технологический, а не научный уровень исполнения.

Гидрологи ещё не поднялись до уровня объяснения редких и решения опасных гидрологических явлений природы.

Наука – это осознанный опыт человечества. И этот опыт должно приобретать упорно, последовательно, неукоснительно. Практически пока ещё несуществующая социология науки должна была бы предупредить лиц, принимающих решения, о пагубности существующей практики распределения сил и средств на поддержание развития науки.

Что может привести к порождению новых теорий в гидрологии [Виноградов и Виноградова, 2014]? Какие силы в этом участвуют? Если говорить о глубинных силах, то они всегда одни и те же – любовь к природе, жажда познания, неудовлетворённость достигнутым. Если же иметь в виду внешние воздействия, то это некоторые «великие импульсы», порождаемые отдельными достижениями науки и техники.

Таким импульсом оказалось появление персонального компьютера – перед гидрологией открылись принципиально новые горизонты: исчезла зависимость от объёма производимых вычислений; возникла недоступная ранее возможность, не оглядываясь на сложность и «громоздкость» расчётов, математически описать

гидрологические процессы и явления с любой необходимой степенью подробности.

В то же время, пример с компьютеризацией гидрологии потрясает. Компьютер почти не изменил нашей идеологии при описании природных процессов. Наоборот, он, эффективно разрешая некоторые численные схемы, закрепил неадекватные или почти неадекватные природе подходы, иногда, по сути дела, возвратил их к жизни. Своими «пакетами» он не столько помог инженерам и учёным, сколько позволил им перестать размышлять о сущности проводимых вычислений. Он, безмерно увеличив наши вычислительные возможности, позволил нам захлестнуть нашу науку свалкой цифр, на самом деле никому не нужных. Особенно ярко это сказалось на стохастической гидрологии. Конечно, о «виновности» компьютера мы сказали здесь в символическом плане, по-настоящему виноваты сами гидрологи. Несмотря на всё сказанное, именно компьютер стоит у истоков гидрологии нового поколения, у истоков адекватного физически обоснованного распределённого моделирования.

Гидрология нового поколения должна повсеместно возобладать над традиционной гидрологией 20-го века. Это должно проявиться в достижении подлинной адекватности наших моделирующих систем природе; в разрешении проблемы масштаба; в правильной интерпретации пространственной гетерогенности многих свойств почвенно-растительного покрова, по логике вещей становящихся параметрами моделей; в создании работоспособных стохастических моделей погоды, обеспечивающих вход детерминированных моделирующих систем; в прозрачности детерминированно-стохастического моделирования гидрологических характеристик.

Затем гидрология должна перейти в состояние нормальной науки, тем самым, перестать быть гидрологией нового поколения (это название приемлемо лишь в переходный период). Общая картина нормальной гидрологии этого времени, по-видимому, будет такова: усовершенствование и «разукрашивание» моделирующих систем, отвечающих новой доминирующей парадигме; пропускание через «модельные фильтры» данных всех воднобалансовых станций,

экспериментальных и репрезентативных водосборов мира, многих и многих малых, средних и больших речных бассейнов; обобщение и географическая систематизация физически обоснованных параметров моделей; появление широких обобщающих работ и учебников по новой гидрологии.

И какой мы с вами испросим для этого срок? Мы полагаем, что не менее 50 лет, может быть немного больше...

Появление гидрологии нашего отдалённого будущего будет связано с появлением и утверждением нового великого импульса в гидрологии и других науках о Земле.

Таким импульсом, с нашей точки зрения, будет резкое изменение системы гидрометеорологических наблюдений. Первой особенностью новой системы будет использование в ней, по крайней мере, трёх важнейших принципиально новых приборов и установок, которые совершат переворот в гидрометеорологической фундаментальной и прикладной науке.

Перечислим их:

- 1) автоматический осадкомер, регистрирующий интенсивность и слой жидких и твёрдых осадков за короткие интервалы времени в пределах определённого контура (площадью 100–1000 м²) и работающий на основе влияния выпадающих осадков на некое непрерывно измеряемое физическое поле;
- 2) автоматический измеритель восходящего (испарение и транспирация) или нисходящего (конденсация) потока воды в газообразном состоянии в пределах определённого контура (площадью около 100 м²), основанный на одном из возможных принципов регистрации прохождения молекул воды через названный контур;
- 3) автоматический расходомер, ведущий непрерывную запись расходов воды и взвешенных и влекомых наносов в необорудованном створе, минуя традиционный подход «скорость-площадь», и основанный на существовании однозначной (скорее всего нелинейной) зависимости между расходом и создаваемым регистрируемым воздействием на обстановку в районе створа (сейсмика, магнетизм, гравитация и др.) или на

соответствующее специально создаваемое физическое поле.

Второй особенностью этой системы будет совершенно иное разрешение наблюдаемых гидрометеорологических полей во времени и пространстве. Это касается и традиционных, и новых способов измерений. Если сейчас для массового моделирования формирования стока, осуществляемого по стандартным данным наблюдений сети метеорологических станций, редко используют расчётный интервал времени короче суточного, то будущее, скорее всего, будет представлено наблюдениями с интервалами суммирования или осреднения от 10 до 60 минут. Если сейчас расстояние между осадкомерными пунктами на территории суши можно оценить в среднем в 100 км, то в будущем это, скорее всего, будут 10 или 20 км. Что касается других гидрометеорологических элементов, то шаг между точками наблюдений видимо уменьшится незначительно. Скорее всего, будет увеличено число высокогорных пунктов наблюдений, особенно в местах ярко выраженных гипсометрических контрастов. Количество гидрометрических створов в мире видимо возрастет в 2–3 раза, в основном за счёт ещё слабо освоенных в этом смысле речных бассейнов. Допускаем и возможность исчезновения метеорологических и гидрологических станций, как таковых, и появления иных форм измерений. И, наконец, ещё одна важная особенность этого времени – существенное повышение точности самих измерений.

Важнейшим следствием этих основных особенностей новой системы наблюдений будет совершенно иная степень подробности математического описания процессов формирования стока и других гидрологических явлений.

Особым событием в будущей жизни гидрологии может стать наш прорыв в мир подземных вод. Обидно, но мы не можем привести каких-либо реальных доводов в подтверждение сказанного, хотя рано или поздно, в той или иной мере это должно будет случиться.

Широкие перспективы перед гидрологией будущего, несомненно, откроются в связи с приходом принципиально новых возможностей

дистанционных методов измерения всего того, что так необходимо гидрологам, но пока остаётся недоступным.

Особо тщательно следует выбрать створы слежения за уровнем воды в характерных местах района зоны затопления:

- перед началом разлива (входа единого речного потока в зону затопления);
- приблизительно в середине зоны затопления (желательно в районе максимальной ширины);
- почти сразу после выхода реки из зоны затопления (иногда в какой-то мере условного).

В зависимости от разного рода обстоятельств выбирается место для расположения аналитического центра, желательно недалеко от верхнего или нижнего створов. В данный центр непрерывно должна поступать информация (об осадках, температуре и влажности воздуха и возможно какая-либо дополнительная по специальному списку) для осуществления непрерывного математического моделирования гидрографов стока в избранных створах в пределах данного речного бассейна с учётом прогнозируемого предупреждения.

Заключение

Всё-таки наше прогнозирование перспектив науки, в данном случае гидрологии, – это всего-навсего перенос в будущее несколько приукрашенной современной ситуации, хотя и с возможными, а точнее – с желаемыми маленькими научно-техническими «революциями». Но за всем этим в сумраке

будущих лет нас беспокоит нечто непривычное, может быть опасное, может быть гидрологически опасное.

Посмотрите внимательно: даже только гидрологические события последних лет наводят на серьёзные и глубокие размышления. Катастрофы множатся и, по большому счету, истинные причины этого остаются не очень известными. Достаточным ли может явиться предсказание потери спасительного для статистической гидрологии принципа стационарности гидрологических процессов с его устойчивыми расчётными вероятностями гидрологических величин в практике строительного проектирования? Конечно, и одно это – уже большое бедствие для инженерной гидрологии, ибо привычными подходами в условиях большой неопределённости и полного отсутствия информации здесь уже не отделаешься. Но возможна и совсем иная ситуация, подумав о которой сейчас, мы бы пришли в ужас и восхищение.

Что ж, эта, вырисовывающаяся в туманной дымке, гидрология будущего принесёт с собой новые теории, новые модели. Но исходной базой для них будет уже не традиционная гидрология, а та, которая названа гидрологией нового поколения.

Возможно, что такая новая гидрология будет иметь место на рубеже 21-го и 22-го веков. Но это очень и очень оптимистический прогноз.

Литература

Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Прикладная гидрология. СПб.:СПбЛТУ, 2014. 196 с.

Кэррол Л. История с узелками / Пер. с англ. Ю.А. Данилова; под ред. Я.А. Смородинского. М.: Мир, 1973. 408 с.

References

Carroll L. *A Tangled Tale*. London, 1885. 70 p. (Russ. ed.: Kerrol L. *Istoriya s uzelkami*. Moscow, Publ. Mir, 1973. 408 p.)

Vinogradov Yu.B., Vinogradova T.A. *Prikladnaya gidrologiya [Applies hydrology]*. Saint-Petersburg, Publ. of Saint Petersburg State Forest Technical University, 2014. 196 p. (In Russian).

УДК 556.5.01

DOI: 10.34753/HS.2020.2.2.112

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ
КРИОГЕННЫХ ЯВЛЕНИЙ И
ПРОЦЕССОВ НА ПИТАНИЕ РЕК
РОССИИ ПОДЗЕМНЫМИ
ВОДАМИ**

М.Л. Марков

*Государственный гидрологический институт,
г. Санкт-Петербург, Россия
2014mml@gmail.com*

**ASSESSMENT OF THE IMPACT OF
CRYOGENIC PHENOMENA AND
PROCESSES ON THE SUPPLY OF
RUSSIAN RIVERS WITH
UNDERGROUND WATER**

Mikhail L. Markov

*State hydrological Institute,
St. Petersburg, Russia
2014mml@gmail.com*

Аннотация. На значительной части территории России зима длится более 4 месяцев. Это приводит к образованию речного и озерного льдов, подземных льдов и наледей различного вида, промерзанию почвогрунтов и так далее. Все эти явления в той или иной степени влияют на сток рек. В условиях потепления климата, особенно в зимний период, стокоформирующая роль этих процессов снижается. Так как она до сих пор не оценена, то вопрос о ее значимости в гидрологическом режиме становится все более актуальным. Цель статьи – выполнить оценку совокупного влияния на подземное питание рек России многих криогенных явлений и процессов, формирующихся и происходящих в руслах рек, на водосборах, болотах и заболоченных территориях, в почво-грунтах, трещиноватых и рыхлых горных породах. В основе методики заложено представление о том, что внутригодовая изменчивость емкостных запасов подземных водоносных горизонтов, питающих большие реки, незначительна. Исходя из этого принято, что разница в питании рек подземными водами в зимнюю и летнюю межень определяет влияние всей совокупности криогенных процессов. Определение разницы между зимним и летним меженным стоком рек выполнено по картам летнего и зимнего минимального 30-ти суточного стока 80% обеспеченности.

В результате расчетов установлено, что криогенные явления и процессы контролируют 492 км³/год водных ресурсов России. В том числе: на европейской территории – 23; Урале и Западной Сибири – 36; Средней, Северо-

Abstract. In a large part of Russia, winter lasts for more than 4 months. This leads to the formation of river and lake ice, underground ice and ice of various types, freezing of soil, etc. All these phenomena affect the flow of rivers to one degree or another. In a warming climate, especially in winter, the flow-forming role of these processes is reduced. Since it has not yet been evaluated, the question of its significance in the hydrological regime is becoming more and more relevant. The purpose of the article is to assess the cumulative impact of many cryogenic phenomena and processes that form and occur in riverbeds, in catchments, swamps and wetlands, in soils, fractured and loose rocks on the underground nutrition of Russian rivers. The methodology is based on the idea that the intra-annual variability of the reservoir reserves of underground aquifers feeding large rivers is insignificant. Based on this, it is assumed that the difference in the supply of rivers with underground water in the winter and summer periods determines the influence of the entire set of cryogenic processes. The difference between the winter and summer inter-soil flow of rivers was determined using maps of the summer and winter minimum 30-day flow of 80% security.

As a result of calculations, it is established that cryogenic phenomena and processes control 492 km³/year of water resources in Russia. Including: in the European territory – 23; the Urals and Western Siberia – 36; Middle, North-Eastern Siberia and the far East – 433 km³/year. In other words, air temperature plays a significant role in the formation of almost 20% of the total annual flow of rivers in Russia's temperate and Northern latitudes

Восточной Сибири и Дальнем Востоке – 433 км³/год. То есть в формировании почти 20% суммарного годового стока рек умеренных и северных широт России с устойчивой зимой значительную роль играет температура воздуха. Происходящее и прогнозируемое повышение зимней температуры воздуха на этих территориях может постепенно привести к ослаблению криогенного регулирования стока и к заметным изменениям в водном режиме.

Ключевые слова: минимальный зимний и летний сток; подземное питание рек; наледи; речной и сезонный подземный лед; болота; криогенное регулирование стока; изменение климата

Введение

На значительной территории России часть года сохраняются отрицательные температуры воздуха. Это приводит к формированию разнообразных криогенных явлений, связанных с фазовыми переходами вода-лед/снег-вода: речного и озерного льдов; подземных льдов и наледей различного вида; промерзание почвогрунтов и так далее. Все эти явления в той или иной степени влияют на сток рек. Оценке влияния отдельных природных криогенных явлений на формирование речного стока посвящено множество работ [Соколов, 1975; Алексеев, Фурман, 1976; Кравченко, 1986; Обязов, Смахтин, 2013; Обязов, Смахтин, 2014; Марков, Гуревич, 2019; и другие]. Установлено, что основное их влияние сказывается на подземном питании рек. Вместе с тем до сих пор нет общей оценки влияния криогенных явлений на сток рек. В зарубежных публикациях таких оценок автор также не обнаружил. Возможно, до недавнего времени такие исследования не были столь актуальны, как это стало в последние 20-30 лет в связи с произошедшим и ожидаемым в дальнейшем потеплением климата, особенно в зимний период. Поэтому цель настоящей статьи – выполнить оценку совокупного влияния на подземное питание рек России многих

with a stable winter. The current and projected increase in winter air temperature in these territories may gradually lead to a weakening of cryogenic regulation of runoff and to noticeable changes in the water regime.

Keywords: minimum winter and summer runoff; underground river feeding; ice; river and seasonal underground ice; swamps; cryogenic flow regulation; climate change

криогенных явлений и процессов, происходящих в руслах рек, на водосборах, болотах и заболоченных территориях, в почво-грунтах, трещиноватых и рыхлых горных породах.

Методика

В основе методики определения криогенного регулирования подземного питания рек заложено представление о том, что внутригодовая изменчивость емкостных запасов подземных водоносных горизонтов, питающих большие реки, незначительна. Подземные воды, особенно из глубоких водоносных горизонтов, более зарегулированы и имеют меньшую изменчивость в течение года, чем поверхностные. Это подтверждают и незначительные коэффициенты вариации минимального зимнего и летне-осеннего стока рек, которые составляют 0,15-0,25 для большинства средних и больших рек северных районов России¹. В южных районах эти коэффициенты больше из-за малого участия в питании подземных вод. В северных районах, например, это проявляется в равенстве меженных зимних и летних расходов родников, участвующих в питании наледей [Марков, Василенко, Гуревич, 2016].

Исследования изотопного состава речных вод показали, что в питании рек, особенно в северных широтах, участвуют подземные воды с

¹СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. М.: Стройиздат, 1985. 40 с.

«возрастом» в среднем от 4 до 6 лет, что возможно только при соответствующем объеме, определяющем и малую внутригодовую изменчивость [Романов и др., 1983; Соколов, 1996].

Исходя из незначительной внутригодовой изменчивости ресурсов основных водоносных горизонтов, питающих реки, можно допустить, что подземное питание рек зимой должно быть близким или равным меженному летнему стоку (при отсутствии осадков). Если же есть разница, то есть основания принять ее за влияние разнообразных криогенных явлений и процессов, затрудняющих или перераспределяющих во времени подземное питание рек с зимы на лето.

Определение разницы между зимним и летним меженным стоком рек выполнено по картам летнего и зимнего минимального 30-ти суточного стока 80% обеспеченности, приведенным в СНиП 2.01.14-83. Эти карты

составлены по данным гидрологических наблюдений до 1980 г. на средних реках с площадями водосборов до 50-75 тыс. км². В период, за который использованы данные о стоке при построении карт, еще не произошло изменений в формировании гидрологического режима из-за климата. То, что в расчетах приняты значения меженного стока 80% обеспеченности, повышает объективность оценок по двум причинам. Во-первых, в очень маловодные годы реки преимущественно питаются из более глубоких водоносных горизонтов с очень малой внутригодовой изменчивостью. Во-вторых, в их стоке роль поверхностных (талых и дождевых) вод мала. Величины отклонений зимних от летних минимальных 30-ти суточных расходов воды 80% обеспеченности, характеризующих криогенное регулирование подземного питания рек России приведены на рисунке 1.

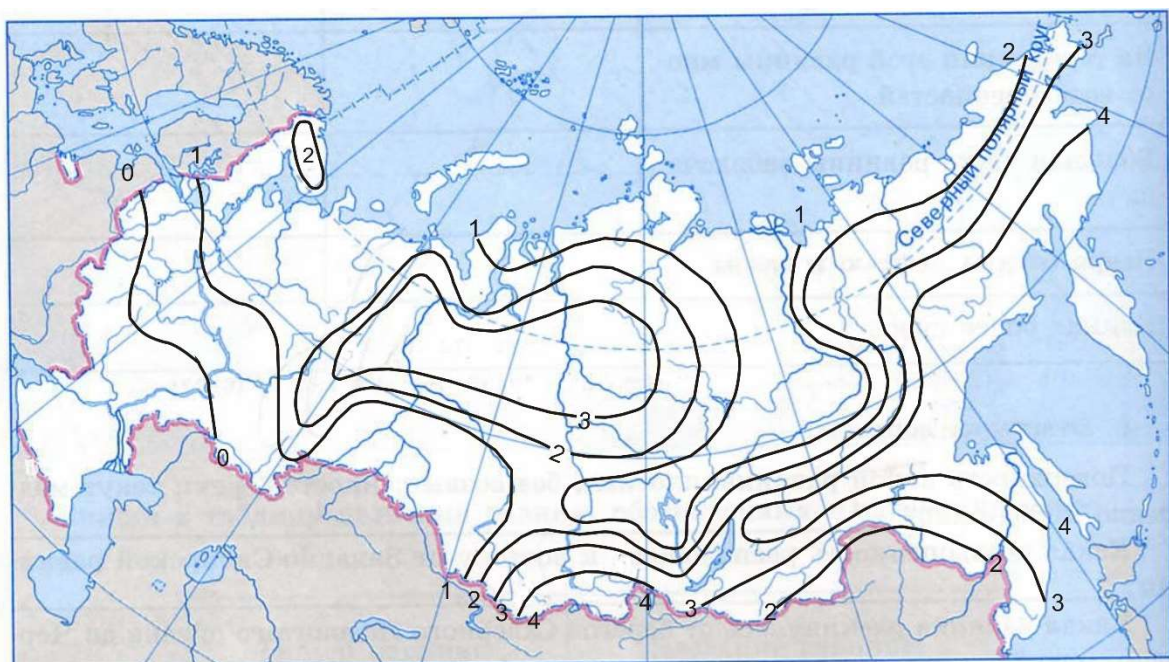


Рисунок 1. Криогенное регулирование подземного питания рек России, л/с км²

Figure 1. Cryogenic regulation of underground supply of Russian rivers, l/s km²

Результаты и обсуждения

Распределение по территории России отклонений зимнего подземного питания рек от летнего изменяется от 0 до 4 л/с км², достигая в северо-восточных районах 5 л/с км². Наименьшие значения характерны для юга европейской

территории и районов распространения сплошной многолетней мерзлоты. В первом случае это связано со слабым развитием криогенных явлений в южных областях. Еще южнее зимний сток выше летнего, так как там велика роль испарения в водном балансе водосборов в летний период. Некоторое

снижение разницы в северных районах, вероятно, обусловлено тем, что здесь мало участие подземных вод в питании в силу наличия многолетней мерзлоты. Самые большие значения влияния криогенных явлений характерны для горных районов. Также увеличение влияния криогенных факторов прослеживается в Восточной Сибири, где большинство рек перемерзает и формируются десятки тысяч наледей речных и подземных вод, сезонные подземные льды в речных долинах и гольцовые – в горах. В обширных районах Западной Сибири увеличение роли отрицательных температур воздуха в формировании стока рек, вероятно, сказывается из-за промерзания насыщенного водой деятельного слоя и мочажин болот. Вопрос аккумуляции болотных вод во льду и влияние этого процесса на сток рек с высокой степенью

заболоченности еще слабо изучен. Для России этот вопрос актуален, так как заболоченность страны (все оторфованные земли вне зависимости от мощности торфяного горизонта) составляет 21,6% (3,69 млн. км²) [Вомперский и др., 2005]. Например, если взять только площадь болот с мощностью торфа >50 см – 975 тыс. км², то при замерзании на ней слоя воды в 10 см объем льда составит 97 км³. Даже если половина этой воды не будет участвовать в зимнем стоке северных рек, это составит около 0,8 л/с км² потерь в их питании, но сохранит обводненность болот.

В целом криогенное регулирование питания рек России подземными водами составляет почти 492 км³/год (таблица 1), что для сравнения, например, в 2 раза больше среднего годового стока р. Волги.

Таблица 1. Объем криогенного регулирования питания рек России подземными водами

Table 1. Volume of cryogenic regulation of groundwater supply to Russian river

Территория России	Средняя продолжительность зимы, мес.	Средний модуль криогенного регулирования стока, л/с км ²	Площадь территории с устойчивой зимой, млн. км ²	Объем криогенного регулирования подземного питания рек, км ³ /год
Центральная и северная европейская территория	4	1	2,2	23
Урал и Западная Сибирь	5	1,7	1,6	36
Средняя и Северо-Восточная Сибирь, Дальний Восток	6	2,5	11	433
Сумма			14,8	492

Важно отметить, что только часть воды из приведенного выше годового объема поступает в реки и аккумулируется во льду разных видов. Значительный объем подземных вод остается зимой в водоносных горизонтах и зоне аэрации, так как дренирующая способность рек либо полностью отсутствует при перемерзании речных русел, либо существенно сокращена из-за снижения пропускной способности подо льдом.

В холодный период года сохраняется приток подземных вод к речным долинам под

действием силы тяжести. Эти воды при отсутствии или существенном снижении дренирования гидрографической сетью аккумулируются в приречной части бассейна. В конце зимы с потеплением они участвуют в формировании весеннего половодья. Так, например, на р. Шаманке в Прибайкалье экспериментально установлено, что в первой половине половодья подземные воды составляют более 3/4 объема стока [Кравченко, 1992]. Из-за «половодья подземных вод» до начала

водоотдачи снежного покрова коэффициенты стока весеннего половодья на некоторых реках Сибири равны или больше 1², а период минимального зимнего стока нередко смещается к середине зимы с увеличением площади водосбора. Под названием «черная вода» известны также паводки подземных вод весной на реках Якутии [Шепелев, 2014].

Основная часть естественных ресурсов подземных вод России (без субаквальной разгрузки в моря и подруслового стока), разгружающихся в реки России (далее – ЕРПВ) составляет примерно 790 км³/год [Шварцев, 1996]. Они определены по расчленению гидрографов речного стока на поверхностную и подземную составляющую. Описанное выше перераспределение части подземного стока в реки с холодного периода на теплый (в том числе на весеннее половодье) затрудняет оценку естественных ресурсов подземных вод по расчленению гидрографа на генетические составляющие. Частично эта проблема решена путем учета³ в оценках ЕРПВ объема подземного притока в реки, аккумулированного в речном льду и наледях [Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997; и другие]. Вместе с тем, трудно определяема часть подземных вод, которая остается в речном бассейне из-за снижения дренирующей способности гидрографической сети при образовании ледяного покрова и других процессов криогенного характера [Zhuravin, Markov, 2010; Лавров, Марков, 2018; Марков, 2018; и другие]. Важно также отметить, что неизвестно какая часть этих «недодренированных» зимой подземных вод руслами рек поступает в реки в теплый период текущего года и с какой интенсивностью. Объем подземных вод, не поступавших из-за криогенных процессов в речную сеть в течение года или ряда лет вообще не учитывается в оценках ЕРПВ и относится не к ресурсам, а к запасам подземных вод. При происходящем потеплении зим, ослаблении криогенного регулирования стока наблюдается увеличение

подземного питания рек, что отмечено во множестве публикаций. Возникает дискуссионный вопрос – увеличение зимнего стока характеризует рост естественных ресурсов подземных вод или нет [Боревский, Марков, 2014]? Если в росте зимнего стока принимают участие и те подземные воды, которые были отнесены к запасам, но в новых криогенных условиях они дренируются реками, то их нельзя однозначно рассматривать в качестве показателей ЕРПВ. Это может привести к завышенным оценкам ЕРПВ, что, возможно, имеет место в некоторых работах [Современные ресурсы, 2015]. Не исключено, что происходящее снижение обводненности в центральных и южных районах России, где зимы практически не стало, связано и с вовлечением емкостных запасов в подземное питание рек [Zotov, Shum, Frolova, 2015; Зотов, Фролова, Шам, 2016]. Также этим можно объяснить и деградацию первичной гидрографической сети [Иванова, Ларионов, 1996], усыхание лесов в приводораздельных зонах. Но в этот же период есть примеры подтопления территорий [Разумов, Разумова, Молчанов, 2015]. Подтапливаемые территории расположены в основном на прибрежных участках средних и больших рек. Здесь рост расходов воды, поступающей с верхних звеньев гидрографической сети, привел к повышению минимальных уровней воды в реках (до 1-1,5 м), что сказалось на снижении их дренирующей роли [Марков, Гуревич, 2019]. Возможно, происходит постепенное пространственное перераспределение части водных ресурсов с приводораздельных территорий вниз к речным долинам крупных рек, при «усыхании» верховий. На водосборах верхних звеньев гидрографической сети приходная часть водного баланса подземных водоносных горизонтов (рост осадков и инфильтрации при снижении промерзания почво-грунтов) выросла, но расходная часть выросла больше за счет вовлечения в подземное питание рек сработки части емкостных запасов. Стабилизация между

² Практические рекомендации по расчету гидрологических характеристик в зоне хозяйственного освоения БАМа. Л.: Госкомгидромет, 1986. 108 с.

³ Расчет подземного питания рек криолитозоны (Методическое пособие). Л.: Гидрометеиздат, 1989. 106 с.

приходной и расходной частью водного баланса может наступить при общем снижении обводненности территорий, когда уровни подземных вод зоны интенсивного водообмена снизятся и, соответственно, снизится дренирующая способность рек. Это будет соответствовать состоянию адаптации водной системы речных бассейнов к изменению климата и, возможно, к переходу к новому «квазистационарному» состоянию в гидрологическом режиме. До наступления стабилизации в водном балансе речных бассейнов, расположенных в районах с прекратившимся криогенным регулированием формирования стока, региональная оценка ЕРПВ по традиционному расчленению гидрографа может быть некорректна из-за вовлечения в подземное питание рек емкостных запасов подземных вод.

Следует отметить, что при выполненной оценке криогенного регулирования подземного питания рек по данным гидрологических наблюдений до 1980 г. не учитывается мощный фактор-происходящее в последние десятилетия увеличение слоя сезонного оттаивания многолетних мерзлых грунтов [Biskaborn et al., 2019; Shiklomanov et al., 2019]. Это также приводит к улучшению дренирования территорий, в том числе за счет улучшения гидравлической связи между поверхностными и подземными водными объектами. Вероятно, этот фактор не менее значим, а в некоторых районах распространения многолетней мерзлоты может являться определяющим в формировании водного режима территорий в современных климатических условиях. По этой причине, можно утверждать, что выполненная оценка криогенного регулирования речного стока скорее занижена для современных климатических условий, чем завышена для северных и восточных районов России.

Выводы

В формировании зимнего водного режима рек России заметную роль играют процессы

фазовых переходов вода-лед-вода на водосборах, в бассейнах и в руслах. Их совокупное влияние оценено в 492 км³/год и выражается в двух процессах: во-первых, в перераспределении части подземного питания рек с холодного периода на теплый; во-вторых, в многолетнем регулировании емкостных запасов подземных вод. Полученную оценку можно считать ориентировочной, так как она выполнена по косвенным проявлениям рассматриваемых процессов в режиме стока рек и не учитывает влияние на формирование водного режима происходящего увеличения слоя сезонного оттаивания многолетних мерзлых пород. Более обоснованная оценка может быть получена только с использованием гидрогеологической режимной информации, которой в настоящее время крайне мало, особенно в северных и восточных районах страны.

Сложившееся ранее соотношение приходной и расходной части водного баланса подземных водоносных горизонтов в современных нестационарных климатических условиях нарушается за счет снижения регулирующей роли криогенных процессов. Это приводит к увеличению зоны активного водообмена поверхностных и подземных вод, что необходимо учитывать в методах оценки меженного стока рек, естественных и прогнозных ресурсов подземных вод.

Из-за большой значимости криогенных процессов для гидрологического режима рек России целесообразно усилить экспериментальные исследования взаимодействия поверхностных и подземных вод для выявления закономерностей адаптации водного режима территорий к изменениям климата. Без результатов таких исследований невозможно обоснованно разрабатывать адаптационные мероприятия водохозяйственного комплекса страны к происходящим необратимым природным изменениям теплооборота в речных бассейнах, повышать надежность и оправдываемость долгосрочных прогнозов.

Литература

Алексеев В.Р., Фурман М.Ш. Наледи и сток. Новосибирск: Сибирское отделение «Наука», 1976. 118 с.

Атлас снежно-ледовых ресурсов мира в 2-х т. Том 2: в 2-х кн. Книга 1, книга 2. / Гл. ред. В.М. Котляков. М.: ГУГК, 1998. 264 с., 270 с.

Боревский Б.В., Марков М.Л. Является ли меженный расход рек мерой питания подземных вод или общего подземного стока? // Разведка и охрана недр. 2014. №5. С. 10-16.

Вомперский С.Э., Сирин А.А., Цыганова О.П., Валяева Н.А., Майков Д.А. Болота и заболоченные земли России: попытка анализа пространственного распределения и разнообразия // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2005. № 5. С. 39-50.

Зотов, Л.В., Фролова Н.Л., Шам С.К. Гравитационные аномалии в 673 бассейнах крупных рек России // Природа. 2016. №5. С. 3-8.

Иванова Н.Н., Ларионов Г.А. Динамика протяженности малых рек: факторы и количественные оценки // Причины и механизмы пересыхания малых рек / Под ред. А.П. Дедкова, Г.П. Бутакова. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1996. С. 37-42.

Кравченко В.В. Роль наледей в формировании зимнего речного стока и ледяного покрова рек западной части зоны БАМа // Труды Государственного гидрологического института. 1986. Вып. 312. С. 34-84.

Кравченко В.В. Особенности взаимодействия поверхностных и подземных вод в малых бассейнах криолитозоны // Ландшафтно-гидрологический анализ территории. Новосибирск: Сибирское отделение «Наука», 1992. С. 88-106.

Лавров С.А., Марков М.Л. Оценка влияния атмосферного давления на уровень и сток грунтовых вод // Инженерные изыскания. 2018. Том 12. № 11-12. С. 44-51. DOI: [10.25296/1997-8650-2018-12-11-12-44-51](https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-11-12-44-51)

Марков М.Л., Василенко Н.Г., Гуревич Е.В. Наледи зоны БАМ. Экспедиционные исследования. СПб.: Нестор-история, 2016. 320 с.

References

Alekseev V.R., Furman M.Sh. *Naledi i stok [Ice and runoff]*. Novosibirsk, Nauka, 1976, 118 p. (In Russian).

Atlas snezhno-ledovykh resursov mira v 2 t. Tom 2: v 2 kn. Kniga 1, kniga 2 [World Atlas of Snow and Ice Resources in 2 volumes. Volume 2: in 2 books. Book 1, book 2]. Kotlyakov V.M. (ed.). Moscow, Publ. of General Directorate of Geodesy and Cartography, 1998. 264 p., 270 p. (In Russian).

Biskaborn B.K., Smith S.L., Noetzi J., Matthes H., Vieira G., Streletskiy D.A., Schoeneich P., Romanovsky V.E., Lewkowicz A.G., Abramov A., Allard M., Boike J., Cable W.L., Christiansen H.H., Delaloye R., Diekmann B., Drozdov D., Etzelmüller B., Grosse G., Guglielmin M., Ingeman-Nielsen Th., Isaksen K., Ishikawa M., Johansson M., Johannsson H., Joo A., Kaverin D., Kholodov A., Konstantinov P., Kröger T., Lambiel Ch., Lanckman J.-P., Luo D., Malkova G., Meiklejohn I., Moskalenko N., Oliva M., Phillips M., Ramos M., Sannel A.B.K., Sergeev D., Seybold C., Skryabin P., Vasiliev A., Wu Q., Yoshikawa K., Zheleznyak M., Lantuit H. Permafrost is warming at a global scale. *Nature Communications*, 2019, vol. 10, art. 264. DOI: [10.1038/s41467-018-08240-4](https://doi.org/10.1038/s41467-018-08240-4)

Borevskiy B.V., Markov M.L. Yavlyaetsya li mezhenneyi raskhod rek meroi pitaniya podzemnykh vod ili obshchego podzemnogo stoka? [Is river low-water flow a measure contributing to underground water or common underground water inflow?]. *Razvedka i okhrana nedr [Prospect and protection of mineral resources]*, 2014, no. 5, pp. 10-16. (In Russian; abstract in English)

Ivanova N.N., Larionov G.A. Dinamika protyazhennosti malykh rek: faktory i kolichestvennyye otsenki [Dynamics of the length of small rivers: factors and quantitative estimates]. In Dedkov A.P., Butakova G.P. (eds.) *Prichiny i mekhanizmy peresykhaniya malykh rek [Causes and mechanisms of drying up of small rivers]*, Kazan', Publ. of Kazan university, 1996, pp. 37-42. (In Russian).

Kravchenko V.V. Rol' naledei v formirovani zimnego rechnogo stoka i ledyanogo pokrova rek zapadnoi chasti zony BAMa [The role of ice in the

Марков М.Л. О хаосе и порядке в криогенных явлениях и процессах, формирующих речной сток // Сборник докладов Международной научно-практической конференции памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова «Третьи Виноградовские Чтения. Грани гидрологии» (г. Санкт-Петербург, 28-31 марта 2018 г.). СПб.: Научно-технологические, 2018. С. 92-97.

Марков М.Л., Гуревич Е.В. О влиянии ледяного покрова на подземную составляющую речного стока // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2019. Т. 1. Вып. 4. С. 477-489. DOI: [10.34753/HS.2019.1.4.477](https://doi.org/10.34753/HS.2019.1.4.477)

Обязов В.А., Смахтин В.К. Ледовый режим рек Забайкалья в условиях изменяющегося климата // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 3. С. 227-234. DOI: [10.7868/S0321059614030134](https://doi.org/10.7868/S0321059614030134)

Обязов В.А., Смахтин В.К. Влияние изменений климата на речной сток в зимний период в Забайкалье // Метеорология и гидрология. 2013. №7. С. 95-102.

Разумов В.В., Разумова Н.В., Молчанов Э.Н. Подтопление земель в Сибирском регионе России // Геориск. 2015. № 4. С. 22-36.

Романов В.В., Ферронский В.И., Вакуловский С.М., Катрич И.Ю., Рослый Е.И. Содержание трития в природных водах СССР в 1979-1980 гг. // Водные ресурсы. 1983. № 3. С. 109-115.

Современные ресурсы подземных и поверхностных вод Европейской части России: формирование, распределение, использование / Отв. ред. Р.Г. Джамалов, Н.Л. Фролова. М.: ГЕОС, 2015. 319 с.

Соколов Б.Л. Наледи и речной сток. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 190 с.

Соколов Б.Л. Новые результаты экспериментальных исследований литогенной составляющей речного стока // Водные ресурсы. 1996. Т. 23. №3. С. 278-287.

Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. М.: Недра, 1996. 423 с.

formation of winter river runoff and ice cover of rivers in the western part of the BAM zone]. *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo institute [Proceedings of the State Hydrological Institute]*, 1986, iss. 312, pp. 34-84. (In Russian).

Kravchenko V.V. Osobennosti vzaimodeistviya poverkhnostnykh i podzemnykh vod v mal'kikh basseynakh kriolitozony [Peculiarities of interaction of surface and ground waters in small basins of the permafrost zone]. *Landshaftno-gidrologicheskii analiz territorii [Landscape-hydrological analysis of the territory]*, Novosibirsk, Nauka, 1992, pp. 88-106. (In Russian).

Lavrov S.A. Markov M.L. Otsenka vliyaniya atmosfernogo davleniya na uroven' i stok gruntovykh vod [Assessment of the effect of atmospheric pressure on the level and ground waters flow]. *Inzhenernye izyskaniya [Engineering Survey]*, 2018, vol. 12, no. 11-12, pp. 44-51. (In Russian; abstract in English).

DOI: [10.25296/1997-8650-2018-12-11-12-44-51](https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-11-12-44-51)

Markov M.L., Vasilenko N.G., Gurevich E.V. Naledi zony BAM. Ekspeditsionnye issledovaniya [Icing fields of the BAM zone: expeditionary investigations]. St. Petersburg, Publ. Nestor-History, 2016. 320 p. (In Russian; abstract in English).

Markov M.L. O khaose i poryadke v kriogennykh yavleniyakh i protsessakh, formiruyushchikh rechnoi stok [About chaos and order in cryogenic phenomena and processes forming the river runoff]. *Sbornik dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii pamyati vydayushchegosya russkogo uchenogo Yu.B. Vinogradova «Tret'i Vinogradovskie Chteniya. Grani gidrologii» (g. Sankt-Peterburg, 28-31 marta 2018) [Proceedings of the international scientific conference in memory of outstanding Russian hydrologist Yury Vinogradov «Third Vinogradov Conference. Facets of hydrology» (Saint Petersburg, March, 28-30, 2018)]*, St. Petersburg, Publ. Nauchno-tekhnologii, 2018, pp. 92-97. (In Russian; abstract in English).

Markov M.L., Gurevich E.V. On the influence of ice cover on the underground component of river flow. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 4, pp. 477-489 (In Russian; abstract in English). DOI: [10.34753/HS.2019.1.4.477](https://doi.org/10.34753/HS.2019.1.4.477)

Шенелев В.В., Павлова Н.А. Основные составляющие подземного питания рек Якутии // Наука и образование. 2014. №2 (74). С. 117-120.

Biskaborn B.K., Smith S.L., Noetzli J., Matthes H., Vieira G., Streletskiy D.A., Schoeneich P., Romanovsky V.E., Lewkowicz A.G., Abramov A., Allard M., Boike J., Cable W.L., Christiansen H.H., Delaloye R., Diekmann B., Drozdov D., Etzelmüller B., Grosse G., Guglielmin M., Ingeman-Nielsen Th., Isaksen K., Ishikawa M., Johansson M., Johannsson H., Joo A., Kaverin D., Kholodov A., Konstantinov P., Kröger T., Lambiel Ch., Lanckman J.-P., Luo D., Malkova G., Meiklejohn I., Moskalenko N., Oliva M., Phillips M., Ramos M., Sannel A.B.K., Sergeev D., Seybold C., Skryabin P., Vasiliev A., Wu Q., Yoshikawa K., Zheleznyak M., Lantuit H. Permafrost is warming at a global scale // Nature Communications. 2019. Vol. 10. Art. 264. DOI: [10.1038/s41467-018-08240-4](https://doi.org/10.1038/s41467-018-08240-4)

Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Lettenmaier D.P., Polischuk Yu.M., Savichev O.G., Smith L.C., Chernokulsky A.V. Hydrological Changes: Historical Analysis, Contemporary Status, and Future Projections. In: Groisman P.Ya., Gutman G. Regional Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences. Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 2013, pp. 111-154. DOI: [10.1007/978-94-007-4569-8_4](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4569-8_4)

Zotov L.V., Shum C.K., Frolova N.L. Gravity Changes over Russian River Basins from GRACE // Planetary Exploration and Science: Recent Results and Advances / Eds. Jin S., Haghighipour N., Ip W.-H. Springer, Berlin, Heidelberg: Springer Geophysics, 2015. P. 45-59. DOI: [10.1007/978-3-662-45052-9_3](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45052-9_3)

Zhuravin S.A., Markov M.L. Development of studies in small research basins in Russia and the most recent tasks // Proceedings of the Workshop «Status and Perspectives of Hydrology in Small Basins» (Goslar-Hahnenklee, Germany, 30 March–2 April 2009) / Eds. by A. Herrmann, S. Schumann. IAHS Publ. 336. 2010. P. 219-224.

Obyazov V.A., Smakhtin V.K. Ice regime of Transbaikalian rivers under changing climate. *Water Resources*, 2014, vol. 41, no. 3, pp. 225-231. DOI: [10.1134/S0097807814030130](https://doi.org/10.1134/S0097807814030130) (Russ. ed.:

Obyazov V.A., Smakhtin V.K. Ledovyi rezhim rek Zabaikal'ya v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata. *Vodnye resursy*, 2014, vol. 41, no. 3, pp. 227-234. DOI: [10.7868/S0321059614030134](https://doi.org/10.7868/S0321059614030134)).

Obyazov V.A., Smakhtin V.K. Climate change effects on winter river runoff in Transbaikalia. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2013, vol. 38, no. 7, pp. 503-508.

DOI: [10.3103/S1068373913070091](https://doi.org/10.3103/S1068373913070091) (Russ. ed.: Obyazov V.A., Smakhtin V.K. Vliyanie izmenenii klimata na rechnoi stok v zimnii period v Zabaikal'e. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2013, no. 7, pp. 95-102)

Razumov V.V., Razumova N.V., Molchanov E.N. Podtoplenie zemel' v Sibirskom regione Rossii [Flooding of lands in the Siberian region of Russia]. *Georisk [Georisk]*, 2015, no. 4, pp. 22-36. (In Russian; abstract in English).

Romanov V.V., Ferronskii V.I., Vakulovskii S.M., Katrich I.Yu., Roslyi E.I. Soderzhanie tritiya v prirodnykh vodakh SSSR v 1979-1980 gody [Tritium content in natural waters of the USSR in 1979-1980]. *Vodnye resursy [Water Resources (Russian)]*, 1983, no. 3, pp. 109-115. (In Russian).

Shepelev V.V., Pavlova N.A. Osnovnye sostavlyayushchie podzemnogo pitaniya rek Yakutii [Main constituents of ground waters delivery to the rivers of Yakutia]. *Nauka i obrazovanie [Science and Education]*, 2014, no. 2, pp. 117-120 (In Russian; abstract in English).

Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Lettenmaier D.P., Polischuk Yu.M., Savichev O.G., Smith L.C., Chernokulsky A.V. Hydrological Changes: Historical Analysis, Contemporary Status, and Future Projections. In: Groisman P.Ya., Gutman G. Regional Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences. Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 2013, pp. 111-154. DOI: [10.1007/978-94-007-4569-8_4](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4569-8_4)

Shvartsev S.L. *Obshchaya gidrogeologiya [General hydrogeology]*. Moscow, Publ. Nedra, 1996. 423 p. (In Russian).

Sovremennye resursy podzemnykh i poverkhnostnykh vod Evropeiskoi chasti Rossii: formirovanie, raspredelenie, ispol'zovanie [Modern resources of ground and surface waters of the European part of Russia: formation, distribution, using]. Dzhamalov R.G., Frolova N.L. (eds.). Moscow, Publ. GEOS, 2015. 319 p. (In Russian).

Sokolov B.L. *Naledi i rechnoi stok [Ices and river runoff]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1975. 190 p. (In Russian).

Sokolov B.L. Novye rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy litogennoi sostavlyayushchei rechnogo stoka [New results of experimental studies of the lithogenic component of river runoff]. *Vodnye resursy [Water Resources (Russian)]*, 1996, vol. 23, no. 3, pp. 278-287. (In Russian).

Vompersky S.E., Sirin A.A., Tsyganova O.P., Valyaeva N.A., Maikov D.A. Bolota i zabolochennye zemli Rossii: popytka analiza prostranstvennogo raspredeleniya i raznoobraziya [Peatlands and paludified lands of Russia: attempt of analyses of spatial distribution and diversity]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya. [Izvestiya RAN (Akad. Nauk SSSR). Seriya Geograficheskaya]*, 2005, no. 5, pp. 39-50. (In Russian).

Zotov L.V., Frolova N.L., Shum S.K. Gravitatsionnye anomalii v 673 basseinakh krupnykh rek Rossii [Gravity anomalies in the basins of major russian rivers]. *Priroda [Nature (Russia)]*, 2016, no. 5, pp. 3-8. (In Russian).

Zotov L.V., Shum C.K., Frolova N.L. Gravity Changes over Russian River Basins from GRACE. In: Jin S., Haghighipour N., Ip W.-H. (eds.), *Planetary Exploration and Science: Recent Results and Advances*. Springer Geophysics. Springer, Berlin, Heidelberg, 2015, pp. 45-59. DOI: [10.1007/978-3-662-45052-9_3](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45052-9_3)

Zhuravin S.A., Markov M.L. Development of studies in small research basins in Russia and the most recent tasks. In A. Herrmann, S. Schumann (eds.) *Proceedings of the Workshop «Status and Perspectives of Hydrology in Small Basins»* (Goslar-Hahnenklee, Germany, 30 March–2 April 2009). IAHS Publ. 336, 2010, pp. 219-224.

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

УДК 551.311.2: 551.578.48: 624.131.544: 627.141.1

DOI: 10.34753/HS.2020.2.2.122

ЛАВИНЫ, СЕЛИ И ОПОЛЗНИ НА
ОСТРОВЕ МОНЕРОН

AVALANCHES, DEBRIS-FLOWES
AND LANDSLIDES ON THE
MONERON ISLAND

Н.А. Казаков

Nikolay A. Kazakov

*ФГБУН Специальное конструкторское бюро
средств автоматизации морских исследований
ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия;
cdsmd@yandex.ru*

*Special Research Bureau for Automation of Marine
Researches, Far Eastern Branch of Russian
Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia;
cdsmd@yandex.ru*

Аннотация. Представлены основные результаты проведённых исследований лавинных, селевых и оползневых процессов на острове Монерон. Лавины всех генетических типов объёмом от 25 до 70 000 м³ формируются с декабря по апрель. Связные грязекаменные сели объёмом от 300 до 50 000 м³ и несвязные сели (наносоводные потоки) объёмом до 1000 м³ формируются с апреля по ноябрь в бассейнах водотоков, в денудационных воронках, в оползневых цирках и мульдах. Повторяемость селей объёмом до 3 000 м³ – 1 раз в 5-7 лет, селей объёмом более 10 000 м³ – 1 раз в 10-20 лет. Формируются поверхностные оползни-оплывины (сплывы) объёмом 500-5 000 м³ с глубиной захвата до 2,5 м делювиальных рыхлых отложений, залегающих на миоцен-плиоценовых трещиноватых базальтах и аргиллитах. На береговых склонах формируются блоковые оползни в скальных породах объёмом 50 000-500 000 м³ и более с глубиной захвата пород более 10 м. Блоковые оползни сходят во время землетрясений и (или) сильных продолжительных дождей в морскую акваторию и способны вызывать цунами, которые могут достигать берегов островах Сахалин, Хоккайдо и Приморья. На телах старых оползней развиваются вторичные блоковые асеквентные оползни медленного смещения и оползни вязкопластического смещения объёмом

Abstract. On Moneron Island actively develops avalanche, debris-flow and landslide processes. Avalanches with a volume from 25 to 70 000 m³ are formed in avalanche catchments and avalanche slopes with a height of 70-300 m and a steepness of 35°-50°. Avalanches are formed that are associated with recrystallization of the snow column and the formation of weak layers inside it and at time during of snow fall and blizzard. Debris-flow are formed in the numerous streams, in the craters of denudation and landslide cirques and troughs. In small watercourses, connected debris-flows with a volume from 300 to 50 000 m³ and disconnected suspended streams with a volume of up to 1,000 m³ are formed. In large debris-flow are volume more them 50,000 m³. The debris-flow period lasts from April to November. Repeatability of debris-flows of up to 3,000 m³ – 1 time in 5-7 years, debris-flows of more than 10,000 m³ – 1 time in 10-12 years. Surface landslides are formed (volume of 500-5 000 m³) with a depth of capture of rocks up to 2.5 m (mainly on the slopes facing the sea coast with a steepness of 40-50°) in low-power (1.0-2.5 m) deluvial loose deposits of fractured basalts and mudstones. Block landslides in rocks with a volume of 50 000-500 000 m³ or more with a rock capture depth of more than 10 m are formed on the coastal slopes. Block landslides descend during earthquakes and (or) heavy prolonged rains into the sea area and can cause tsunamis that can reach the shores of

5 000-30 000 м³ с глубиной захвата пород до 10 м. Формирование оползней и селей больших объёмов и массовое формирование оползней и селей происходит в июле-октябре при выпадении сильных интенсивных осадков после предшествующего увлажнения горных пород, вызванного сильными продолжительными дождями. Суточная сумма осадков может достигать 89,0 мм. На острове Монерон происходили катастрофы, вызванные сходом лавин и оползней. В 1914 г. в деревне Нагахам (восточное побережье острова) в лавине погибло 4 человека; в 1917 г. в деревне Нишихама (западное побережье острова) в лавине погиб 1 человек. В сентябре 1957 г. оползнем был разрушен посёлок Бодрый. В октябре 2015 г. оползнями была разрушена туристическая тропа в бухте Чупрова.

Ключевые слова: грязекаменный сель; лавина; лавинная геосистема; лавиносбор; остров Монерон; оползень; оползневой массив; селевой бассейн; селевая геосистема; селевой процесс

Введение

При хозяйственном освоении малых изолированных территорий, слабо заселённых или не заселённых (в частности, малых островов) зачастую оказывается, что на такой территории развиваются опасные экзогенные процессы, затрудняющие, а порой делающие и невозможным ведение хозяйственной деятельности.

Однако опасные экзогенные процессы на многих изолированных территориях слабо изучены или не изучены и риски от лавин, селей и оползней при разработке экономических или социальных проектов во внимание не принимаются.

Начавшееся в 2000-е годы строительство на острове Монерон туристического комплекса

Sakhalin Island, Hokkaido and the Maritime provinces. On the bodies of old landslides secondary block asequent landslides of slow displacement and landslides of viscoplastic displacement with a volume of 5 000-30 000 м³ with a depth of rock capture up to 10 m develop. The formation of landslides and debris-flows of large volumes and mass formation of landslides and debris-flows occurs when heavy intense precipitation falls after the previous moistening of rocks caused by heavy prolonged rains. Daily precipitation can reach 89.0 mm. In 1914, 4 people was killed in an avalanche in the village of Nagahama; in 1917, 1 person was killed in an avalanche in the village of Nishihama. In September 1957, a landslide destroyed the village of Bodriy. In October 2015, a tourist trail was destroyed by landslides.

Keywords: avalanche; avalanche catchments; avalanche geosystem; coherent debris-flow; debris-flow; debris-flow basin; debris flow process; debris-flow geosystem; landslide; Moneron Island

показало, что без изучения опасных природных процессов и принятия мер по снижению рисков от них туристическая деятельность будет приносить убытки и создавать риски для персонала и туристов.

Так, осенью 2015 г. оползнями была разрушена туристическая тропа – единственный путь, соединяющий пристань с гостиничным комплексом.

Остров Монерон (рисунок 1) расположен в Татарском проливе в 43 километрах от юго-западного побережья острова Сахалин. Остров представляет собой потухший вулкан [Гранник, 2014].

Длина острова с юга на север – 7 км, наибольшая ширина с запада на восток – 3,6 км, площадь – около 30 км².

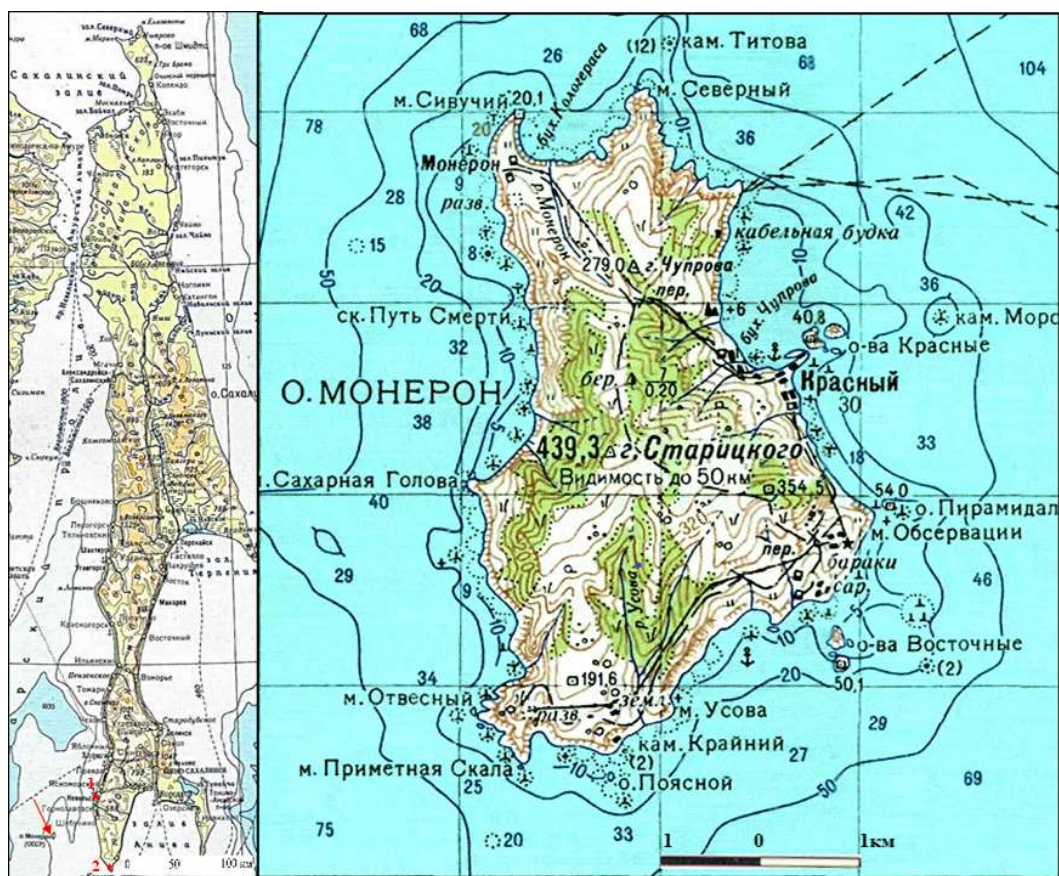


Рисунок 1. Остров Монерон. Гидрометеорологические станции: 1 – «Невельск», 2 – «Мыс Крильон»

Figure 1. Moneron Island. Hydrometeorological stations: 1 – "Nevel'sk", 2 – "Cape Krillon"

Остров представляет собой сглаженный неогеновый щитообразный вулкан гавайского типа [Разжигасева, Плетнев, 2006] с выположенной привершинной поверхностью, над которой выступают несколько обособленных горных хребтов и вершин. Высшая отметка – гора Старицкого (439,3 м). Рельеф – низкогорно-холмистый. Берега слабо изрезанные, обрывистые. Бухты формируются в результате абразии берегов преимущественно в местах выхода осадочных пород. Мысы, разделяющие бухты, сложены базальтами чеховской свиты [Ерохов и др., 1971]. Сравнительно выровненные и долинные участки находятся в южной и северной частях острова. Остров изрезан руслами многочисленных мелких водотоков. Самые большие реки – р. Усова (длина 2,5 км) и р. Монерон (длина 1,5 км).

Постоянное гражданское население проживало на острове с 1905 по 1970 годы. В настоящее время постоянного населения на

острове нет. В 2008 году на острове Монерон был открыт туристический комплекс с базой отдыха.

Специальные наблюдения за лавинными и селевыми процессами на острове Монерон не проводились.

В литературе о распространении лавин и селей на территории СССР и России, сведений о лавинах и селях на острове Монерон нет [Флейшман, 1978; Шеко, 1980; Карта литологических комплексов, 1984; Кадастр селей СССР, 1986; Кадастр лавин СССР, 1988; Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1998; География лавин, 1992; Казаков, Жируев, 2002; Казаков, Жируев, 2006; Перов, 2012; Казаков, Жируев, Древило, 2019].

Исключение составляет работа [Podolskiy et al., 2014], в которой упоминается о двух случаях гибели людей в лавинах на острове Монерон: без указания места и числа погибших.

В сентябре 1971 г. Н.Н. Леоновым и другими исследователями в северо-восточной части острова после землетрясения,

происшедшего 06.09.1971 г., были описаны сейсмогенные оползни [Щетников, 1981]. Других сведений об оползнях на острове нет и оползневые процессы острова Монерон не изучены.

Однако имеются сведения о разрушениях и гибели людей в лавинах (1914, 1917 гг.) и оползнях (в 1957 году оползнем был разрушен посёлок Бодрый).

Методы исследования

В основу настоящей статьи положены результаты полевых исследований лавинных, селевых и оползневых процессов, проводившихся Н.А. Казаковым и С.П. Жируевым на острове Монерон в 2016 году.

Морфометрические характеристики лавиносборов определялись на основе материалов полевых исследований. Характеристики лавин и лавинного режима и интенсивность проявления лавинных процессов определялись на основе материалов полевых исследований и рассчитывались на основе материалов гидрометеорологических наблюдений на основе общих закономерностей эволюции снежного покрова и лавинных геосистем [Казаков, 2000; Kazakov et al., 2012; Казаков, Жируев, Древило, 2019] с учётом материалов многолетних наблюдений за снежным покровом и лавинными процессами на юго-западном побережье острова Сахалин: лавинные геосистемы на этом участке и на острове Монерон однотипны.

При полевых исследованиях определялись структурно-реологические характеристики селей и потенциальных селевых массивов, типы селевых процессов и типы селей, границы вероятной дальности пробега селей, высший селевой горизонт (по селевым отметкам на древесных стволах и бортах селевых русел), литологические характеристики и толщина селевых отложений, объёмы, ширина фронта и зоны аккумуляции селей, плотность селевого потока.

Частота формирования селей и периоды годовой активности определялись на основе полевых оценок состояния рыхлообломочных

пород в селевом очаге (с учётом характеристик горных пород в очагах твёрдого питания селей) и по результатам проходки и описания закопущек и обнажений в селевых отложениях.

Характеристики селей и селевого режима и интенсивность проявления селевых процессов определялись на основе материалов полевых исследований и рассчитывались на основе материалов гидрометеорологических наблюдений на основе общих закономерностей эволюции селевых геосистем [Казаков, 2000; Казаков, Жируев, 2002; Казаков, 2015а] с учётом материалов многолетних наблюдений за селеформирующими горными породами и селевыми процессами на юго-западном побережье острова Сахалин: селевые геосистемы на этом участке и на острове Монерон однотипны.

Типы оползней, высота и ширина фронта оползней, ширина зоны аккумуляции, плотность и толщина оползневых отложений, границы и площади зоны развития оползневых процессов определялись как во время полевых работ, так и по архивным материалам. Морфометрические характеристики определялись при помощи лазерной рулетки (точность – 5 мм) и лазерного дальномера. Максимальный объём оползней рассчитывался на основе полевых исследований по определению максимальной глубины захвата пород и площади оползневого массива. Периоды годовой активности оползневых процессов, повторяемость их активизации определялись на основе полевых наблюдений и архивных материалов.

Расчёт параметров гидрометеорологических факторов лавинных, селевых и оползневых процессов выполнялся на основе материалов наблюдений гидрометеорологических станций (далее – ГМС) «Монерон», «Невельск» и «Мыс Крильон».

Факторы лавинных, селевых и оползневых процессов на острове Монерон

Геологическое строение территории, её рельеф и климат являются факторами, определяющими интенсивность проявления

лавиных, селевых и оползневых процессов и условия их развития.

Геологические факторы

Одним из основных факторов развития лавинных, селевых и оползневых процессов являются свойства горных пород, слагающих исследуемую территорию. От них зависит степень расчленённости рельефа, устойчивость склонов и скорость выветривания.

В геологическом строении изучаемого района принимают участие вулканогенно-осадочные горные породы палеогенового, неогенового и четвертичного возрастов [Симаненко, Голозубов, Милиновский, 2010; Геология СССР, 1970; Гранник, 2014].

Палеогеновые отложения *татарской толщи* (P_{2-3tt}) слагают цоколь современной постройки острова Монерон. Представлены они диабазами, базальтами, туффитами, туфопесчаниками и алевролитами. Общая мощность толщи составляет 200 м.

Восточномонеронская толща (N_{1vm}) нижнего миоцена развита на восточном побережье острова Монерон от бухты Южная до северной оконечности бухты Чупрова. Представлена чередованием алевролитов, песчаников, туффов, туфов, аргиллитов, редко диатомитов. Песчаники и алевролиты вулканомиктовые. В аргиллитах глинистая фракция составляет 75-80% массы породы. Общая мощность толщи не превышает 150 м.

Верхнюю часть современной постройки острова Монерон слагает *Монеронская толща* (N_{1-2mn}), которая включает вулканогенные образования: лавы, лавобрекчии, гиадокластиты, туфы базальтов и андезибазальтов, прослой туфопесчаников, туфогравелитов и вулканомиктовых алевролитов. Возраст толщи принят позднемиоценовым – плиоценовым. Мощность толщи – более 320 м.

Рыхлые *четвертичные* образования сформированы в результате процессов выветривания, размыва, а также переотложения коренных пород и имеют с ними идентичный литологический состав. Породы представлены совокупностью делювиальных, элювиально-делювиальных, коллювиальных и

пролювиальных грунтов верхнечетвертичного – современного звеньев. Распространены они на склонах, а также в долинах ручьев, эрозионных врезах и денудационных воронках. Отложения преимущественно дресвяно-валунные с супесчано-глинистым заполнителем. На обвально-осыпных склонах грунты имеют более грубый щебенисто-глыбовый состав. Мощность четвертичных образований изменяется от 1-2 до первых десятков метров (на площадях развития обвалов и оползней).

В 2016 г. автором были отобраны пробы для определения физико-механических свойств аргиллитов на участке формирования оползней-оплывин на восточном побережье острова. Опыт на размокание показал, что блоки аргиллитов в первые 2-6 часов распались по трещинам, залеченным железистым цементом на более мелкие агрегаты, сохранившие целостность в последующие 12 суток. Плотность аргиллитов в естественном сложении – 2,20-2,25 г/см³. На 75-80% порода состоит из глинистых частиц.

Гидрогеологические условия.

Гидрогеологические условия территории определяются составом и фильтрационными свойствами горных пород, условиями залегания и распространения водовмещающих пород, климатическими факторами. По условиям залегания и характеру циркуляции в водовмещающих породах на острове Монерон представлены грунтовые поровые и пластово-поровые воды четвертичных отложений, а также трещинно-жильные воды водоносных комплексов миоцен-плиоценовых образований. Водоносные горизонты и комплексы имеют между собой гидравлическую связь. Питание грунтовых вод осуществляется за счёт инфильтрации атмосферных осадков и перетока из смежных водоносных комплексов. Разгрузка осуществляется по нисходящим родникам в основании склонов, в поверхностные водотоки и непосредственно в море. Режим подземных вод не изучен.

Сейсмичность. Сейсмичность острова Монерон в соответствии с ОСР 97, по карте А составляет 9 баллов по шкале MSK64, по карте В – 9 баллов, и С – 10 баллов для грунтов

II категории по сейсмическим свойствам¹. При сильных землетрясениях после периодов длительного увлажнения горных пород или во время и после сильных дождей могут формироваться блоковые оползни больших объёмов, оползни-оплывины, а также снежные лавины.

Таким образом, геологические условия на острове Монерон (малопрочные породы – песчаники, лавы, лавобрекчии и др., а также легко размокаемые алевролиты и аргиллиты в сочетании с большим количеством рыхлых делювиальных, элювиально-делювиальных, коллювиальных и пролювиальных грунтов) исключительно благоприятны для развития оползневых и селевых процессов.

Геоморфологические факторы

Геоморфологическое строение территории определяет интенсивность проявления оползневых, селевых и лавинных процессов и в значительной степени регулирует характер снегопереноса и снегонакопления, опосредованно влияя на увлажнение массивов горных пород и определяя условия образования и режим лавин.

На острове Монерон развит денудационно-эрозионный и денудационно-абразионный рельеф, сформированный на вулканогенно-осадочных образованиях. Поверхность террасирована, фрагментарно выделяются три уровня морских террас высотой 15-25, 45-55 и 80-120 м.

Относительные превышения составляют от 15-25 до 80-120 и более метров. Наивысшая отметка острова Монерон – гора Старицкого (439 м).

Преобладающая крутизна склонов – от 12° до 40-45°; на абразионных и обвальном-оползневых уступах, сложенных крепкими породами, уклоны могут превышать 60°.

Долины рек и ручьев имеют V-образный профиль.

Таким образом, геоморфологические условия на острове Монерон благоприятны для активного развития оползневых, селевых и лавинных процессов.

Геоботанические факторы

Геоботанические факторы в значительной степени регулируют интенсивность проявления оползневых, селевых и лавинных процессов. Однако на острове Монерон влияние геоботанических факторов на исследуемые процессы крайне незначительно.

Растительный покров на острове сильно изменён многолетними антропогенными воздействиями, которые привели не только к уничтожению или сокращению площадей отдельных растительных формаций острова, но также к фрагментации и мозаичности растительного покрова в целом. Преобладают луга и заросли курильского бамбука. Структура растительного покрова: заросли курильского бамбука – 30-33%, луга – 40-42%, леса – около 20% площади острова, остальная часть – скальные участки и фрагменты других растительных комплексов [Сабиров и др., 2010].

Современный лесной покров состоит из вторичных растительных сообществ, среди которых преобладают каменноберезняки (берёза Эрмана). Здесь так же встречаются лиственничники, ольшанники, темнохвойные и широколиственные леса. Лесообразующими породами в них выступают берёза Эрмана, лиственница Каяндера, ель аянская, пихта сахалинская, ольховник Максимовича, бархат сахалинский и др. [Сабиров и др., 2010]. Единственным, сохранившимся от рубок и пожаров фрагментом зрелого хвойного леса является небольшой его участок возле бывшего посёлка Красный в районе бухты Чупрова (ель аянская, участвуют каменная берёза, вишня сахалинская, ольховник Максимовича, клён Майра).

Верхняя зона склонов (зоны зарождения лавин, отрыва оползней и очагов твёрдого питания селей) либо занята редколесьем каменной берёзы с можжевельником в подлеске (рисунок 2) либо лишена древесной и кустарниковой растительности и представлена травянистой растительностью.

¹СП 14.13330.2018. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. М., 2018.



Рисунок 2. Растительность в зонах зарождения лавин (бухта Чупрова). Фото Н.А. Казакова

Figure 2. Vegetation in the area of avalanche origin (Chuprov Bay). Photo by Nikolay A. Kazakov

Почти повсеместно склоны задернованы: исключение составляют участки формирования оползней и абразионные уступы, где горные породы обнажены.

Таким образом, древесная растительность на острове не препятствует развитию оползневых, селевых и лавинных процессов. Редколесье на острове Монерон вообще не играет никакой роли в регулировании лавинных процессов.

Следует отметить, что мнение о безусловной защитной роли леса в предотвращении лавинных и оползневых процессов сильно преувеличено. По наблюдениям автора, на Дальнем Востоке, в Южной Сибири, на Кавказе регулярно происходит сход оползней с формированием поверхности скольжения ниже корневой системы и отрыв лавин в лесу при сомкнутости крон до 100% [Казаков, 2007].

На острове Монерон геоботанические факторы регулируют характер снегопереноса и снегонакопления в зонах зарождения лавин и способствуют увеличению скорости перекристаллизации снежной толщи (так же, как на юго-западном побережье острова Сахалин).

Гидрометеорологические факторы

Гидрометеорологические факторы в значительной степени определяют интенсивность проявления и режим лавинных, селевых и оползневых процессов.

Оценка гидрометеорологических факторов лавинных, селевых и оползневых процессов выполнялась на основе материалов наблюдений на ГМС «Монерон» (таблица 1), расположенной на абсолютной отметке 107,5 м и действующей с 1911 г., а также расположенные на юго-западном побережье острова Сахалин ГМС «Невельск» (абсолютная отметка 165,7 м, с 1987 года – 10 м; действует с 1920 г., расположена в 65 км к северо-востоку от острова Монерон, рисунок 1) и ГМС «Мыс Крильон» (абсолютная отметка 34,5 м, действует с 1892 г., расположена в 75 км к юго-востоку от острова Монерон, рисунок 1) [Атлас Сахалинской области, 1967; Земцова, 1968; Справочник по климату СССР, 1985; Научно-прикладной справочник по климату СССР, 1990].

Таблица 1. Метеорологические характеристики на ГМС «Монерон»

Table 1. Meteorological characteristics according to the Moneron hydrometeorological station

Метеорологическая характеристика Meteorological characteristic	Месяц Month												Год Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Среднемесячная температура воздуха, °C Monthly air temperature, °C	-7,6	-6,7	-3,2	2,5	5,7	9,7	14,5	17,6	15,1	9,1	1,1	-4,8	4,4
Среднемесячное количество осадков, мм Amount of precipitation, mm	161,0	108,0	72,0	60,0	68,0	82,0	93,0	112,0	139,0	101,0	81,0	110,0	1188,0
Максимальная суточная сумма осадков, мм Maximum daily precipitation, mm	59,2	59,8	54,7	33,0	39,1	58,0	93,0	160,8	103,9	54,0	51,2	51,9	160,8 (1955)
Максимальная сумма осадков за 12 часов, мм Maximum precipitation for 12 hours, mm	37,2	46,5	35,0	33,0	33,8	43,0	52,6	86,8	70,0	52,8	23,0	42,0	86,2
Средняя месячная и максимальная толщина снежного покрова на метеоплощадке, см Average monthly and maximum snow cover thickness at the weather site, cm	35	41	24	-	-	-	-	-	-	-	8	22	116 (1957)

Остров Монерон относится к юго-западному району Южно-Сахалинской климатической области (как и юго-западное побережье острова Сахалин), где, по сравнению с другими областями, зимой ослабевает влияние северо-западного муссона и усиливается циклоническая деятельность, а во вторую половину лета выпадает большое количество

осадков. По сравнению с другими районами Сахалина, остров Монерон испытывает наиболее сильное влияние ветви тёплого Цусимского течения и поэтому здесь – самая тёплая в Сахалинской области зима и самое тёплое лето.

Температурный режим

Среднегодовая температура воздуха острова Монерон составляет 4,4°C. В конце второй декады ноября происходит переход среднесуточной температуры через 0°C в сторону её отрицательных значений.

Самым холодным месяцем является январь, когда среднемесячная температура воздуха опускается на острове до минус 7,6°C. Абсолютный минимум температуры воздуха (минус 25°C) отмечался в январе 1931 г. На фоне устойчивых отрицательных температур ежегодно наблюдаются оттепели, когда температура днём повышается до 6-8°C.

В конце марта происходит переход среднесуточной температуры воздуха через 0°C в сторону положительных значений. Несмотря на интенсивный приход солнечной радиации, дальнейшее повышение температуры воздуха идёт очень медленно; наблюдаются частые возвраты холодов.

В первую половину лета над Охотским морем и прилегающими районами преобладает антициклональный тип циркуляции воздушных масс, поэтому начало лета на острове Монерон пасмурное, прохладное и дождливое. Однако интенсивность дождей слабая и количество осадков невелико.

Самым тёплым месяцем является август со среднемесячной температурой воздуха 17,6°C; максимальная может достигать 30°C.

Направление и скорость ветра

Зимой на острове Монерон преобладают ветры северных румбов, со средними скоростями 6-10 м/с. Летом господствуют ветры южных и юго-восточных направлений, а их скорости уменьшаются до 4-5 м/с. Во время прохождения тайфунов и зимних циклонов скорость ветра может достигать 40 и более м/с.

Осадки

Одним из важнейших факторов, определяющих условия развития опасных экзогенных процессов (оползни, сели, лавины) является режим осадков.

В этом отношении остров Монерон характеризуется неблагоприятными условиями,

поскольку в среднем за год выпадает почти 1200 мм осадков при их высокой интенсивности (таблица 1). Больше количество осадков выпадает с августа по февраль, меньшее – весной и в начале лета.

Среднее количество осадков за холодный период (ноябрь-март) составляет 532 мм – 45% их годового количества. Однако в отдельные годы количество твёрдых осадков может значительно превышать среднемноголетние показатели. Больше всего осадков выпадает в январе.

Среднемноголетнее количество осадков за тёплый период года (апрель-октябрь) составляет 656 мм. Самый дождливый месяц – сентябрь (количество осадков – 139 мм). В период прохождения циклонов и тайфунов в августе-сентябре за несколько суток может выпасть больше месячной нормы осадков. Так, в августе 1955 г. суточная сумма осадков на ГМС «Монерон» составила 160,8 мм при среднемноголетней сумме осадков за данный месяц 112 мм (таблица 1).

Снежный покров

Устойчивый снежный покров на острове Монерон образуется в начале декабря; его разрушение происходит в начале апреля. Толщина снежного покрова (таблица 1) сильно варьируется: на открытых участках вдоль береговой полосы как правило составляет 35-40 см, а на подветренных участках может достигать 70-100 см.

Период максимального снегонакопления приходится на конец февраля – начало марта.

Наибольшая толщина снежного покрова, наблюдавшаяся на метеостанции «Монерон» составляет 116 см (таблица 1). Число дней с устойчивым снежным покровом – 140.

Строение снежной толщи на острове никогда и никем не изучалось, однако общие закономерности эволюции снежного покрова [Коломыц, 2013; Казаков, Генсиоровский, Жируев, 2018] позволяют обоснованно утверждать, что *литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова* [Kazakov et al., 2012; Казаков, Генсиоровский, Жируев, 2018; Казаков, Жируев, Древило, 2019] на острове Монерон однотипны с аналогичными

комплексами на юго-западном побережье острова Сахалин (районы, однотипные по своим физико-географическим характеристикам). Как установлено, в однотипных ландшафтах, даже расположенных в разных районах, формируется однотипная по своему строению и физическим характеристикам снежная толща [Коломыц, 1976; Kazakov et al., 2012; Коломыц, 2013; Казаков, Генсировский, Жируев, 2018; Казаков, Жируев, Древило, 2019].

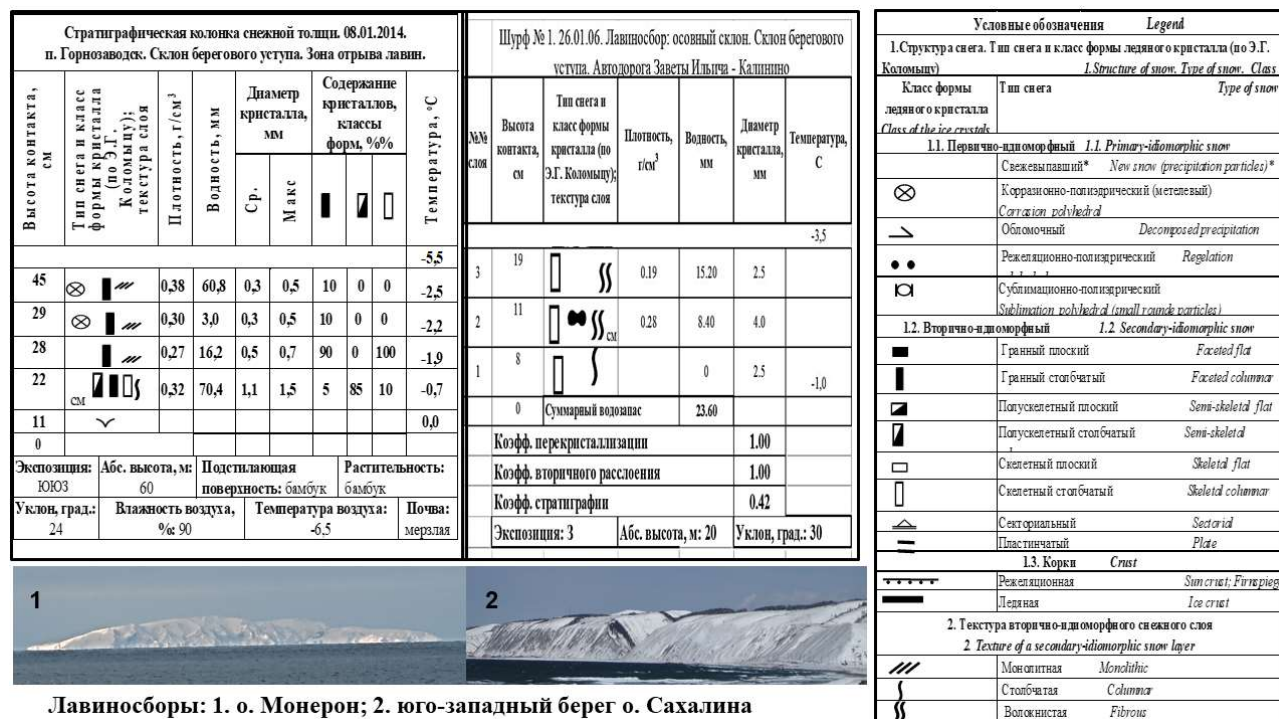
Поскольку снежная толща на острове Монерон проходит седиментацию и диагенез в гидрометеорологических и геофизических условиях, сходных с условиями на юго-западном побережье острова Сахалин, спектры стратиграфических колонок снежной толщи (их структура, текстура, стратификация и физические характеристики) на острове Монерон и на юго-западном побережье острова Сахалин должны иметь сходное строение. Поэтому для оценки строения снежной толщи на острове Монерон можно использовать данные о строении снежной толщи на юго-западном побережье острова

Сахалин (в Невельском районе Сахалинской области, рисунок 3) – в 50 км от восточного побережья острова Монерон.

В результате мы имеем все основания утверждать, что в январе-марте на острове Монерон в снежной толще возникают ослабленные снежные слои, выполненные крупными ледяными кристаллами скелетного класса форм: лавиноопасные слои (рисунок 3).

Наличие таких слоёв в свою очередь приводит к формированию лавин эпигенетического и полигенетического классов, обладающих наибольшими скоростями и разрушительной силой.

В целом, гидрометеорологические условия острова Монерон (большое количество осадков, высокая интенсивность их выпадения, продолжительное залегание снежного покрова), а также строение и характер эволюции снежной толщи (сильная его перекристаллизация в середине зимы) благоприятны для развития лавинных, селевых и оползневых процессов.



Лавиноборы: 1. о. Монерон; 2. юго-западный берег о. Сахалина

Рисунок 3. Стратиграфические колонки снежной толщи в зоне зарождения лавин на склоне берегового уступа. Юго-западный берег острова Сахалин

Figure 3. Pits of snow thickness in the avalanche starting zone on the slope of a coastal ledge. South-West coast of the Sakhalin Island

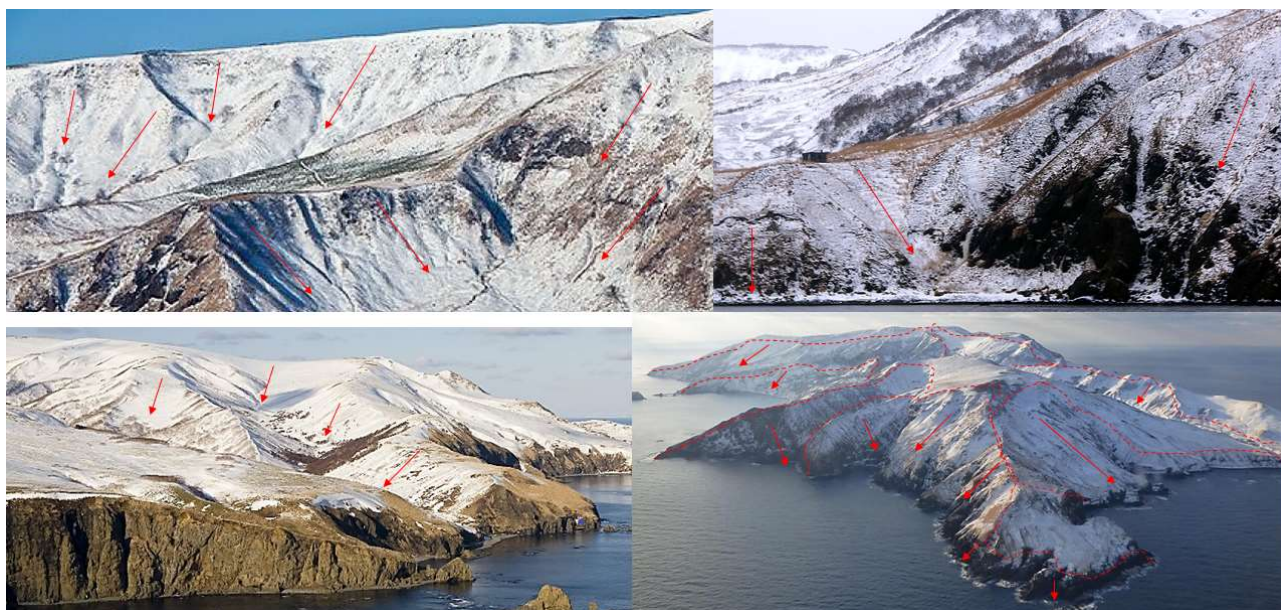


Рисунок 4. Лавиносборы и лавиноопасные склоны на береговых уступах острова Монерон. Границы лавиноопасных участков и направление движения лавин. Фото с сайта sakh.com

Figure 4. Avalanche catchments and avalanche slopes on the beach ledges of Moneron Island. Boundaries of avalanche hazard areas and the direction of avalanche movement. Photos from the site sakh.com

Результаты и их обсуждение

Лавинные процессы

В результате полевых исследований лавинообразующего рельефа и анализа архивных сведений и данных метеорологических наблюдений установлено, что лавиноопасно более 50% территории острова Монерон. На территории острова выделены лавиносборы всех морфологических типов: лотковые лавиносборы и осовные склоны. Лавиноопасна большая часть территории острова (рисунок 4).

Лавины формируются на склонах высотой 70-300 м и крутизной – 35°-50° и на береговых склонах крутизной – 55°-60° (рисунок 5), где происходит обрушение снежных карнизов от бровки склона.

Формируются лавины всех генетических типов [Дзюба, 1983; Казаков, 20156]:

- эпигенетические и полигенетические лавины, связанные с перекристаллизацией снежной толщи и формированием внутри неё лавиноопасных слоёв;

- сингенетические лавины нового снега (свежевывающего и метелевого), формирующиеся во время снегопадов и метелей или сразу после их окончания;

- сингенетические лавины мокрого снега (инсоляционные и адвекционные), формирующиеся во время повышения температуры воздуха до 0°C и выше.

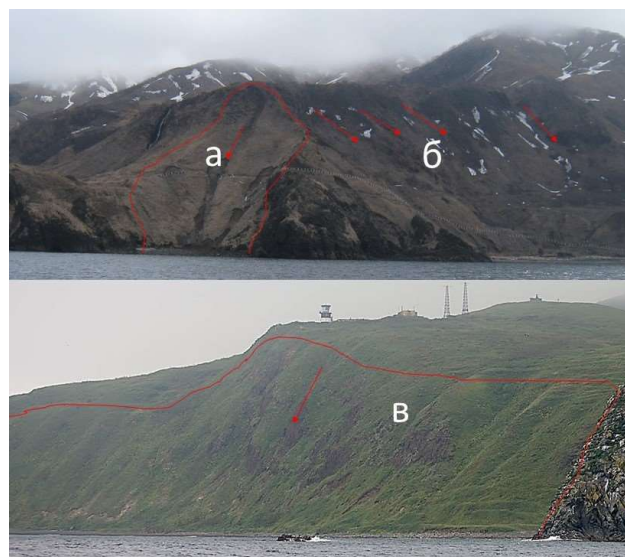


Рисунок 5. Лотковый лавиносбор на склоне берегового уступа (а). Осовные склоны и лотковые лавиносборы (б, в). Фото Н.А. Казакова

Figure 5. Avalanche catchments on the slope of the coastal ledge (a). Avalanche catchments and avalanche slopes (б, в). Photo by Nikolay A. Kazakov

Лавины формируются во время снегопадов и метелей и при оттепелях.

Объёмы лавин – от 25 до 50 000 м³. Максимальные объёмы лавин в многоснежные зимы могут достигать 70 000 м³.

Лавинный режим

Лавины всех генетических типов формируются 1 раз в 3-5 лет. Лавиноопасный период длится с декабря до середины апреля. Период активного формирования лавин (наиболее опасный период) длится с декабря по март.

Преобладают сингенетические лавины свежеснежного снега и полигенетические лавины из старого перекристаллизованного и нового снега, формирующиеся во время сильных снегопадов и метелей. За 12 часов снегопада может выпасть более 40,0 мм осадков, за сутки – около 60,0 мм (таблица 1). Во время таких снегопадов происходит массовое формирование лавин.

В январе-марте на острове Монерон в снежной толще возникают ослабленные снежные слои, выполненные крупными ледяными кристаллами скелетного класса форм: лавиноопасные слои (рисунок 3).

Наличие таких слоёв в свою очередь приводит к формированию лавин

эпигенетического и полигенетического классов, обладающих наибольшими скоростями и разрушительной силой.

В лавиносборах юго-восточной экспозиции, при преобладающих ветрах северных, северо-западных румбов образуется снежный покров высотой более 1 м и возникают снежные карнизы.

Селевые процессы

В результате проведённых исследований на острове Монерон выявлено, что селевые бассейны заложены в бассейнах многочисленных водотоков.

В малых водотоках (рисунки 6, 7) формируются грязекаменные сели объёмом от 300 до 3 000 м³ и глубиной до 2,0 м, а также несвязные сели (наносоводные потоки) объёмом до 1000 м³.

В больших водотоках (рисунок 8) формируются грязекаменные сели объёмом более 50 000 м³. Сели из этих бассейнов разгружаются в море.

Селевые бассейны заложены в долинах ручьёв (рисунок 8), в денудационных воронках и в оползневых цирках и мульдах (рисунок 9), где формируются, как правило, склоновые сели. Селевые очаги в основном приурочены к береговым уступам.

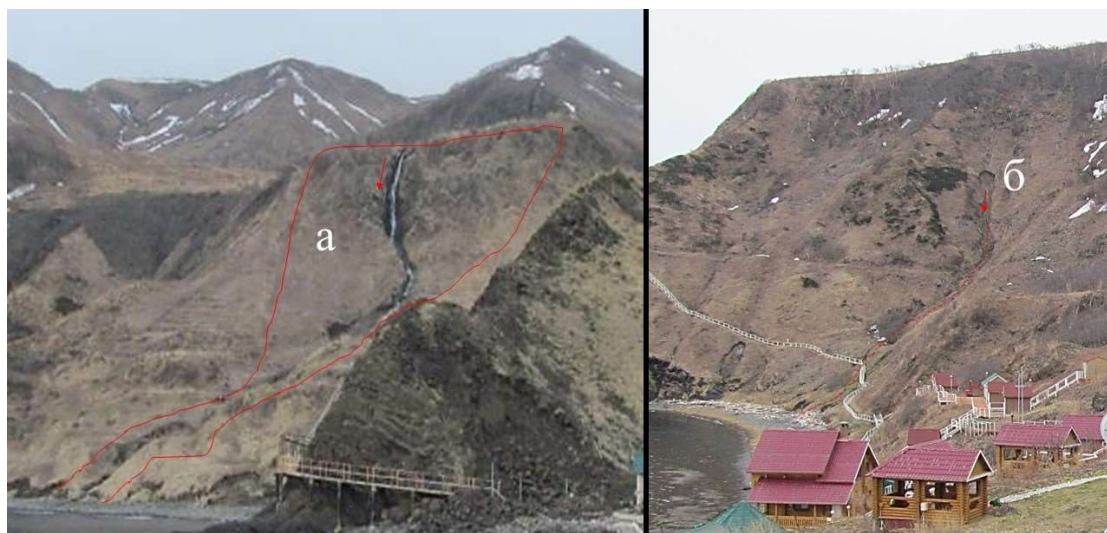


Рисунок 6. Селевой бассейн в русле ручья (а). Склоновый селевой бассейн, заложенный в оползневой воронке (б). Фото Н.А. Казакова

Figure 6. Debris-flow basin in the stream bed (a). Slope debris-flow basin is embedded in a landslide funnel (b). Photo by Nikolay A. Kazakov



Рисунок 7. Отложения грязекаменных селей, сошедших в октябре 2015 г.

Фото Н.А. Казакова, С.П. Жируева

Figure 7. Deposits of Debris-flows that occurred in October 2015. Photo by Nikolay A. Kazakov, Semen P. Zhiruev

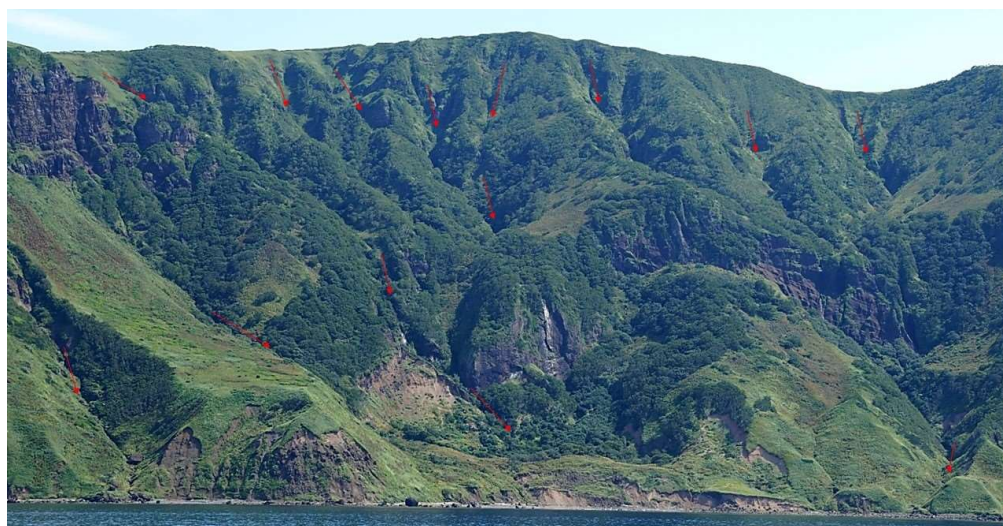


Рисунок 8. Селевые бассейны. Фото С. Первухина

Figure 8. Debris-flow basin. Photo by Sergey Pervuhin

Селевой режим

Селеопасный период длится с апреля по ноябрь включительно. Средняя повторяемость селей объёмом до 3 000 м³, формирующихся в малых водотоках, – 1 раз в 5-7 лет.

Повторяемость селей объёмом более 10 000 м³, формирующихся в больших водотоках, – 1 раз в 10-12 лет.

Активизация селевых процессов происходит, как правило, в июле-октябре при прохождении глубоких циклонов,

сопровождающихся выпадением большого количества осадков (таблицы 1-5).

Формирование грязекаменных селей зарегистрировано в октябре 2015 г. в окрестностях бухты Чупрова (рисунок 7).

Оползневые процессы

Оползневые процессы распространены на всей территории острова Монерон.

По механизму смещения и основным структурно-морфологическим признакам на исследуемой территории нами выделено 3 основных типа оползней:

- поверхностные оползни-оплывины (сплывы) с глубиной захвата пород до 2,5 м объёмом 500 - 5 000 м³;
- блоковые оползни в скальных породах с глубиной захвата пород до 10 м; объём таких оползней может достигать 50 000-500 000 м³ и более;
- вторичные блоковые асеквентные оползни медленного смещения и оползни вязкопластического смещения, развивающиеся на

теле старых с глубиной захвата пород до 10 м; объём таких оползней может составлять 5 000-30 000 м³.

Поверхностные оползни-оплывины (сплывы) формируются преимущественно на обращённых к морскому берегу склонах крутизной 40°-50° в маломощных делювиальных (1,0-2,5 м) рыхлых отложениях – продуктах разрушения коренных пород, залегающих на миоцен-плиоценовых трещиноватых базальтах и аргиллитах (рисунки 9, 10).



Рисунок 9. Оползни-оплывины (сплывы), сошедшие в октябре 2015 г. Фото Н.А. Казакова

Figure 9. Landslides that occurred in October 2015. Photo by Nikolay A. Kazakov



Рисунок 10. Коллювиально-делювиальные отложения, в которых сформировался оползень-оплывина в октябре 2015 г. Поверхность скольжения оползня – аргиллиты. Фото Н.А. Казакова

Figure 10. Colluvial-deluvial deposits where the landslide formed in October 2015. The sliding surface of the landslide is mudstones. Photo by Nikolay A. Kazakov

Как правило такие участки сложены делювиальными отложениями мощностью от 0,6 до 2,2 м, которые представлены дресвяно-щебенистыми отложениями с включением мелких глыб скальных вулканогенных пород с глинистым заполнителем. Рыхлые четвертичные образования перекрывают серые трещиноватые, плохо размокаемые аргиллиты, являющиеся поверхностью скольжения сошедших оползней-оплывин. Толщина делювиальных отложений составляет в среднем 0,5-1,8 м.

Оползни формируются в делювиальных отложениях, представленных дресвой сильно выветрелых аргиллитов с мелкими валунами вулканогенных пород с суглинистым заполнителем и почвенно-растительным слоем, а также щебенистыми отложениями с глинистым заполнителем, сформированными на вулканогенных образованиях.

Поверхностью скольжения оползней является поверхность коренных пород, представленных выветрелыми, сильно трещиноватыми аргиллитами, и вулканогенными

трещиноватыми, скальными породами, интенсивно увлажняемыми при снеготаянии и выпадении атмосферных осадков.

Характерной особенностью оползней-оплывин на морских берегах является их смещение к береговой линии и размыв оползневых отложений морем.

Исключение составляют оползни, формирующиеся в селевых бассейнах: отложения таких оползней часто являются источником твёрдой составляющей селевых потоков. Тела оползней в большинстве случаев не сохраняются вследствие слабых структурных связей смещаемых пород.

Объёмы оползней могут достигать 1 000-3 000 м³.

На острове отмечены также оползневые подвижки, вызванные береговой абразией и обводнением тела оползня.

Блочные оползни в скальных породах формируются на береговых склонах крутизной 40-60°, сложенных коренными породами (рисунок 11).



Рисунок 11. Оползневые цирки блоковых оползней в скальных породах

Figure 11. Landslide circuses of block landslides

Блочные оползни сходят, как правило, во время землетрясений и (или) сильных продолжительных дождей (таблицы 1-3).

Объёмы блоковых оползней могут достигать 500 000 м³ и более.

Блочные оползни сходят в морскую акваторию (рисунок 11). Поскольку глубины у берегов острова превышают 20,0 м, оползни

способны вызывать цунами, которые могут достигать берегов островов Сахалин, Хоккайдо и Приморья.

Вторичные блоковые оползни и оползни вязкопластического смещения формируются на старых оползневых массивах, средний уклон поверхности которых (в сторону моря) составляет 22°-25° (рисунок 12). Такие оползни развиваются

на поверхности старых оползней, осложнённых вторичными оползнями более поздней генерации (рисунки 14, 15).

Такие оползни сложены старыми глинистыми оползневыми отложениями – разложившимися алевролитами и аргиллитами. Глинистые оползневые образования включают в себя щебень и мелкие глыбы скальных вулканогенных пород.

Объёмы оползней могут достигать 50 000 м³.

Оползневой режим

Оползнеопасный период длится с середины марта по ноябрь включительно. Формирование оползней связано с весенним снеготаянием, интенсивными продолжительными осадками и абразионными процессами.

Сильные и продолжительные осадки приводят к обводнению оползневых массивов, сложенных рыхлообломочными коллювиально-делювиальными отложениями и к обводнению контактов между пластами горных пород в скальных массивах: поверхностей скольжения оползней. Кроме того, переувлажнение пород приводит к увеличению скорости разрушения

алевролитов и к набуханию глинистых пород, что также приводит к уменьшению устойчивости оползневых массивов.

Анализ архивных материалов и материалов полевых исследований показал, что самые большие оползни на острове Сахалин формируются при землетрясениях, произошедших после сильных дождей [Казаков, 2015в].

Формирование оползней на острове Монерон возможно и в период залегания снежного покрова во время глубоких оттепелей, сопровождающихся выпадением большого количества жидких осадков.

Как правило во второй половине марта – начале апреля грунты под снежным покровом пребывают в талом состоянии. Интенсивное таяние снега приводит к водоотдаче из снежного пласта и насыщению влагой подстилающих склоновых отложений и формированию оползней.

Образование оползней такого генезиса отмечается на юго-западном побережье острова Сахалин в 60 км от острова Монерон: в таких же гидрометеорологических, нивальных и геологических условиях.

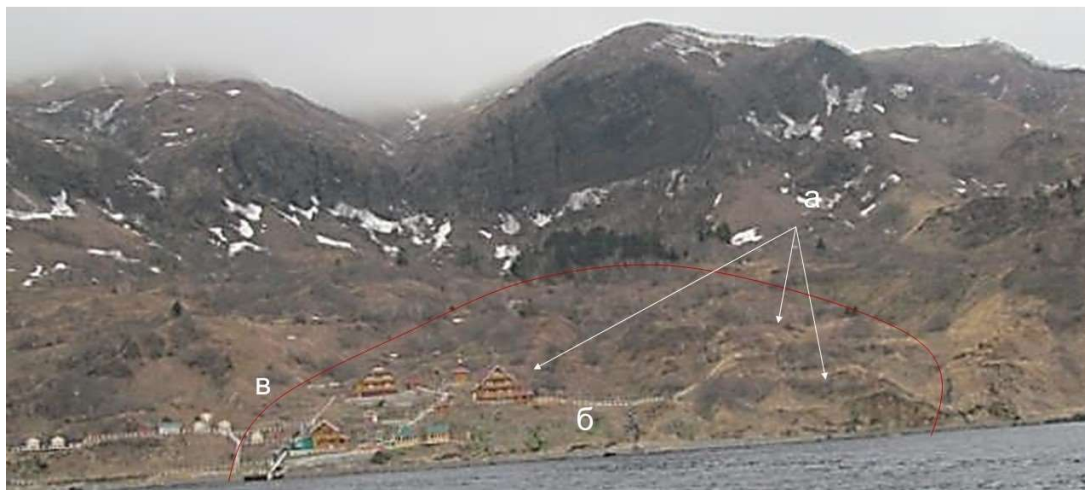


Рисунок 12. Вторичные блоковые оползни (а) и оползень вязкопластического смещения (б) на теле старого блокового оползня (в). Бухта Чупрова. Туристический комплекс построен на теле старого оползня. Фото Н.А. Казакова

Figure 12. Secondary block landslides (а) and landslides of viscoplastic displacement (б) on the body of the old block landslide (в). Chuprov Bay. The tourist complex is built on the body of an old landslide.
Photo by Nikolay A. Kazakov

Повторяемость оползней-оплывин составляет в среднем 1 раз в 5-7 лет, блоковых оползней – 1 раз в 10-30 лет.

Активизация оползневых процессов связана с весенним снеготаянием, интенсивными продолжительными осадками, переувлажняющими оползневые образования, и абразионными процессами, нарушающими устойчивость оползневого массива во фронтальной зоне оползня вдоль берега моря, сейсмическими процессами, а на участках, подвергшихся антропогенному воздействию, – с не организованным должным образом стоком поверхностных вод.

Имеющиеся сведения о случаях формирования на острове больших оползней показывают, что все они были связаны с выпадением сильных интенсивных осадков и сильным предшествующим увлажнением горных

пород, вызванным сильными продолжительными осадками. Данных о количестве осадков, выпавших на ГМС «Монерон» за май-октябрь 1955, 1957, 1971 и 2015 годов (в предшествующий оползням период) нет.

Однако на ближайших ГМС «Невельск» и «Мыс Крильон» во всех случаях, выпало очень большое количество осадков (таблицы 2-5).

1. В августе 1955 г. сошёл большой блоковый оползень (точных данных об объёме нет) севернее мыса Сахарная Голова на западном побережье острова Монерон.

Месячная сумма осадков за август 1955 г. на ГМС «Мыс Крильон» составила 196,0 мм (среднемноголетнее значение – 106 мм) при суточном максимуме 88,7 мм; на ГМС «Невельск» – 220,0 мм при суточном максимуме 87,0 мм; на ГМС «Монерон» – 86,8 мм (10.08.1955) и 76,0 мм (12.08.1955) (таблица 2).

Таблица 2. Месячные и суточные суммы осадков, выпавших в предшествующий оползню период. 1955 г.

Table 2. Monthly and daily precipitation totals for the period preceding the landslide. 1955

Метеорологическая характеристика Meteorological characteristic	ГМС/расстояние от острова Монерон, км Hydrometeorological station/distance from Moneron, km	Месяц Month				Сумма осадков на дату формирования оползня, мм Amount of precipitation for date of landslide, mm
		V	VI	VII	VIII	
Количество осадков за месяц, мм Amount of precipitation per month, mm	Монерон	Нет данных				
	Невельск/65	16,0	91,0	81,0	220,0	408,0
	Мыс Крильон/75	69,0	101,0	120,0	196,0	486,0
Максимальная суточная сумма осадков (дата), мм Maximum daily precipitation (date), mm	Монерон	Нет данных			86,8 (10.08) 76,0 (12.08)	
	Невельск/65	10,0	52,0	25,0	88,7 (12.08)	
	Мыс Крильон/75	24,0	27,0	47,0	87,0 (12.08)	

2. В сентябре 1957 г. большой оползень разрушил посёлок Бодрый на восточном побережье острова Монерон.

Предположительный объём оползня составил 200 000 – 300 000 м³.

Месячная сумма осадков за август 1957 г. на ГМС «Мыс Крильон» составила 132,0 мм, в Невельске – 126,0 мм при суточном максимуме 48,0 мм (таблица 3).

Таблица 3. Месячные и суточные суммы осадков, выпавших в предшествующий оползню период. 1957 г.

Table 3. Monthly and daily precipitation totals for the period preceding the landslide. 1957

Метеорологическая характеристика Meteorological characteristic	ГМС/расстояние от острова Монерон, км Hydrometeorological station/distance from Moneron, km	Месяц Month					Сумма осадков на дату формирования оползня, мм Amount of precipitation for date of landslide, mm
		V	VI	VII	VIII	IX	
Количество осадков за месяц, мм Amount of precipitation per month, mm	Монерон	Нет данных					
	Невельск/65	35,0	97,0	72,0	78,0	126,0	408,0
	Мыс Крильон/75	26,0	77,0	43,0	123,0	132,0	401,0
Максимальная суточная сумма осадков, мм Maximum daily precipitation, mm	Монерон	Нет данных					
	Невельск/65	16,0	15,0	20,0	24,0	48,0	
	Мыс Крильон/75	18,0	25,0	29,0	43,0	14,0	

3. 6 сентября 1971 г. во время землетрясения произошло массовое формирование оползней. Максимальный объём оползней достигал 10 000 м³ [Щетников, 1981].

Землетрясение магнитудой 7,5 произошло в 5 час. 35 мин. 27 сек. по местному времени под дном Татарского пролива на глубине 15-20 км в 47 км к северо-востоку от острова Монерон [Щетников, 1981]. Интенсивность землетрясения на острове Монерон составила 7 баллов по шкале MSK.

В сентябре 1971 г. проводилось обследование северо-восточной части острова после данного землетрясения. Н.Н. Леоновым и другими исследователями [Щетников, 1981] было установлено, что большие сейсмогенные оползни образовались преимущественно на крутых и обрывистых берегах.

Наиболее крупные дислокации были приурочены к склонам, сложенным переслаивающимися пачками туфогенных песчаников, алевролитов и аргиллитов. Оползни максимальных объёмов отмечались на склонах, ориентированных в северо-западном направлении [Щетников, 1981].

В мощных покровных четвертичных отложениях на крутых склонах и сильнообводнённых участках формировались оползни в виде ступеней или конусов протяжённостью до 50-100 м, которые спускались с высоты 30-50 м. Высота стенок срыва достигала 50 м [Щетников, 1981].

На юге острова были отмечены лишь небольшие оползни. В глубине острова сколько-нибудь заметных следов остаточных деформаций не обнаружено.

Кроме обвалов и оползней было зарегистрировано множество больших и малых трещин [Щетников, 1981]. Некоторые из них, протягиваясь на расстояние до 70 м, имели ширину до полуметра. Крупная трещина на сравнительно ровном травянистом склоне, примерно в его средней части была обнаружена

вдоль склона небольшого хребта, спускающегося к средней части бухты Чупрова на северо-западной стороне острова.

Однако и в этом случае в предшествующий формированию оползней период на острове Монерон выпало большое количество осадков (таблица 4).

Таблица 4. Месячные и суточные суммы осадков, выпавших в предшествующий оползню период. 1971 г.

Table 4. Monthly and daily precipitation totals for the period preceding the landslide. 1971

Метеорологическая характеристика Meteorological characteristic	ГМС/расстояние от острова Монерон, км Hydrometeorological station/distance from Moneron, km	Месяц Month					Сумма осадков на дату формирования оползня, мм Amount of precipitation for date of landslide, mm
		V	VI	VII	VIII	IX	
Количество осадков за месяц, мм Amount of precipitation per month, mm	Монерон	Нет данных					
	Невельск/65	50,0	55,0	89,0	166,0	85,0	360,0
	Мыс Крильон/75	62,0	70,0	94,0	142,0	68,0	368,0
Максимальная суточная сумма осадков (дата), мм Maximum daily precipitation (date), mm	Монерон	Нет данных			47,4 (12.08)		
	Невельск/65	12,0	21,0	33,0	36,0	18,0	
	Мыс Крильон/75	12,0	37,0	32,0	47,0	13,0	

4. В октябре 2015 г. в результате сильных затяжных дождей (таблица 5) произошло массовое формирование оползней объемом 300-1 000 м³.

В районе бухты Чупрова автором было зарегистрировано до 25 оползней-оплывин.

Ущерб от лавин, селей и оползней

По имеющимся сведениям, на острове Монерон происходили катастрофы, вызванные сходом лавин и оползней.

Лавины

17.02.1914 г. в деревне Нагахана (восточное побережье острова, рисунок 13) в лавине погибло 4 человека.

19.02.1917 г. в деревне Нишихама (западное побережье острова) в лавине погиб 1 человек.

Анализ условий образования лавин показывает, что эти лавины образовались на крутых береговых склонах, у подножия которых располагались деревни. Высота склонов – 70-100 м, крутизна – 40°-45°. Тип лавиносбора – осовный склон.

Лавины сходили в феврале – в период максимальной толщины снежного покрова и сильной степени его разрыхления и формирования в снежной толще лавинопасных слоёв вследствие перекристаллизации снежной толщи (рисунок 2).

Таблица 5. Месячные и суточные суммы осадков, выпавших в предшествующий оползням период. 2015 г.

Table 5. Monthly and daily precipitation totals for the period preceding the landslides. 2015

Метеорологическая характеристика Meteorological characteristic	ГМС/расстояние от острова Монерон, км Hydrometeorological station/distance from Moneron, km	Месяц Month						Сумма осадков на дату формирования оползня, мм Amount of precipitation for date of landslide, mm
		V	VI	VII	VIII	IX	X	
Количество осадков за месяц, мм Amount of precipitation per month, mm	Монерон	Нет данных						
	Невельск/65	111,0	95,0	147,0	97,0	56,0	156,0	562,0
	Мыс Крильон/75	92,0	86,0	189,0	37,0	44,0	70,0	518,0
Максимальная суточная сумма осадков, мм Maximum daily precipitation, mm	Монерон	Нет данных						
	Невельск/65	19,0	16,0	53,0	30,0	11,0	46,0	
	Мыс Крильон/75	14,0	20,0	70,0	12,0	16,0	10,0	

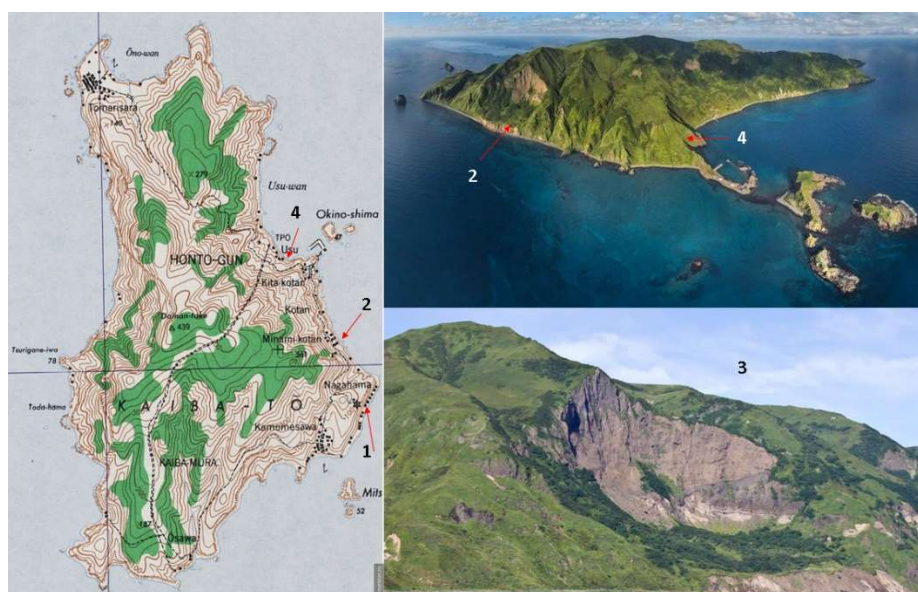


Рисунок 13. Остров Монерон. 1 – д. Нагахамма (17.02.1914 г. в лавине погибло 4человека); 2 – п. Бодрий (в сентябре 1957 г. разрушен оползнем); 3 – древний оползневой цирк, в котором располагался п. Бодрий; 4 – туристическая тропа (разрушена оползнями в октябре 2015 г.)

Figure 13. Moneron Island. 1 – village Nagahama (17.02.1914 an avalanche killed 4 people); 2 – village Bodriy (in September 1957 destroyed by a landslide); 3 – ancient landslide circus, which was located in the village Bodriy; 4 – tourist trail (destroyed by landslides in October 2015)



Рисунок 14. Предполагаемая граница оползня, разрушившего п. Бодрый в 1957 г. Фото с ресурса Google Earth

Figure 14. The supposed border of the landslide that destroyed the village of Bodry in 1957. Photo from Google Earth



Рисунок 15. Туристическая тропа, разрушенная оползнями в октябре 2015 г. Фото Н.А. Казакова

Figure 15. A tourist trail destroyed by landslides in October 2015. Photo by Nikolay A. Kazakov

Оползни

В сентябре 1957 г. оползнем был разрушен посёлок Бодрый (рисунки 13, 14).

В октябре 2015 г. оползнями была разрушена туристическая тропа, проложенная от причала до базы отдыха в бухте Чупрова (рисунок 15). Сама база отдыха была возведена на теле старого оползня (рисунок 12), подвижки которого в 2015 г. привели к повреждениям подпорных стенок.

Сели

Сведений об ущербах, вызванных селевыми процессами, нет.

Выводы

В результате выполненных исследований установлено, что на острове Монерон развиваются лавинные, селевые и оползневые процессы.

1. Лавиноопасно более 50% территории острова Монерон. Формируются лавины всех

генетических типов: преимущественно, во время сильных снегопадов и метелей.

2. В руслах водотоков, в денудационных воронках, в оползневых цирках и мульдах формируются связные грязекаменные сели. Активизация селевых процессов происходит в июле-октябре при прохождении глубоких циклонов, сопровождающихся выпадением большого количества осадков.

3. На острове формируются оползни-оплывины (сплывы), блоковые оползни в скальных породах. На телах старых оползней развиваются вторичные блоковые асеквентные оползни медленного смещения и оползни вязкопластического смещения.

4. Во время землетрясений или сильных продолжительных дождей на морских берегах острова формируются блоковые оползни в скальных породах объемом 50 000-500 000 м³ и более. Эти оползни сходят в морскую акваторию и способны вызывать цунами, которые могут достигать берегов островов Сахалин, Хоккайдо и Приморья.

Литература

Атлас Сахалинской области / Гл. ред. Г.В. Комсомольский и И.М. Сирьк. М.: ГУГК, 1967. 135 с.

Атлас снежно-ледовых ресурсов мира в 2-х т. Том 2: в 2-х кн. Книга 1. / Гл. ред. В.М. Котляков. М.: ГУГК, 1998. 264 с.

География лавин / Под ред. С.М. Мягкова, Л.А. Канаева. М.: МГУ, 1992. 330 с.

Геология СССР: в 48 т. Т. 33. Остров Сахалин: геологическое описание / Гл. ред. А.В. Сидоренко. М.: Недра, 1970. 432 с.

Гранник В.М. Изверженные породы острова Монерон (Татарский пролив) // Доклады Академии наук, 2014, том 457, № 1, с. 64-68. DOI: [10.7868/S0869565214190220](https://doi.org/10.7868/S0869565214190220)

Дзюба В.В. Географические принципы разработки методик прогноза лавиноопасных периодов для малоисследованных районов: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 1983. 23 с.

5. Формирование оползней и селей больших объемов и массовое формирование оползней и селей всех типов происходило в периоды выпадения сильных интенсивных осадков после предшествующего увлажнения горных пород, вызванного сильными продолжительными осадками.

6. На острове Монерон в 1914, 1917, 1957 и 2015 годах происходили катастрофы, вызванные сходом лавин и оползней и приводившие к разрушению объектов и сооружений, а также к человеческим жертвам.

Благодарности

Автор выражает благодарность С.П. Жируеву, вместе с автором проводившему полевые исследования лавинных, селевых и оползневых процессов на острове Монерон, и Е.А. Подольскому, любезно предоставившему сведения о случаях гибели людей в лавинах на острове Монерон.

References

Atlas snezhno-ledovykh resursov mira v 2 t. Tom 2: v 2 kn. Kniga 1 [World Atlas of Snow and Ice Resources in 2 volumes. Volume 2: in 2 books. Book 1]. Kotlyakov V.M. (ed.). Moscow, Publ. of General Directorate of Geodesy and Cartography, 1998. 264 p. (In Russian).

Atlas Sakhalinskoi oblasti [Atlas of the Sakhalin Region]. Komsomol'skii G.V., Siryk I.M. (eds.). Moscow, Publ. of General Directorate of Geodesy and Cartography, 1967. 135 p. (In Russian).

Dzyuba V.V. *Geograficheskie printsipy razrabotki metodik prognoza lavinoопасnykh periodov dlya maloissledovannykh raionov. Avtoref. diss. kand. geogr. nauk* [Geographical principles for the development of techniques for forecasting avalanche periods for little explored areas. Ph. D. (Geography) Thesis]. Moscow, Publ. MSU, 1983. 23 p. (In Russian).

Erokhov V.F., Zhidkova L.S., Litvinenko A.U., Siryk I.M., Shilov V.N. *Geologicheskoe stroenie o-va Moneron (Yaponskoe more)* [Geological structure of Moneron Island (Sea of Japan)]. *Geologiya i*

- Ерохов В.Ф., Жидкова Л.С., Литвиненко А.У., Сирык И.М., Шилов В.Н. Геологическое строение о-ва Монерон (Японское море) // Геология и геофизика. 1971. № 1 (133). С. 46–57.
- Земцова А.И. Климат Сахалина. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 197 с.
- Кадастр лавин СССР. Том 18. Дальний Восток / Под ред. Л.А. Канаева. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 122 с.
- Кадастр селей СССР. Том 18. Дальний Восток, Сахалин и Курильские острова. Выпуск 4. Л.: Гидрометеиздат, 1986.
- Казаков Н.А. Геологические и ландшафтные критерии оценки лавинной и селевой опасности при строительстве линейных сооружений (на примере о. Сахалин). Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Южно-Сахалинск, 2000. 216 с.
- Казаков Н.А. О формировании лавин в лесу // Материалы гляциологических исследований. 2007. Вып. 102. С. 192–196.
- Казаков Н.А. Эволюция селевой геосистемы как процесс самоорганизации упорядоченных структур // Геориск. 2015а. № 2. С. 28–30.
- Казаков Н.А. Генетическая классификация лавин и селей // Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием «Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска» (г. Южно-Сахалинск, 27–30 мая 2015 г.). Владивосток: Дальнаука, 2015б. Том 2. С. 316–321.
- Казаков Н.А. Условия сейсмогенной активизации оползневых процессов на о. Сахалин // Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием «Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска» (г. Южно-Сахалинск, 27–30 мая 2015 г.). Владивосток: Дальнаука, 2015в. Том 2. С. 322–326.
- Казаков Н.А., Журуев С.П. Методика построения среднемасштабных карт природных селевых комплексов // Прикладная геоэкология, чрезвычайные ситуации и земельный кадастр. 2002. Вып. 5. С. 113–114.
- geofizika [Geology and Geophysics], 1971, no. 1 (133), pp. 46–57. (In Russian).
- Fleishman S.M. Seli. [Debris flow]. Leningrad, Hidrometeoizdat Publ., 1978. 312 p. (In Russian).
- Geografiya lavin [Geography of Avalanches]. Myagkova S.M., Kanaeva L.A. (eds.). Moscow, Publ. of MSU, 1992. 330 p. (In Russian).
- Geologiya SSSR: v 48 t. T. 33. Ostrov Sakhalin: geologicheskoe opisanie [Geology of the USSR: in 48 vol. Vol. 33. Sakhalin Island: geological description] A.V. Sidorenko (ed.). Moscow, Publ. Nedra, 1970. 432 p. (In Russian).
- Grannik V.M. Igneous rocks of Moneron Island (Tatar Strait). Doklady Earth Sciences, 2014, vol. 457, no. 1, pp. 781–785. DOI: [10.1134/S1028334X14070058](https://doi.org/10.1134/S1028334X14070058) (Russ. ed.: Grannik V.M. Izverzhennye porody ostrova Moneron (Tatarskij proliv). Doklady Akademii nauk, 2014, vol. 457, no. 1, pp. 64–68).
- Kadastr lavin SSSR. Tom 18. Dal'nii Vostok [Cadastre of avalanches of the USSR. Volume 18. The Far East] Kanaev L.A. (ed.). Leningrad, Publ. Hidrometeoizdat, 1988. 122 p. (In Russian).
- Kadastr selei SSSR. Tom 18. Dal'nii Vostok, Sakhalin i Kuril'skie ostrova. Vypusk 4 [Cadastre of mudflows of the USSR. Volume 18. Far East, Sakhalin and the Kuril Islands. Issue 4]. Leningrad, Publ. Hidrometeoizdat, 1986. (In Russian).
- Karta litologicheskikh kompleksov i proyavlenii ekzogennykh protsessov o. Sakhalin: masshtab 1:500 000 [Map of lithological complexes and manifestations of exogenous processes about. Sakhalin: scale 1: 500 000]. Tyutrin I.I., Sergeev K.F. (eds.). Moscow, Publ. of General Directorate of Geodesy and Cartography, 1984. (In Russian).
- Kazakov N.A. Geologicheskie i landshaftnye kriterii ocenki lavinnoj i selevoj opasnosti pri stroitel'stve linejnyh sooruzhenij (na primere o. Sahalin). Diss. kand. geol.-min. nauk. [Geological and landscape criteria for assessing avalanche and debris flow hazard during the construction of linear structures (on the example of Sakhalin Island). Ph. D. (Geological and mineralogical sciences) Thesis]. Moscow, 2000. 216 p. (In Russian).

Казаков Н.А., Жируев С.П. Таксономические категории природных селевых комплексов (на примере о. Сахалин) // Материалы Шестой всероссийской конференции «Оценка и управление природными рисками (Риск-2006)» (г. Москва, 20 апреля 2006 г.). М.: РУДН, 2006. С. 48-50

Казаков Н. А., Генсировский Ю.В., Жируев С.П. Литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова // Криосфера Земли. 2018. Т. 22. № 1. С. 72-93.

DOI: [10.21782/KZ1560-7496-2018-1\(72-93\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2018-1(72-93))

Казаков Н.А., Жируев С.П., Древилло М.С. Лавинные геосистемы о. Сахалина и Курильских островов // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2019. Т. 1. Вып. 3. С. 328-380.

Карта литологических комплексов и проявлений экзогенных процессов о. Сахалин: масштаб 1:500 000 / Под ред. И.И. Тютрина, К.Ф. Сергеева. М.: ГУГК, 1984

Коломыц Э.Г. Структура снега и ландшафтная индикация. М.: Наука, 1976. 206 с.

Коломыц Э.Г. Теория эволюции в структурном снеговедении. М.: ГЕОС, 2013. 482 с.

Научно-прикладной справочник по климату СССР: 4 серии. Серия 3. Многолетние данные: в 35 выпусках. Выпуск 34. Сахалинская область / Под ред. Г.П. Ивановой. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 351 с.

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

Разжигаева Н.Г., Плетнев С.П. Геолого-геоморфологический очерк острова Монерон // Материалы Международного Сахалинского проекта «Растительный и животный мир острова Монерон». Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 12-20.

Сабиров Р.Н., Сабирова Н.Д., Воронов Г.А., Копанина А.В., Белянина Я.П., Журов С.Д. Природный парк «Остров Монерон» // Вестник Сахалинского музея. 2010. №17. С. 357-380

Симаненко В.П., Голозубов В.В., Малиновский А.И. Монероно-Самаргинская островодужная система япономорского региона // Литосфера. 2010. № 3. С. 60–69.

Kazakov N.A. O formirovaniy lavin v lesu [On the formation of avalanches in the forest]. *Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy* [Data of glaciological studies], 2007, publ. 102, pp. 192-196. (In Russian; abstract in English).

Kazakov N.A. Evolyutsiya selevoi geosistemy kak protsess samoorganizatsii uporyadochennykh struktur [Evolution of the debris-flow geosystem as process of self-organization of the ordered structures]. *Georisk* [Georisk], 2015a, no. 2, pp. 28-30, 60. (in Russian; summary in English)

Kazakov N.A. Geneticheskaya klassifikatsiya lavin i selei [Genetic classification of avalanches and mudflows]. *Sbornik materialov Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Geodinamicheskie protsessy i prirodnye katastrofy. Opyt Neftegorska»* (g. Yuzhno-Sakhalinsk, 27-30 maya 2015 g.) [Proceedings of the International scientific conference "Geodynamical Processes and Natural Hazards. Lessons of Neftegorsk" (Yuzhno-Sakhalinsk, May 26-30, 2015)]. Vladivostok: Publ. Dal'nauka, 2015b. Vol. 2. Pp. 316-321. (In Russian).

Kazakov N.A. Usloviya seismogennoi aktivizatsii opolznevykh protsessov na o. Sakhalin [Conditions for seismogenic activation of landslide processes on Sakhalin Island] *Sbornik materialov Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Geodinamicheskie protsessy i prirodnye katastrofy. Opyt Neftegorska»* (g. Yuzhno-Sakhalinsk, 27-30 maya 2015) [Proceedings of the International scientific conference "Geodynamical Processes and Natural Hazards. Lessons of Neftegorsk" (Yuzhno-Sakhalinsk, May 26-30, 2015)]. Vladivostok, Publ. Dal'nauka, 2015c. Vol. 2. Pp. 322-326. (In Russian).

Kazakov N.A., Gensiorovskiy J.V., Zhiruev S.P., Drevilo M.S. The stratigraphic complexes of a snowpack. *Annals of Glaciology*, 2012, vol. 58, iss. 61, pp. 39-44. DOI: [10.3189/2012AoG61A025](https://doi.org/10.3189/2012AoG61A025)

Kazakov N.A., Gensiorovskiy J.V., Zhiruev S.P. Litologo-stratigraficheskie komplekсы snezhnogo pokrova [Snow lithostratigraphic complexes]. *Kriosfera Zemli* [Earth's Cryosphere], 2018, vol. 22, no. 1, pp. 72-93 (In Russian; abstract in English). DOI: [10.21782/KZ1560-7496-2018-1\(72-93\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2018-1(72-93))

Kazakov N.A., Zhiruev S.P. Metodika postroeniya srednemashtabnykh kart prirodnnykh selevykh

Справочник по климату СССР. Особо опасные гидрометеорологические явления. Вып. 34 / под ред. Д.Ф. Лазаревой. Южно-Сахалинск: СахУГКС, 1985. 288 с.

Флейшман С.М. Сели. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 312 с.

Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980. 296 с.

Щетников Н.А. Цунами. М.: Наука, 1981. 90 с.

Kazakov N.A, Gensiorovskiy J.V., Zhiruev S.P., Drevilo M.S. The stratigraphic complexes of a snowpack // Annals of Glaciology. 2012. Vol. 53. Iss. 61. P. 39-44. DOI: [10.3189/2012AoG61A025](https://doi.org/10.3189/2012AoG61A025).

Podolskiy E.A., Izumi K., Suchkov V.E., Eckert N. Physical and societal statistics for a century of snow-avalanche hazards on Sakhalin and the Kuril Islands (1910–2010) // Journal of Glaciology. 2014. Vol. 60. No. 221. Pp. 409-430.

DOI: [10.3189/2014JoG13J143](https://doi.org/10.3189/2014JoG13J143).

kompleksov. [Methods for constructing medium-scale maps of natural mudflow complexes]. Prikladnaya geoekologiya, chrezvychainye situatsii i zemel'nyi kadastr [Applied Geoecology, Emergencies and Land Cadastre], 2002, iss. 5, pp. 113-114. (In Russian).

Kazakov N.A, Zhiruev S.P. Taksonomicheskie kategorii prirodnykh selevykh kompleksov (na primere o. Sakhalin) [Taxonomic categories of natural mudflow complexes (on the example of Sakhalin Island)]. Materialy Shestoi vserossiiskoi konferentsii «Otsenka i upravlenie prirodnymi riskami (Risk-2006)» (g. Moskva, 20 aprelya 2006 g.) [Materials of the Sixth All-Russian Conference “Assessment and Management of Natural Risks (Risk-2006)” (Moscow, April 20, 2006)]. Moscow, Publ. RUDN, 2006, pp. 48-50 (In Russian).

Kazakov N.A, Zhiruev S.P., Drevilo M.S. Lavinnnye geosistemy o. Sakhalina i Kuril'skikh ostrovov [Avalanche geosystems of Sakhalin Island and Kuril Islands] // Gidrosfera. Opasnye protsessy i yavleniya [Hydrosphere. Hazard processes and phenomena], 2019, vol. 1, iss. 3, pp. 328-380 (In Russian; abstract in English). DOI: [10.34753/HS.2019.1.3.006](https://doi.org/10.34753/HS.2019.1.3.006)

Kolomyts E.G. Struktura snega i landshaftnaya indikatsiya [Snow structure and landscape indication]. Moscow, Publ. Nauka, 1976. 206 p. (In Russian).

Kolomyts E.G. Teoriya evolyutsii v strukturnom snegovedenii [The theory of evolution in structural snow studies]. Moscow, Publ. GEOS, 2013. 482 p. (In Russian).

Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR: 4 serii. Seriya 3. Mnogoletnie dannye: v 35 vypuskakh. Vypusk 34. Sakhalinskaya oblast' [Scientific-applied reference on the climate of the USSR: 4 series. Series 3. Multi-year data: in 35 issues. Issue 34. Sakhalin Region]. Ivanova G.P. (ed.). Leningrad, Publ. Gidrometizdat, 1990. 351 p. (In Russian).

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

Podolskiy E.A., Izumi K., Suchkov V.E., Eckert N. Physical and societal statistics for a century of snow-avalanche hazards on Sakhalin and the Kuril Islands (1910–2010). Journal of Glaciology, 2014, vol. 60,

no. 221, pp. 409-430.

DOI: [10.3189/2014JoG13J143](https://doi.org/10.3189/2014JoG13J143).

Razzhigaeva N.G., Pletnev S.P. Geologo-geomorfologicheskii ocherk ostrova Moneron [Geological and geomorphological outline of Moneron Island]. In: *Materialy Mezhdunarodnogo Sakhalinskogo proekta «Rastitel'nyi i zhivotnyi mir ostrova Moneron» [Materials of the International Sakhalin Project "Flora and fauna of Moneron Island"]*. Vladivostok: Publ. Dal'nauka, 2006, pp. 12-20. (In Russian).

Sabirov R.N., Sabirova N.D., Voronov G.A., Kopanina A.V., Belyanina Ya.P., Zhurov S.D. Prirodnyi park «Ostrov Moneron» [Natural Park "Moneron Island"]. Vestnik Sakhalinskogo muzeya [Bulletin of the Sakhalin Museum], 2011, no. 17, pp. 357-380. (In Russian).

Shchetnikov N.A. *Tsunami [Tsunami]*. Moscow, Publ. Nauka, 1981. 90 p. (In Russian).

Sheko A.I. *Zakonomernosti formirovaniya i prognoz selei [Laws of formation and forecast of mudflows]*. Moscow, Publ. Nedra, 1980. 296 p. (In Russian).

Simanenko V.P., Golozoubov V.V., Malinovskiy A.I. Monerono-Samarginskaya ostrovoduzhnaya sistema yaponomorskogo regiona [The Moneron-Samarga island arc system of the Japan Sea region]. *Litosfera [Lithosphere (Russia)]*, 2010, no. 3, pp. 60-69. (In Russian; abstract in English).

Spravochnik po klimatu SSSR. Osobo opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya. Vypusk 34 [Reference book on the climate of the USSR. Especially dangerous hydrometeorological phenomena. Issue 34]. Lazareva D.F. (ed.). Yuzhno-Sakhalinsk, Publ. SakhUGKS, 1985. 288 p. (In Russian).

Zemtsova A.I. *Klimat Sakhalina [Climate of Sakhalin]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1968. 197 p. (In Russian).

ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОСФЕРЫ THE EVOLUTION OF THE HYDROSPHERE

УДК 556.532/556.537

DOI: 10.34753/HS.2020.2.2.148

PALAEORUNOFF FROM LAKE LADOGA TO THE BALTIC SEA DURING THE HOLOCENE

Dmitry A. Subetto¹, Denis D. Kuznetsov²,
Maria V. Minina³, Olga A. Druzhinina^{1,4}

¹*Herzen State Pedagogical University of Russia,
Department of Geography, Saint-Petersburg,
Russia;* ²*Institute of Limnology, Russian Academy of
Sciences, Saint-Petersburg, Russia;*

³*FSBI "VNIIOkeangeologia", Saint-Petersburg,
Russia;* ⁴*Institute of Oceanology, Russian Academy
of Sciences, Moscow, Russia*

subetto@mail.ru

ПАЛЕОСТОК ИЗ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ В ГОЛОЦЕНЕ

Д.А. Субетто¹, Д.Д. Кузнецов², М.В.
Минина³, О.А. Дружинина^{1,4}

¹*РГПУ им. А.И. Герцена, Факультет географии,
г. Санкт-Петербург, Россия;* ²*Институт
озероведения РАН, г. Санкт-Петербург, Россия;*

³*ФГБУ «ВНИИОкеангеология», г. Санкт-
Петербург, Россия;* ⁴*Институт Океанологии
РАН, г. Москва, Россия*

subetto@mail.ru

Abstract. The article presents the results of the palaeohydrological analysis of the river system reorganization in the North-West of Russia, the Karelian Isthmus. This study aimed at the hydrological calculation of the runoff through the Heinjoki water connection of Lake Ladoga, the Gulf of Finland and PalaeoVuoksa during different periods of the Holocene. The methods of the equation of water balance, hydraulic-morphometric dependencies and the method of geographical analogy were used in this research. The main result of the carried work is the refinement of the existing regional flow model. In particular, the role of the Heinjoki Strait and the Neva River channel in different stages of the Holocene is considered. The authors came to the conclusion that Lake Ladoga always had a runoff to the Baltic Sea. It is shown that most probably in the period of 10,200-3,500 years ago the runoff was carried out through the Heinjoki waterway. The study underlines that the isostatic factor played a significant role in the forming of the water flow. The change in the runoff direction from the Heinjoki waterway to the Neva River is mainly related to the isostatic uplift of the Karelian Isthmus and the northern part of Lake Ladoga. Quantitative parameters of the Heinjoki palaeoflow (flow rate, annual runoff, runoff layer, runoff coefficient) seem

Аннотация. В статье представлены результаты палеогидрологического анализа реорганизации речной сети Карельского перешейка со времени его дегляциации и спуска Балтийского ледникового озера около 11700 лет назад. Произведен гидрологический расчет стока на основе морфометрических данных по палеоруслу в северной части Карельского перешейка («Хейниокское соединение»), по которым в голоцене осуществлялся сток вод Ладожского озера в Балтику. Для оценки гидрологических параметров палеостока в северной части Карельского перешейка (Хейниокский пролив) использовались зависимости связи расхода воды реки с шириной и глубиной, водно-балансовые соотношения, применены методы палеогеографической аналогии. Основным результатом данной работы является уточнение существующей модели регионального палеостока. В исследовании сделан вывод, что Ладожское озеро всегда имело сток в Балтийское море, а также отмечается роль изостатического фактора в формировании стока через Хейниокский пролив и реку Неву.

to be roughly equivalent to the modern parameters of the flow of the Neva River.

The article is dedicated to our colleague, a talented geographer and teacher, PhD Oleg Borisovich Averichkin (1979-2010) who first performed the calculations of the paleorunoff of Lake Ladoga.

Ключевые слова: Lake Ladoga; Baltic Sea; palaeohydrology; Karelian Isthmus; Heinjoki waterway; Neva River; Holocene; modeling; palaeoflow parameters

Introduction

Reconstruction of water runoff in the rivers of the past geological epochs is one of the most important problems of palaeohydrology.

In the area of the Karelian Isthmus, a significant reworking of the water runoff took place after the retreat Scandinavian ice sheet ca 14,000 years before present (further – yr BP) [Subetto et al., 2018]. Crystalline rocks of the Fennoscandian Shield are a powerful factor in influencing the pattern of the river system and rivers often adapt to geological structures. There are no meanders, the channels are straightforward. River intercepts are characteristic, when the river at one of its segments abandons the old channel in favor of the new one in softer rocks. The postglacial isostatic uplift could have a great influence on the work of rivers, for example, by increasing the slopes of rivers, or by changing the slopes to such an extent that they could now have zero or even reverse slope [Makkaveev, 2001].

During 14,000-12,000 yr BP, and prior to the abrupt fall of the Baltic Ice Lake (further – BIL) at ca 11,700 yr BP, Lake Ladoga remained an easternmost

Keywords: Ладожское озеро; Балтийское море; палеогидрология; Карельский перешеек; пролив Хейниоки; река Нева; голоцен; моделирование; параметры палеостока

extension of the BIL. About 11,700 yr BP, in the area of the Mt. Billingen in the central Sweden, a glacial lobe decayed, which led to the release of the straits, lowering of the runoff threshold and a drop in the level of the BIL from 95 to 20-25 m [Björck, 1995]. Since that time, Lake Ladoga has been isolated from the Baltic, but their contours differed from modern ones [Subetto 2009]. About 14,000 yr BP, the stream bed of the Svir River, was freed from ice, and the Svir River started to flow into the BIL (Lake Ladoga at that time was the easternmost gulf of the BIL). At the same time, reformation of lake-river systems connected to these water bodies began [Kvasov, 1975; Isachenko, 1998; Zobkov et al., 2019] (figure 1).

The runoff from Lake Ladoga was directed through the system of the Vuoksa river-lake system to the Baltic Sea (modern Vyborg Bay), and the runoff threshold was near settlement Veschevo (Heinjoki). The waterway connecting Lake Ladoga with the Baltic Sea was still in place, consisting of numerous lakes, streams and bays with a labyrinth of islands [Dolukhanov et al., 2009].

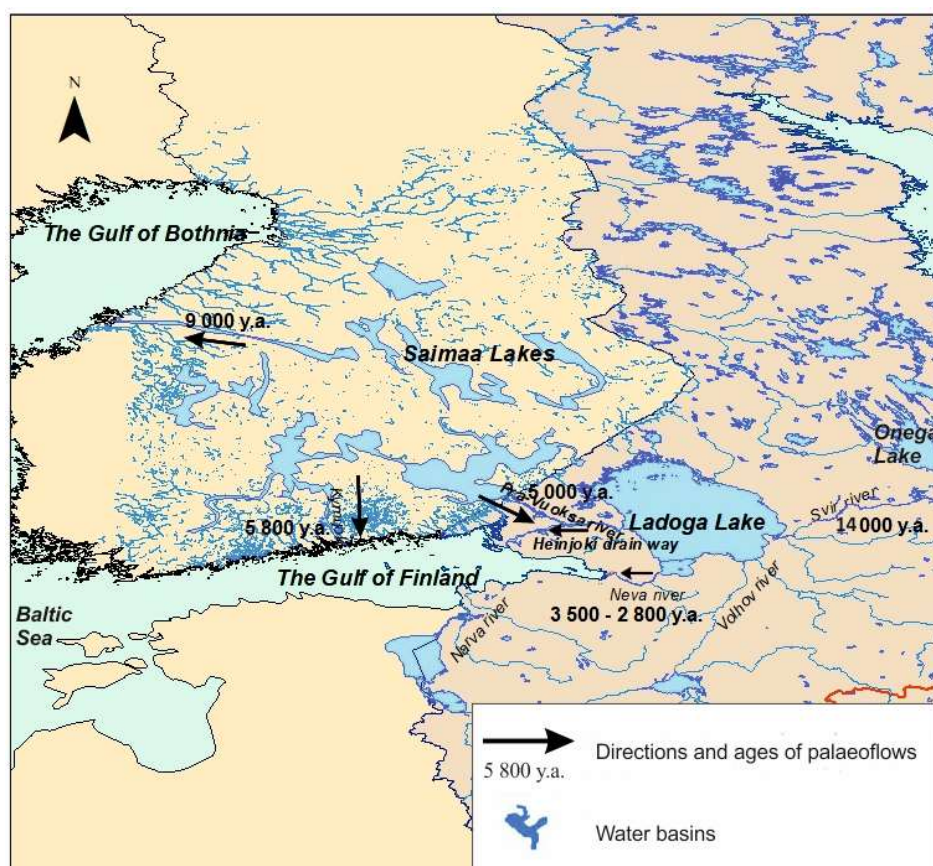


Figure 1. Changes in the hydrographic system of the Ladoga Lake basin

Рисунок 1. Изменения в гидрографической системе бассейна Ладожского озера

Saarnisto [1970, 1995] has demonstrated that Lake Saimaa in southeastern Finland ca 5,900 yr BP started to drain into Lake Ladoga via the Vuoksa River. The resulting influx of fresh water led to the rapid rise of Lake Ladoga and the ensuing Ladoga transgression. Therefore, from the Lake Saimaa system the flow of water from the north flowed along the old valley of the Heinjoki Strait to Lake Ladoga (NW part) but as the amount of water exceeded the entire volume of the channel, part of the flow went to the Baltic Sea. The northern part of Lake Ladoga situated in the area of a faster uplift of the earth's crust, meanwhile the southern part of the lake submerged. As a result, Lake Ladoga turned into an isolated lake, and overflow began. Lake Ladoga was filling up until its waters flooded the entire valley of the Mga River and approached the narrow isthmus separating the Mga and the Tosna Rivers (Mga-Tosna threshold 18-19 m high). The water level in Lake Ladoga rose above the watershed and the lake's waters run toward to the Baltic Sea, forming the modern Neva River. After that the level of Lake Ladoga fell by 10 m and the Ivanovskie rapids were

formed. The River Neva has been formed ca 3,500 yr BP [Alexandrovsky et al., 2009; Dolukhanov et al., 2009; Dolukhanov et al., 2010 and others]. Gradually, the connection between Lake Ladoga and the Baltic Sea through the Heinjoki waterway was stopped. The Vuoksa River began to discharge water directly to Lake Ladoga [Nezhikhovsky, 1973; Saarnisto, 1995; Sevastyanov et al., 2001].

The history of transformations of river valleys can be reconstructed from the tracks left by the stream bed. Therefore, it becomes possible to calculate the flow rate through the Heinjoki using the morphometric data of the palaeochannel. The purpose of this study is the hydrological calculation of the runoff through the Heinjoki water connection of Lake Ladoga and the Baltic Sea and compare obtained data with modern runoff through the River Neva. The purposes of this research are as follows:

- (1) To obtain the morphometric data of the palaeochannels of the Karelian Isthmus region;
- (2) To perform the hydrological calculations of the palaeoflow based on morphometric data.

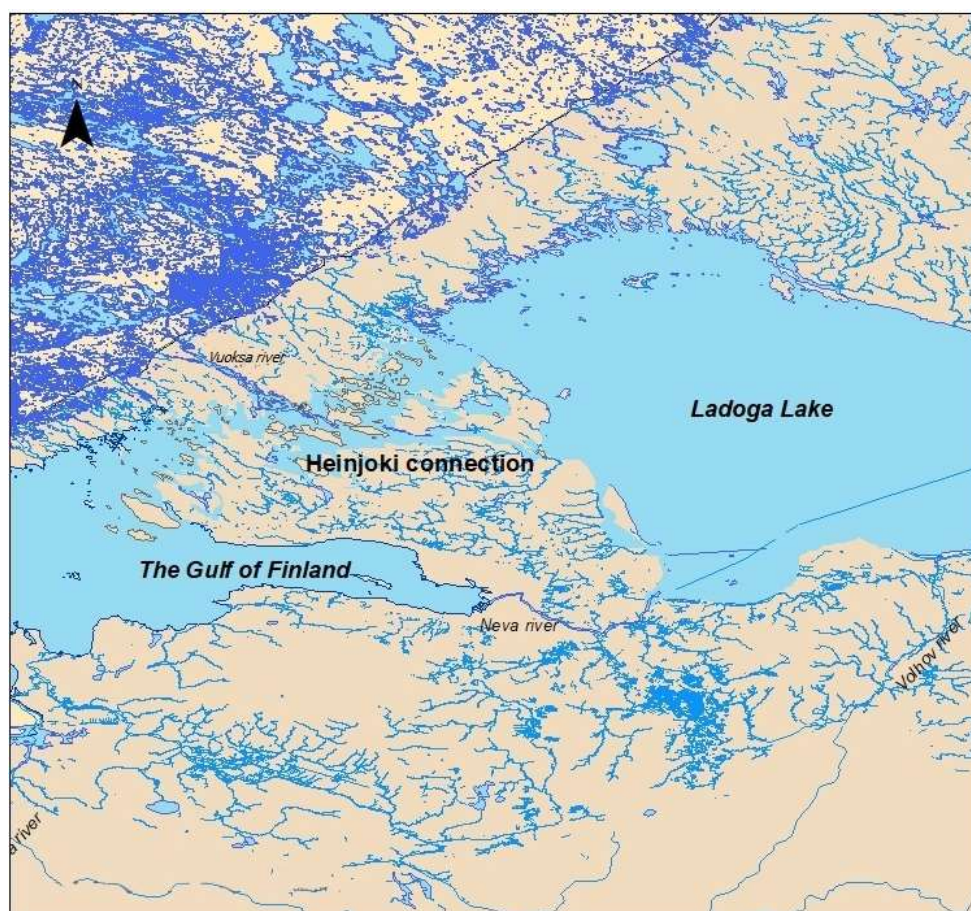


Figure 2. Reconstruction of the Lake Ladoga transgression ca 5,000 – 3,000 yr BP [Ailio, 1915]

Рисунок 2. Реконструкция трансгрессии Ладожского озера ок. 5000 - 3000 л.н. [Ailio, 1915]

Materials and methods

In palaeohydrological reconstructions, the following methods were used [Subetto, Averichkin, Kuznetsov, 2009]:

- water balance equation;
- hydraulic-morphometric dependencies;
- method of geographical analogy.

For the assessment of the palaeorunoff of the Heinjoki waterway system, the relationship between the river flow rate with width, depth and water balance ratios was used. In addition, our palaeogeographical hypotheses is based on the principle of palaeogeographical analogy, that is, the proximity of flow characteristics for modern and ancient river basins with similar contemporary and palaeogeographical conditions [Evstigneev, 1990; Sidorchuk et al., 2000].

Results

The preliminary studies of the Heinjoki paleostraight, conducted earlier near Veschevo village (Heinjoki), allowed to obtain the following information (Table 1). The banks of the channel are composed of Quaternary deposits represented mostly by sands. The banks do not have any floodplains and terraces. The channel alluvium is represented by coarse-grained sand and gravel-pebble deposits, lying on crystalline rocks. The channel had two branches: the width of the first was 400 m, the second was about 300 m. The depth of the both branches was about 6 m (figure 3). The modern water level of Lake Ladoga is ca 5 m. If the modern level of Ladoga would fall 5-6 m below the average, the Neva would flow back and the waters of the Gulf of Finland would enter the lake.

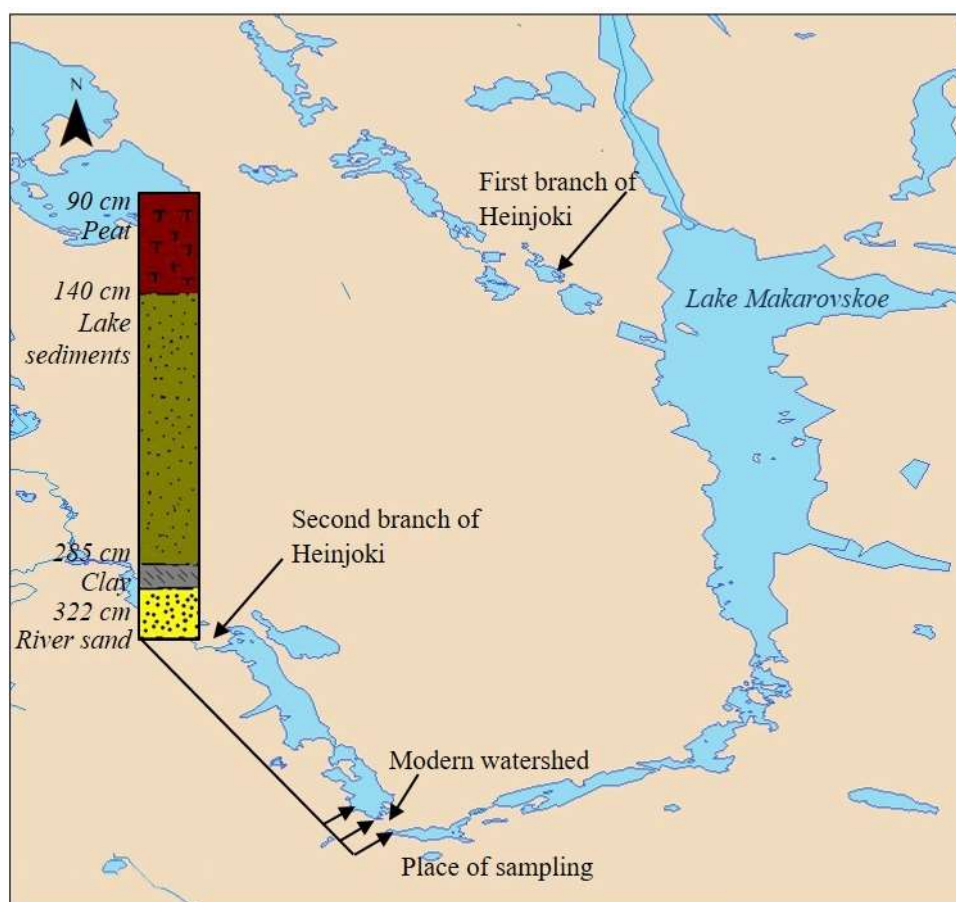


Figure 3. Location of the sediment sampling near the settlement Veschevo (Heinjoki), demonstrated that lake sedimentation began about 3000 years ago, and before that river sedimentation conditions prevailed [Dolukhanov et al., 2009]

Рисунок 3. Расположение отбора проб в районе поселка Вещево (Хейнйоки) показало, что осаждение озера началось около 3000 лет назад, а до этого преобладали условия речного отложения [Dolukhanov et al., 2009]

The level of Lake Ladoga ca 5000 BP in the northern part was ca 21-22 m a.s.l.

To determine the area of the water section, there is universal formula of B.A. Appolov [1974]:

$$F = 2/3 BH \quad (1),$$

where B is the average channel width,

H is the average depth of the channel.

Kennedy's formula [Kennedy, 1969] is applicable for determining the water velocity, it is used for rectilinear channels and channels with constant water and sediment flow:

$$V_o = 0,84H^{0,64} \quad (2)$$

The water flow is determined by formula:

$$Q = V_o F \quad (3)$$

The average annual flow rate of both branches of the Heinjoki waterway was: $Q = 2339 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1316 \text{ m}^3/\text{s}$ – the first branch, $1013 \text{ m}^3/\text{s}$ – the second

branch). The modern annual flow rate of the Neva River is $2530 \text{ m}^3/\text{s}$.

The runoff rate of the catchment area can be calculated:

$$M = Q_{av} 10^3/F \quad (4)$$

In our research, the River Neva basin was considered as the modern analogue of the palaeolandscape. The runoff rate is equal to 8.28 l/s from km^2 . The River Neva runoff rate is 9.25 l/s from km^2 .

The annual runoff volume is:

$$W = Q T/10^9 \quad (5),$$

where T is the time in seconds per year.

The Heinjoki waterway annual volume of runoff is 73.8 km^3 . The annual volume of runoff of the Neva is 79.8 km^3 .

The runoff layer is determined by formula:

$$Y = W/F \cdot 10^3 \quad (6),$$

where F is the catchment area.

The runoff layer is 261.3 mm. The runoff layer of the Neva River is about 284 mm.

Formula for determining the runoff coefficient is:

$$K = Y/X \quad (7),$$

where X is amount of precipitation in the catchment area.

When the amount of precipitation is 700 mm, the runoff coefficient is 0.37; when the amount of precipitation is 500 mm, the runoff coefficient is 0.52. The amount of precipitation in the modern basin of the River Neva is 606 mm, the runoff coefficient is 0.37 accordingly.

The method of analogues provides an opportunity to define the palaeorunoff also for the PalaeoVuoksa. The modern catchment area of the Vuoksa River and the entire system of Lake Saimaa is 69,500 km², the volume of the runoff is 20.3 km³, and runoff layer is 336 mm. The runoff coefficient is 0.48 (precipitation amount of 700 mm) or 0.67 (precipitation amount of 500 mm).

Accordingly, the average annual water flow in the Heinjoki runoff way, before the breakthrough of the Vuoksa water to the Heinjoki way, was 1694 m³/s, the annual runoff rate 53.4 km³, the runoff rate 7.9 l/s per km², the runoff layer 251 mm, the runoff coefficient at 700 mm – 0.32, at 500 mm – 0.5.

Discussion

A good geographical analogue of the study area (the Neva River basin) is the Great Lakes region in North America. Although these lakes decreased in size after the ice retreating of the Last Glacial time, they were nevertheless preserved, largely due to the Niagara Escarpment, which is a natural step supporting the high water level in Lake Erie. The presence of ridges predetermined the different heights of lake levels, located like a cascade. The most significant difference between the levels of the Lakes Erie and Ontario are predetermined by the cuesta ridges from the Silurian limestones that spawn the famous Niagara Falls. Here the water falls from a

height of 50 m. Through the waterfall every second passes 5900 m³, of which 5600 m³ belongs to Canadian part. Flow from Lake Ontario occurs through the St. Lawrence River. In the upper current, this river is like a bay of a lake, but then it narrows, the fall becomes large, due to what the river is abundant with rapids. Niagara Falls appeared ca 12,500 yr BP ago. Initially, it drained from a steep ledge, covered with sedimentary rocks which are represented mostly by limestone and dolomite [Larson, Schaetzl, 2001].

The described situation exists due to the tectonic stability of the region, and therefore the water of Erie did not find another way of flow. That is, the disturbances of the shape of the longitudinal profile and the configuration of the channel in terms of local fluctuations of the earth's crust were smoothed out by the work of the river flow. The area of the Karelian Isthmus and Lake Ladoga was an area of fast deformations when the rate of erosion of the Old Vuoksa and the Heinjoki runoff way turned out to be less than the velocity of the channel shift under the influence of tectonic. In addition, rivers can erode the surface to different depths depending on the nature of rocks. If the river flowed through rocks that could easily be eroded as limestone, for example, it quickly deepened its bed, increased its length, and made it possible for the tributaries to be developed. If the river bed represented by crystalline metamorphic and igneous rocks, e.g. Vuoksa River and the Heinjoki waterway located in the southeastern part of the Fennoscandian Crystalline Shield, then the embedding became difficult and conditions for the development of river valleys worsened. Finally, there was a significant reorganization of the river system. The Neva River and its tributaries, which laid valleys on loose rocks, intercepted the drainage of river basins in areas built up by dense rocks. Something similar happened in Appalachia, where the development of the river beds stopped not as the result from the cessation of erosion, but because erosion became weaker than other factors influencing the relief of the channel, in particular tectonics.

Table 1. Hydrological characteristics of the Neva River and the Heinjoki waterway**Таблица 1.** Гидрологические характеристики реки Невы и Хейниокского пролива

Water balance characteristics	Neva River	Heinjoki waterway	Heinjoki waterway before influx of the Vuoksa River ca 5,000 yr BP
Catchment area, km ²	282 000	282 000	212 800
Average annual water flow rate, m ³ /s	2530	2339	1694
Runoff volume, km ³ /year	79.8	73.8	53.4
Annual runoff layer, mm	284	261	251
Runoff coefficient	0.38	0.37 – 0.52	0.32 – 0.5
Runoff rate l/sec from km ²	9.2	8.3	7.9

Thus, during the uplift of the Karelian Isthmus and north of Lake Ladoga, the parameters of palaeochannels of the Heinjoki straight changed. First of all, there was a decrease in their depths, which led to a decrease in runoff from Lake Ladoga to the Baltic and, accordingly, an increase in the volume of water mass of the lake. The calculations show that if the depth has decreased to 3 meters, then the average annual flow rate would be 1235.7 m³/s. In this case the runoff rate is equal to 4.37 l/s per km², the runoff volume is 38.9 km³ per year, the runoff layer is 137 mm, the runoff coefficient varies from 0.19 to 0.27.

Reduction of the flow from Lake Ladoga by 27.5 km³ gives the corresponding increase in the volume of Ladoga's water mass. In about 40 years, the volume of Lake Ladoga should be increased by 1,100 km³, that is, a second Lake Ladoga could appear, which should create another runoff way. After the formation of the Neva River, the Vuoksa River flowed eastward, and the replacement of the river mouth to modern city Priozersk surroundings took place. Due to the geological processes on the Karelian Isthmus, centurial land uplift led to the final drying out of the western channel of the Vuoksa River in the 17th century, and now only a chain of lakes connected by sections of narrow rapids reminds of it. According to the law of factorial relativity, reaction of the different parts of the hydrological system to the changing conditions is not the same and is non-simultaneous [Makkaveev, 1955; Channel process,

1959]. Therefore, the estuary area of the Vyborg branch of the Vuoksa River had a long-term connection with the Gulf of Finland of the Baltic Sea.

So, we can formulate the following conclusions:

- Lake Ladoga has been connected to the Baltic Sea throughout its history since its deglaciation (first as the easternmost gulf of the Baltic Ice Lake until 11,700 yr BP, later as a part of the Ancylus Lake, and then as an isolated lake with the outflow in the northern part of the Karelian Isthmus with Heinjoki threshold from 10,200 to 3,500 yr BP).
- The quantitative parameters of the Heinjoki runoff (flow rate, annual runoff, runoff layer, runoff coefficient) roughly correspond to the current flow parameters of the Neva River. However, they are somewhat smaller than the Neva River has, which is associated with different geological and geomorphological conditions for the formation of the Neva River and Heinjoki channels.
- The change in the runoff direction from the Vuoksa to the Neva is mainly related to the tectonic uplift of the Karelian Isthmus and the northern part of Lake Ladoga.

Acknowledge

The study is supported by the Russian Fund for Basic Research (No.18-05-80087) and by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. FSZN-2020-0016).

References

Ailio J. Die geographische Entwicklung des Ladogasees in postglazialer Zeit und ihre Beziehung zur steinzeitlichen Besiedelung. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, 1915, vol. 37, iss. 6, pp. 655-658.

DOI: [10.1080/11035891509443526](https://doi.org/10.1080/11035891509443526)

Aleksandrovskii A.L., Arslanov Kh.A., Savel'eva L.A., Subetto D.A., Davydova N.N., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Sapelko T.V., Lavento M., Zaitseva G.I., Kirpichnikov A.N., Nosov E.N., Doluchanov P.M. New data on the Ladoga transgression, the Neva river formation, and agricultural development of Northwestern Russia. *Doklady Earth Sciences*, 2009, vol. 425, iss. 2, pp. 274-278. DOI: [10.1134/S1028334X09020226](https://doi.org/10.1134/S1028334X09020226)

Appolov B.A., Kalinin G.P., Komarov V.D. *Course of hydrological forecasts*. Leningrad: Publ. Gidrometeoizdat. 1974. 422 p. (In Russian; abstract in English).

Björck S. A review of the history of the Baltic Sea, 13.0-8.0 ka BP. *Quaternary International*, 1995, vol. 27, pp. 19-40.

DOI: [10.1016/1040-6182\(94\)00057-C](https://doi.org/10.1016/1040-6182(94)00057-C)

Channel process. Ed.: N.E. Kondratyev, Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1959. 371 p. (In Russian).

Dolukhanov P.M., Subetto D.A., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Zaitseva G.I., Djinoridze E.N., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Sapelko T.V., Savelieva L.A. The Baltic Sea and Ladoga Lake transgressions and early human migrations in North-Western Russia. *Quaternary International*, 2009, vol. 203, iss. 1-2, pp. 33-51. DOI: [10.1016/j.quaint.2008.04.021](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.04.021)

Dolukhanov P.M., Subetto D.A., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Zaitseva G.I., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Sapelko T.V., Savelieva L.A. Holocene oscillations of the Baltic Sea and Lake Ladoga levels and early human movements. *Quaternary International*, 2010, vol. 220, iss. 1-2, pp. 102-111. DOI: [10.1016/j.quaint.2009.09.022](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.09.022)

Evstigneev V.M. *River runoff and hydrological calculations*. Moscow, Publ. of the Moscow State University. 1990. 304 p. (In Russian).

Литература

Александровский А.Л., Арсланов Х.А., Давыдова Н.Н., Долуханов П.М., Зайцева Г.И., Кирпичников А.Н., Кузнецов Д.Д., Лавенто М., Лудикова А.В., Носов Е.Н., Савельева Л.А., Сапелко Т.В., Субетто Д.А. Новые данные относительно трансгрессии Ладожского озера, образования реки Невы и земледельческого освоения Северо-Запада России // Доклады Академии наук. 2009. Том 4. № 5. С. 682-687.

Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 422 с.

Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты: учебник. М.: Изд-во МГУ, 1990. 304 с.

Исаченко Г.А. Окно в Европу: история и ландшафты. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 1998. 476 с.

Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Изд-во Наука, 1974. 278 с.

Маккавеев Н.Н. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1955. 347 с.

Маккавеев Н.И. Оледенения и речные долины // Эрозия почв и русловые процессы. 2001. Вып. 13. С. 259-262.

Нежуховский Р.А. Река Нева. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 191 с.

Русловой процесс / Под ред. Н.Е. Кондратьева. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 371 с.

Севастьянов Д.В., Субетто Д.А., Сикацкая Е.Д., Степочкина О.Е. Особенности эволюции озерно-речной сети в бассейне ладожского озера в голоцене // Вестник Санкт-Петербургского Университета. Серия 7. Геология. География. 2001. № 1. С. 88-100

Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Чернов А.В., Борисова О.К., Ковалюх Н.Н. Сток воды и морфология русел рек русской равнины в поздневалдайское время и в голоцене (по данным палеоруслового анализа) // Эрозия почв и русловые процессы. 2000. Вып. 12. С. 196-230.

Субетто Д.А. Донные отложения озер: Палеолимнологические реконструкции.

- Isachenko G.A. *"Window to Europe": history and landscapes*. St. Petersburg: Publ. of the St. Petersburg University. 1998. 476 p. (In Russian).
- Kennedy J.F. The formation of sediment ripples dunes and antidunes. *Annual Review of Fluid Mechanics*. 1969, vol. 1, pp. 147-168. DOI: [10.1146/annurev.fl.01.010169.001051](https://doi.org/10.1146/annurev.fl.01.010169.001051)
- Kvasov D.D. *Late Quaternary history of large lakes and inland seas of Eastern Europe*. Leningrad, Publ. Nauka, 1975. 278 p. (In Russian).
- Larson G., Schaetzl R. Origin and Evolution of the Great Lakes. *Journal of Great Lakes Research*, 2001, vol. 27, iss. 4, pp. 518-546. DOI: [10.1016/S0380-1330\(01\)70665-X](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(01)70665-X)
- Makkaveev N.I. *River bed and erosion in its basin*. Moscow: Publ. of AN SSSR. 1955. 347 p. (In Russian).
- Makkaveev N.I. Glaciation and river valleys. *Erosion of soils and channel processes*, 2001, iss. 13, pp. 259-262. (In Russian).
- Nezhikhovskiy R.A. Neva River. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1973. 191 p. (In Russian).
- Saarnisto M. *The Late Weichselian and Flandrian History of the Saimaa Lake Complex*. Commentationes Physico-Mathematicae, Societas Scientiarum Fennicae 1970, 107 p.
- Saarnisto M. Late-Weichselian hydrology in eastern Fennoscandia. *Abstracts of the XIV International Congress of INQUA (Berlin, August 3-10, 1995)*, Terra Nostra, Schriften der Alfred - Wegener - Stiftung, vol. 2(95), pp. 236
- Sevastyanov D.R., Subetto D.A., Sikatskaya E.D. Stepochkina O.E. Peculiarities of the evolution of the lake-river system in the basin of the Ladoga Lake in the Holocene. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences*, 2001, iss. 1, pp. 88-100. (In Russian; abstract in English).
- Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., Chernov A.V., Borisova O.K., Kovalyukh N.N. Water flow and morphology of the riverbeds of the Russian Plain in the Late Valday and in the Holocene (according to paleo-analysis). *Erosion of soils and channel processes*, 2000, iss. 12, pp. 196-230. (In Russian).
- Subetto D.A., Averichkin O.B., Kuznetsov D.D. Estimation of paleo-runoff through Baltic-Ladoga СПб.: Изд-во РГПУ им А. И. Герцена, 2009. 343 с.
- Субетто Д.А., Аверичкин О.Б., Кузнецов Д.Д. Расчеты палеостока по Балтийско-Ладожскому соединению в северной части Карельского перешейка. *Известия Русского географического общества*. 2009. Том 141. №. 5. С. 37-50.
- Ailio J. Die geographische Entwicklung des Ladogasees in postglazialer Zeit und ihre Beziehung zur steinzeitlichen Besiedelung // *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*. 1915. Vol. 37. Iss. 6. Pp. 655-658. DOI: [10.1080/11035891509443526](https://doi.org/10.1080/11035891509443526)
- Björck S. A review of the history of the Baltic Sea, 13.0-8.0 ka BP // *Quaternary International*. 1995. Vol. 27. Pp. 19-40. DOI: [10.1016/1040-6182\(94\)00057-C](https://doi.org/10.1016/1040-6182(94)00057-C)
- Dolukhanov P.M., Subetto D.A., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Zaitseva G.I., Djinnoridze E.N., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Sapelko T.V., Savelieva L.A. The Baltic Sea and Ladoga Lake transgressions and early human migrations in North-Western Russia // *Quaternary International*. 2009. Vol. 203. Iss. 1-2. Pp. 33-51. DOI: [10.1016/j.quaint.2008.04.021](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.04.021)
- Dolukhanov P.M., Subetto D.A., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Zaitseva G.I., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Sapelko T.V., Savelieva L.A. Holocene oscillations of the Baltic Sea and Lake Ladoga levels and early human movements // *Quaternary International*. 2010. Vol. 220. Iss. 1-2. Pp. 102-111. DOI: [10.1016/j.quaint.2009.09.022](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.09.022)
- Kennedy J.F. The formation of sediment ripples dunes and antidunes // *Annual Review of Fluid Mechanics*. 1969. Vol. 1. Pp. 147-168. DOI: [10.1146/annurev.fl.01.010169.001051](https://doi.org/10.1146/annurev.fl.01.010169.001051)
- Larson G., Schaetzl R. Origin and Evolution of the Great Lakes // *Journal of Great Lakes Research*. 2001. Vol. 27. Iss. 4. Pp. 518-546. DOI: [10.1016/S0380-1330\(01\)70665-X](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(01)70665-X)
- Saarnisto M. *The Late Weichselian and Flandrian History of the Saimaa Lake Complex*. Commentationes Physico-Mathematicae, Societas Scientiarum Fennicae 1970, 107 p.

junction in northern part of Karelian isthmus. *Proceedings of the Russian Geographical Society*, 2009, vol. 141, no. 5, pp. 37-50. (in Russian)

Subetto D.A., Shvarev S.V., Nikonov A.A., Zaretskaya N.E., Poleshchuk A.V., Potakhin M.S. New evidence of the Vuoksi River origin by geodynamic cataclysm. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 2018, vol. 90, iss. 2, pp. 275-289. DOI: [10.17741/bgsf/90.2.010](https://doi.org/10.17741/bgsf/90.2.010)

Zobkov M., Potakhin M., Subetto D., Tarasov A. Reconstructing Lake Onega evolution during and after the Late Weichselian glaciation with special reference to water volume and area estimations. *Journal of Paleolimnology*, 2019, vol. 62, iss. 1, pp. 53-71. DOI: [10.1007/s10933-019-00075-3](https://doi.org/10.1007/s10933-019-00075-3)

Saarnisto M. Late-Weichselian hydrology in eastern Fennoscandia // Abstracts of the XIV International Congress of INQUA (Berlin, August 3-10, 1995), Terra Nostra, Schriften der Alfred - Wegener - Stiftung, vol. 2(95), pp. 236.

Subetto D.A., Shvarev S.V., Nikonov A.A., Zaretskaya N.E., Poleshchuk A.V., Potakhin M.S. New evidence of the Vuoksi River origin by geodynamic cataclysm // *Bulletin of the Geological Society of Finland*. 2018. Vol. 90. Iss. 2. Pp. 275-289. DOI: [10.17741/bgsf/90.2.010](https://doi.org/10.17741/bgsf/90.2.010)

Zobkov M., Potakhin M., Subetto D., Tarasov A. Reconstructing Lake Onega evolution during and after the Late Weichselian glaciation with special reference to water volume and area estimations // *Journal of Paleolimnology*. 2019. Vol. 62. Iss. 1. Pp. 53-71. DOI: [10.1007/s10933-019-00075-3](https://doi.org/10.1007/s10933-019-00075-3)

УДК 551.435.327

DOI: 10.34753/HS.2020.2.2.158

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ БЕРЕГОВ КОНТАКТНЫХ ЗОН СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКИ

В.В. Афанасьев¹, Е.И. Игнатов², А.В. Уба¹¹*Институт морской геологии и геофизики
ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия;*²*Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
vvasand@mail.ru*

MORPHOGENETIC DIFFERENTIATION OF THE SHORES OF THE CONTACT ZONES OF THE NORTH PACIFIC

Victor V. Afanas'ev¹, Evgeniy I. Ignatov²,
Alexey V. Uba¹¹*Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB
RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*²*Lomonosov Moscow State University, Moscow,
Russia
vvasand@mail.ru*

Аннотация. Представлены результаты анализа геопространственной и геолого-геоморфологической информации о берегах контактных зон Северной Пацифики. Анализ карт морфогенетических типов берегов Северной Пацифики позволил выявить специфику берегового морфолитогенеза морей субарктической и умеренной поясности. Установлено, что для морей Северной Пацифики характерно двухмодальное распределение протяженности берегов различного типа. Первый максимум относится к абразионно-денудационным скалистым берегам, со значительным вкладом в процессы разрушения физического выветривания. Второй пик формируют абразионно-аккумулятивные берега. Подобное распределение типов берегов наряду со структурно-геологическими особенностями строения побережий вероятно связано с различными стадиями зрелости берегов в условиях интенсивного денудационного разрушения берегов морей, характеризующихся продолжительным периодом «открытого моря» при отрицательных температурах воздуха. Морфоклиматическая позиция (геопространственные параметры и связанные с ними различия морфолитодинамических показателей) острова Сахалин и островодужных систем Северной Пацифики позволили нам рассматривать их как контактные зоны морей разного типа, а также морей и океанов. Морфолитодинамические характеристики

Abstract. The results of the analysis of geospatial and geological-geomorphological information on the shores of the contact zones of the North Pacific are presented. An analysis of the maps of the morphogenetic types of coasts of the North Pacific revealed the specifics of the coastal morpholithogenesis of the seas of subarctic and moderate zones. It has been established that for the seas of the North Pacific, a two-modal distribution of the length of coasts of various types is characteristic. The first maximum relates to abrasion-denudation rocky shores, with a significant contribution to the destruction of physical weathering. The second peak is formed by abrasive-accumulative shores. A similar distribution of coast types along with structural and geological features of the coastal structure is probably associated with various stages of coastal maturity under conditions of intense denudation destruction of the coasts of the seas, characterized by a prolonged “open sea” period at negative air temperatures. The morphoclimatic position (geospatial parameters and the related differences in morpholithodynamic parameters) of Sakhalin Island and the island arc systems of the North Pacific allowed us to consider them as contact zones of different types of seas, as well as seas and oceans. The morpholithodynamic characteristics of the shores of contact zones along with the features of hydrodynamics and the thermal regime of the shared water areas also determine the morphoclimatic parameters of the contact zone itself. The Sakhalin shores of the moderately cold northern part of the Sea

берегов контактных зон наряду с особенностями гидродинамики и термического режима разделяемых акваторий определяют также и морфоклиматические параметры собственно контактной зоны. Сахалинские берега умеренно холодной северной части Японского моря и субарктического Охотского моря расположены друг от друга в 30-140 км, в то время как океанские и морские берега крупных островов в островодужных системах разделяют всего несколько километров. Таким образом, ветроволновые поля и их взаимодействие с волнами зыби в контактных зонах имеют весьма сложный характер. Температурный режим побережий также в значительной степени зависит от геопространственных параметров контактных зон. На основе карты морфогенетических типов берегов оцифрованы и рассмотрены особенности распределения типов берегов с морской и океанской стороны островодужных систем. Картометрические и морфометрические исследования в комплексе с данными геолого-геоморфологического анализа позволили выявить особенности развития и современной динамики морских и океанских берегов островодужных систем. Предполагается, что продольная асимметрия низменных перешейков между океанскими и морскими берегами обусловлена цунамигенными процессами.

Ключевые слова: Курильские острова; Алеутские острова; остров Итуруп; остров Чугинадак; морфолитодинамика берегов; георадар

Введение

Границы геосистем представляют собой относительно подвижные зоны взаимовлияний и взаимодействий соседних геосистем – контактные географические структуры [Лихачева, Маккавеев, Локшин 2010; Бакланов, 2014; Скрыльник, 2017]. При этом большую часть геоморфологических границ можно рассматривать как разновидность контактных зон, выделяемых в физической географии, и к ним приурочена подавляющая часть земных

of Japan and the Subarctic Sea of Okhotsk are 30-140 km apart, while the oceanic and marine shores of large islands in island-arc systems separate the first kilometers. Thus, the windwave fields and their interaction with swell waves in the contact zones are very complex. The temperature regime of the coasts also largely depends on the geospatial parameters of the contact zones. Based on the map of morphogenetic types of coasts, the distribution features of coastal types from the sea and ocean side of island-arc systems are digitized and considered. Cartometric and morphometric studies in conjunction with the data of geological and geomorphological analysis revealed the peculiarities of development and modern dynamics of the sea and ocean coasts of island-arc systems. It is assumed that the longitudinal asymmetry of the low isthmus between the ocean and sea shores is due to tsunamigenic processes.

Keywords: Kuril Islands; Aleutian Islands; Chuginadak Island; Iturup Island; coastal morphodynamics; ground penetrating radar

процессов и явлений [Лихачева, Тимофеев, 2007; Лихачева, Тимофеев, 2008].

Морфоклиматическая позиция (геопространственные параметры и связанные с ними различия морфолитодинамических показателей) острова Сахалин и островодужных систем Северной Пацифики позволили нам рассматривать их как контактные зоны морей разного типа, а также морей и океанов. Морфолитодинамические характеристики берегов контактных зон наряду с особенностями

гидродинамики и термического режима разделяемых акваторий определяют также и морфоклиматические параметры собственно контактной зоны. Сахалинские берега умеренно холодной северной части Японского моря и субарктического Охотского моря расположены друг от друга в 30-140 км, а океанские и морские берега крупных островов в островодужных системах разделяют всего несколько километров. Таким образом, ветроволновые поля и их взаимодействие с волнами зыби в контактных зонах имеют весьма сложный характер. Температурный режим побережий также в значительной степени зависит от геопространственных параметров контактных зон.

Изменчивость природных условий определила особенности морфолитогенеза морских берегов контактных зон и специфику их освоения и природопользования применительно к зональной и территориально-пространственной принадлежности.

Обзор проблемы

Берега дальневосточных морей России – от Берингова, Охотского до Японского, – водная циркуляция которых входит в общую циклоническую циркуляцию Северной Пацифики, находятся в пределах нескольких физико-географических поясов (арктического, субарктического и умеренного). Как отмечает Г.П. Скрыльник: «Дальний Восток расположен в устойчиво активной переходной-контактной зоне двух величайших структур Земли, в ходе взаимодействия оказывающих мощные системоформирующие влияния в рамках умеренного, субарктического и арктического природно-климатических поясов» [Скрыльник, 2018].

Географическое положение Дальнего Востока на восточной окраине Евразии на границе с Тихим океаном обуславливает наличие здесь муссонной циркуляции, которая прослеживается примерно до 70° с.ш. [Дзержевский, 1975; Туноголовец, Гарцман, Крохин, 2008]. При этом особенности муссонной циркуляции определяются взаимодействием трех

основных муссонных областей [Лисогурский, Петричев, 1980]. В узкой полосе вдоль 70° с.ш. развит полярный муссон. От 45° до 65° с.ш. расположена область муссонов умеренных широт. Область устойчивых субтропических муссонов располагается к югу от 45-й параллели. Взаимодействие суши и океана осуществляется взаимодействием трех климатических центров действия атмосферы (сибирского и северо-тихоокеанского антициклонов, алеутской депрессии), а также сезонных центров – охотоморского антициклона и амурской депрессии. Влияние континента проявляется главным образом в виде северо-западного и северного потоков континентального воздуха (зимнего муссона), сильно снижающих тепляющее действие Тихого океана на побережье, а влияние океана проявляется юго-восточными и южными потоками морского воздуха (летнего муссона).

Другими важнейшими морфоклиматическими факторами на побережье являются широтная и погодная дифференциация радиационного притока солнечной энергии, влияние климатических фронтов (арктический и фронт умеренных широт), определяющих интенсивную циклоническую деятельность, тропические циклоны, рельеф и морфоструктурный план побережий.

Современные зональные и провинциальные черты рельефа Дальнего Востока определяют сложно и противоречиво взаимодействующие рельефообразующие влияния – континентальные и океанические. Выделено три группы стран с разным ходом развития рельефа при комплексировании с различными воздушными массами. При этом отмечается, что морфоструктурные черты проявляются главным образом в относительной молодости рельефа, а морфоскульптурные – в морфогенетическом богатстве облика геосистем [Никольская, Скрыльник, 1976; Скрыльник, 2008].

Известно, что долготная физико-географическая секторность и широтная зональность ландшафтной структуры Европы формируются в значительной мере как результат интерференции потоков тепла и влаги с

Атлантического и Северного Ледовитого океанов [Алексеев, Голубев, 2004; Дьяконов, Варлыгин, Ретеюм, 2017]. В случае Северной Пацифики именно морфотектоническое строение континентальных окраин и история их развития в неоген-четвертичное время определили особенности современного климоморфогенеза, долготную секторность и широтную зональность морфолитогенеза на побережье. Следует отметить северо-восточную ориентацию основных морфоструктурных элементов, определяющих основные черты взаимодействия суши и моря, и относительную обособленность дальневосточных морей от Тихого океана в результате развития Курильской и Алеутской островодужных систем. Это привело к тому, что границы климатических поясов на побережье значительно смещены против часовой стрелки [Арчиков, 1979]. Охотское море относится, таким образом, к категории субарктических морей. Соответственно, побережье Охотского моря имеет черты арктических и субарктических берегов. Летние геоморфологические процессы протекают под влиянием условий предшествующей зимы. Североамериканские берега участка умеренного климатического пояса, наоборот, испытывают рельефообразующее влияние субтропического пояса, так как в течение всего года береговой морфолитогенез находится под влиянием теплых течений океана.

Анализ карт морфогенетических типов берегов Северной Пацифики позволил выявить специфику берегового морфолитогенеза морей субарктической и умеренной поясности [Национальный атлас России, 2007].

Установлено, что для морей Северной Пацифики характерно двухмодальное распределение протяженности берегов различного типа (рисунок 1). Первый максимум относится к абразионно-денудационным скалистым берегам (2-ой тип), со значительным вкладом в процессы разрушения физического выветривания. Второй пик формируют абразионно-аккумулятивные берега (6-ой тип). Самый высокий процент от общей

протяженности береговой линии берега этого типа составляют на Японском море и значительно меньший, даже с учетом берегов 7-го и 8-го типов, на Охотском море. Интересно, что протяженность берегов 4-го типа с отмершим абразионным уступом в процентном отношении на Охотском море выше, чем на Японском море. Подобное распределение типов берегов наряду со структурно-геологическими особенностями строения побережий может быть связано как с различными стадиями зрелости берегов, так и с интенсивным разрушением берегов умеренно холодных морей, характеризующихся продолжительным периодом «открытого моря» при отрицательных температурах воздуха.

Методика исследований

Анализ карт морфогенетических типов берегов Северной Пацифики, в составлении которых принимал участие один из авторов, проведен в геоинформационной системе Quantum GIS, контуры соответствуют точности исходных карт [Национальный атлас России, 2007]. Для получения длины береговой линии каждого типа использован инструмент «Добавить атрибуты геометрии» с опцией «Расчет на эллипсе». Вычисления произведены на эллипсе WGS84 EPSG:7030.

На морском аккумулятивном перешейке Ветровой острова Итуруп (Курилы) и пирокластическом перешейке острова Чугунидак (Алеуты) были проведены картометрические исследования. Рельеф перешейка Ветровой представлен посредством визуализации данных Aster Global Digital Elevation Model (GDEM V2)¹, являющихся продуктом Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) и NASA. Информация содержится в системе Earth Explorer Геологической службы США (United States Geological Survey). Координатная система данных WGS84, размер пиксела ~20'30 м, среднеквадратическая ошибка (RMSE) по высоте – менее 10 м. Для визуализации уровней построены карты высот в трехмерной проекции с выделением цветом высотных диапазонов от 0 до

¹ URL: https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/aster/aster_products_table/aster_gdem_version_2_validation (дата обращения 19.03.2018)

120 м с шагом 10 м и теневой отмывкой для более высоких уровней. Анализ поля высот позволил выделить несколько абразионных и абразионно-аккумулятивных террасовых уровней в

пирокластических отложениях позднего неоплейстоцена, перекрытых прибрежно-морскими и склоновыми отложениями.

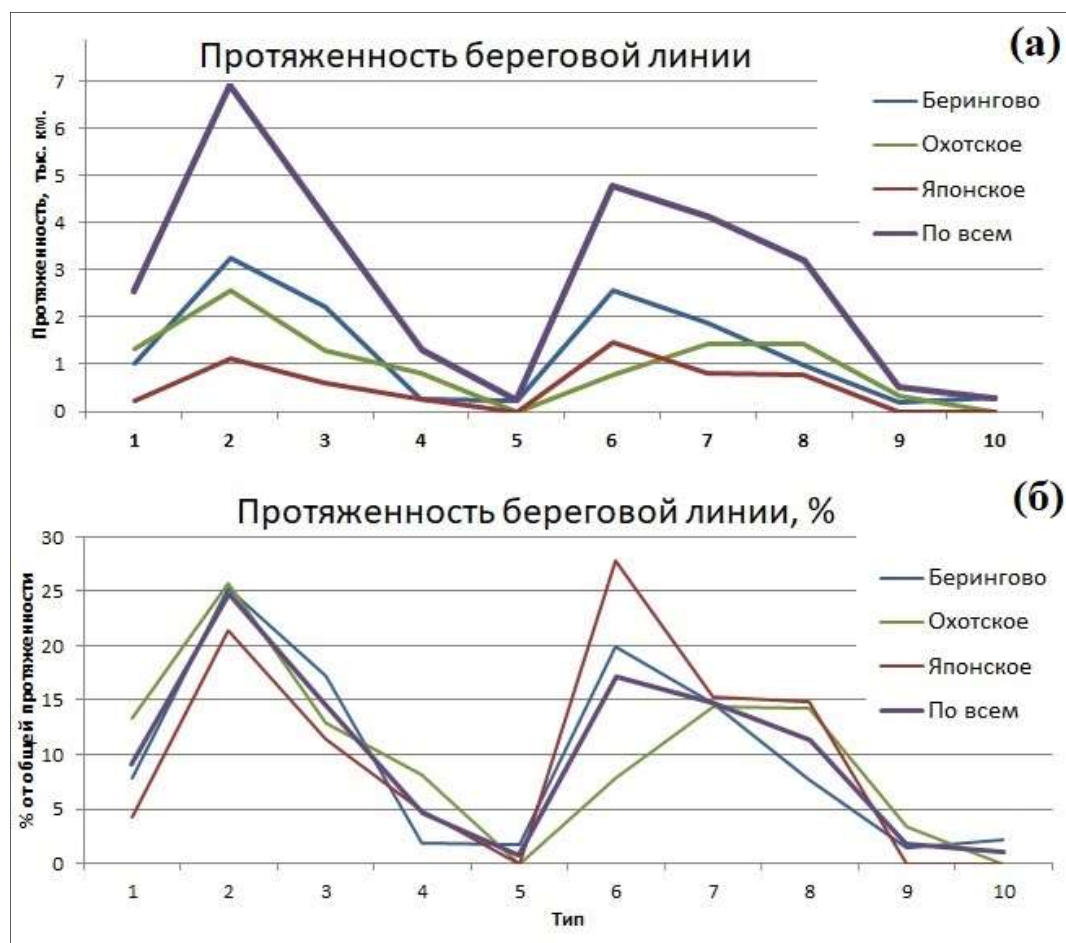


Рисунок 1. Протяженность типов берегов морей Северной Пацифики. (а) - протяженность типов берегов в километрах; (б)- протяженность типов берегов в процентах. Типы берегов: 1 – с ледниково-тектоническим расчленением (фиордовые), тектонически обусловленные, 2 – абразионно-денудационные; 3 – абразионные (выровненные и бухтовые);

4 – абразионные отмершие; 5 – термоабразионные и ледовые; 6 – абразионно-аккумулятивные (выровненные и бухтовые); 7 – созданные волновыми процессами, пляжевые; 8 – созданные волновыми процессами, лагунные; 9 – созданные приливными и стонно-нагонными процессами; 10 – созданные устьевыми процессами (дельтовые)

Figure 1. The length of the types of coasts of the seas of the North Pacific. (a)- The length of the types of coasts in kilometers; (b) - the length of the types of coasts in percent. Types of coasts: 1 – with glacial-tectonic dissection (fjord), tectonically determined, 2 – abrasion-denudation; 3 – abrasion (aligned and coiled); 4 – abrasive dead; 5 – thermoabrasion and ice; 6 – abrasion-accumulative (aligned and coiled); 7 – created by wave processes, beach; 8 – created by wave processes, lagoon; 9 – created by tidal and surging processes; 10 – created by wellhead processes (delta)

Картометрические исследования перешейка острова Чугунидак в среде Aster Global Digital Elevation Model (GDEM V2) были дополнены обработкой данных ALOS World 3D – 30 м (AW3D30) Версия 2.2¹; Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global².

Георадиолокационные наблюдения проводились георадаром серии «ОКО-2М» (ООО «Логис») с антенным блоком АБ-400 (центральная частота антенны 400 МГц), обеспечивающим глубину исследования до 5 м и с антенным блоком АБ-150 (центральная частота 150 МГц), обеспечивающим глубину исследования до 12 м. Привязка конечных точек профилей наблюдения осуществлялась при помощи спутникового приемника. По данным бурения и шурфования выделенные отражающие поверхности скоррелированы со слоями, установленными в скважинах, шурфах или канавах, для пересчета по всему профилю временного разреза в глубинный. При анализе и

интерпретации данных использованы понятия и термины георадарной стратиграфии, такие как радарная фация (Rf) и поверхности радарных отражений, связанные с первичной структурой осаднения [Neal, 2004; Mallinson et. al., 2010]. Интерпретация георадарных данных по профилям общей протяженностью около 20 км в полной мере включала геоморфологический контент, основанный на морфодинамических наблюдениях.

Результаты и обсуждение

Общие черты специфики морфолитогенеза с морской и океанской стороны контактных зон (Алеутской и Курильской островных дуг) установлены при анализе карт морфогенетических типов берегов Северной Пацифики [Национальный атлас России, 2007]. Полученные данные экспортированы и обработаны в электронных таблицах, затем представлены в графическом виде (рисунок 2).

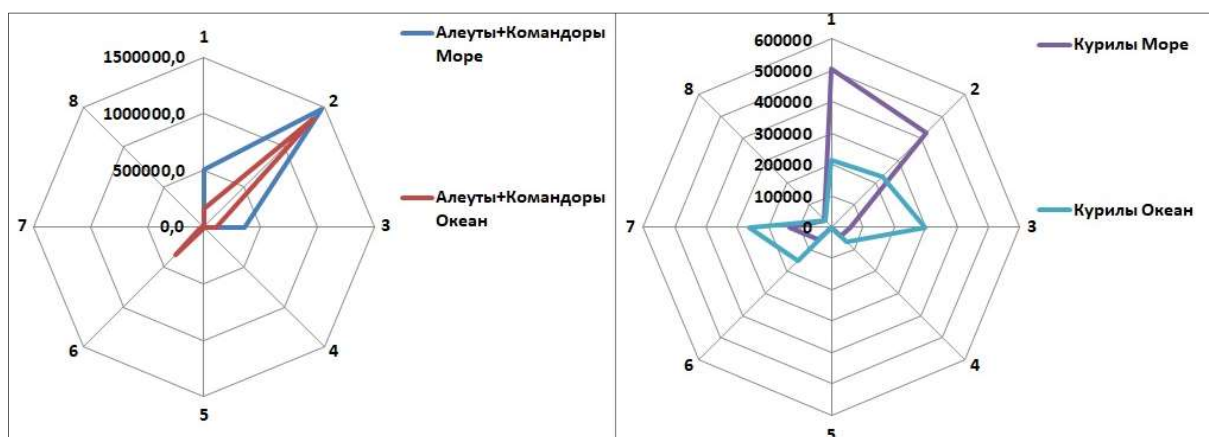


Рисунок 2. Распределение морфогенетических типов берегов островодужных систем Северной Пацифики: 1 – с ледниково-тектоническим расчленением (фиордовые), тектонически обусловленные, 2 – абразионно-денудационные; 3 – абразионные (выровненные и бухтовые); 4 – абразионные отмершие; 5 – термоабразионные и ледовые; 6 – абразионно-аккумулятивные (выровненные и бухтовые); 7 – созданные волновыми процессами, пляжевые; 8 – созданные волновыми процессами, лагунные

Figure 2. Distribution of morphogenetic types of coasts of the island-arc systems of the North Pacific: 1 – with glacial-tectonic dissection (fjord), tectonically determined, 2 – abrasion-denudation; 3 – abrasive (aligned and coiled); 4 – abrasive dead; 5 – thermoabrasion and ice; 6 – abrasion- accumulative (aligned and coiled); 7 – created by wave processes, beach; 8 – created by wave processes, lagoon

¹ URL: <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm> (дата обращения 02.02.2020)

² URL: <https://doi.org/10.5066/F7PR7TFT> (дата обращения: 03.02.2020)

Как и ожидалось, в процентном отношении как Алеутских, так и Курильских островов морские берега 1-го и 2-го типа (рисунок 2). Абразионные берега на Алеутах преобладают на морской стороне, а на Курилах, наоборот, на океанской. Протяженность абразионно-аккумулятивных берегов выше с океанской стороны островодужных систем. Протяженность аккумулятивных берегов и на Курилах, и на Алеутах также больше со стороны океана. Выявленные особенности морфогенетических типов морских и океанских берегов свидетельствуют о преобладающем вкладе в это распределение именно гидродинамического и термического режимов разделяемых акваторий. Морфоклиматические параметры собственно контактной зоны (островной дуги), в отличие от таковых на острове Сахалин, на указанное распределение не влияют. Морфотектоническая и

структурно-формационная обусловленность развития берегов островных дуг, несомненно, значительна и требует дальнейшего исследования.

На примере острова Итуруп (Курильская островная дуга) и острова Чугунидак (Алеутская островная дуга) детально рассмотрены особенности современного берегового морфолитогенеза контактной зоны и эоловой аккумуляции, так называемого ближнего переноса, которая относится к специфичным береговым рельефообразующим процессам, суммирующим воздействия в палеогеографическом масштабе времени. Наиболее показательные различия в современной морфолитодинамике берегов выявлены при анализе морфометрических параметров мегафестонов пляжа на острове Итуруп (рисунок 3).

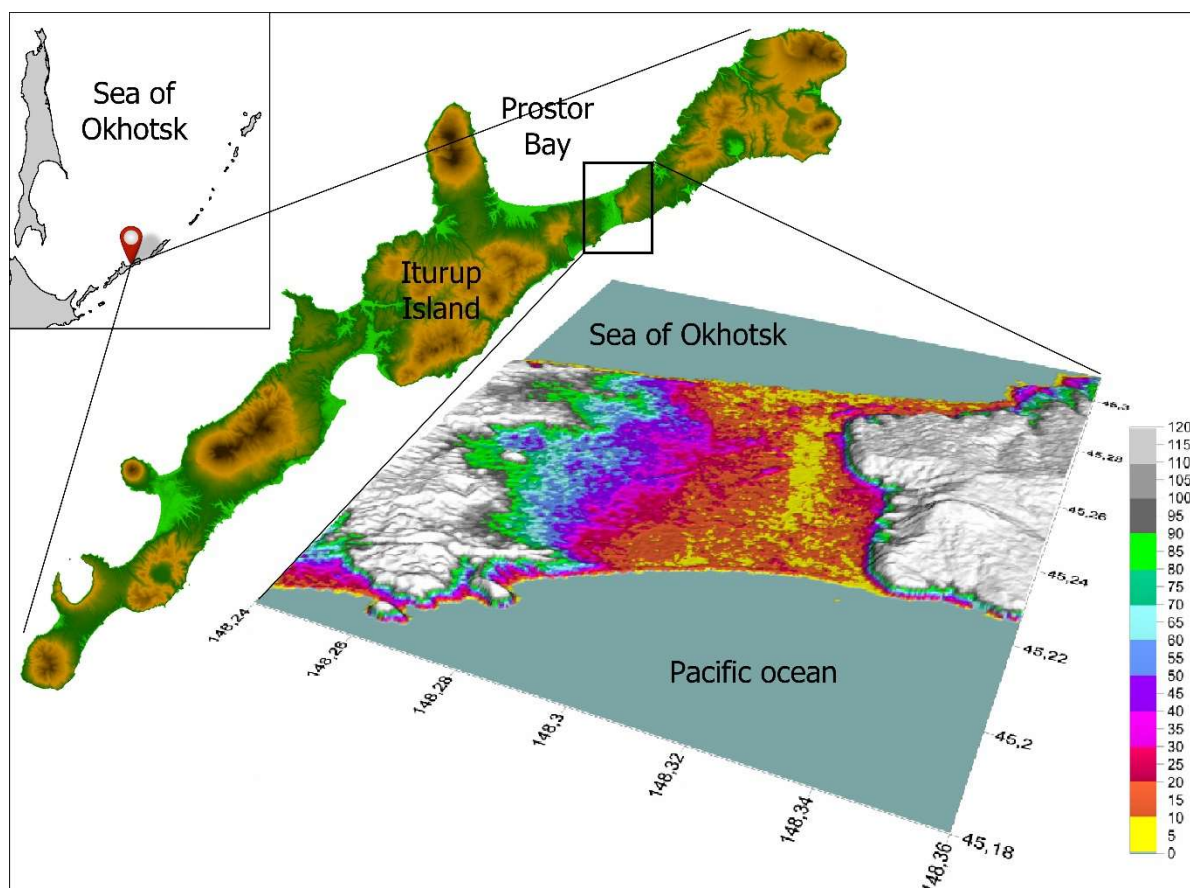


Рисунок 3. Обзорная схема района перешейка Ветровой (остров Итуруп) – морфометрическая карта (Aster Global Digital Elevation Model (GDEM V2))

Figure 3. Overview of the area of the isthmus of Vetrovoy - morphometric map (Aster Global Digital Elevation Model (GDEM V2))



Рисунок 4. Охотоморские мегафестоны (L = 400-600 м)

Figure 4. Sea of Okhotsk megacusps (L = 400-600 m)

Оказалось, что на противоположных участках острова размеры океанских мегафестонов более чем в два раза превышают размеры охотоморских мегафестонов (рисунок 4).

При анализе эолового морфолитогенеза, связанного с волновой переработкой преимущественно пемзово-пирокластического материала при эксплозивных извержениях в голоцене, неоплейстоцене, было установлено, что дюны с морской стороны перешейка Ветровой острова Итуруп формировались в результате разрушения высоких береговых уступов, сложенных пемзово-пирокластическим материалом неоплейстоцена, в период усиления размыва при повышении уровня моря около 1,5 тыс. лет назад. Формирование более молодых дюн океанского побережья в значительной степени связано с переработкой пирокластического материала, поступившего в береговую зону около 1000 лет назад непосредственно во время извержения [Афанасьев, 2019]. Значительная доля пеплового материала в пирокластике обусловила и очень быстрое формирование толщи пелитовых

отложений в бассейне лагунного типа с океанской стороны перешейка Ветровой острова Итуруп.

Что касается эоловых образований более ранних эпох голоцена, то, учитывая существование в среднем голоцене на месте перешейка Ветровой пролива, их следует искать в центральной части перешейка [Afanas'ev et al., 2019]. Наблюдаемые здесь гривы высотой до 50 метров, ориентированные в юго-западном направлении, вероятно, и являются дюнными массивами, связанными с периодами высокого стояния уровня моря и интенсивным размывом высоких береговых уступов, сложенных пемзово-пирокластическим материалом (рисунок 3). Однако не следует исключать и вероятность волновой переработки пирокластики, попавшей в береговую зону непосредственно в период эксплозивных извержений среднего голоцена, на что указывают вулканотектонические дислокации в основании разреза высокого морского берегового уступа [Afanas'ev et al., 2019].

Побережья островных дуг, как известно, с завидной регулярностью подвергаются воздействию цунами как с океанской стороны, так

и с морской. Рассматривая побережье низменных участков суши островов, мы, конечно же, обратили внимание на это явление.

Отложения перешейка Ветровой острова Итуруп изучены по разрезам берегового уступа с морской и океанской стороны и данным ручного бурения в центральной части перешейка. Все полученные геологические данные привязаны к среднему уровню Охотского моря. Георадарное обследование позволило увязать результаты ручного бурения перешейка Ветровой и геологических разрезов с морской и океанской стороны (рисунок 5). Для получения временных разрезов был использован прибор Геотех ОКО-2 (антенна 150 МГц) с максимальной глубиной зондирования до 15 м и разрешающей способностью по глубине около 35 см. Для

корректного отображения рельефа вдоль профилей проводилась тахеометрическая съемка с компенсацией неточностей определения расстояния колесом контрольными метками через каждые 50 метров. Подошва песчано-галечных отложений, определяемых нами как морские наносы пролива, который существовал в позднем голоцене (ЛУ-9217-1370 $\pm$ 70 календарных лет; ЛУ-9229-1710 $\pm$ 140 календарных лет календарных лет, залегает на отметках 0 $\pm$ 1 м относительно среднего уровня (рисунок 6). При этом, согласно данным бурения, перекрыта эта толща примерно метровым слоем покровных суглинков и супесей, в основании которой вскрыт маломощный торфяник, сформированный 1450-1710 календарных лет (ЛУ-9222).

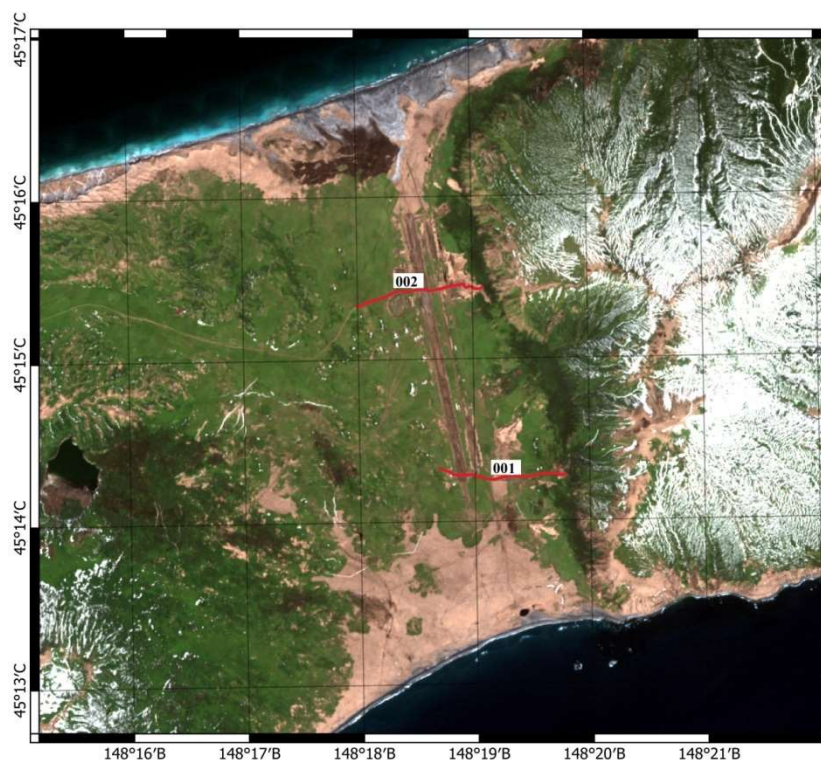


Рисунок 5. Местоположение георадарных профилей (Copernicus Sentinel data 2018)

Figure 5. Location of GPR profiles (Copernicus Sentinel data 2018)

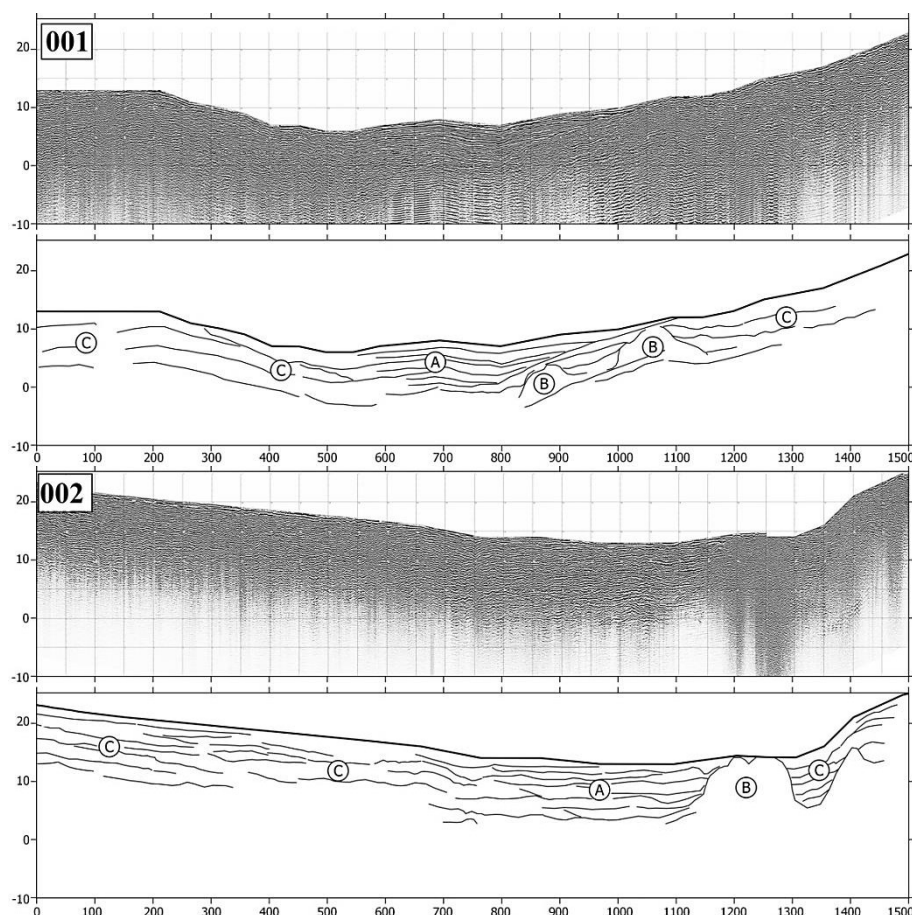


Рисунок 6. Георадарные профили 001, 002; георадарные фации: А – переслаивание песчано-галечных отложений различного состава прибрежно-морского генезиса; В – пемзовые массивы;

С – нерасчлененные склоновые и прибрежно-морские отложения с неизвестным составом

Figure 6. Georadar profiles 001, 002; georadar facies: A – interbedded sand and gravel deposits of various composition of the coastal-marine genesis; B – pumice arrays; C – undivided slope and coastal marine sediments with unknown composition

В уступе океанского берега на отметках +2,2, примерно на два метра выше подошвы песчано-галечных георадарных фаций центральных частей перешейка, в основании лагунных серых глин вскрыт маломощный торфяник этого же возраста 1300-1440 календарных лет (ЛУ-9217). Торфяник лежит непосредственно на цоколе, сложенном крепкими плиоценовыми вулканитами Камуйской свиты (N_2km), обнажающимися на бенче в 500 метрах к северо-востоку на отметках среднего уровня моря. В настоящее время уверенно дифференцировать цунамигенные отложения и наносы пролива не представляется возможным. Однако однозначно устанавливается явление асимметрии рельефа перешейка Ветровой

острова Итуруп: океанская сторона более пологая и низкая, чем морская.

Несколько иной тип асимметрии имеет перешеек острова Чугидак (Алеуты). Как отмечалось выше, в картометрических целях были использованы три массива данных: профили, построенные по данным SRTM и AW3D30, практически идентичны и могут быть использованы для дальнейшего анализа (рисунок 7).

Как и в случае с перешейком Ветровой острова Итуруп морская сторона перешейка острова Чугидак более крутая и короткая. На данном этапе исследования мы полагаем, что асимметрия, возможно, связана с различной интенсивностью проявления цунами с морской и океанской сторон. Следует отметить, что цунами,

вызванное землетрясением 1957 года (M_w 8,6), с берингоморской стороны острова Чугинадак достигало 6,7-9,0 м, с тихоокеанской стороны – 14,9-17,6 м, а на острове Уналашка в 180 км к северо-востоку 32 ± 2 м [Griswold, MacInnes, Higman 2019].

Заключение

В результате оцифровки и последующего анализа карт морфогенетических типов берегов Японского, Охотского и Берингова морей было наглядно продемонстрировано своеобразие современного состояния берегов этих морей. Полученные распределения типов берегов с

морской и океанской стороны островодужных систем послужили отправным моментом при актуализации проблемы особенностей развития берегов линейных контактных зон, разделяющих морские бассейны, а также моря и океаны. Морфометрические исследования в комплексе с данными геолого-геоморфологического анализа подтвердили специфику развития и современной динамики морских и океанских берегов островодужных систем. Предполагается, что продольная асимметрия низменных перешейков между океанскими и морскими берегами обусловлена цунамигенными процессами.

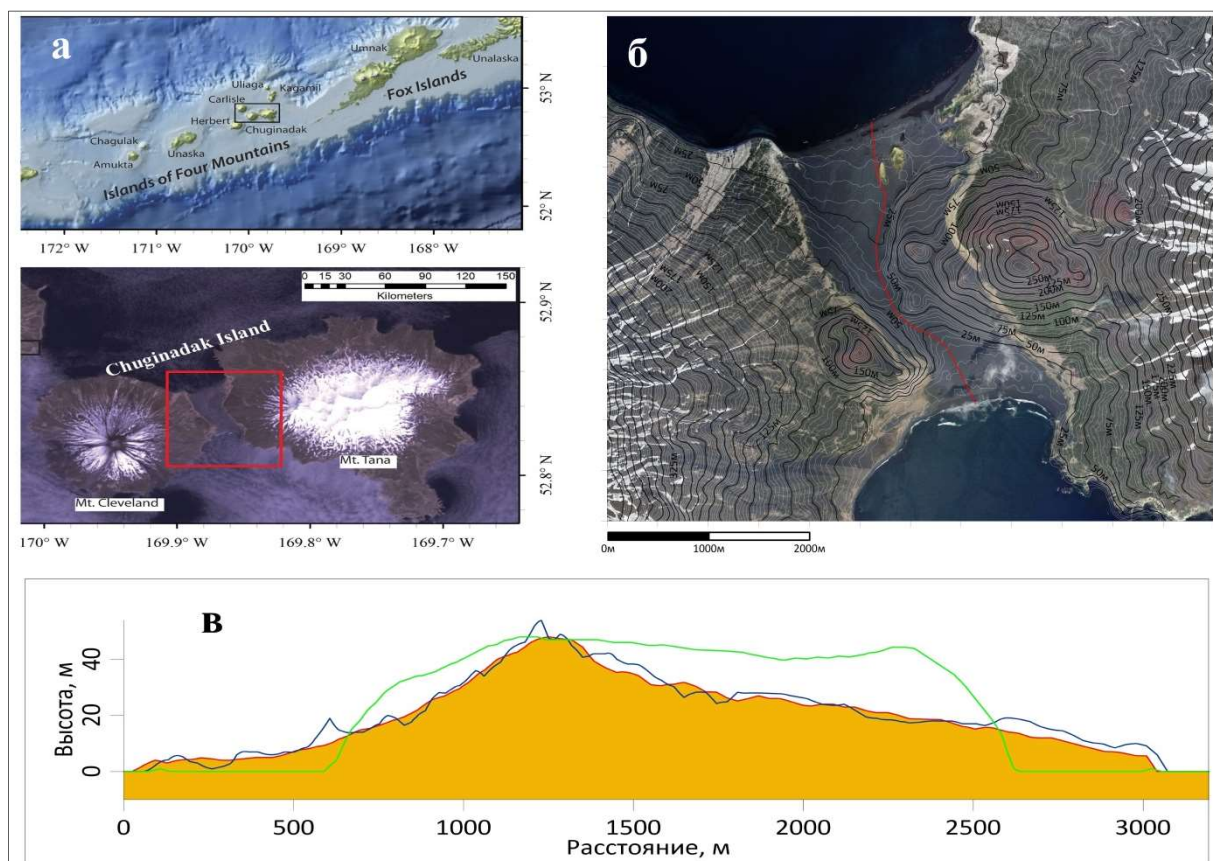


Рисунок 7. Асимметрия перешейка острова Чугинадак:

- а – местоположение перешейка, б – рельеф перешейка и локация профиля,
 в – красная линия профиля построена по данным Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global; синяя линия профиля построена по данным ALOS World 3D - 30 м (AW3D30) Версия 2.2; зеленая линия профиля – Aster Global Digital Elevation Model (GDEMv2)
- Figure 7.** Asymmetry of the isthmus of the island of Chuginadak:
 а – isthmus location, б – isthmus topography and profile location,
 в – red profile line constructed according to Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global; the blue profile line is built according to ALOS World 3D - 30 m (AW3D30) Version 2.2; green profile line – Aster Global Digital Elevation Model (GDEMv2)

Литература

Алексеев Б.А., Голубев Г.Н. Глобальная модель современных ландшафтов мира // География, общество, окружающая среда. Том 2. Функционирование и современное состояние ландшафтов / Отв. ред.: К.Н. Дьяконов, Э.П. Романова. М.: Изд. Дом «Городец», 2004. С. 319-326

Арчиков Е.И. Особенности формирования рельефа берегов Тихого океана в субарктическом и умеренном климатических поясах // Исследования глобальных факторов климорфогенеза Дальнего Востока: сборник трудов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 70-78.

Афанасьев В.В. О новом типе эолового морфогенеза на вулканогенных берегах (о. Итуруп, Большая Курильская гряда) // Геосистемы переходных зон. 2019. Т. 3. №. 4. С. 423-427.

DOI: [10.30730/2541-8912.2019.3.4.423-427](https://doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.4.423-427)

Бакланов П.Я. Географические и геополитические факторы в региональном развитии // Региональные исследования. 2014. № 2 (44). С. 4-10.

Дзердзеевский Б.Л. Общая циркуляция атмосферы и климат. М.: Наука, 1975. 288 с.

Дьяконов К.Н., Варлыгин Д.Л., Ретеюм А.Ю. Влияние океанов на физико-географическую зональность по спутниковым данным о фотосинтезе // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2017. № 2. С. 11-15.

Лисогурский Н.И., Петричев А.З. Распространение муссона над Восточной Азией и степень его устойчивости // Метеорология и гидрология. 1980. № 5. С. 54-59.

Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А. К иерархии геоморфологических систем с позиций их организованности // Геоморфология. 2007. № 4. С. 3–8. DOI: [10.15356/0435-4281-2007-4-3-8](https://doi.org/10.15356/0435-4281-2007-4-3-8)

Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А. Анализ геоморфологических систем: основные понятия

References

Alekseev B.A. Golubev G.N. Global'naya model' sovremennykh landshaftov mira [The global model of modern landscapes of the world]. In D'yakonov K.N., Romanova E.P. (eds.) *Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda. Tom 2. Funktsionirovanie i sovremennoe sostoyanie landshaftov* [Geography, society and environment. Vol. 2. Functioning and current state of landscapes]. Moscow, Publ. Dom «Gorodets», 2004, pp. 319-326. (In Russian).

Archikov E.I. Osobennosti formirovaniya rel'efa beregov Tikhogo okeana v subarkтическом i umerennom klimaticheskikh poyasakh [Features of the formation of the relief of the Pacific coast in the subarctic and temperate climatic zones]. *Issledovaniya global'nykh faktorov klimorfogeneza Dal'nego Vostoka: sbornik trudov* [Research of global factors of climorphogenesis of the Far East: a collection of works]. Vladivostok: Publ. of Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences, 1979, pp. 70-78. (In Russian).

Afanasyev V.V. O novom tipe eolovogo morfogeneza na vulkanogennykh beregakh (o. Iturup, Bol'shaya Kuril'skaya gryada) [A new type of aeolian morphogenesis on volcanic shores (Iturup island, Great Kuril ridge)] *Geosistemy perekhodnykh zon* [Geosystems of Transition Zones], 2019, vol. 3, no. 4, pp. 423-427. (In Russian; abstract in English).

Baklanov P.Y. Geograficheskie i geopoliticheskie faktory v regional'nom razvitii [Geographic and Geopolitical Factors in Regional Development]. *Regional'nye issledovaniya* [Regional Studies], 2014, no. 2, pp. 4-10. (In Russian; abstract in English).

Dzerdzeevskii B.L. *Obshchaya tsirkulyatsiya atmosfery i klimat* [General atmospheric circulation and climate]. Moscow, Publ. Nauka, 1975. 288 p. (In Russian).

Diakonov K.N., Varlygin D.A., Retejum A.Yu. [Impact of the oceans on geographical zones studied by the remote sensing data on photosynthesis]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*. [Moscow University Bulletin. Series 5.

// Геоморфология. 2008. № 2. С. 14-21.
DOI: [10.15356/0435-4281-2008-2-14-21](https://doi.org/10.15356/0435-4281-2008-2-14-21)

Лихачева Э.А., Маккавеев А.Н., Локишин Г.П. Физическая сущность геоморфологических границ // Геоморфология. 2010. № 2. С. 3-10.
DOI: [10.15356/0435-4281-2010-2-3-10](https://doi.org/10.15356/0435-4281-2010-2-3-10)

Национальный атлас России: в 4-х т. Том 2: Природа и экология / Ред. колл.: А.В. Бородко (предс.), В.Н. Александров, В.М. Котляков, Н.Г. Рыбальский и др. М.: ПКО «Картография», 2007. 496 с.

Никольская В.В., Скрыльник Г.П. Тенденции развития рельефа природных зон и провинций Дальнего Востока // Климатическая геоморфология Дальнего Востока / Отв. ред. Г.П. Скрыльник. Владивосток: ТИГ ДВНЦ АН СССР. 1976. С. 5-19.

Скрыльник Г.П. Ведущие климатические факторы развития экзогенного рельефа // Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX–XXI веков. Том. 1. Природные геосистемы и их компоненты. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 77-81.

Скрыльник Г.П. Основные уровни устойчивости в общей организации геосистем Земли // Успехи современного естествознания. 2017. № 11. С. 101-106.

Скрыльник Г.П. Аномальные природные процессы и явления Российского Дальнего Востока // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 114-124.

Тунеголовец В.П., Гарцман Б.И., Крохин В.В. Климат и гидрография // Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX–XXI веков. Том. 1. Природные геосистемы и их компоненты. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 119–143.

Afanas'ev V.V., Ignatov E.I., Uba A.V., Dunaev N.N., Leontiev I.O., Gorbunov A.O. Vetrovoy isthmus of iturup island – holocene strait // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 324. III National scientific conference with foreign participants "Geodynamical Processes and Natural Hazards" 27–31 May 2019, Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation.
DOI: [10.1088/1755-1315/324/1/012029](https://doi.org/10.1088/1755-1315/324/1/012029)

Geography], 2017, no. 2, pp. 11-15. (In Russian; abstract in English).

Lisogurskii N.I., Petrichev A.Z. Rasprostranenie mussona nad Vostochnoi Aziei i stepen' ego ustoichivosti [Distribution of the monsoon over East Asia and the degree of its stability]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Russian Meteorology and Hydrology], 1980, no. 5, pp. 54-59. (In Russian).

Likhacheva E.A., Timofeyev D.A. K ierarkhii geomorfologicheskikh sistem s pozitsii ikh organizovannosti [To the hierarchy of geomorphologic systems from the angle of their organization]. *Geomorfologiya* [Geomorphology], 2007, no. 4, pp. 3-8. (In Russian; abstract in English).
DOI: [10.15356/0435-4281-2007-4-3-8](https://doi.org/10.15356/0435-4281-2007-4-3-8).

Likhacheva E.A., Timofeyev D.A. Analiz geomorfologicheskikh sistem: osnovnye ponyatiya [Analysis of geomorphic systems: the fundamental notions]. *Geomorfologiya* [Geomorphology], 2008, no. 2, pp. 4-21. (In Russian; abstract in English).
DOI: [10.15356/0435-4281-2008-2-14-21](https://doi.org/10.15356/0435-4281-2008-2-14-21).

Likhacheva E.A., Makkaveyev A.N., Lokshin G.P. Fizicheskaya sushchnost' geomorfologicheskikh granits [Physical nature of geomorphologic boundaries] *Geomorfologiya* [Geomorphology], 2010, no. 2, pp. 3-10. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.15356/0435-4281-2010-2-3-10](https://doi.org/10.15356/0435-4281-2010-2-3-10).

Natsional'nyi atlas Rossii: v 4-kh tomah. Tom 2: Priroda i ekologiya [National Atlas of Russia: in 4 ch. Chapter 2 Environment (Nature). Ecology]. A.V. Borodko, V.N. Aleksandrov, V.M. Kotlyakov, N.G. Rybal'skii et al. (eds.). Moscow, Publ. Kartografiya, 2007. 496 p. (In Russian).

Nikol'skaya V.V., Skryl'nik G.P. Tendentsii razvitiya rel'efa prirodnikh zon i provintsii Dal'nego Vostoka [Trends in the development of the relief of natural zones and provinces of the Far East]. In G.P. Skryl'nik (ed.) *Klimaticheskaya geomorfologiya Dal'nego Vostoka* [Climatic geomorphology of the Far East]. Vladivostok: Publ. of Pacific Institute of Geography Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences, 1976, pp. 5-19. (In Russian).

Skryl'nik G.P. Vedushchie klimaticheskie faktory razvitiya ekzogennogo rel'efa [Leading climatic factors of the development of exogenous relief].

Griswold F.R., MacInnes B.T., Higman B. Tsunami-based evidence for large eastern Aleutian slip during the 1957 earthquake // *Quaternary Research*. 2019. Vol. 91. Iss. 3. Pp. 1045-1058. DOI: [10.1017/qua.2018.39](https://doi.org/10.1017/qua.2018.39)

Mallinson D.J., Smith C.W., Culver S., Riggs S.R., Ames D. Geological characteristics and spatial distribution of paleo-inlet channels beneath the outer banks barrier islands, North Carolina, USA // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2010. Vol. 88. Iss. 2. Pp. 175-189. DOI: [10.1016/j.ecss.2010.03.024](https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.03.024)

Neal A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress // *Earth-science reviews*. 2004. Vol. 66. Iss. 3-4. Pp. 261-330. DOI: [10.1016/j.earscirev.2004.01.004](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.01.004)

Geosistemy Dal'nego Vostoka Rossii na rubezhe XX–XXI vekov. Tom. 1. Prirodnye geosistemy i ikh komponenty [Geosystems of Far East of Russia on boundary of XX-XXI centuries. Chapter 1. Natural geosystems and their components]. Vladivostok: Publ. Dal'nauka, 2008, pp. 77-81. (In Russian).

Skryl'nik G.P. Osnovnye urovni ustoichivosti v obshchei organizatsii geosistem Zemli [The basic levels of stability in the general organization of the geosystems of the Earth] *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Advances in current natural sciences]*, 2017, no. 11, pp. 101-106. (In Russian; abstract in English).

Skryl'nik G.P. Anomal'nye prirodnye protsessy i yavleniya Rossiiskogo Dal'nego Vostoka [Dangerous natural processes and phenomena the Russian Far East] *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Advances in current natural sciences]*, 2018, no. 10, pp. 114-124. (In Russian; abstract in English).

Tunegolovets V.P., Gartsman B.I., Krokhin V.V. *Klimat i gidrografiya [Climate and hydrography]. Geosistemy Dal'nego Vostoka Rossii na rubezhe XX–XXI vekov. Tom. 1. Prirodnye geosistemy i ikh komponenty [Geosystems of Far East of Russia on boundary of XX-XXI centuries. Chapter 1. Natural geosystems and their components]*. Vladivostok: Publ. Dal'nauka, 2008, pp. 119–143. (In Russian).

Afanas'ev V.V., Ignatov E.I., Uba A.V., Dunaev N.N., Leontiev I.O. Gorbunov A.O. Vetrovoy isthmus of iturup island – holocene strait. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 324. III National scientific conference with foreign participants "Geodynamical Processes and Natural Hazards" 27–31 May 2019, Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation. DOI: [10.1088/1755-1315/324/1/012029](https://doi.org/10.1088/1755-1315/324/1/012029)

Griswold F.R., MacInnes B.T., Higman B. Tsunami-based evidence for large eastern Aleutian slip during the 1957 earthquake. *Quaternary Research*, 2019, vol. 91, iss. 3, pp. 1045-1058. DOI: [10.1017/qua.2018.39](https://doi.org/10.1017/qua.2018.39)

Mallinson D.J., Smith C.W., Culver S., Riggs S.R., Ames D. Geological characteristics and spatial distribution of paleo-inlet channels beneath the outer banks barrier islands, North Carolina, USA.

Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2010, vol. 88, iss. 2, pp. 175-189. DOI: [10.1016/j.ecss.2010.03.024](https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.03.024)

Neal A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-science reviews*, 2004, vol. 66, iss. 3-4, pp. 261-330. DOI: [10.1016/j.earscirev.2004.01.004](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.01.004)

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.2020.2.2.173

ХАРАКТЕРИСТИКА КАЧЕСТВА СТОКА РЕК РОССИИ, ТРАНСГРАНИЧНЫХ С БЕЛАРУСЬЮ, УКРАИНОЙ И КАЗАХСТАНОМ, И ЕГО СВЯЗЬ С БАСЕЙНОВЫМИ ГЕОСИСТЕМАМИ

Э.А. Румянцева, Н.Н. Бобровицкая

*Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Государственный гидрологический
институт», г. Санкт-Петербург, Россия
bobrovi@ggi.nw.ru*

THE QUALITY CHARACTERISTIC OF THE RUSSIA RIVERS RUNOFF, TRANSBOUNDARY WITH BELARUS, UKRAINE, KAZAKHSTAN AND ITS RELATIONSHIP WITH BASIN GEOSYSTEMS

El'vira A. Rumyantseva,

Nelly N. Bobrovitskaya

*Federal State Budgetary Institution "State
Hydrological Institute", St. Petersburg, Russia
bobrovi@ggi.nw.ru*

Аннотация. В связи с использованием природных ресурсов в трансграничных зонах России особое значение в современных условиях имеют геоэкологические проблемы. Целью данной работы явилось изучение взаимосвязи долей объёмов речного стока воды, имеющих сверхнормативные концентрации загрязняющих веществ, с функционированием региональных бассейновых геосистем. Для этой цели были использованы две характеристики качества стока, разработанные в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ»). Первая характеристика – это относительные объёмы стока ($V_{\text{заг}}\%$), загрязнённые единичными компонентами. Вторая представлена частичными объёмами стока, различающимися совокупностью загрязняющих веществ, оценёнными по классам и разрядам в соответствии с РД 52.24.643-2002¹. Расчёты проведены с помощью автоматизированного программного комплекса, разработанного в ФГБУ «ГГИ», по данным режимных наблюдений Управлений гидрометеорологической службы для

Abstract. The aim of this work was to study the relationship between the parts of river water flow volumes that have excess pollutant concentrations and the functioning of regional basin geosystems. For this purpose, two flow quality characteristics were used. The first characteristic is the relative volumes of runoff ($V_{\text{poll}}\%$) contaminated with single components. The second one is represented by partial volumes of runoff, differing in the totality of pollutants, estimated by classes and categories in accordance with Guidance Document 52.24.643-2002¹. The calculations were carried out using an automated software package developed at the FSBI «SHI» according to regime observations of the Hydrometeorological Service of Roshydromet for eighteen transboundary rivers over the entire observation period of 1993-2013. To solve assigned problem factor analysis was applied. The two main factors, the content of which is expressed through fluctuations of $V_{\text{poll}}\%$ for twelve different individual hydro-chemical components, unite the rivers by their belonging to the corresponding water system or basin, that is, of the basin geosystem. Application of the second runoff characteristic made it possible to assess the pollution of river runoff in these

¹РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 48 с.

восемнадцать трансграничных рек. Обе характеристики были усреднены за весь период наблюдений 1993-2013 гг. Для решения поставленной задачи применен факторный анализ. Показано, что два главных фактора, содержание которых выражено через флуктуации $V_{\text{заг}}\%$ для двенадцати разных единичных гидрохимических компонентов, объединяют реки по их принадлежности к соответствующей водной системе или бассейну, то есть связаны с функционированием бассейновой геосистемы. Применение второй характеристики стока позволило оценить загрязнённость стока рек в этих геосистемах. Показано, что в основном все реки, сток которых относится к загрязнённому, то есть второму и третьему классу разряда «а», текут из России в соседние государства. Все реки, трансграничные с Украиной и Казахстаном, сток которых отнесён к четвертому классу разрядов «а», «б» и «в», несут свои более грязные воды из сопредельных государств в Россию.

Ключевые слова: характеристики качества стока; автоматизированный программный комплекс; режимные наблюдения; трансграничные пункты наблюдений; факторный анализ; бассейновые геосистемы; оценка загрязнённости стока рек

Введение

Особое значение в современных условиях имеют геоэкологические проблемы использования трансграничных рек в связи с интенсивным развитием международных, прежде всего, экономических связей, и общих эколого-экономических и эколого-социальных проблем эксплуатации природных ресурсов.

Бассейновые геосистемы разделены границей между сопредельными государствами, в то время как это объекты высокой степени целостности, и представляют собой совокупность природных ресурсов. Водные объекты являются конечными звеньями загрязнения в круговороте вещества и энергии в пределах бассейновых геосистем.

geosystems. It was revealed that basically all the rivers whose runoff belongs to the polluted, that is, the second and third class of category “a”, flow from Russia to neighboring states. All rivers transboundary with Ukraine and Kazakhstan, the flow of which is assigned to the fourth class of categories “a”, “b” and “c”, carry their more dirty waters from neighboring states to Russia.

Keywords: runoff quality characteristics; automated software package; regime observations; transboundary posts of observation; factor analysis; basin geo-systems; assessment of river runoff pollution

Водопотребление на хозяйственно-бытовые и производственные нужды и особенно добыча и переработка полезных ископаемых, зарегулированность рек шлюзами и плотинами ГЭС существенно увеличивают антропогенную нагрузку на всю бассейновую систему и в итоге на водный сток рек.

Формирование величин объёмов речного стока воды, имеющих сверхнормативные концентрации отдельных загрязняющих веществ в этих геосистемах, должно зависеть как от природных условий, так и от их хозяйственного освоения и, по-видимому, может служить маркером их особенностей.

Задачи и методы

Задачей данной работы явилось изучение взаимосвязи объёмов речного стока воды, имеющих сверхнормативные концентрации загрязняющих веществ, с состоянием региональных бассейновых геосистем, с целью показать необходимость их комплексного изучения.

Для решения поставленной задачи были использованы основные положения рекомендаций¹ по применению интегральных показателей, характеризующих изменения загрязнённости водного стока, разработанные в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Государственный гидрологический институт» (далее – ФГБУ «ГГИ») [Караушев, Скакальский, 1973; Караушев, Скакальский, 1979; Скакальский 1980; Методические основы, 1987].

Основной характеристикой речного стока воды в этой методике является относительный объём стока, загрязнённый единичным компонентом ($V_{\text{заг}}\%$). Он выражается отношением объёма стока загрязненной воды ($V_{\text{заг}}$), перенесённой через заданный створ за год, ко всему годовому стоку реки $V_{\text{год}}$.

Новая методика [Румянцева, Бобровицкая, Ильин, 2014] позволяет разделить объём речного стока на частичные объёмы, различающиеся совокупностью загрязняющих веществ, и оценить загрязнённость воды в этих объёмах в соответствии с РД 52.24.643-2002². Основными характеристиками речного стока воды в этой методике являются частичные объёмы стока, загрязнённые совокупностью загрязняющих веществ ($V_{\text{заг}}\%$) разных классов загрязнённости.

В ФГБУ «ГГИ» создан автоматизированный программный комплекс «Оценка показателей загрязнённого и чистого стока» (далее – АПК), с помощью которого возможны расчёты этих характеристик стока

путём совместной обработки больших объёмов гидрологической и гидрохимической стандартной (режимной) информации [Румянцева, Бобровицкая, 2012; Румянцева, Бобровицкая, Ильин, 2014; Румянцева, Бобровицкая, Сухоногова, 2020].

Расчёты для каждой доли объёмов загрязнённого стока осуществляются не только по измеренным, но и по интерполированным значениям концентраций загрязняющих компонентов. Характеристика стока воды за год и за весь период производится с учетом вклада частичных объёмов различной продолжительности и качества.

Для изучения взаимосвязи загрязнённости речного стока с бассейновыми геосистемами были использованы обе характеристики, усреднённые за весь период наблюдений 1993-2013 гг.

В качестве инструмента для решения задачи применен факторный анализ, так как факторы объединяют в одну группу переменные, которые могут быть прямо, или косвенно связаны с некоторым определенным источником или процессом. [Иберла, 1980].

Объекты

В таблице 1 приведён список рек и трансграничных гидрологических и гидрохимических постов, по данным наблюдений на которых производились расчёты характеристик стока с помощью АПК.

В основу расчётов положены гидрологические и гидрохимические данные 1993-2013 гг., полученные в результате режимных наблюдений Управления гидрометеорологической службы Центральных Черноземных Областей, а также Северо-Западного, Центрального, Северо-Кавказского, Приволжского, Уральского и Обь Иртышского Управлений гидрометеорологической службы.

¹Рекомендации по применению интегральных показателей для оценки качества воды и загрязнённости рек и водоемов. Л.: ГГИ, 1977. 72 с.

²РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 48 с.

Таблица 1. Действующие гидрологические и гидрохимические трансграничные посты Росгидромета на реках России, трансграничных с Беларусью, Украиной и Казахстаном

Table 1. Existing hydrological and hydrochemical transboundary posts of Roshydromet on the rivers of Russia, transboundary with Belarus, Ukraine and Kazakhstan

Трансграничная река	Пункт гидрологического поста	Код гидрологического поста	Пункт гидрохимического поста	Пограничное государство
Западная Двина	г. Велиж	73110	г. Велиж	Беларусь
Днепр	г. Смоленск	79011	г. Смоленск	
Сож	д. Ускосы	79244	п.г.т. Хиславичи	
Ипуть	с. Ущерпье	79324	д. Добродеевка	
Десна	г. Брянск	80118	п. Белая Березка	Украина
Судость	г. Погар	80172	г. Погар	
Сейм	г. Рыльск	80204	р.п. Тёткино	
Оскол	сл. Ниновка	78393	п.г.т. Волоконовка	
Ворскла	с. Козинка	80442	с. Козинка	
Псёл	г. Обоянь	80405	г. Обоянь	
Северский Донец	с. Кружиловка	78326	х. Поповка	
Миус	с. Куйбышево	83061	с. Куйбышево	
Малый Узень	с. Малый Узень	19008	с. Малый Узень	Казахстан
Большой Узень	г. Новоузенск	19016	г. Новоузенск	
Илек	п. Весёлый	19197	п. Весёлый	
Тобол	с. Звериноголовское	12010	с. Звериноголовское	
Уй	с. Усть-Уйское	12631	с. Усть-Уйское	
Иртыш	с. Татарка	11634	с. Татарка	

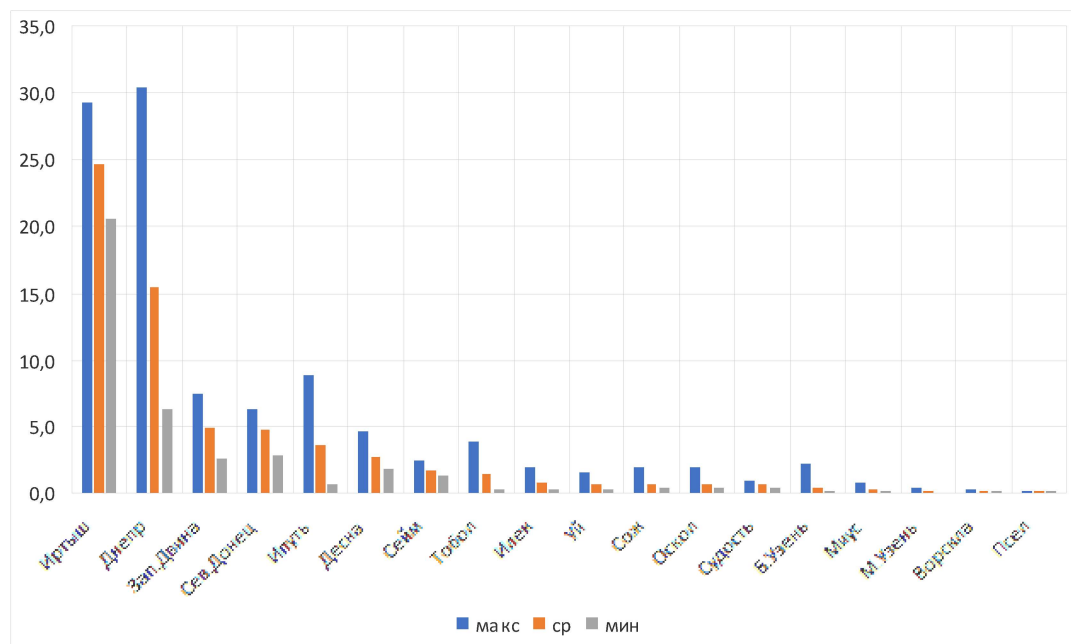


Рисунок 1. Среднегодовые, максимальные и минимальные объёмы речного стока воды исследованных рек (км³/год, ось ОУ), усреднённые за период 1993-2013 гг.

Figure 1. Average annual, maximum and minimum volumes of river water flow of the rivers studied (km³/year, the OY axis), averaged over the period 1993-2013

Сравнение рек по объёмам годового стока воды на трансграничных постах, усреднённым за период с 1993 по 2013 гг.

Для сравнения изучаемых рек по количественным характеристикам водного стока на рисунке 1 показаны их минимальные, максимальные и средние объёмы годового стока воды, усреднённые за период 1993-2013 гг. на трансграничных постах наблюдений.

Средние за период с 1993 по 2013 гг. объёмы стока в реках варьируют в широком диапазоне: от 0,11 км³/год (р. Псёл) до 24,7 км³/год (р. Иртыш). Второе место по объёму стока занимает река Днепр – 15 км³/год. В реках Западная Двина, Северский Донец, Ипуть и Десна средний многолетний объём речного стока находится в пределах от 2,6 до 4,8 км³ в год (реки ранжированы в порядке уменьшения объёма стока).

Реки Сейм и Тобол имеют близкие средние многолетние объёмы стока в пределах 1,4 и 1,66 км³/год.

К рекам, имеющим средние многолетние объёмы стока воды менее 1 км³/год, относятся Илек, Уй, Сож, Оскол, Судость, Большой Узень, Миус, Малый Узень, Ворскла и Псёл. Они перечислены также в порядке уменьшения объёма стока от 0,71 до 0,11 км³/год. Следует отметить, что река Днепр имеет самую значительную в изучаемом ряду рек амплитуду между максимальным и минимальным значением объёмов стока.

Характеристика рек на трансграничных постах по относительным объёмам стока, загрязнённого единичными химическими компонентами

В таблице 2 представлены усреднённые за весь период наблюдений 1993-2013 гг. относительные объёмы стока рек ($V_{\text{заг}}\%$), загрязнённого единичными химическими компонентами, на трансграничных гидрохимических пунктах наблюдений.

Далее для удобства изложения материала доля объёма стока, загрязнённого единичным

химическим компонентом, условно будет называться:

- значительной - более 70%;
- в средних пределах – в диапазоне 30-70%;
- ниже средних пределов – в диапазоне 10-30%;
- низкой – в диапазоне 1-10%;
- незначительной – менее 1%.

Как следует из таблицы 2, в преобладающем большинстве рек значительная доля объёма стока загрязнена органическими веществами по ХПК, лабильными органическими веществами по БПК₅, Fe_{общ} и Cu²⁺. В меньшем количестве рек она была в средних пределах, в единичных случаях ниже средних. В одной реке $V_{\text{заг}}\%$ для Cu²⁺ был незначителен и в одной совсем отсутствовал.

Доля объёма стока, загрязнённого азотсодержащими биогенными компонентами, в большинстве рек находится в средних и ниже средних пределах. Только в четырех реках объём стока, загрязнённого NO₂⁻, значителен. $V\%$, загрязнённый Р_{мин}, в большинстве рек, трансграничных с Украиной, ниже средних пределов, а в реках на границе с Беларусью и Казахстаном низкий, незначительный либо совсем отсутствует.

Из специфических загрязняющих веществ доля объёма стока, загрязнённая только нефтепродуктами, достигает значительных величин в четырёх реках, а в остальных случаях находится в основном в средних и ниже средних пределах. В трёх реках загрязнение нефтепродуктами полностью отсутствует. Относительный объём стока, загрязнённый фенолами, находится в средних и ниже средних пределах и отсутствует в четырёх реках.

Объём стока, загрязнённого СПАВ, низкий или незначительный, нет загрязнения стока СПАВ в восьми реках.

Значительные величины $V_{\text{заг}}\%$ для SO₄²⁻ отмечены в четырех реках, для Mg²⁺ – в двух. Почти во всех реках на границе с Украиной и Беларусью загрязнение этими ионами либо отсутствует либо является низким и незначительным. В реках на границе с Казахстаном $V_{\text{заг}}\%$ для Mg²⁺ и SO₄²⁻ в основном находится ниже среднего уровня.

Таблица 2. Относительные объёмы стока рек, загрязнённые единичными химическими компонентами, усреднённые за период 1993-2013 гг.

Table 2. Average for the period 1993-2013 relative volumes of runoff contaminated by single hydrochemical components

Река	V _{зг} %											
	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Нефте-продукты	Фенолы	СПАВ	P _{мин}	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	Cu ²⁺	БПК ₅	ХПК	Fe _{общ.}
Граница России с Беларусью												
Западная Двина	0,4	0	19,2	41,3	18,5	3,2	13,9	13,3	75,3	51,3	87,0	97,8
Днепр	0,5	0	24,3	45,7	27,5	1,6	20,0	39,1	84,8	79,2	89,2	96,6
Сож	4,0	0	18,8	18,4	0	0	5,1	6,3	74,1	51,9	91,0	91,0
Ипуть	0	0	0	0	0	0,4	60,5	15,7	0	83,9	93,5	99,7
Граница России с Украиной												
Судость	0	0	0	-	0	9,1	58	46,1	0,8	96,7	99,6	99,4
Десна	0	0	0	0	0	1,8	55,4	27,9	-	80,2	94,0	98,1
Сейм	0	0	55,1	0,3	4,2	26,5	26,5	60,9	76,6	49,5	68,6	48,7
Псел	0,7	2,6	70,2	0	7,2	22,3	42	77,2	99	68,2	91,6	26,4
Ворскла	1	21,4	52,8	25,0	0,7	38,7	56,8	39,6	39,2	71,5	35,1	49,0
Оскол	0	9,1	56,0	36,9	0	25,7	31,6	78,4	47,9	62,2	35,1	31,1
Северский Донец	76,9	100	74,1	14,1	0	22	21,6	100	59,3	71,2	96,4	82,0
Миус	97,4	100	79,5	57,7	0	12,6	17,1	59,9	81,3	85,4	95,4	84,6
Граница России с Казахстаном												
Большой Узень	26,1	15,2	17,9	31,1	2,5	6,8	39,9	54,1	52,0	37,1	99,4	61,7
Малый Узень	14,7	13,3	20,2	35,8	2,5	8,1	36,2	49,9	57,0	24,6	99,2	47,5
Илек	5,2	49,2	36,9	0	0	9,4	45,8	94,4	64,2	100	100	37,6
Иртыш	0	0,1	60,6	56,2	1,9	0,1	28,4	9,8	98,1	46,4	60,4	69,5
Тобол	28,6	90,5	66,3	31,6	3,8	-	59,7	24,4	99,4	-	91,3	92,1
Уй	19,4	80,0	75,3	32,4	0,2	-	26	32,2	99,7	-	91,4	93,7

Примечание. Знак «-» означает отсутствие измеренных единичных химических компонент.

Группирование 18 рек, трансграничных с Украиной, Беларусью и Казахстаном, по относительным объёмам стока, загрязнённого двенадцатью единичными химическими компонентами, с использованием факторного анализа

Показать в чём сходство и различие между сравниваемыми реками по сочетанию относительных объёмов стока, загрязнённых

двенадцатью разными единичными компонентами, возможно применив факторный анализ, с помощью которого используется дисперсия большого числа эмпирических данных.

Мерой сходства между сравниваемыми реками явилась корреляционная матрица, которая обрабатывалась по методу главных компонент, в результате чего была получена матрица главных факторов, выражающая состав факторов через исходные переменные.

Таблица 3. Матрица основных факторов, определяющих варьирование, усреднённых за период 1993-2013 гг. относительных объёмов стока, загрязнённых единичными химическими компонентами, в ряду восемнадцати трансграничных рек

Table 3. A matrix of the main factors determining the variation, averaged over the period 1993-2013 relative volumes of runoff contaminated by single hydrochemical components for eighteen transboundary rivers

Переменные	Без вращения		После вращения	
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 1	Фактор 2
$V_{\text{заг}}\% \text{Mg}^{2+}$	-0,653079	-0,300413	0,717286	0,047544
$V_{\text{заг}}\% \text{SO}_4^{2+}$	-0,930024	-0,019749	0,826787	0,426332
$V_{\text{заг}}\% \text{Нефтепродукты}$	-0,870939	-0,301359	0,909207	0,150647
$V_{\text{заг}}\% \text{Фенолы}$	-0,720529	0,171919	0,551229	0,494838
$V_{\text{заг}}\% \text{СПАВ}$	-0,805543	0,342015	0,544797	0,684886
$V_{\text{заг}}\% \text{Р}_{\text{мин}}$	-0,878793	-0,049973	0,796181	0,375327
$V_{\text{заг}}\% \text{NH}_4^+$	-0,795922	0,086969	0,658017	0,456146
$V_{\text{заг}}\% \text{NO}_2^-$	-0,831623	0,492014	0,496158	0,829158
$V_{\text{заг}}\% \text{Cu}^{2+}$	-0,793782	-0,539589	0,955050	-0,095535
$V_{\text{заг}}\% \text{БПК}_5$	-0,898343	0,022150	0,778955	0,448041
$V_{\text{заг}}\% \text{ХПК}$	-0,475535	0,696612	0,085597	0,839092
$V_{\text{заг}}\% \text{Fe}_{\text{общ}}$	-0,712927	-0,392292	0,813718	-0,004654
Доля общей дисперсии, %	62,39	12,59	51,11	23,92

Из таблицы 3 следует, что на варьирование относительных объёмов стока в трансграничных пунктах восемнадцати рек, загрязнённых единичными химическими компонентами, в основном оказывает влияние фактор 1, состав которого выражен через выделенные в таблице полужирным шрифтом объёмы стока, загрязнённые десятью единичными компонентами. Этот фактор составляет более 60% суммарной дисперсии. Фактор 2 составляет немного более 12% суммарной дисперсии. Уменьшение доли фактора 1 путём вращения осей, позволяет увидеть состав фактора 2 через варьирование относительных объёмов стока, загрязнённых NO_2^- , ХПК, а при большем уменьшении влияния фактора 1 и СПАВ.

Далее (рисунок 2) по численным значениям первых двух факторов было произведено группирование случаев (трансграничных пунктов рек).

Очевидно, что в левой части графика расположены все реки, трансграничные с Беларусью и Украиной, а в правой – трансграничные с Казахстаном.

Реки, трансграничные с Казахстаном, относящиеся к водной системе Тобол – Иртыш – Обь – Карское море, расположены в нижней правой части графика.

Особое место среди них занимает Иртыш¹ (точка 1) – самая длинная река-приток в мире, которая течёт из Казахстана в Россию. Река Иртыш жизненно важная артерия не только для Казахстана, но и для всего региона Евразии. Река берет начало в Китае на восточных склонах хребта Монгольский Алтай. В целом благополучие казахстанского и российского участков реки зависит от действий Китая. Китай отбирает часть стока верхнего (Черного) Иртыша. Согласно экспертным оценкам, за последние тридцать лет сток Иртыша уменьшился в 3 раза. Безусловно, интенсивное потребление иртышской воды тремя крупнейшими странами материка Евразия не может не сказываться на состоянии реки. Следует отметить, что проекция реки на графике существенно удалена от проекции притоков.

¹Иртыш // Малый энциклопедический словарь: в 4 т. Т. 3. СПб.: Брокгауз-Ефрон, 1907.

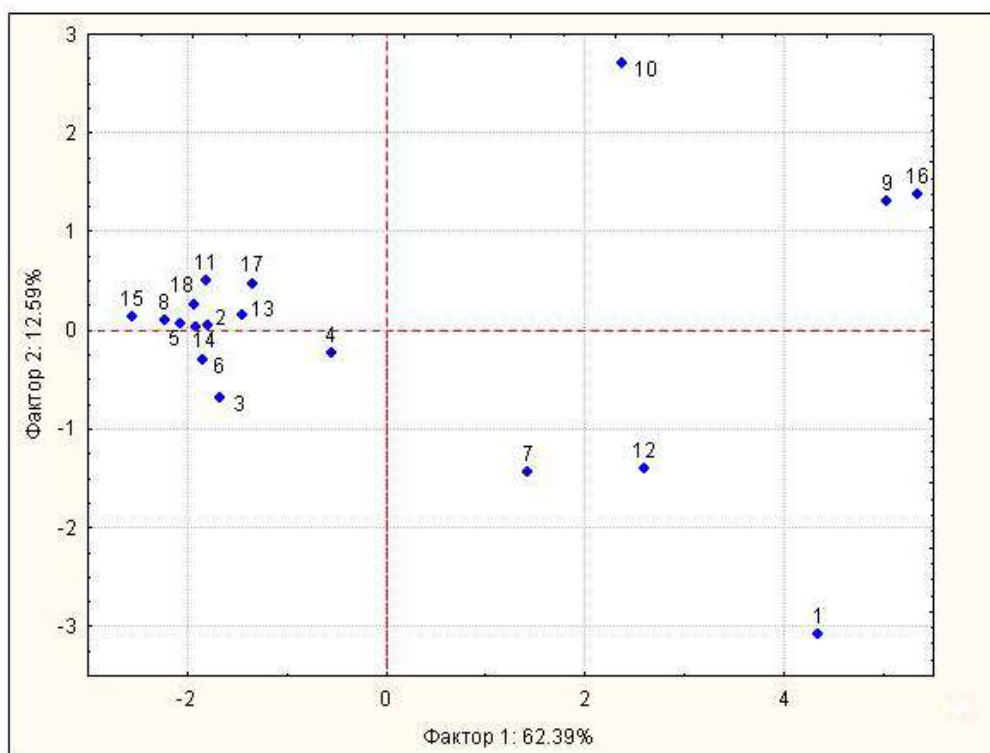


Рисунок 2. Проекция случаев (трансграничных пунктов рек) в координатах главных факторов, определяющих варьирование усреднённых за 1993-2013 гг. величин $V_{\text{заг}}\%$ для единичных химических компонентов в ряду восемнадцати трансграничных рек. Индексы соответствуют рекам: 1 – Иртыш, 2 – Ипут, 3 – Западная Двина, 4 – Северский Донец, 5 – Днепр, 6 – Десна, 7 – Тобол, 8 – Сейм, 9 – Большой Узень, 10 – Илек, 11 – Оскол, 12 – Уй, 13 – Сож, 14 – Судость, 15 – Миус, 16 – Малый Узень, 17 – Ворскла, 18 – Псёл

Figure 2. Projection of cases (transboundary river points) in the coordinates of the main factors determining the variation of averaged for 1993-2013 values $V_{\text{poll}}\%$ for single hydrochemical components. Indexes correspond to rivers: 1 – Irtysh, 2 – Iput, 3 – Zapadnaya Dvina, 4 – Seversky Donets, 5 – Dnipro, 6 – Desna, 7 – Tobol, 8 – Seim, 9 – B. Uzen, 10 – Ilek, 11 – Oskol, 12 – Uy, 13 – Sozh, 14 – Sudost, 15 – Mius, 16 – M. Uzen, 17 – Vorskla, 18 – Psel

Река Тобол (точка 7) – левый и самый многоводный приток Иртыша [Ресурсы поверхностных вод СССР, 1980], течёт из Казахстана в Россию. Данная река образуется на границе восточных отрогов Южного Урала и Тургайской столовой страны. Река Уй (точка 12) является притоком реки Тобол [Государственный водный кадастр, 1978]. Исток реки – подножье хребта Алабия. Протекает она вдоль границы с Казахстаном.

Особое место в правой верхней части графика занимает река Илек (точка 10), являющаяся самым крупным левобережным притоком реки Урал [Ресурсы поверхностных вод СССР, 1966]. Его истоки находятся на северо-западных склонах Мугоджар. Она течёт из

Казахстана в Россию и относится к водной системе Урал→Каспийское море.

В правой верхней части графика находятся две очень схожие реки Большой Узень (точка 9) и Малый Узень (точка 16). Обе реки относятся к водной системе Камыш – Самарские озёра [Ресурсы поверхностных вод СССР, 1966]. Они берут начало в России и текут в Казахстан. Это – степные реки внутреннего стока. Большой Узень берёт начало на юго-западных склонах Общего Сырта, Малый Узень зарождается в Ершовском районе Саратовской области. В Казахстане реки переходят в обширную систему мелких озёр и болот, известных под именем Камыш-Самарских. С 1973 года Саратовским оросительно-обводнительным каналом каждый год с апреля по

ноябрь осуществляется подача волжской воды в исток Большого Узенья. Проекция обеих рек на графике находятся рядом.

Большинство рек, трансграничных с Беларусью и Украиной, относятся к водной системе Днепр – Чёрное море [Государственный водный кадастр, 1984] и текут из России в Беларусь или Украину. У реки Днепр (точка 5) исток находится у деревни Бочарово, его устье - Днепровский лиман в Черном Море. Реки Сож (точка 13), Ворскла (точка 17), Десна (точка 6) и Псёл (точка 18) являются одними из многочисленных притоков реки Днепр и относятся к той же водной системе. Приток реки Сож река Ипуть (точка 2) и притоки реки Десна река Сейм (точка 8) и река Судость (точка 14) соответственно тоже относятся к водной системе Днепр – Чёрное море. Точки с номерами этих рек на графике образуют довольно плотное облако в левой части графика.

Немного ниже его находится точка 3 – река Западная Двина¹. Она берёт своё начало в России на Валдайской возвышенности и впадает в Рижский залив Балтийского моря в городе Рига. Река относится к водной системе Балтийского моря.

Река Миус (точка 15) течёт из Украины в Россию [Ресурсы поверхностных вод СССР, 1975]. Она берёт начало на склонах Донецкого кряжа и впадает в Миусский лиман. Река относится к водной системе река Миус – Азовское море. Точка 15 находится немного левее плотного облака точек.

Река Северский Донец (точка 4) – самая крупная река восточной Украины и наиболее крупный приток Дона [Ресурсы поверхностных вод СССР, 1964]. Северский Донец берёт начало на Среднерусской возвышенности, около села Подольхи в Прохоровском районе Белгородской области России. Река течёт через Украину в Россию и впадает в реку Дон. Река образует водную систему Северский Донец – Дон →

Азовское море. Крупнейший приток Северского Донца – река Оскол (точка 11), её исток находится в селе Погожее Тимского района Курской области. Оскол течёт из России в Украину, впадает в Северский Донец. Но несмотря на то, что он относится к той же водной системе, на графике проекция трансграничного пункта реки находится от него в удалении и существенно ближе к рекам водной системы Днепр – Чёрное море.

Таким образом, два главных фактора через относительные объёмы стока восемнадцати рек, загрязнённых двенадцатью единичными химическими компонентами, усреднёнными за двадцать один год, в основном объединяют реки по их принадлежности к соответствующей водной системе.

Группы рек распределены не только вдоль оси основного фактора 1, но и фактор 2 оказывает существенное влияние на вертикальное ранжирование проекций рек. Наиболее чётко вдоль оси фактора 2 на четыре группы разделились реки России, трансграничные с Казахстаном (таблица 4). Сочетанием наибольшего расхода воды и площади водосбора, а также модулем стока $1,31 \text{ л/км}^2$ отличается река Иртыш (точка 1). Она занимает особое положение на рисунке 2. Меньше расход воды и площади водосборов, а также более низкие показатели модуля стока у рек Тобёл и Уй. Их проекции расположены на графике достаточно близко. Река Илек имеет при таком же расходе воды как река Уй более высокий модуль стока с водосбора и проектируется на рисунке 2 особняком. Реки Большой и Малый Узени достаточно близки по представленным показателям и их проекции находятся на рисунке рядом, что говорит о взаимосвязи варьирования в ряду рек относительных объёмов загрязнённого стока с их бассейновыми геосистемами.

¹ Западная Двина (река) // Большая советская энциклопедия: в 30 т. Т.9 / гл. ред. А. М. Прохоров. М.: Советская энциклопедия, 1972. 608 с.

Таблица 4. Реки России, трансграничные с Казахстаном, объединённые в группы по средним за 1993-2013 гг. расходам воды, модулям стока и площадям водосборов

Table 4. Rivers of Russia, transboundary with Kazakhstan, grouped by average for 1993-2013 water, flow rates, modulus and catchment areas

Группы	№ на графике	Реки	Гидрологические пункты наблюдений	$Q_{ср.}, \text{м}^3/\text{с}$	Площадь водосбора в пункте наблюдений, км^2	Модуль стока с водосбора $\text{л}/\text{км}^2$
1	1	Иртыш	с. Татарка	782,1	596000	1,31
2	7	Тобол	с. Звериноголовское	44,5	143000	0,31
	12	Уй	с Усть-Уйское	22,2	34400	0,65
3	10	Илек	п. Весёлый	22,7	17200	1,32
4	9	Большой Узень	г. Новоузенск	12,8	7480	1,71
	16	Малый Узень	с. Малый Узень	5,8	3930	1,48

Группирование рек, трансграничных с Украиной и Беларусью, относящихся к водной системе Днепр – Чёрное море, по относительным объёмам стока, загрязнённого единичными химическими компонентами, с использованием факторного анализа

Для подтверждения взаимосвязи варьирования в ряду рек относительных объёмов стока, загрязнённых единичными химическими компонентами, с их бассейнами было произведено группирование рек, относящихся к одной водной системе Днепр – Чёрное море (таблица 5).

Из таблицы 5 следует, что на варьирование долей объёмов стока, загрязнённых единичными гидрохимическими компонентами, в трансграничных пунктах восьми рек в основном оказывает влияние фактор 1. Состав фактора выражен через выделенные в таблице полужирным шрифтом относительные объёмы стока, загрязнённого шестью единичными компонентами. Этот фактор составляет более 50% суммарной дисперсии. Фактор 2 составляет немного более 22% суммарной дисперсии и реализуется через $V_{заг}\%$ для $\text{Fe}_{общ}$ и $V_{заг}\%$ для Cu^{2+} .

Уменьшение роли фактора 1 путём вращения осей, усиливает значение $V_{заг}\%$ для фенолов.

По численным значениям первых двух факторов было произведено группирование (рисунок 3) случаев (трансграничных пунктов рек).

В координатах двух главных факторов трансграничные пункты рек водной системы Днепр – Чёрное море разделились на 5 групп (рисунок 3, таблица 6). Как оказалось, эти группы рек также отличаются по величинам средних расходов воды и модулями стока за период 1993-2013 гг., а также размерами площадей водосборов.

Так, в первой группе рек $Q_{ср}$ находится в пределах 488,7-83,3 $\text{м}^3/\text{с}$, значения модуля стока с водосбора варьируют от 34,66 до 6,08 $\text{л}/\text{км}^2$. В реках второй группы значения $Q_{ср}$ варьирует в пределах 52,6-19,8 $\text{м}^3/\text{с}$ и модуль стока – 3,82-2,91 $\text{л}/\text{км}^2$. Река Сож (условно третья группа) хотя и имеет значение $Q_{ср}$ 22,0 $\text{м}^3/\text{с}$, отличается от предыдущей группы рек более высоким значением модуля стока 8,46 $\text{л}/\text{км}^2$. Реки Ворскла и Псёл (условно четвёртая и пятая группы) очень близки по всем показателям, но, несмотря на этот факт, обе реки имеют резко различные проекции по фактору 2.

Эти данные подтверждают, что флуктуации относительных объёмов стока, загрязнённого

единичными химическими компонентами, в ряду рек являются отражением функционирования соответствующей бассейновой геосистемы.

Для того чтобы раскрыть содержание фактора 2, необходимо выяснить в чём особенности рек Псёл, Ворскла и Сож, проекции которых ранжированы вдоль его оси. Территории формирования стока этих рек находятся в разных частях Восточно-Европейской (Русской) равнины и разных административных высоко освоенных областях Российской Федерации. Сток реки Сож формируется в западной и центральной части равнины в Смоленской области, реки Псёл – в центральной части Восточно-Европейской равнины Курской области. Река Ворскла

начинается в юго-западных и южных склонах Среднерусской возвышенности Белгородской области России. Качество речного стока воды зависит не только от природных, но и в значительной мере от антропогенных нагрузок в бассейновых трансграничных геосистемах.

В географическом аспекте на территории трансграничной зоны с севера на юг и юго-запад уменьшается удельный вес площади водосбора, покрытой лесом, и соответственно увеличивается распаханность водосбора с 30-33% территории на севере до 63-65% – на юге¹. В настоящее время в Курской области распаханно до 80% водосборов [Головина, 2015].

Таблица 5. Матрица основных факторов, определяющих варьирование, усреднённых за период 1993-2013 гг. относительных объёмов стока, загрязнённых единичными химическими компонентами, в ряду восьми трансграничных рек, относящихся к водной системе Днепр – Чёрное море

Table 5. Matrix of the main factors determining the variation, averaged over the period 1993-2013, of the relative volumes runoff polluted by single chemical components, in a series of eight transboundary rivers belonging to the Dnieper – Black Sea water system

Переменные	Без вращения факторных осей		После вращения факторных осей	
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 1	Фактор 2
$V_{\text{заг}}\% \text{Mg}^{2+}$	-0,153526	-0,416246	-0,040831	-0,029933
$V_{\text{заг}}\% \text{SO}_4^{2-}$	-0,886420	-0,301759	0,857681	-0,009615
$V_{\text{заг}}\% \text{Нефтепродукты}$	-0,848291	0,089501	0,842952	0,252054
$V_{\text{заг}}\% \text{Фенолы}$	0,558808	-0,674788	-0,332796	-0,897074
$V_{\text{заг}}\% \text{СПАВ}$	-0,865271	-0,172986	0,760535	0,189883
$V_{\text{заг}}\% \text{P}_{\text{мин}}$	-0,930511	0,036478	0,971720	0,093774
$V_{\text{заг}}\% \text{NH}_4^+$	0,550265	0,684755	-0,670050	0,619405
$V_{\text{заг}}\% \text{NO}_2^-$	-0,930511	0,036478	0,971720	0,093774
$V_{\text{заг}}\% \text{Cu}^{2+}$	-0,125285	0,822950	0,047271	0,671221
$V_{\text{заг}}\% \text{БПК}_5$	-0,930511	0,036478	0,971720	0,093774
$V_{\text{заг}}\% \text{ХПК}$	-0,578503	-0,314441	0,414523	0,061197
$V_{\text{заг}}\% \text{Fe}_{\text{общ}}$	0,466270	-0,818918	-0,277466	-0,945016
Доля общей дисперсии, %	50,48	22,31	47,25	22,19

¹ Доклад «О состоянии и охране окружающей среды на территории курской области в 2009 г.» Курск: Минприроды, 2010. 172 с.

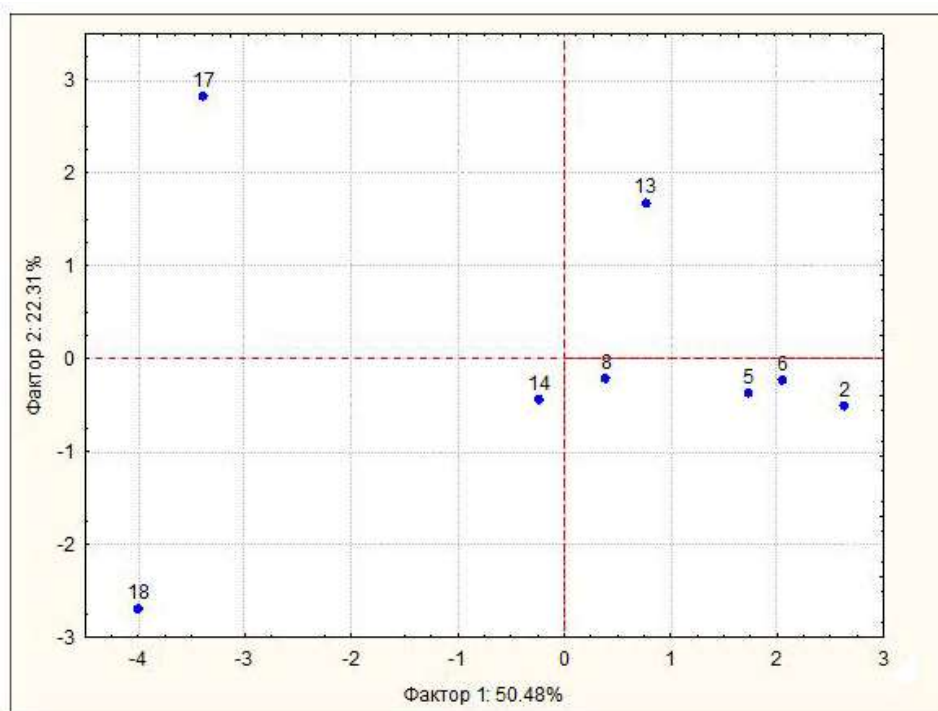


Рисунок 3. Проекция случаев (трансграничных пунктов рек водной системы Днепр – Чёрное море) в координатах главных факторов, определяющих варьирование усреднённых за 1993-2013 гг. величин $V_{\text{заг}}\%$ для единичных химических компонентов, в ряду восьми трансграничных рек. Индексы соответствуют рекам:

2 – Ипуть, 5 – Днепр, 6 – Десна, 8 – Сейм, 13 – Сож, 14 – Судость, 17 – Ворскла, 18 – Псёл

Figure 3. Projection of cases (transboundary points of the rivers of the Dnieper-Black Sea water system) in the coordinates of the main factors determining the variation of the values $V_{\text{poll}}\%$ averaged for 1993-2013 for single hydrochemical components. Indexes correspond to rivers:

2 – Iput, 5 – Dnipro, 6 – Desna, 8 – Seim, 13 – Sozh, 14 – Sudost, 17 – Vorskla, 18 – Psel

Таблица 6. Реки водной системы Днепр – Чёрное море, объединённые в группы по средним за 1993-2013 гг. расходам воды, модулям стока и площадям водосборов

Table 6. Rivers of the Dniper – Black Sea water system, grouped by average for 1993-2013 water flow rates, flow modules and catchment areas

Группы	№ на рисунке	Реки	Гидрологические пункты наблюдений	$Q_{\text{ср.}}, \text{ м}^3/\text{с}$	Площадь водосбора в пункте наблюдений, км^2	Модуль стока с водосбора, $\text{л}/\text{км}^2$
1	5	Днепр	г. Смоленск	488,7	14100	34,66
	2	Ипуть	с. Ущерпье	114,6	8110	14,13
	6	Десна	г. Брянск	83,3	13700	6,08
2	8	Сейм	г. Рыльск	52,6	18100	2,91
	14	Судость	г. Погар	19,8	5180	3,82
3	13	Сож	д. Ускосы	22,0	2600	8,46
4	17	Ворскла	с. Козинка	5,7	1870	3,05
5	18	Псёл	г. Обоянь	3,4	1100	3,09

Коэффициент увлажнения уменьшается по направлению с северо-запада на юго-восток, от зоны неустойчивого увлажнения к зоне недостаточного увлажнения. В сельском хозяйстве наиболее водоемкий потребитель – орошение. Из поступающей на поля орошения воды в речную сеть возвращается иногда меньше 10%. Вместе с тем в засушливых и полузасушливых районах орошение является жизненно необходимым для производства сельскохозяйственной продукции [Головина, 2015]. Водопотребление на хозяйственно-бытовые и производственные нужды и, особенно, добыча и переработка полезных ископаемых существенно увеличивают антропогенную нагрузку на реки. Верховья рек Псёл и Ворскла находятся в пределах Курской Магнитной аномалии. На Яковлевском руднике железные руды добывают шахтным способом, и шахтные воды через пруд отстойник сбрасывают в Ворсклу [Лобода, Пилипюк, 2012].

Разработка месторождений полезных ископаемых сопровождается резким снижением уровня подземных вод, выемкой и перемещением пустых и рудосодержащих пород при открытом способе добычи, образованием открытых карьеров, котлованов, стволов шахт, открытых и закрытых резервуаров, оседанием земной коры, дамб, плотин и других искусственных форм рельефа [Корнилов и др., 2010].

Реки Псёл и Ворскла зарегулированы шлюзами-регуляторами и плотинами ГЭС. У села Крапивное Белгородской области России на реке Ворскла находится водохранилище площадью 110 га и объёмом воды 3,41 млн. м³. Речной режим, искусственно трансформированный в озерный водообмен, замедлился, образовались зоны застоя. Водохранилища существенно ухудшили состояние прилегающих территорий: повысился уровень грунтовых вод даже на достаточно больших расстояниях от берегов, усилилась эрозия береговой зоны [Головина, 2015].

Реки Европейской территории России относятся к рекам Восточно-Европейского типа

водного режима. Для них свойственно прохождение более 50% годового стока за период весеннего половодья. За последние 30 лет водный режим рек данной территории претерпел серьёзные изменения. Этот период был не только самым тёплым, но и самым влажным за время наблюдений. Важным следствием этого служит рост потерь талого стока и повышенное питание подземных вод. Увеличение водности маловодного периода и снижение экстремальности маловодий фиксируется практически для всех рек Европейской территории России [Фролова и др., 2015].

Однако динамика превышения верхнего порогового значения (10% обеспеченности) имеет разнонаправленный характер. При этом количество экстремально маловодных и экстремально многоводных периодов связано между собой: коэффициент корреляции этой зависимости более 0,7. Таким образом, каждая река, обладая своими особенностями водного режима, имеет некую общую характеристику «экстремальности», характеризующую как количество маловодий, так и количество многоводий [Езерова, Киреева, Фролова, 2018].

Интерпретировать содержание фактора 2 без дополнительных данных весьма сложно. Хотя, можно предположить, что именно различия в общей характеристике «экстремальности» и даёт различный вклад в колебания $V_{\text{заг}}\%$ для $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Cu^{2+} и фенолов в этих реках, что требует дополнительных исследований.

Характеристика рек на трансграничных постах по относительным объёмам стока, загрязнённого совокупностью химических компонентов

В таблице 7 представлены усреднённые для всего периода наблюдений характеристики состояния загрязнённости стока, оценённые по классам и разрядам, а также дана средняя многолетняя оценка качества стока в долях $V_{\text{заг}}\%$, в соответствии с РД 52.24.643-2002.

Таблица 7. Характеристики качества речного стока по совокупности загрязняющих веществ, усреднённая за период 1993-2013 гг.
Table 7. Characteristics of the quality of river runoff by the aggregate of pollutants, averaged over the period 1993-2013

Пограничное государство	Река	Средняя многолетняя характеристика качества речного стока		Усреднённые за период 1993-2013 гг. частичные объёмы разной степени загрязнённости, оценённой по классам и разрядам									
		Характеристика стока воды	Класс разряд	1	2	3 «а»	3 «б»	4 «а»	4 «б»	4 «в»	4 «г»	5	
Беларусь	Ипуть	Слабо загрязнённый	2	20,81	60,89	18,3						5	
	Судость			2,67	78,08	18	0,75	0,51					
	Десна			15,64	75,31	9,05							
	Сейм			28,83	46,94	19,51	4,59	0,13					
	Полл			6,32	61,09	22,26	5,25	5,09					
Украина	Ворскла	Слабо загрязнённый	2	24,51	43,61	12,45	9,93	4,74	4,76				
	Днепр			1,6	23,49	21,5	26,87	22,35	4,19				
	Зап. Двина			4,49	20,98	28,76	29,65	14,69	1,43				
	Сож			6,46	31,67	31,34	17,46	13,07					
	Оскол			11,24	40,45	20,81	11,68	15,82					
Украина	Миус	Загрязнённый	3 «а»		28,53	27,84	14,5	22,48	6,29	0,36			
	М. Узень			12,27	35,92	16,84	6,92	17,67	0,81	9,57			
	Илек				16,96	40	25,05	15,62	2,37				
Казахстан	Б. Узень	Очень загрязнённый	3 «б»	2,35	13,08	14,49	41,4	14,3	11,01	3,37			
	Северский Донец	Грязный	4 «а»		16,54	3,55	16,3	27,98	25,88	4,15	5,6		
Иртыш	13,29			18,87	8,23	3,58	10,29	30,15	15,13	0,46			
Казахстан	Тобол	Грязный	4 «б»		6,68	0,05	2,33	12,94	16,6	39,16	11,38	10,86	
	Уй	Очень грязный	4 «в»			0,12	1,07	9,44	21,73	19,39	16,96	31,29	

Из 18 рек 6 на трансграничных постах имеют слабо загрязнённый сток второго класса. Это одна река, трансграничная с Беларусью: Ипуть; и 5 рек, трансграничных с Украиной: Судость, Десна, Сейм, Псёл и Ворскла. Водный сток 7 рек является загрязнённым третьего класса разряда «а». К этим рекам относятся 3 реки на границе с Беларусью: Днепр, Западная Двина и Сож; 2 реки на границе с Украиной: Оскол и Миус; а также 2 реки на границе с Казахстаном: Малый Узень и Илек. Ещё в одной реке на границе с Казахстаном в Большом Узене сток очень загрязнённый третьего класса разряда «б». Грязный сток четвёртого класса разряда «а» характерен для реки Северский Донец, трансграничной с Украиной, и реки Иртыш, трансграничной с Казахстаном. На границе с Казахстаном ещё более грязным стоком отличаются две реки. Река Тобол имеет сток четвёртого класса разряда «б» и река Уй отличается очень грязным стоком четвёртого класса разряда «в».

Эти оценки дают только самую обобщённую характеристику качества стока воды. Сток этих рек не однороден и содержит различные доли частичных объёмов разной степени загрязнённости, которые в свою очередь можно оценить по классам и разрядам (таблица 7). Даже сток реки, оценённый как слабо загрязнённый, состоит из трёх, пяти и даже шести, как в реке Ворскла, частичных объёмов разных классов загрязнённости. Однако преобладающей долей стока является $V_{\text{заг}}\%$ второго класса, а доля объёмов загрязнённого и грязного стока ничтожно мала.

Сток рек, классифицированный как загрязнённый, состоит из пяти-семи частичных объёмов. В стоке этих рек заметно уменьшение $V_{\text{заг}}\%$ второго класса и увеличение частичных объёмов загрязнённого и очень загрязнённого стока третьего класса разрядов «а» и «б», а в некоторых случаях и грязного стока воды четвёртого класса разряда «а». При этом доли условно чистого стока первого класса и очень загрязнённого стока четвёртого класса разряда «б» и «в» минимальны.

В стоке рек, оценённом как грязный четвёртого класса разряда «а» и разряда «б», частичные объёмы первого, второго и третьего классов обоих разрядов существенно уменьшаются, в то же время увеличиваются доли более загрязнённых частичных объёмов четвёртого класса «а», «б» и «в». В случае очень грязного стока, как в реке Уй, увеличиваются доли его частичных объёмов четвёртого класса разряда «г» и даже пятого класса.

В таблице 8 представлены характеристики качества речного стока водных систем по их принадлежности к соответствующей водной системе и приведены данные о состоянии загрязнённости их стока.

Обращает на себя внимание, что сток рек водной системы Днепр – Чёрное море в шести трансграничных пунктах является слабо загрязнённым второго класса и только в двух (реки Днепр и Сож) сток оценивается, как загрязнённый третьего класса разряда «а».

К загрязнённому стоку третьего класса разряда «а» относится сток рек водных систем: Урал – Каспийского, Азовского и Балтийского морей, а также водной системы Камыш – Самарских озёр. Исключением является сток реки Большой Узень, который является очень загрязнённым третьего класса разряда «б».

Сток рек в водной системе Иртыш – Обь – Карское море грязный и очень грязный четвёртого класса разрядов «а», «б» и «в».

В водной системе Северский Донец – Дон – Азовское море река Северский Донец и её приток имеют разные характеристики стока. Сток реки грязный четвёртого класса разряда «а», а сток притока загрязнённый третьего класса разряда «а». Они пересекают государственную границу в противоположных направлениях.

Следует отметить, что почти все реки, сток которых относится ко второму, третьему классу разрядов «а» и «б», кроме рек Миус и Илек, текут из России в соседние государства. Все реки четвёртого класса разрядов «а», «б» и «в», трансграничные с Украиной и Казахстаном, несут свои грязные и очень грязные воды из сопредельных государств в Россию.

Таблица 8. Сравнение характеристик качества речного стока водных систем, вычисленных по совокупности загрязняющих веществ

Table 8. Comparison of water systems according to the characteristics of river flows, calculated by the totality of pollutants

Водная система	Реки и направление течения*	Характеристика стока воды	Класс Разряд
Иртыш – Обь- Карское море	Иртыш (+)	Грязный	4 «а»
	Тобол (+)	Грязный	4 «б»
	Уй (0)	Очень грязный	4 «в»
р. Урал – Каспийское море(+)	Илек (+)	Загрязненный	3 «а»
Камыш – Самарские озёра.	Малый Узень (-)	Загрязненный	3 «а»
	Большой Узень (-)	Очень загрязненный	3 «б»
Днепр – Чёрное море	Днепр (-,0)	Загрязненный	3 «а»
	Сож (0)	Загрязненный	3 «а»
	Ворскла (-)	Слабо загрязненный	2
	Десна (-)	Слабо загрязненный	2
	Псёл (-)	Слабо загрязненный	2
	Ипуть (-,0)	Слабо загрязненный	2
	Сейм (-)	Слабо загрязненный	2
	Судость (-)	Слабо загрязненный	2
Азовское море	Миус (+)	Загрязненный	3 «а»
Северский Донец – Дон – Азовское море	Северский Донец (+)	Грязный	4 «а»
	Оскол (-)	Загрязненный	3 «а»
Балтийское море	Западная Двина (-)	Загрязненный	3 «а»

* Примечание: (0) – река течёт вдоль границы, (-) – из России в пограничное государство, (+) – из пограничного государства в Россию.

Таблица 9. Матрица основных факторов, определяющих варьирование, усреднённых за период 1993-2013 гг. частичных объёмов стока, загрязнённых совокупностью химических компонентов и различающихся по классам и разрядам, в ряду восемнадцати трансграничных рек

Table 9. Matrix of the main factors determining the variation, averaged over the period 1993-2013, of the partial volumes of runoff contaminated by sets of hydrochemical components and estimated by classes and ranks for eighteen transboundary rivers

Переменные (объём, класс и разряд)	Без вращения факторных осей			После вращения факторных осей		
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
$V_{\text{заг}}\%$ 1	0,594275	0,040590	-0,211237	-0,571608	-0,242521	-0,117811
$V_{\text{заг}}\%$ 2	-0,824133	-0,195251	0,394340	0,898144	0,200425	0,161213
$V_{\text{заг}}\%$ 3 «а»	-0,461508	0,756775	-0,268650	-0,064908	0,923935	-0,001487
$V_{\text{заг}}\%$ 3 «б»	-0,634932	-0,466022	-0,512902	0,275010	0,105333	0,892557
$V_{\text{заг}}\%$ 4 «а»	-0,548591	-0,478674	-0,602295	0,160748	0,069866	0,928504
$V_{\text{заг}}\%$ 4 «б»	-0,608128	-0,402107	0,551481	0,903811	-0,122354	0,061605
$V_{\text{заг}}\%$ 4 «в»	-0,773550	0,298268	0,058705	0,502667	0,649147	0,129322
$V_{\text{заг}}\%$ 4 «г»	-0,781917	0,521887	-0,065542	0,363399	0,862796	0,107612
Доля общей дисперсии, %	44,11	19,77	15,12	30,51	26,87	21,63

Группирование 18 рек, трансграничных с Украиной, Беларусью и Казахстаном, по частичным объёмам стока, загрязнённым совокупностью химических компонентов, и оценённым по классам и разрядам

Из таблицы 9 следует, что на варьирование частичных объёмов стока в трансграничных пунктах восемнадцати рек, загрязнённых совокупностью химических компонентов, и отличающихся по уровню загрязнённости, в основном оказывает влияние фактор 1. Состав

фактора выражен через выделенные в таблице полужирным шрифтом частичные объёмы стока, второго и четвертых классов. Этот фактор составляет более 44% суммарной дисперсии. Фактор 2 составляет немного более 19% суммарной дисперсии и реализуется через долю $V_{\text{заг}}\%$ третьего класса разряда «а». Уменьшение роли фактора 1 путем вращения осей, усиливает значение $V_{\text{заг}}\%$ четвертого класса разряда «г». По численным значениям первых двух факторов было произведено группирование (рисунок 4) случаев (трансграничных пунктов рек).

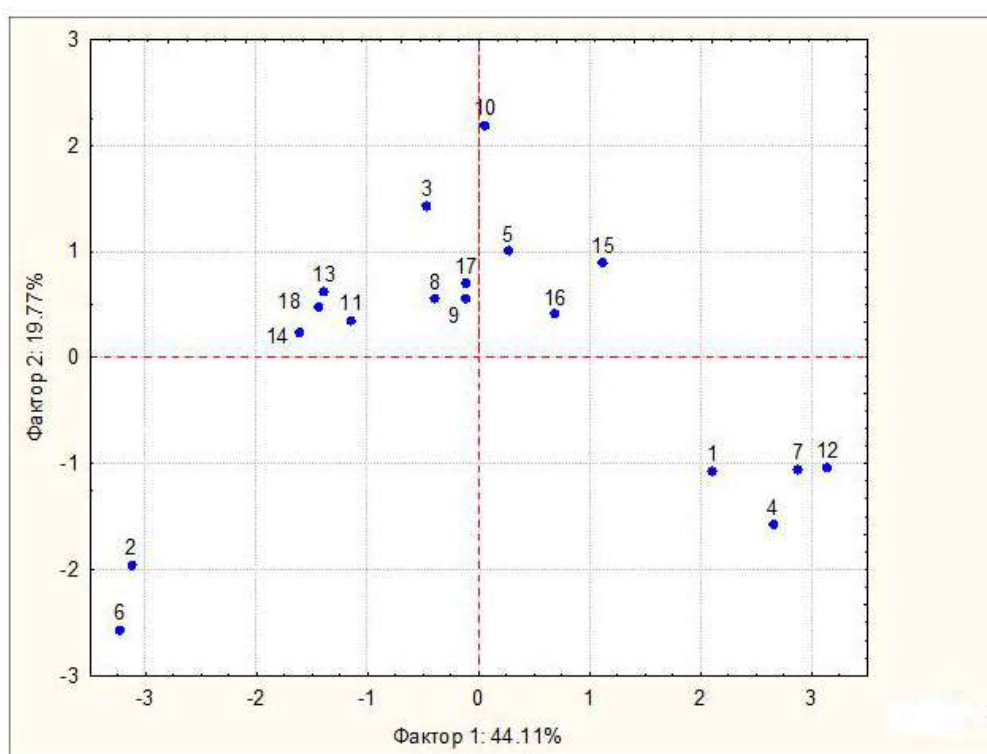


Рисунок 4. Проекция случаев (трансграничных пунктов рек) в координатах главных факторов, определяющих варьирование усреднённых за 1993-2013 гг. частичных объёмов стока, загрязнённых совокупностью химических компонентов, и оценённых по классам и разрядам, в ряду восемнадцати трансграничных рек. Индексы соответствуют рекам: 1 – Иртыш, 2 – Ипуть, 3 – Западная Двина, 4 – Северский Донец, 5 – Днепр, 6 – Десна, 7 – Тобол, 8 – Сейм, 9 – Большой Узень, 10 – Илек, 11 – Оскол, 12 – Уй, 13 – Сож, 14 – Судость, 15 – Миус, 16 – Малый Узень, 17 – Ворскла, 18 – Псёл

Figure 4. Projection of cases (transboundary river points) in the coordinates of the main factors determining the variation of the partial runoff volumes averaged for 1993-2013 contaminated with totallity of hydrochemical components and estimated by classes and categories for 18 transboundary rivers. Indexes correspond to rivers: 1 – Irtysh, 2 – Iput, 3 – Zapadnaya Dvina, 4 – Seversky Donets, 5 – Dnipro, 6 – Desna, 7 – Tobol, 8 – Seim, 9 – B. Uzen, 10 – Ilek, 11 – Oskol, 12 – Uy, 13 – Sozh, 14 – Sudost, 15 – Mius, 16 – M. Uzen, 17 – Vorskla, 18 – Psel

Как видно на рисунке 4 вдоль оси фактора 1 ранжированы проекции рек по возрастанию загрязнённости стока. Проекция рек Ипуть (точка 2), Судость (точка 14), Десна (точка 6) и Псёл

(точка 18) с условно чистым стоком второго класса при продвижении по оси вправо сменяются большим количеством пунктов с загрязнённым стоком третьего класса разряда «а». Далее проецируются пункты рек Иртыш (точка 1), Северский Донец (точка 4), Тобол (точка 7) и Уй (точка 12), имеющих грязный сток четвёртого класса разрядов «а», «б» и «в». Эту закономерность нарушают проекции трех рек, которые расположены в центре облака точек с загрязнённым стоком рек третьего класса разряда «а». Это реки Сейм и Ворскла с условно чистым стоком, и река Большой Узень с очень загрязненным стоком третьего класса разряда «б». Существенно влияет на вертикальное расположение проекций рек фактор 2, возможно его влияние сказывается и в данном случае.

Таким образом, группирование рек по частичным объемам стока, загрязнённым совокупностью химических компонентов и оценённым по классам и разрядам, не связано с их водными системами. Переменные являются оценочными характеристиками стока и оба

Группы	Водная система	Реки
1	Обь→Карское море	Иртыш, Тобол, Уй
2	Урал→Каспийское море	Илек
3	Камыш-Самарские озёра	Большой Узень, Малый Узень
4	Днепр – Чёрное море	Днепр, Сож, Ворскла, Десна, Псел, Ипуть, Сейм, Судость
5	Балтийское море	Западная Двина
6	Азовское море	Миус
7	Дон→ Азовское море	Северский Донец, Оскол

Наиболее чётко вдоль оси фактора 2 разделились реки России, трансграничные с Казахстаном. Они разделились на четыре группы по расходам воды, площади водосборов и модулю стока, что говорит о тесной связи качества стока рек с бассейновыми геосистемами.

1.2 В координатах двух главных факторов, содержание которых выражено через флуктуации $V_{\text{заг}}\%$ для единичных химических компонентов, реки водной системы Днепр – Чёрное море разделились на 5 групп, также отличающихся по величинам средних за период 1993-2013 гг. расходов стока рек, значениям модулей стока и по площадям водосборов

фактора через них могут группировать реки только по более обобщенным оценочным показателям.

Выводы

1 С помощью АПК для восемнадцати рек России, трансграничных с Беларусью, Украиной и Казахстаном были рассчитаны доли объемов стока рек ($V_{\text{заг}}\%$), загрязнённых двенадцатью единичными химическими компонентами, и усреднены за 1993-2013 гг.

1.1 Мерой сходства между сравниваемыми реками явилась корреляционная матрица, которая обрабатывалась по методу главных компонент, в результате чего была получена матрица главных факторов, выражающая состав факторов через исходные переменные.

Показано, что два главных фактора, содержание которых выражено через флуктуации $V_{\text{заг}}\%$ для единичных химических компонентов в ряду восемнадцати трансграничных рек, объединяют реки по их принадлежности к соответствующей водной системе:

Этот факт ещё раз подтверждает, что формирование долей объемов речного стока воды, имеющих сверхнормативные концентрации отдельных загрязняющих веществ, является конечным результатом круговорота вещества и энергии всей бассейновой геосистемы.

2 Для восемнадцати рек России, трансграничных с Беларусью, Украиной и Казахстаном, с помощью АПК были рассчитаны частичные объёмы стока, загрязнённые совокупностью химических веществ. Значения ($V_{\text{заг}}\%$) были также усреднены за 1993-2013 гг. и оценены по классам и разрядам в соответствии с РД 52.24.643-2002. Рассчитана также средняя многолетняя характеристики состояния

загрязнённости их стока, оценённая по классам и разрядам.

2.1 Показано, что сток рек водной системы Днепр – Чёрное море в шести трансграничных пунктах является слабо загрязненным второго класса и только в двух (реки Днепр и Сож) сток оценивается, как загрязнённый третьего класса разряда «а».

Сток рек в водной системе Иртыш - Обь – Карское море грязный и очень грязный четвертого класса разрядов «а», «б» и «в». К грязному стоку четвёртого класса разряда «а» относится река Северский Донец водной системы Дон – Азовское море. Сток рек остальных водных систем относится к загрязнённому третьего класса в основном разряда «а».

2.2 Все реки, сток которых относится ко второму, третьему классу разрядов «а» и «б», кроме рек Миус и Илек, текут из России в соседние государства. Все реки четвёртого класса разрядов «а», «б» и «в», трансграничные с Украиной и Казахстаном, несут свои грязные и

очень грязные воды из сопредельных государств в Россию.

2.3 Сток рек не однороден и содержит от трёх до восьми частичных объёмов разной степени загрязнённости, которые в свою очередь оценены по классам и разрядам.

С помощью факторного анализа показано, что главные факторы через частичные объёмы не группируют реки в соответствии с водными системами. Переменные являются оценочными характеристиками стока и главные факторы, выраженные через них, могут группировать реки только по более обобщенным оценочным показателям.

3. Таким образом, для изучения взаимосвязи величин объёмов речного стока воды, имеющих сверхнормативные концентрации загрязняющих веществ, с состоянием региональных геосистем необходимы обе характеристики качества стока, так как они дополняют друг друга.

Литература

Головина О.И. Геоэкологические проблемы поверхностных вод Курской области // Научно-исследовательские публикации. 2015. Т. 1. № 3 (23). С. 44-51.

Государственный водный кадастр: Основные гидрологические характеристики (за 1971-1975 гг. и весь период наблюдений): в 20-ти т. Т. 15. Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан: в 3 вып. Вып. 3. Нижний Иртыш и Нижняя Обь / Под ред. Н.Н. Романченко. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 129 с.

Государственный водный кадастр: Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши: в 20-ти т. Т. 1. РСФСР: в 26 вып. Вып. 2. Бассейн Днепра. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 148 с.

Езерова Н.Н., Киреева М.Б., Фролова Н.Л. Паводочный сток и его роль в изменении современного водного режима рек Европейской территории России // Сборник трудов конференции «Вторые Виноградовские чтения «Искусство гидрологии» (г. Санкт-Петербург,

References

Ezerova N.N., Kireeva M.B., Frolova N.L. Pavodochnyy stok i yego rol' v izmenenii sovremennogo vodnogo rezhima rek Yevropeyskoy territorii Rossii [Flood runoff and its role in changing the modern water regime of rivers in the European territory of Russia]. *Sbornik trudov konferentsii «Vtorye Vinogradovskie chteniya «Iskusstvo gidrologii» (g. Sankt-Peterburg, 18-22 noyabrya 2015) [Proceedings of the conference "The Second Vinogradov Readings" The Art of Hydrology "(St. Petersburg, November 18-22, 2015)].* St. Petersburg, Publ. of St. Petersburg State University, p. 228-231. (In Russian).

Frolova N.L., Kireeva M.B., Dzhamalov R.G., Retz E.P, Telegina E.A. Izmeneniya vodnogo rezhima i sezonnogo stoka rek ETR i ikh vliyanie na ekstremal'nye gidrologicheskie situatsii [Water regime and seasonal flow changes and their impact on the extreme hydrological events]. *Sbornik trudov chetvertoi vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Fundamental'nye problemy vody i vodnykh resursov» (g. Moskva, 15-18 sentyabrya 2015) [Proceedings of Fourth*

18-22 ноября 2015 г.). СПб: СПбГУ, 2018. С. 228-231.

Иберла К. Факторный анализ / Пер. с нем. В.М. Ивановой. М.: Статистика, 1980. 398 с.

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.

Корнилов А.Г., Колмыков С.Н., Кичигин Е.В. Гордеев Л.Ю. Сравнительная характеристика воздействия горнодобывающих предприятий КМА на экологическую ситуацию рек Белгородской области // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. №6. С. 134-139.

Лобода Н.С., Пилипюк В.В. Оценка экологического состояния рек Псёл и Ворскла по уровню использования вод в трансграничной зоне «Россия – Украина» // Вестник Одесского государственного экологического университета. 2012. Вып.14. С. 151-159.

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

Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность: в 20 т. Т. 7. Донской район. Бассейн р. Дона без бассейна р. Север. Донца / под ред. Д.Д. Мордухай-Болтовского. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 267 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность: в 20 т. Т. 12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан: в 2 вып. Вып. 2. Урало-Эмбинский район / под ред. З.Г. Марковой. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 152 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики: в 20 т. Том 6. Украина и Молдавия: в 4 вып. Вып. 3. Бассейн

Russian Scientific Conference «Fundamental Problems of Water and Water resources» (Moscow, September 15-18, 2015)]. Moscow, Publ. IVP RAN, 2015, pp. 345-348. (In Russian; abstract in English).

Golovina O.I. Geoekologicheskie problemy poverkhnostnykh vod Kurskoi oblasti [Geoenviromental problems of surface water Kursk region]. Nauchno-Issledovatel'skie Publikatsii [Journal of Scientific Research Publications], 2015, vol. 1. no. 3 (23), pp. 44-50. (In Russian, abstract in English).

Gosudarstvennyi vodnyi kadastr: Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za 1971-1975 gg. i ves' period nablyudenii): v 20-ti tomakh. Tom 15. Altai, Zapadnaya Sibir' i Severnyi Kazakhstan: v 3 vypuskakh. Vypusk 3. Nizhnii Irtysh i Nizhnyaya Ob' [State Water Cadastre: Basic hydrological characteristics (for 1971-1975 and the entire observation period): in 20 volumes. Volume 15. Altai, Western Siberia and Northern Kazakhstan: in 3 issues. Issue 3. Lower Irtysh and Lower Ob']. Ed. N.N. Romanchenko. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1978. 129 p. (In Russian).

Gosudarstvennyi vodnyi kadastr: Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi: v 20-ti tomakh. Tom 1. RSFSR: v 26 vypuskakh. Vypusk 2. Bassein Dnepra [State Water Cadastre: Long-term data on the regime and resources of land surface waters: in 20 volumes. Volume 1. RSFSR: in 26 issues. Issue 2. Dnieper basin]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1984. 148 s. (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).

р. Северского Донца и реки Приазовья. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 543 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность: в 20 т. Т. 11. Средний Урал и Приуралье: в 2 вып. Вып. 2. Тобол. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 280 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., 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. DOI: [10.34753/HS.2020.2.1.53](https://doi.org/10.34753/HS.2020.2.1.53)

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.

Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Джамалов Р.Г., Рец Е.П., Телегина Е.А. Изменения водного режима и сезонного стока рек ЕТР и их влияние на экстремальные гидрологические ситуации // Сборник трудов IV всероссийской научной конференции с международным участием «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов» (г. Москва, 15-18 сентября 2015 года). М.: ИВП РАН, 2015. С. 345-348.

Kornilov A.G., Kolmykov S.N., Kichigin E.V., Gordeev L.J. Sravnitel'naya kharakteristika vozdeystviya gornodobyvayushchikh predpriyatiy KMA na ekologicheskuyu situatsiyu rek Belgorodskoy oblasti [Comparative analysis of Kursk magnetic anomaly mining enterprises impact on ecological situation of rivers of Belgorod region]. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], 2010, no. 6, p.134-139. (In Russian).

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).

Loboda N.S., Pilipyuk V.V. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya rek Psel i Vorskla po urovnyu ispol'zovaniya vod v transgranichnoi zone «Rossiya – Ukraina» [Estimation of the ecological state of the rivers of Psel and Vorskla on level of the use in transformat area “Russia - Ukraine”]. *Vestnik Odesskogo gosudarstvennogo ekologicheskogo universiteta* [Bulletin of Odessa State Environmental University], 2012, iss. 14, pp. 151-159. (In Russian; abstract in English)

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost': v 20 vol. Vol 7. Donskoi raion. Bassein r. Dona bez basseina r. Sever. Dontsa. [Surface water resources of the USSR. Hydrological study: in 20 volumes. Volume 7. Don region. River basin Don without a pool r. North. Donets]. Mordukhai-Boltovskii D.D. (ed.). Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1964. 267 p. (In Russian).

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost': v 20 vol. Vol 12. Nizhnee Povolzh'e i Zapadnyi Kazakhstan: v 2 vyp. Vyp. 2. Uralo-Embinskii raion. [Surface water resources of the USSR. Hydrological study: in 20 volumes. Volume 12. Lower Volga region and Western Kazakhstan: in 2 issues. Issue 2. Ural-Emba region]. Markova Z.G. (ed.). Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1966. 152 p. (In Russian).

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki: v 20 vol. Vol. 6. Ukraina i Moldaviya: v 4 vyp. Vyp. 3. Bassein r. Severskogo Dontsa i reki Priazov'ya [Surface water resources of the USSR. Main hydrological characteristics: in 20 volumes. Volume 6. Ukraine and Moldova: in 4 issues. Issue 3. The pool r. Seversky Donets and the Azov River]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1975. 543 p. (In Russian).

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost': v 20 vol. Vol. 11. Srednii Ural i Priural'e: v 2 vyp. Vyp. 2. Tobol. [Surface water resources of the USSR. Hydrological study: in 20 volumes. Volume 11. Middle Urals and Urals: in 2 issues. Issue 2. Tobol]. Markova Z.G. (ed.). Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1980. 280 p. (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. 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)

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).

Überla K. *Faktorenanalyse*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1977. 400 p. (Russ. ed.: Überla K. *Faktornyi analiz*. Moscow, Statistika Publ., 1980. 398 p.)

ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНОЙ
ДОКУМЕНТАЦИИ
ISSUES OF IMPROVING REGULATORY DOCUMENTATION

УДК 551.506: 551.581.2: 551.582: 551.585.7

DOI: 10.34753/HS.2020.2.2.196

КЛИМАТ ГОРНОЙ СТРАНЫ
КАВКАЗ. КЛИМАТИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИШТ-
ОШТЕНСКОЙ ГОРНОЙ ГРУППЫ
И ПЛАТО ЛАГОНАКИ

CLIMATE OF THE CAUCASUS
MOUNTAINOUS COUNTRY.
CLIMATE CHARACTERISTICS OF
THE FISHT-OSHTEN MOUNTAIN
GROUP AND THE LAGONAKI
PLATEAU

Г.Л. Морозов

Главный инженер проекта, г. Сочи, Россия
gabion@list.ru

Georgy L. Morozov

Chief project engineer, Sochi, Russia
gabion@list.ru

Аннотация. Активное освоение горных территорий на Черноморском склоне Главного Кавказского хребта требует качественного выполнения инженерно-гидрометеорологических изысканий. В действующем Своде Правил СП 131.13330.2012 «Строительная климатология», являющийся актуализированной версией СНиП 23-01-99, отсутствует климатическое микрорайонирование территории Большого Кавказа и территорий, сопряженных с поселком Красная Поляна. Этот пробел приводит к серьёзным ошибкам при проектно-изыскательских работах, связанных с использованием неверных значений метеорологических характеристик. Диапазон высот, охваченных строительной деятельностью, занимает территорию от 550 до 2200 м. В этом диапазоне значения метеорологических характеристик изменяется в очень больших пределах. Предлагается методика климатического районирования территории горных районов на примере Фишт-Оштенской горной группы и плато Лагонаки. Климатическое районирование вышеуказанных горных территорий выполнено на основе изучения вертикальной зональности для Черноморского и Северного склонов Большого Кавказа с использованием данных экспедиционных исследований, проведённых в 2015 и 2016 гг. При

Abstract. Active development of mountain territories on the black sea slope of the Main Caucasian ridge requires high-quality engineering and hydrometeorological surveys. In the current Set of rules of SP 131.13330.2012 "Construction climatology", which is an updated version of SNiP 23-01-99, there is no climate microdistricting of the Greater Caucasus and territories associated with the settlement Krasnaya Polyana. This gap leads to serious errors in design and survey work associated with the use of incorrect values of meteorological characteristics. The range of heights covered by construction activities covers an area from 550 to 2200 m. In this range, the values of meteorological characteristics vary within very large limits. A method of climatic zoning of the territory of mountain areas is proposed on the example of the Fisht-Oshten mountain group and the Lagonaki plateau. Climate zoning of the above-mentioned mountain territories was performed based on the study of vertical zoning for the black sea and Northern slopes of the Greater Caucasus using data from expedition studies conducted in 2015 and 2016. During the climatic zoning of the mountain territories of the Greater Caucasus, a number of climatic regions were identified that are not included in SP 131.13330.2012. 5 new climatic regions are proposed, which are necessary for the climatic zoning of the black sea and Northern slopes of the

климатическом районировании горных территорий Большого Кавказа был выявлен ряд климатических районов, которые отсутствуют в СП 131.13330.2012. Предложено 5 новых климатических районов, выделение которых необходимо при климатическом районировании Черноморского и Северного склонов Кавказа. Анализ распределения осадков показал, что для Черноморского склона Кавказа (в пределах рассматриваемой территории) существует строго определенная зависимость их распределения с высотой местности. Такая же зависимость существует и для Северного склона Кавказа. По мере подъема в горы нормы осадков увеличиваются. Важно отметить, что абсолютное количество осадков и их распределение по высоте (вертикальная зональность) для Черноморского и Северного склона – разные. Составлена карта климатического районирования Большого Кавказа. В результате проведенной работы предлагается внести дополнения в приложение Б СП 131.13330.2012.

Ключевые слова: Кавказ; Северный склон; Черноморский склон; климатическое районирование; климатический район; инженерные изыскания

Введение

В настоящее время капитальным строительством охватывается всё большая территория Краснодарского края. В Южном Федеральном Округе, почти полностью освоив предгорья, оно продвигается все выше в горы Большого Кавказа.

Активное освоение горных территорий на Черноморском склоне Главного Кавказского хребта началось в 1999 г. со строительства спортивно-рекреационных комплексов в районе Красной Поляны Адлерского района г. Сочи, а с 2003 г. начато капитальное строительство научного центра «Биосфера» на западном отроге г. Фишт.

Своего максимума оно достигает в 2007-2014 гг. при строительстве олимпийских объектов горного кластера Зимней Олимпиады 2014 г. Это строительство велось на хребтах

Caucasus. Analysis of precipitation distribution has shown that for the black sea slope of the Caucasus (within the territory under consideration) there is a strictly defined dependence of their distribution with the height of the terrain. The same relationship exists for the Northern slope of the Caucasus. As you climb into the mountains, precipitation rates increase. It is important to note that the absolute amount of precipitation and its distribution by height (vertical zoning) for the black sea and Northern slopes are different. A map of the climate zoning of the Greater Caucasus has been compiled. It is proposed to make additions to Appendix B of SP 131.13330.2012.

Keywords: Caucasus; Northern slope; Black Sea slope; climate zoning; climatic region; engineering surveys

Аибга и Псехако в районе Красной Поляны, охватывая значительную часть их северных склонов.

Диапазон высот, охваченных строительной деятельностью, – от отметки 550 до отметки 2200 м БС (водораздельный хребет г. Аибга). Этот высотный диапазон охватывает несколько климатических поясов: пояс смешанных лиственных лесов, пояс хвойных лесов, субальпийские и альпийские луга.

В действующем Своде Правил СП 131.13330.2012 "Строительная климатология"¹, являющийся актуализированной версией СНиП 23-01-99² (введен в действие с 01.01.2013 г., но появившийся на свет лишь в 2015 г.), отсутствует климатическое микрорайонирование территории Большого Кавказа и, тем более, территорий, сопряженных с поселком Красная Поляна.

В Своде Правил СП 131.13330.2012 в п. 2.1 есть пояснение, что в случае отсутствия данных по какому-либо району необходимо отправлять запросы в НИИСФ РААСН, ГГО им. Воейкова или территориальные управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета.

Однако далеко не у всех организаций существует возможность и время сделать запрос в НИИСФ РААСН по климатическому районированию той или иной территории. Причиной тому обычно является отсутствие финансирования научных разработок на стадии изысканий. Попутно необходимо отметить, что стоимость этих разработок (в случае слабой гидрометеорологической изученности территории, ввиду отсутствия на ней метеостанций и метеопостов) сильно возрастает и, как правило, не принимается заказчиком.

Понимая эти проблемы, автор предлагает методику выполнения климатического районирования территории горных районов на примере Фишт-Оштенской горной группы и плато Лагонаки по данным, собранным в экспедициях 2015 и 2016 гг. Конечно, автор понимает всю сложность такого труда, ибо он соразмерен десятилетней работе научного института.

Термины и определения

Процесс – всякая функция, развивающаяся во времени (аргументом которой выступает время).

Норма – математическое ожидание процесса. Для климатообразующих метеозлементов нормой является среднее многолетнее его значение.

Климат – совокупность норм (средних многолетних значений) климатообразующих метеозлементов, присущих рассматриваемой территории.

Вертикальная климатическая зональность (вертикальная зональность) – зависимость климатических условий рассматриваемой горной территории от ее высоты над уровнем моря.

Задача работы

Выполнить климатическое районирование территории Фишт-Оштенской горной группы и плато Лагонаки в соответствии с классификацией климатических районов, принятой в Своде Правил СП 131.13330.2012 "Строительная климатология". Картирование климатических районов выполнить на карте М 1:50000.

Пути решения поставленной задачи

Решение задачи по районированию вышеуказанных горных территорий выполнено на основе изучения вертикальной зональности для Черноморского и Северного склонов Большого Кавказа с построением соответствующих графиков и зависимостей.

Анализ исходной нормативной документации

Климатическое районирование в СП 131.13330.2012 регламентируется Таблицей Б.1. приложения Б (таблица 1).

¹СП 131 13330 2012. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99. М., 2015. 124 с.

²СНиП 23-01-99. Строительная климатология. М., 2006. 74 с.

Таблица 1. Климатическое районирование в соответствии с классификацией по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»

Table 1. Climate zoning in accordance with the classification of SP 131.13330.2012 "Construction climatology"

Климатические районы	Климатические подрайоны	Среднемесячная температура воздуха в январе, °С	Средняя скорость ветра за три зимних месяца, м/с	Среднемесячная температура воздуха в июле, °С	Среднемесячная относительная влажность воздуха в июле, %
I	IA	От -32 и ниже	-	От +4 до +19	-
	IB	От -28 и ниже	5 и более	От 0 до +13	Более 75
	IB	От -14 до -28	-	От +12 до +21	-
	IG	От -14 до -28	5 и более	От 0 до +14	Более 75
	ID	От -14 до -32	-	От +10 до +20	-
II	IIA	От -4 до -14	5 и более	От +8 до +12	Более 75
	IIB	От -3 до -5	5 и более	От +12 до +21	Более 75
	IIB	От -4 до -14	-	От +12 до +21	-
	IIG	От -5 до -14	5 и более	От +12 до +21	Более 75
III	IIIA	От -14 до -20	-	От +21 до +25	-
	IIIB	От -5 до +2	-	От +21 до +25	-
	IIIB	От -5 до -14	-	От +21 до +25	-
IV	IVIA	От -10 до +2	-	От +28 и выше	-
	IVB	От +2 до +6	-	От +22 до +28	50 и более в 15 ч
	IVB	От 0 до +2	-	От +25 до +28	-
	IVG	От -15 до 0	-	От +25 до +28	-

Примечание: Климатический подрайон ID характеризуется продолжительностью холодного периода года (со средней суточной температурой воздуха ниже 0°C) 190 дней в году и более.

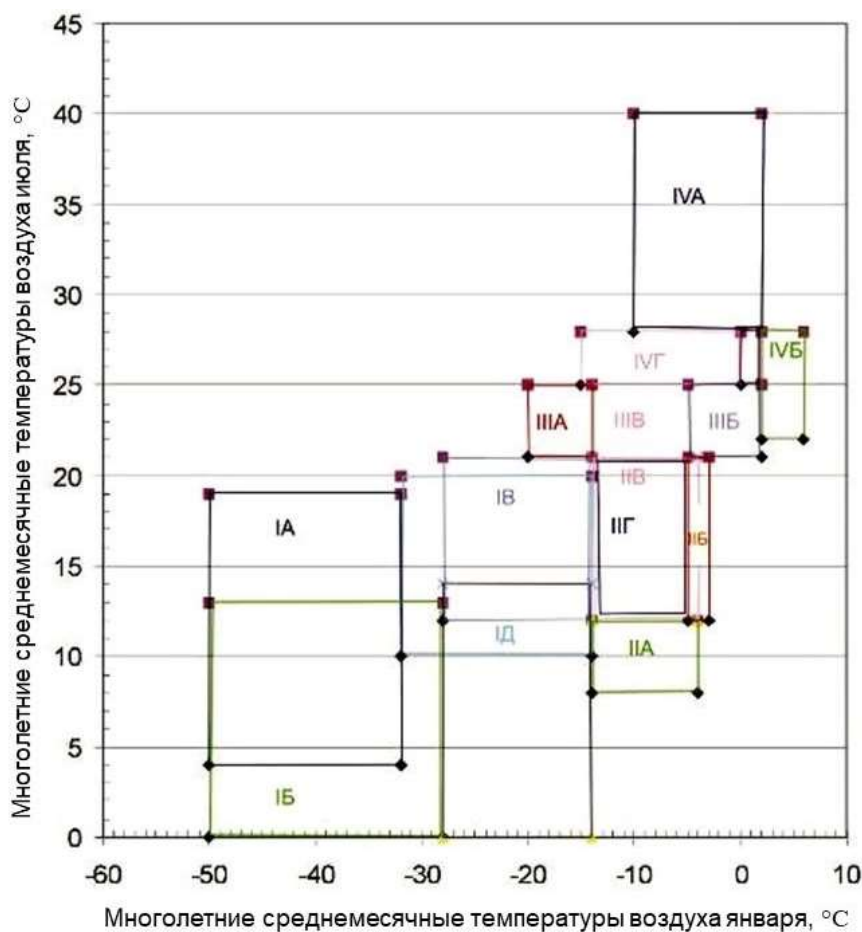


Рисунок 1. Графическая интерпретация таблицы 1

Figure 1. Graphical interpretation of table 1

Однако работать с таблицей в таком виде (в случае отсутствия электронной базы данных) не совсем удобно. Поэтому интерпретируем данную информацию графически (рисунок 1).

В результате получаем поле среднемесячных температур июля и января, а в нем ограниченные области, которые являются климатическими районами.

Необходимо отметить, что рисунок 1 является графическим отображением нормы температуры воздуха для различных климатических районов Российской Федерации с учетом амплитуды её сезонного колебания.

Создание базы данных по исследуемому району

Далее необходимо составить таблицу сравнения данных метеостанций и постов

(таблица 2), расположенных в предгорье, среднегорье и высокогорье, с данными о высотном положении над уровнем моря и освещающих аналогичные характеристики (среднемесячные температуры июля и января).

Рисунок 2 представляет собой комбинацию рисунка 1 и данных таблицы 2. У каждой точки проставлен дробный индекс, в числителе которого указан номер метеостанции, а в знаменателе – высота данной метеостанции над уровнем моря.

Нанесем на рисунок 1 данные из таблицы 2. Сделаем подписи у нанесенных точек. В числителе подписи проставим номер метеостанции по списку (1-й столбец таблицы 2), а в знаменателе проставим высоту данной метеостанции над уровнем моря (рисунок 2).

Таблица 2. Среднемесячная температура воздуха на метеостанциях

Table 2. Average monthly air temperature at weather station

№	Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год	высота
ЧЕРНОМОРСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ КАВКАЗА															
45	Сочи порт	4,9	5,3	7,6	11,1	15,7	19,7	22,5	22,8	19,1	14,8	10,4	7,2	13,4	12
26	Сочи	5,8	5,9	8,1	11,6	16,1	19,9	22,8	23,2	19,9	15,9	11,6	8,2	14,1	57
27	Адлер	5,0	5,4	7,7	11,3	15,8	19,7	22,6	22,8	19,2	14,9	10,4	6,9	13,5	13
46	Магистральная	4,0	5,0	7,0	10,6	15,5	19,3	22,0	22,4	18,6	13,9	9,5	6,7	12,9	15
47	Магистральная старая	4,0	4,9	7,1	11,1	15,8	19,6	22,1	22,2	18,3	13,9	9,9	6,4	12,9	25
49	Ахун верхний	4,1	3,7	6,6	10,8	15,3	18,4	20,9	21,3	18,2	14,7	10,1	6,6	12,6	663
28	Калиновое озеро	3,3	3,7	6,3	10,8	15,1	18,3	20,8	21,3	18,0	14,2	9,8	6,0	12,3	240
7	Красная Поляна	-0,1	0,8	4,2	9,2	14,0	16,9	19,3	19,4	15,3	10,9	6,3	2,0	9,8	566
8	Ачишхо	-5,5	-5,5	-2,5	2,0	6,9	9,8	12,6	12,9	9,4	5,7	1,1	-2,7	3,7	1880
18	Шатжадмаз	-6,4	-6,4	-3,9	0,9	5,7	8,6	1,8	11,1	7,3	3,8	-0,3	-3,7	2,3	2055
19	Бермамыт	-9,0	-8,9	-6,1	-1,7	2,9	5,7	8,1	8,5	5,3	1,7	-2,5	-6,0	-0,2	2586
СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ															
4	Гойтх	-0,2	0,6	4,2	9,7	14,6	18,0	20,6	20,2	15,6	10,9	5,8	1,7	10,1	324
57	Фишт Лунная поляна	-6,4	-7,4	-1,6	4,1	8,3	13,3	15,5	15,6	11,0	6,8	-0,5	-3,9	4,6	1770
55	Домбай	-6,5	-4,5	-1,4	2,9	8,8	11,1	13,4	13,1	9,1	4,4	0,1	-4,8	3,8	1620
17	Клухорский перевал	-5,7	-5,5	-4	2,3	6,9	10,1	12,7	12,9	9,2	5,3	0,8	-3,2	3,6	2050
20	Терскол пик	-12,9	-12,0	-9,9	-4,5	0,3	3,7	7,4	6,8	3,5	-1,4	-5,9	-9,6	-2,9	3050
21	Эльбрус	-19,1	-18,7	-16,0	-11,7	-7,7	-4,1	-1,4	-1,3	-4,9	-8,5	-12,4	-16,5	-10,2	4100
ПРЕДГОРЬЯ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА															
32	Армавир	-3,4	-2,5	3,1	10,2	16,2	19,6	22,7	22,1	16,9	11,0	4,3	-1,0	9,9	158
53	Даховская	-2,1	-1,1	3,1	9,2	14,2	16,6	19,6	18,9	14,6	10,3	4,9	0,1	9,0	504

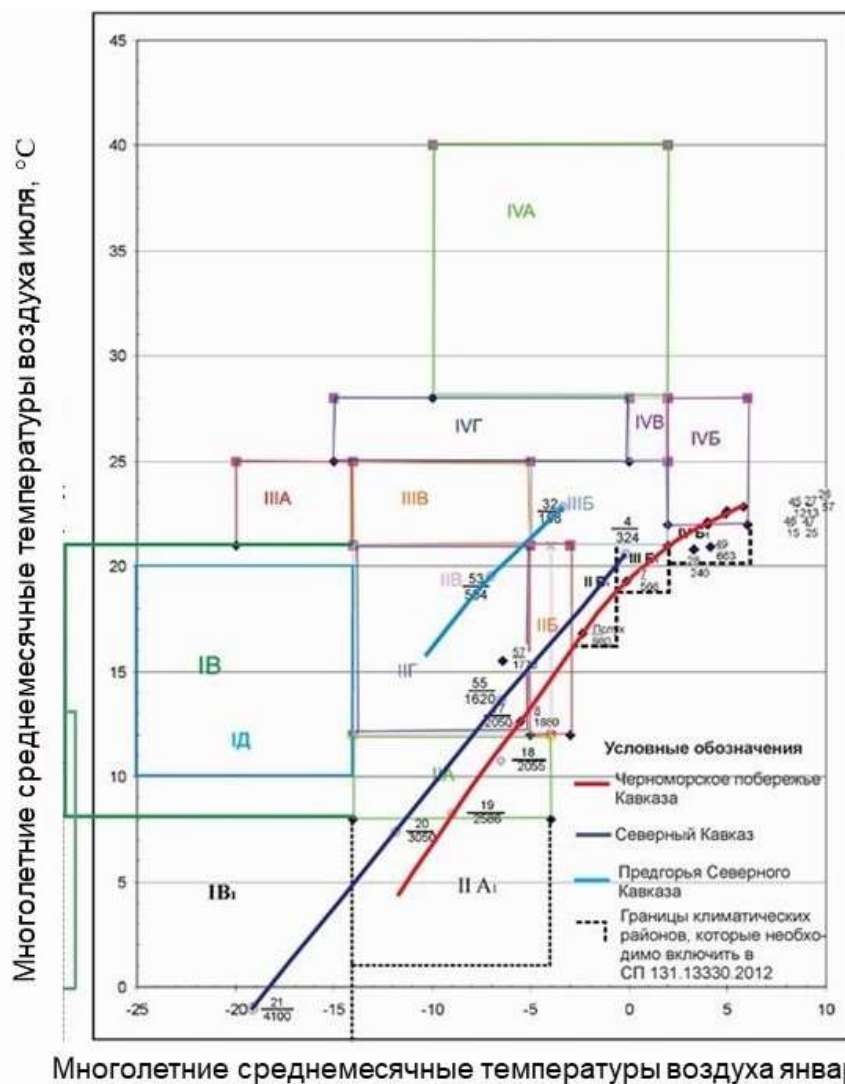


Рисунок 2. Многолетние среднemesячные температуры воздуха января и июля на Черноморском и Северном склонах Кавказа с районированием согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»

Figure 2. Long-term mean monthly air temperatures in January and July on the Black Sea and Northern slopes of the Caucasus with zoning according to SP 131.13330.2012 "Construction climatology"

Анализ полученной информации

Как видно из рисунка 2, все нанесённые точки локализовались на трех кривых.

1. Кривая красного цвета – Черноморский склон Кавказа. Прибрежные метеостанции, располагающиеся на небольших высотах рядом с морем (в верхней части кривой), попадают в климатический район IV Б, характеризующийся мягким субтропическим климатом. А высокогорные метеостанции попадают в достаточно суровый район II А₁.

2. Кривая темно-синего цвета характеризует метеостанции Северного склона Кавказа

3. Кривая голубого цвета – метеостанции, располагающиеся в предгорьях Северного склона Кавказа.

Таким образом, в рассматриваемом нами регионе существует три климатические зоны, обладающие своей вертикальной зональностью (норма температуры воздуха падает с высотой местности) и своими климатическими особенностями.

Построим вспомогательный график изменения нормы температуры воздуха с

высотой, отдельно для Черноморского и Северного склонов Большого Кавказа (рисунки 3, 4). При построении используем не амплитудную характеристику нормы (многолетние

среднемесячные температуры января и июля как на рисунках 1 и 2), а многолетнюю среднегодовую температуру.

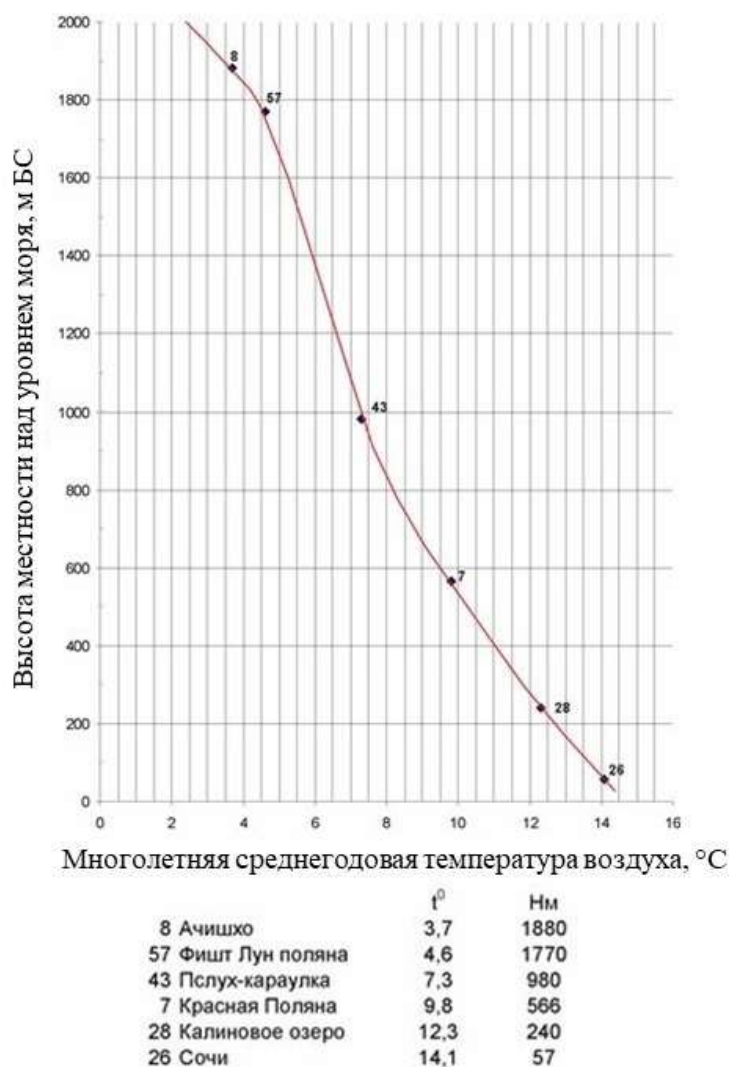


Рисунок 3. Зависимость многолетней среднегодовой температуры воздуха от высоты местности для Черноморского склона Кавказа

Figure 3. The dependence of the average annual air temperature on the height of the terrain for the Black Sea slope of the Caucasus

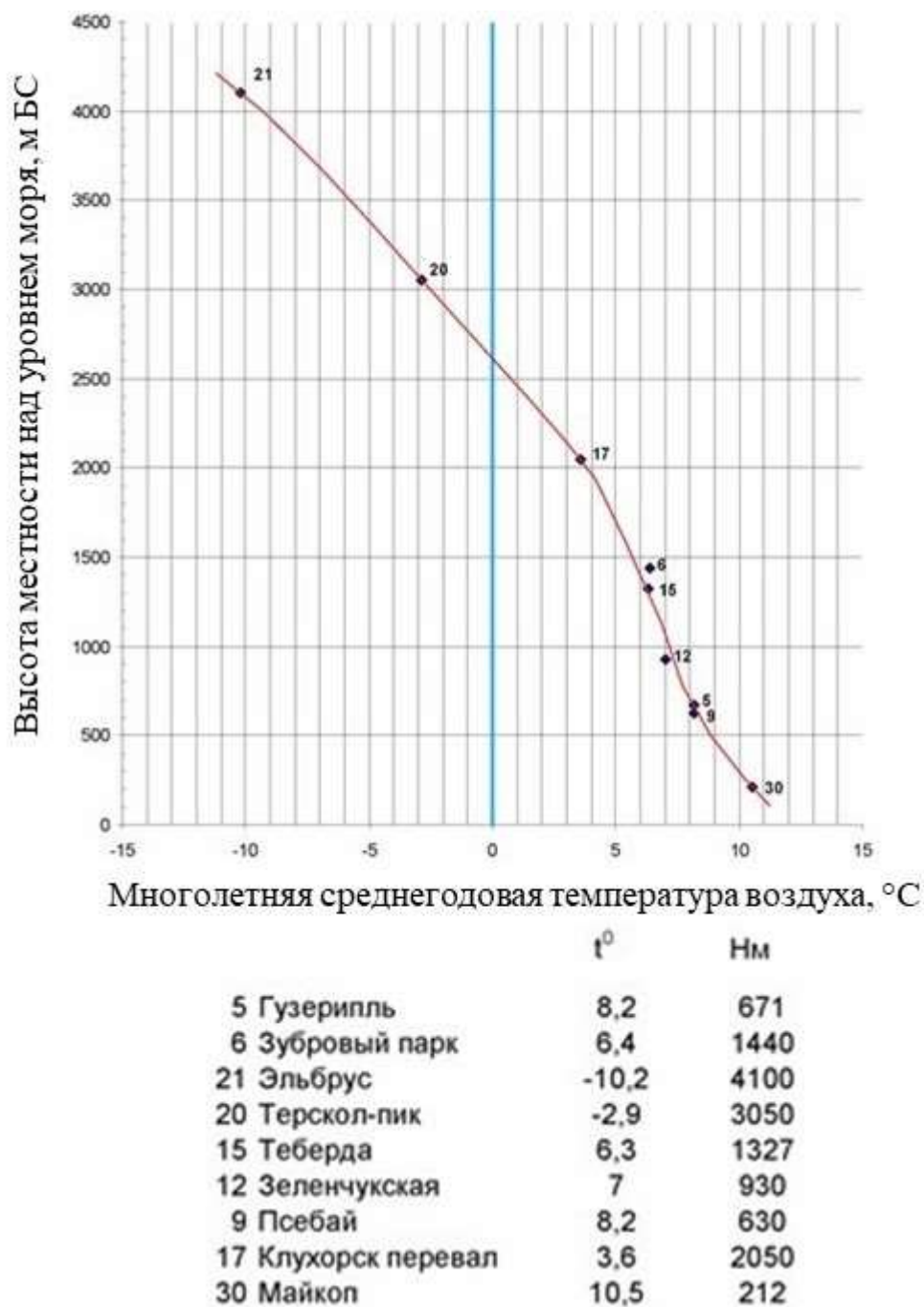


Рисунок 4. Зависимость многолетней среднегодовой температуры воздуха от высоты местности для Северного склона Кавказа

Figure 4. The dependence of the average annual air temperature on the height of the terrain for the Northern slope of the Caucasus

Анализ рисунков 3 и 4 подтверждает, что для каждого из этих склонов существует свой климат, находящийся в строгом соответствии с законами вертикальной зональности.

Вернемся к анализу рисунка 2.

Особое внимание следует обратить на тот факт, что построенные кривые частично выходят

за рамки климатических районов, прописанных в СП 131.13330.2012. Последнее свидетельствует о том, что для горных районов этот нормативный документ требует соответствующей доработки и дополнения.

Сравнивая рисунки 1 и 2 можно заметить, что на рисунке 2 появились новые климатические районы, которые отсутствуют на рисунке 1.

Районы, границы которых обозначены жирной пунктирной черной линией, это новые районы, которые предлагаем включить при корректировке СП 131.13330.2012. Всего новых районов получилось 5:

- | | |
|-----------------------|---|
| 1. IV Б ₁ | } Для климатического районирования Черноморского и Северного склона Кавказа |
| 2. III Б ₁ | |
| 3. II Б ₁ | |
| 4. IIА ₁ | } Для климатического районирования Северного Кавказа |
| 5. IB ₁ | |

Анализ других метеозлементов

Проверим ход других метеозлементов, например, нормы осадков.

На рисунке 5 приведена зависимость от высоты местности нормы осадков по метеостанциям и метеопостам изучаемого района.

Анализ распределения осадков показывает, что для Черноморского склона Кавказа (в

пределах рассматриваемой территории) существует строго определенная зависимость их распределения с высотой местности. Такая же зависимость существует и для Северного склона Кавказа. На совмещенном рисунке 5 показаны обе эти зависимости в виде двух кривых. Кривая распределения средних многолетних осадков с высотой для Черноморского побережья Кавказа выделена голубым цветом. Кривая нормы осадков Северного склона Кавказа нанесена темно-синим цветом. Точки на рисунке нанесены в соответствии с приведенной таблицей с номерами метеостанций и постов, а также данными по их средним многолетним осадкам (мм). У каждой точки проставлен дробный индекс, в числителе которого указан номер станции, а в знаменателе норма осадков для данной станции.

По мере продвижения в горы нормы осадков растут, причем их абсолютное количество и распределение по высоте (вертикальная зональность) для Черноморского и Северного склона – разные.

Перейдем к рассмотрению сезонных колебаний метеозлементов.

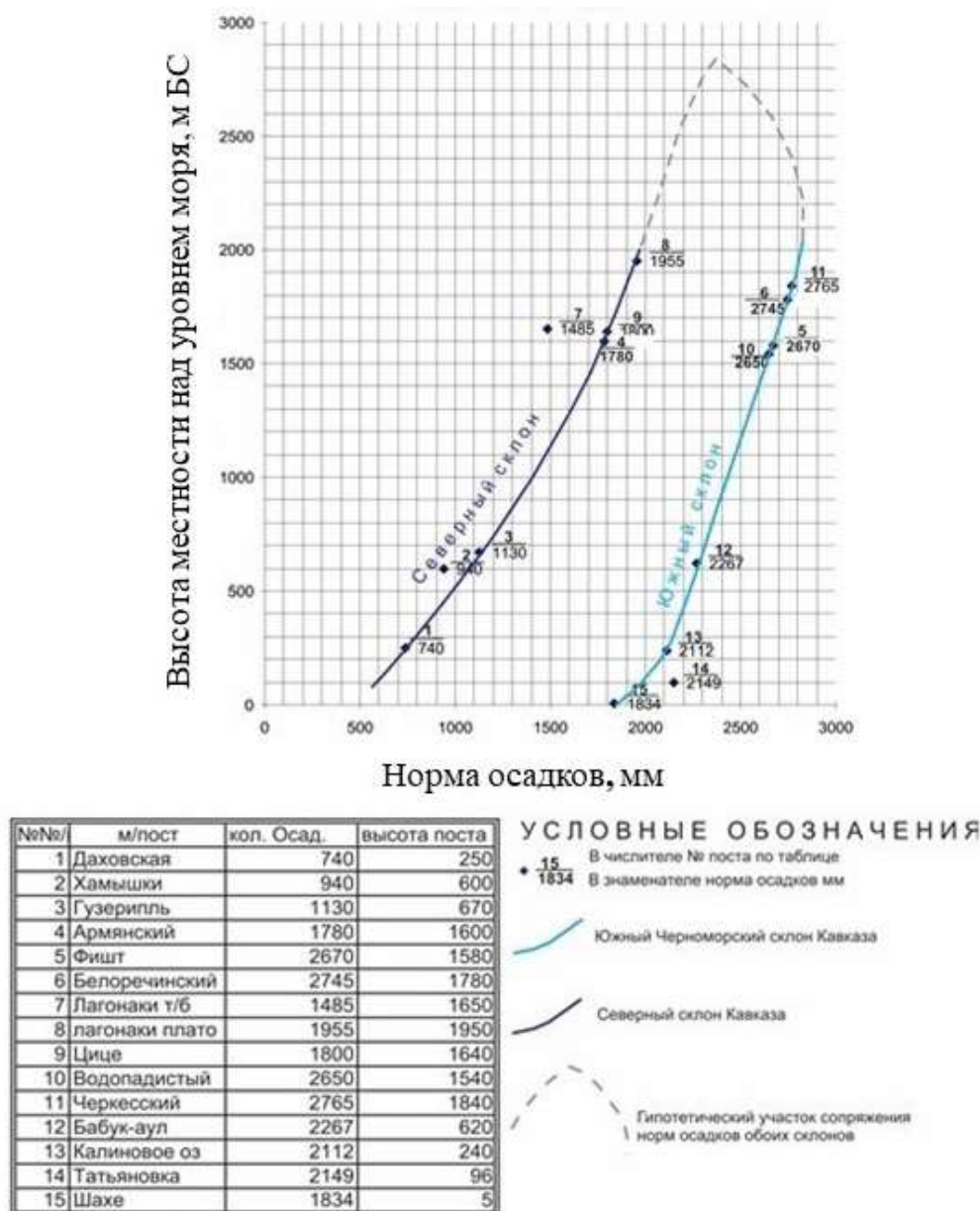


Рисунок 5. Зависимость нормы осадков от высоты местности для Фишт-Оштенской горной группы и Плато Лагонаки

Figure 5. The dependence of the precipitation rate on the altitude of the area for the Fisht-Oshtensky mountain group and the Lago Naki Plateau

Анализ сезонного колебания нормы температуры воздуха

Для наглядности сезонных колебаний температур построим график хода колебания нулевой изотермы по высоте местности и нанесем на него ход снеговой линии (рисунок 6).

На нем видно среднемесячное перемещение нулевой изотермы и снеговой линии в зависимости от времени года. В зимний сезон они спускаются до отметки 900 м. В теплые периоды

года поднимаются на высоты вечных снегов и ледников.

Задачей данной работы является проверка справедливости определенной нами климатической вертикальной зональности для любого периода года.

Проверим это на примере распределения температур воздуха в течение года на высотной метеостанции Ачишхо (1880 м БС) и метеостанции Красная Поляна (566 м БС), находящейся у подножья г. Ачишхо (рисунок 7).

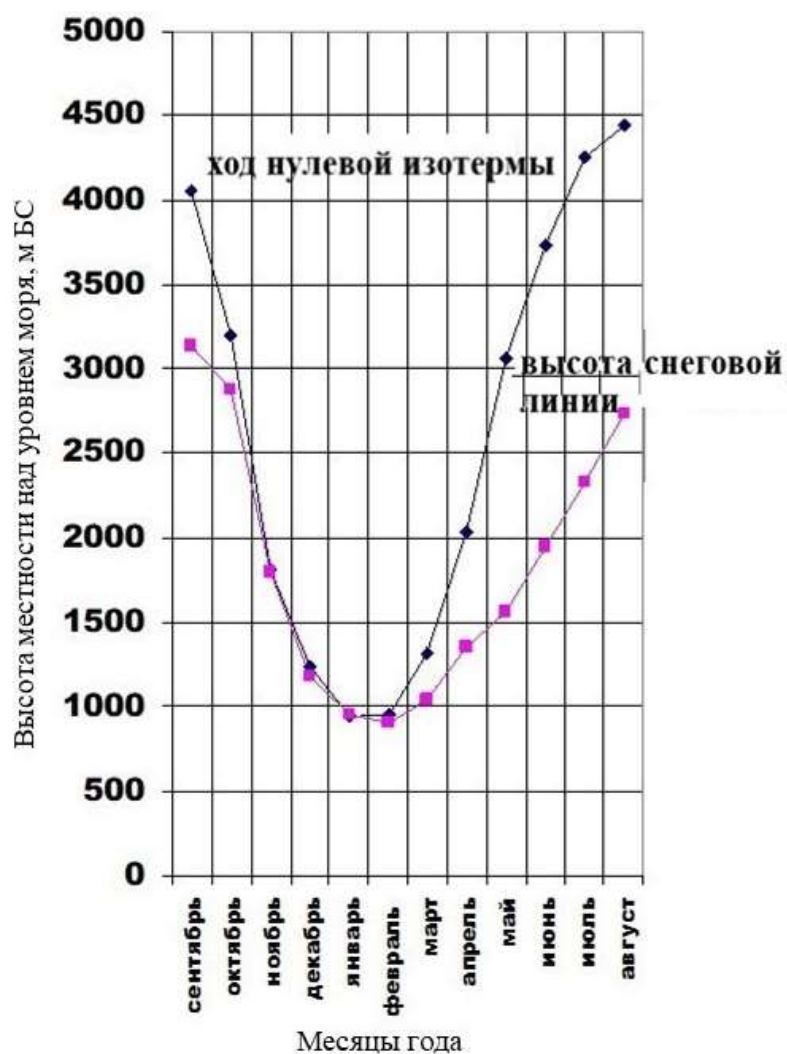


Рисунок 6. Ход нулевой изотермы и средней высоты снеговой линии по месяцам
Figure 6. The course of the zero isotherm and the average height of the snow line by month

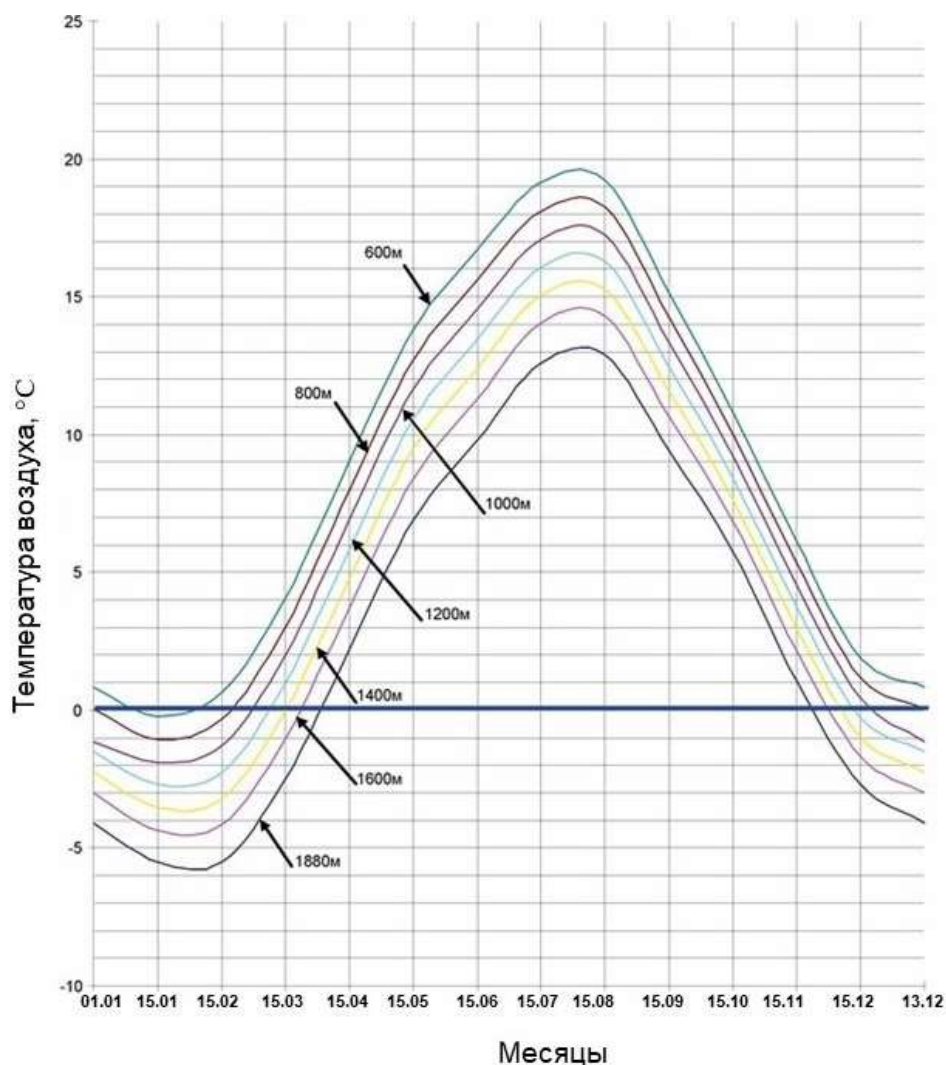


Рисунок 7. Ход среднемесячных температур воздуха на разных высотах для района Красной Поляны
Figure 7. The course of average monthly air temperatures at different altitudes for the Krasnaya Polyana region

Климатическое районирование описываемой территории

В соответствии с вышеизложенным, взяв за основу среднее многолетнее распределение температуры воздуха по высоте местности (как основополагающий климатообразующий метеозлемент) и сообразуясь с рисунком 2, можно непосредственно приступить к климатическому районированию местности.

Принимая во внимание, что в нашем случае имеется две основные кривые, характерные для описываемой территории (склоны Северного и Черноморского Кавказа), районирование будет выполнено для каждого.

На рисунке 2 нанесены климатические районы и просматривается общая тенденция

подчиненности средних многолетних температур воздуха вертикальной зональности, однако точные значения высоты местности для границ этих районов не определены.

С другой стороны, на рисунках 3 и 4 дана точная привязка хода нормы температур воздуха по высотам, но отсутствуют данные по климатическим районам.

Для того чтобы выполнить районирование и приступить к картированию климатических районов рассматриваемого региона, необходимо объединить данные рисунка 2 с рисунками 3 и 4.

Рассмотрим такие совмещенные графики (рисунки 8 и 9). С правой стороны на них нанесены номера климатических районов и дана их точная высотная привязка.

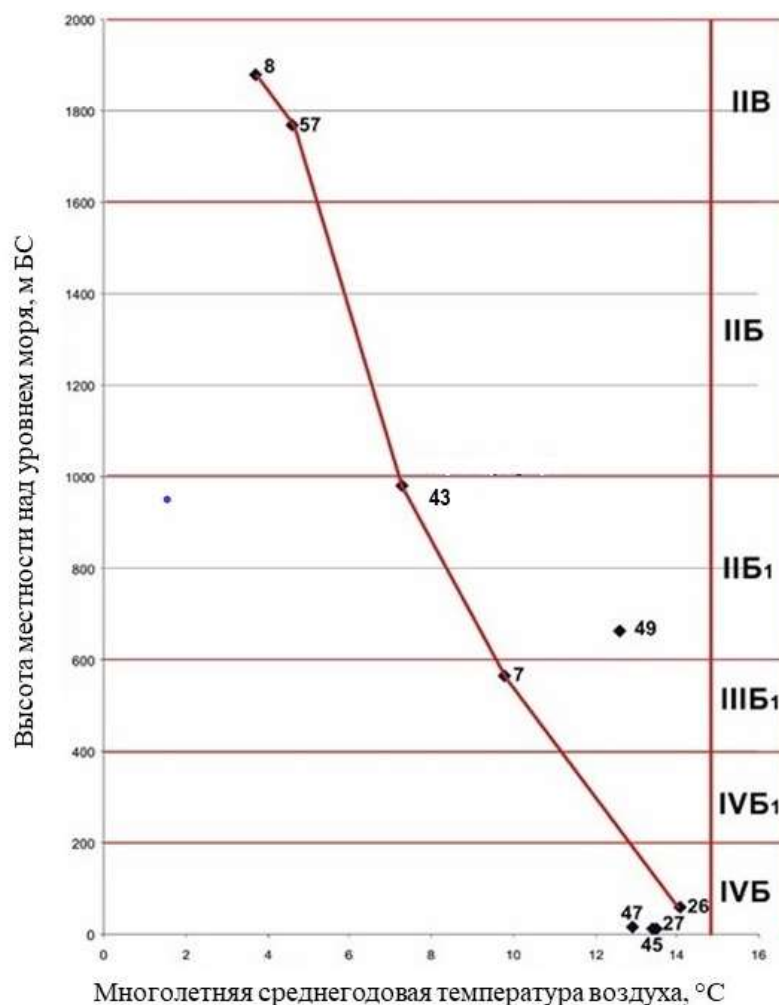


Рисунок 8. График зависимости многолетней среднегодовой температуры воздуха от высоты местности для Черноморского склона Кавказа

Figure 8. Graph of the dependence of the long-term average annual air temperature on the height of the terrain for the black sea slope of the Caucasus

Черноморский склон Кавказа предлагается подразделять на следующие климатические районы (рисунок 8):

- Климатический подрайон IV Б (приморская часть от уреза моря до отметок 200 м БС).
- Климатический подрайон IV Б₁ (отметки от 200 до 400 м БС).
- Климатический подрайон III Б₁ (отметки от 400 до 600 м БС).
- Климатический подрайон II Б₁ (отметки от 600 до 1000 м БС).
- Климатический подрайон II Б (отметки от 1000 до 1600 м БС).
- Климатический подрайон II В (отметки от 1600 до 3000 м БС).

Северный склон Кавказа предлагается подразделять на следующие климатические районы (рисунок 9):

- Климатический подрайон III Б₁ (предгорья до отметок 400 м БС).
- Климатический подрайон II Б₁ (отметки от 400 до 800 м БС).
- Климатический подрайон II Б (отметки от 800 до 1800 м БС).
- Климатический подрайон II Г (отметки от 1800 до 2000 м БС).
- Климатический подрайон II А (отметки от 2000 до 2500 м БС).
- Климатический подрайон II А₁ (отметки от 2500 до 3000 м БС).
- Климатический подрайон I В₁ (отметки от 3000 до 4000 м БС).

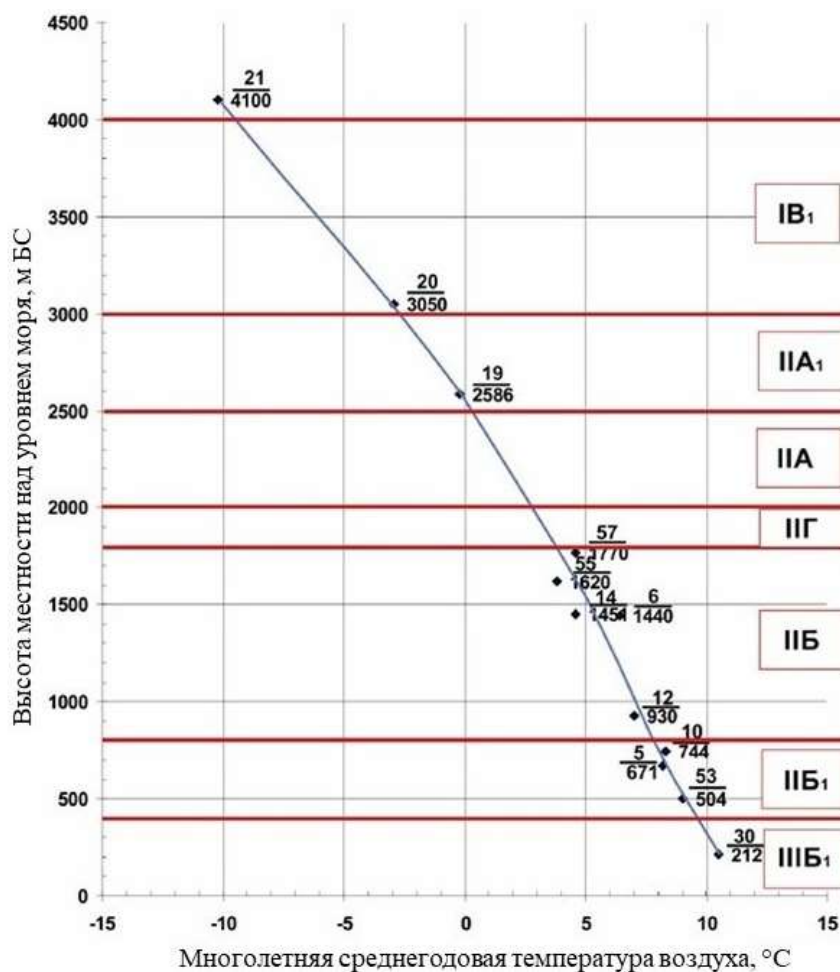


Рисунок 9. График зависимости многолетней среднегодовой температуры воздуха от высоты местности для Северного склона Кавказа

Figure 9. Graph of the dependence of the long-term average annual air temperature on the height of the terrain for the Northern slope of the Caucasus

Теперь, когда мы располагаем точной привязкой климатических районов к высотным отметкам, можно приступить к их картированию (рисунок 10).

Предлагаемые корректировки СП 131.13330.2012

В соответствии с выполненной работой по климатическому районированию горных территорий Большого Кавказа, был выявлен ряд климатических районов, которые отсутствуют в СП 131.13330.2012.

Исходя из вышеизложенного предлагается внести дополнения в приложение Б СП 131.13330.2012. В частности, дополнить таблицу Б.1 климатическими подрайонами с приведенными в таблице 3 параметрами влажности и ветрового режима.

Ветровой режим зависит от шероховатости подстилающей поверхности, при этом необходимо учитывать:

- орографическое положение рассматриваемого участка;
- попадание участка в зону горно-долинной циркуляции с переменными по направлению ветрами в течение суток;
- нахождение участка на открытом перевале, или в «ветровой тени»;
- расположение участка в долине «открытого» или «закрытого» типа;
- наличие на нем растительности;
- принадлежность участка к лесной зоне или к альпийским лугам;
- нахождение участка в зоне постальпийки или голых скал и вечных ледников.

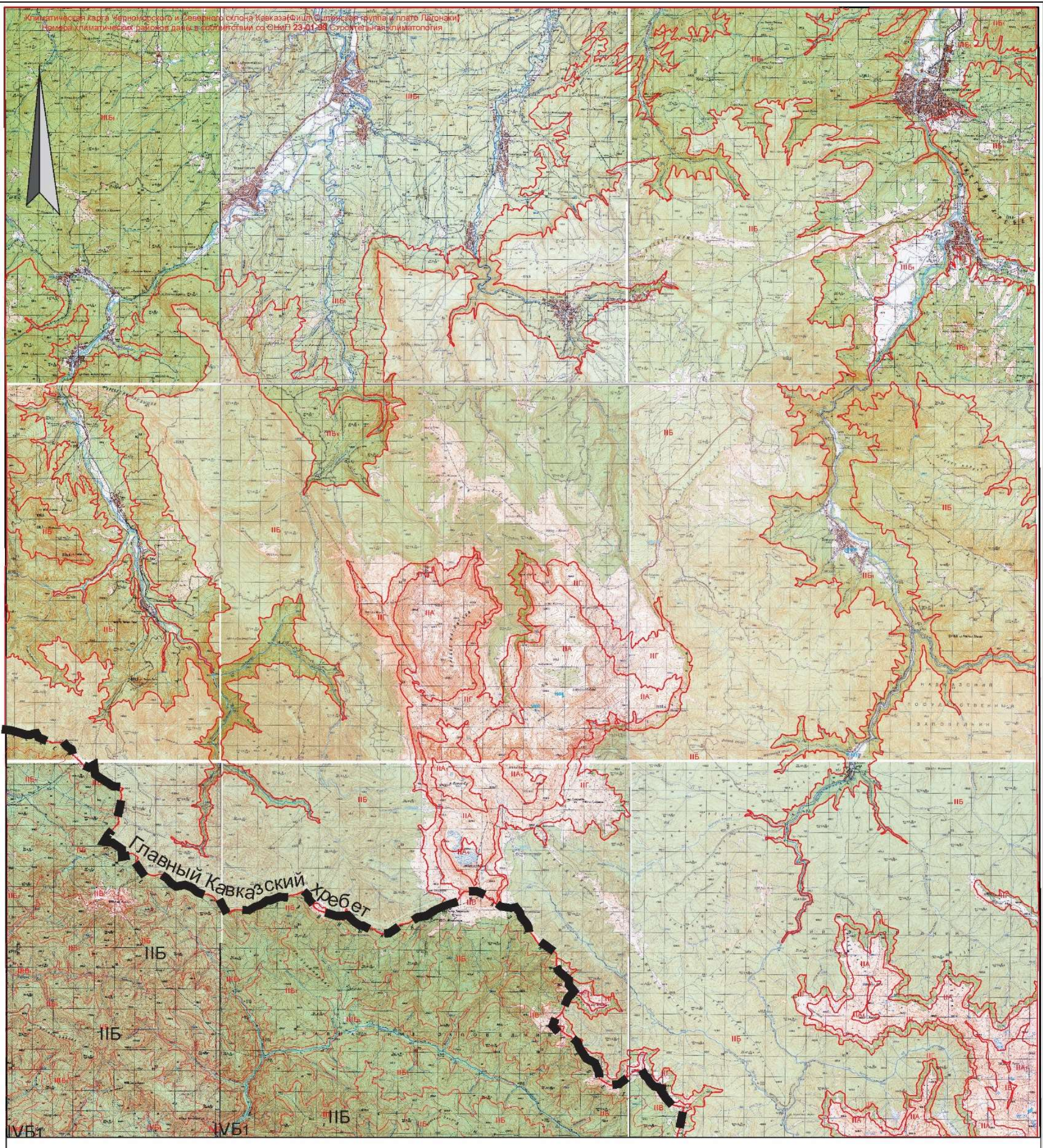


Рисунок 10. Карта климатического районирования Фишт-Оштенской горной группы и плато Лагонаки.
Figure 10. Map of the climate zoning of the Fisht-Oshtensky mountain group and the Lagonaki Plateau.

Таблица 3. Дополнение к таблице Б.1 СП131.13330.2012. Новые климатические районы для горной страны Кавказ по Г.Л. Морозову

Table 3. Appendix to table B. 1 SP 131.13330.2012. New climatic regions for the mountainous country of the Caucasus according to G. L. Morozov

Климатические районы	Климатические подрайоны	Среднемесячная температура воздуха в январе, °С	Средняя скорость ветра за три зимних месяца, м/с	Среднемесячная температура воздуха в июле, °С	Среднемесячная относительная влажность воздуха в июле, %
I	IB ₁	От -14 до -28	*	От -3 до +8	-
II	IIA ₁	От -4 до -14	*	От +1 до +8	Более 75
	IIB ₁	От -1 до -3	*	От +16 до +21	Более 75
III	IIIB ₁	От -1 до +2	*	От +19 до +21	Более 75
IV	IVB ₁	От +2 до +6	*	От +20 до +22	Более 75

Примечание: * - ветровой режим рассматриваемой территории в горных условиях зависит от большего количества факторов и в пределах одного и того же климатического подрайона может иметь различные характеристики.

Необходимость в дополнительных изысканиях

Рассматривая результаты климатического районирования, предлагаемые в данной работе, необходимо помнить, что климатические границы, проведенные на рисунке 10, даны лишь в первом приближении и требуют уточнения в ходе изысканий. Карта климатического районирования составлена по ортодоксальной схеме высотного климатического районирования, а природа, в проявлении своего многообразия, всегда имеет какие-либо отклонения (флуктуации) от генерального направления, а зачастую и полностью не согласующиеся с ним аномальные зоны.

В соответствии с вышеизложенным, необходимо проведение дополнительных изысканий, направленных на изучение температурного и ветрового режимов, а также влажности территорий.

Также следует отметить, что нами не установлены точные данные по влажности воздуха высокогорных территорий, попадающих в климатический подрайон IB₁. По имеющимся данным высокогорных автоматических метеостанций, расположенных выше отметки 900 м БС, в холодный период года датчики очень

часто регистрируют относительную влажность 100%, что свидетельствует о том, что метеостанция в этот момент попадает в облако, где соотношение температуры воздуха и парциального давления водяных паров соответствует «точке росы». Причем диапазон высот, попадающий в облачность, может быть весьма значительным и занимать до 2/3 высоты склона, регистрируя в этой его части стопроцентную относительную влажность.

Но относительная влажность не информативна, ибо для того, чтобы перейти к абсолютной влажности, необходимо знать температуру воздуха на данной высотной отметке. То есть, чтобы получить информацию о распределении абсолютной влажности (парциальном давлении водяного пара) для рассматриваемого склона, необходимо иметь несколько термометров, размещенных на разных высотных отметках, с возможностью одновременного снятия с них показаний. К сожалению, это далеко не всегда возможно.

Ещё большие технические трудности возникают с изучением ветрового режима и осадков. Как показала практика, анеморумбометры автоматических станций в холодный период года на высотах более 1000 м при наличии осадков, выпадающих в смешанной

фазе (снег с дождём), имеют тенденцию к замерзанию. Они покрываются слоем льда, стопорятся в произвольном положении и перестают указывать направления и скорость ветра.

На работу автоматических метеостанций существенное влияние оказывает и влажность воздуха. Влага, проникающая внутрь станции, выводит из строя некоторые узлы.

Чаще всего это приводит к окислению контактов сим-карт, установленных в передающей аппаратуре, что требует ежемесячного осмотра и их чистки, а также чистки приёмных отверстий датчиков дождемеров (обычно забиваемые лишайником Уснея из отряда эпифитных).

Отдельно необходимо упомянуть про факты вандализма, проявляющиеся в разрушении автоматизированных метеостанций, уничтожении снеговых термометров, расстреле приёмных ведер осадкомеров и т.д. Увы, защитить эти комплексы не просто.

Для того, чтобы решить все перечисленные задачи, нужна государственная программа, направленная на организацию высокогорных гидрометеорологических работ, а также решения

правовых вопросов, связанных с размещением метеопостов в заповедниках, заказниках и на особо охраняемых территориях. Она должна определить меру ответственности за разрушение автоматизированных метеостанций, факты вандализма и чинимые препятствия в проведении изысканий.

Заключение

В заключении необходимо указать, что климатическое районирование Черноморского склона Кавказа было выполнено в 2004 г. ООО «Инжзащита» в составе Генеральной схемы инженерной защиты территории в составе «Генерального плана развития туристско-спортивного горноклиматического комплекса «Красная поляна» на основании договора с ФГУП РосНИПИУрбанистики №6639/04-И-3 от 28 октября 2004г.

Вышеуказанная генеральная схема была утверждена на коллегии ГОССТРОЯ РФ в 2007 г.

Климатическое районирование Северного Кавказа, Фишт-Оштенской горной группы и плато Лагонаки было выполнено по заказу Кавказского Биосферного Заповедника, по материалам экспедиций 2015 и 2016 гг.

Литература

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

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).

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 и рисунки Н.А. Казакова

Подписано в печать 28.06.2020. Формат: 60х84/8
Бумага: офсетная. Печать плоская
Усл. печ. л. 19,2. Тираж 50 экз. Заказ № ____
Выход в свет __.07.2020

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

