

«СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ, АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ, АЭРОЗОЛИ»

V Байкальская международная научная конференция - стратегическая сессия



ИРНИТУ, Иркутск,
п. Листвянка, оз. Байкал
19-23 июня 2023



«SNOW COVER, ATMOSPHERIC PRECIPITATION, AEROSOLS»

The V Baikal International Scientific
Conference - Strategic Session



INRTU, Irkutsk,
Listvyanka, lake Baikal,
June, 19-23/2023



2023
IYBSSD
Международный год
Фундаментальной науки
для устойчивого развития

V Байкальская международная научная конференция - стратегическая сессия «Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли». Иркутск, ИРНИТУ, оз. Байкал, 19-23 июня 2023

The V Baikal International Scientific Conference - Strategic Session "Snow cover, atmospheric precipitation, aerosols". Irkutsk, INRTU, lake Baikal, June, 19-23/2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НИЖЕГОРОДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «БАЙКАЛЬСКИЙ МУЗЕЙ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ЗАПОВЕДНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ»

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ, АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ, АЭРОЗОЛИ

Материалы

**V Байкальской международной научной конференции -
стратегической сессии (19 – 23 июня 2023 г.)**

Иркутск, 2023

УДК 502; 546; 551.5

ББК 26

C53

Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: материалы V Байкальской международной научной конференции - стратегической сессии (19 – 23 июня 2023 г.). – Иркутск: Изд-во ООО «Репроцентр А1», 2023. – 224 с.

Сборник содержит материалы V Байкальской международной научной конференции - стратегической сессии «Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли» проведенной (19 – 23 июня 2023 г.). Материалы представляют интерес для специалистов в области снежного покрова, атмосферных осадков и аэрозолей, гидрометеорологии, гляциологии и охраны окружающей среды.

Snow cover, atmospheric precipitation, aerosols: chemistry and climate: reports of the V Baikal international scientific conference - strategic session endorsed (June 19 – 23, 2023). – Irkutsk: Ltd «Reprocenter A1», 2023. - 224 pp.

The conference proceedings include materials of the V Baikal international scientific conference - strategic session «Snow cover, atmospheric precipitation, aerosols» (June 19 – 23, 2023). The materials are of interest to specialists in the field of snow, atmospheric precipitation and aerosols, hydrometeorology, glaciology and environmental protection.

Редактор – Анциферов Е.А.

Редакционная коллегия: Янченко Н.И., Макаров В.С.

Дизайн обложки: Макаров В.С.

Верстка и составление макета: Макаров В.С.

Печатается с файлов, предоставленных авторами

ISBN 978-5-00202-315-8

© Коллектив авторов, 2023

© Янченко Н.И., Анциферов Е.А., Макаров В.С.

...составление и оформление, 2023

© Издательство ООО «Репроцентр А1», 2023.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Корняков М.В., д-р техн. наук, ректор ИРНИТУ, г. Иркутск
Дмитриев С.М., д-р техн. наук, ректор НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород
Головацкая Е.А., д-р биол. наук, директор ИМКЭС СО РАН, г. Томск
Кононов А.М., канд. геол.-минерал. наук, проректор по научной работе ИРНИТУ, г. Иркутск
Анциферов Е.А., канд. хим. наук, директор института ВТ ИРНИТУ, г. Иркутск
Панасенкова Е.Ю., канд. техн. наук, ИРНИТУ, г. Иркутск
Тарасова Н.П., д-р хим. наук, член-корреспондент РАН, РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва
Янченко Н.И., д-р техн. наук, ИРНИТУ, председатель программного комитета, г.Иркутск
Купчинский А.Б., канд. биол. наук, директор Байкальского музея СО РАН, г. Иркутск
Рамазанов У.Г., директор ФГБУ «Заповедное Прибайкалье», г. Иркутск
Макаров В. С., д-р техн. наук, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород
Баранов А.Н., д-р техн. наук, ИРНИТУ, г. Иркутск
Беляков В.В., д-р техн. наук, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород
Куркин А.А., д-р техн. наук, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород
Таловская А.В., д-р геол.-минерал. наук, НИ ТПУ, г. Томск
Журба О.М., д-р биол. наук, ВСИМЭИ, г. Ангарск
Амиргалиев Н.А., д-р геогр. наук, ИГиВБ, Казахстан, г. Алматы
Мадибеков А.С., PhD, ИГиВБ, Казахстан, г. Алматы
Хадбаатар С., канд. геогр. наук, МГУО, Монголия, г. Улан-Батор
Бабина С.Г., Зам. директора ФГБУ «Заповедное Прибайкалье», г. Иркутск
Токарев И.В., канд. геол.-минерал. наук, РЦ СПбГУ «Геомодель», г. С-Петербург
Черноус П.А., канд. геогр. наук, СКБ САМИ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск
Папунин А.В., канд. техн. наук, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород,
Федоров Р.В., канд. техн. наук, УлГТУ, г. Ульяновск
Симонова Г.В., канд. техн. наук. ИМКЭС СО РАН, г. Томск
Хахалева Л.В., канд. техн. наук, УлГТУ, г. Ульяновск
Огнев И.А., канд. техн. наук, ИРНИТУ, г. Иркутск
Куклина М.В., канд. экон. наук, ИРНИТУ, г. Иркутск
Быстрова Л.Б., директор ИГМТ, г. Иркутск
Литвиненко В.В., ст. преп., МПГУ, г. Москва

PROGRAM COMMITTEE

Korniakov M.V., Dr. Sci., Rector of INRTU, Irkutsk
Dmitriev S.M., Dr. Sci., Rector of NNSTU n.a. R.E. Alekseeva, Nizhny Novgorod
Golovatskaya E.A., Dr. Sci., Director of IMCES SB, Tomsk
Kononov A.M., Ph. D., Vice-Rector for Research of INRTU, Irkutsk
Antsiferov E.A., Ph. D., Director of the institute of high technologies INRTU, Irkutsk
Panasenkov E.Yu., Ph. D., INRTU, Irkutsk
Tarasova N.P., Dr. Sci., Corresponding Member of the RAS, D.I. Mendeleev RCTU, Moscow
Ianchenko N.I., Dr. Sci., INRTU, Irkutsk (Chair, Scientific Secretary)
Kupchinsky A. B., Ph. D., Director of the Baikal Museum of the SB RAS
Ramazanov U.G., Director of "Zapovednoe Pribaikalye", Irkutsk
Makarov V. S., Dr. Sci., NNSTU n.a. R.E. Alekseeva, Nizhny Novgorod
Baranov A.N., Dr. Sci., INRTU, Irkutsk
Belyakov V.V., Dr. Sci., NNSTU n.a. R.E. Alekseeva, Nizhny Novgorod
Kurkin A.A., Dr. Sci., NNSTU n.a. R.E. Alekseeva, Nizhny Novgorod
Talovskaya A.V., Dr. Sci., TPU, Tomsk
Zhurba O.M., Dr. Sci., VSIMEI, Angarsk
Amirgaliev N.A., Dr. Sci., IG&WS, Kazakhstan, Almaty
Madibekov A.S., Ph. D., IG&WS, Kazakhstan, Almaty
Khadbaatar S., Ph. D., MNUE, Mongolia, Ulaanbaatar
Babina S.G., deputy directors "Zapovednoe Pribaikale", Irkutsk
Tokarev I.V., Ph. D., Geo Environmental Research Center «Geomodel», Saint Petersburg
Chernous P.A., Ph. D., SKB SAMI FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk
Papunin A.V., Ph. D., NNSTU n.a. R.E. Alekseeva, Nizhny Novgorod
Fedorov R.V., Ph. D., USTU, Ulyanovsk
Simonova G.V., Ph. D., IMCES SB RAS, Tomsk
Khakhaleva L.V., Ph. D., USTU, Ulyanovsk
Ognev I.A., Ph. D., INRTU, Irkutsk
Kuklina M.V., Ph. D., INRTU, Irkutsk
Bystrova L.B., Director of "Irkutsk Hydrometeorological College", Irkutsk
Litvinenko V.V., Senior Lecturer, MPGU, Moscow

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель:

Кононов А.М., канд. геол.-минерал. наук, проректор ИРНИТУ, г. Иркутск

Зам. председателя:

Анциферов Е.А., канд. хим. наук, директор института ВТ ИРНИТУ, г. Иркутск

Члены комитета:

Янченко Н.И., д.т.н., ИРНИТУ, г. Иркутск

Макаров В. С., д-р техн. наук, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород

Петрова О.В., заведующий УК Технопарк ИРНИТУ, г. Иркутск

Огнев И.А. канд. техн. наук, ИРНИТУ, г. Иркутск

Куклина М.В., канд. экон. наук, ИРНИТУ, г. Иркутск

Аршинский В.Л., канд. техн. наук, ИРНИТУ, г. Иркутск

Рамазанов У.Г., директор ФГБУ «Заповедное Прибайкалье», г. Иркутск

Бабина С.Г., Зам. директора ФГБУ «Заповедное Прибайкалье», г. Иркутск

Баранов А.Н., д-р техн. наук, ИРНИТУ, г. Иркутск

Подкорытов А.А., ассистент ИРНИТУ, г.Иркутск

ORGANISING COMMITTEE

Chair:

Kononov A.M., Ph.D., Vice-Rector for Research of INRTU, Irkutsk

Deputy Chairman:

Antsiferov E.A., Ph.D, Director of the institute of high technologies INRTU, Irkutsk

Committee members:

Ianchenko N.I., Dr. Sci., INRTU, Irkutsk

Makarov V.S., Dr. Sci., NNSTU n.a. R.E. Alekseeva, Nizhny Novgorod

Petrova O.V. Head of Technopark INRTU, Irkutsk

Ognev I.A., Ph. D, INRTU, Irkutsk

Kuklina M.V., Ph.D., INRTU, Irkutsk

Arshinsky V.L., Ph. D, INRTU, Irkutsk

Ramazanov U.G., Director of "Zapovednoe Pribaikalye", Irkutsk

Babina S.G., deputy directors "Zapovednoe Pribaikale", Irkutsk

Baranov A.N., Professor, Dr. Sci., INRTU, Irkutsk

Podkorytov A.A., assistant of INRTU, Irkutsk

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО	16
СЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ, СРЕДСТВА, МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА, АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, АЭРОЗОЛЕЙ.....	20
ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДКОВ И АЭРОЗОЛЯ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ <i>Кондратьев И. И.</i>	21
ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ЗА СУТКИ. ИРКУТСК <i>Янченко Н.И.</i>	26
СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ВЫСОТЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В МАРТЕ 2021-2023 ГОДОВ. ИРКУТСК <i>Янченко Н.И., Анциферов Е.А.</i>	32
ПЛОТНОСТЬ И ТЕМПЕРАТУРА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ БОРЕАЛЬНЫХ РАЙОНАХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ <i>Макаров В.Н.</i>	36
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА <i>Баранов А.Н., Савченко Е.И., Пескова Т.А.</i>	41
ВЛИЯНИЕ ДОЖДЕЙ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ЗЕМЛИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2021-2022 Г. ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИИ «МИХНЕВО» <i>Рябова С.А.</i>	45
СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ЗАПОВЕДНИКА «БАСТАК» ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ <i>Ревуцкая И.Л., Христофорова Н.К., Лонкина Е.С.</i>	49
ГЕОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ СНЕГА И ПОСЛОЙНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА КИСЛОРОДА ($\delta^{18}\text{O}$) В СНЕЖНОЙ ТОЛЩЕ В УСЛОВИЯХ РАЗНОЙ ЗАПЫЛЕННОСТИ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ <i>Симоненков Д.В., Тентюков М.П., Смолева И.В., Лютое В.П., Шукуров К.А., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Фофонов А.В., Михайлов В.И., Бучельников В.С.</i>	54
УЧЕТ ВКЛАДА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ЛЕДНИКА В ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА МАЛОГО ВОДОТОКА ГОРНО-АРИДНОЙ ЗОНЫ ПО ДАННЫМ ОБ ИЗОТОПНОМ СОСТАВЕ ВОДЫ (^{18}O , ^2H) И УРАНА ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) <i>Токарев И.В., Яковлев Е.Ю., Ерохин С.А., Тузова Т.В., Дружинин С.В., Пучков А.В.</i>	61

СЕКЦИЯ 2. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АТМОСФЕРЕ И АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА, АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, АЭРОЗОЛЕЙ.....	67
ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕГОВОГО ПОКРОВА НЕОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ НА ТЕРРИТОРИИ ШЕЛЕХОВСКОГО РАЙОНА <i>Лицецкая Л.Г.</i>	68
ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЕРРИТОРИИ Г. СВИРСК СОЕДИНЕНИЯМИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКОМ <i>Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В., Журба О.М., Алексеенко А.Н.</i>	72
СОДЕРЖАНИЕ Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Co В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ТЕРРИТОРИИ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ИЛЕ И ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО РЕЗЕРВАТА «ИЛЕ-БАЛКАШ» <i>Мадибеков А.С., Амиргалиев Н.А., Исмуханова Л.Т., Мусакулкызы А., Жади А.О., Султанбекова Б.М.</i>	77
СЕКЦИЯ 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА, ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА, АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, АЭРОЗОЛЕЙ.....	83
СПЕЦИФИКА БАЛАНСА СНЕГОВОЙ ВЛАГИ – КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ ПРОТИВОРЕЧИЙ В ОЦЕНКЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ РОЛИ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ <i>Онучин А.А., Мусохранова А.В., Буренина Т.А.</i>	84
МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА <i>Зубарева О.Н., Прысов Д.А., Данилова И.В., Пляшечник М.А.</i>	88
НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЫСОТЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА СКЛОНАХ ХИБИН <i>Черноус П.А., Михайленко Н.О.</i>	94
СЕКЦИЯ 4. РОЛЬ СНЕЖНОГО ПОКРОВА, АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, АЭРОЗОЛЕЙ В БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ И КРИОСФЕРЕ.....	101
АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ О. БОЛЬШЕВИК В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ <i>Першина Н.А., Полищук А.И., Павлова М.Т., Харитонова Е.С.</i>	102

МОНИТОРИНГ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОМ СТАЦИОНАРЕ ТУЙМААДА (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ) <i>Маркова С. А., Макаров В.Н.</i>	108
СЕКЦИЯ 5. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОКЕАНОВ, ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И БИОСФЕРЫ СО СНЕЖНЫМ ПОКРОВом, АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ, АЭРОЗОЛЯМИ.....	113
ИОННЫЙ СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ЭСТУАРИЯ РЕКИ ИНДИГИ (БАССЕЙН БАРЕНЦЕВА МОРЯ) <i>Котова Е.И., Нецветаева О.П., Титова К.В.</i>	114
ГЕОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ОЗЕРНЫХ ВОД ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТАЗОВСКОГО ПОЛУОСТРОВА <i>Куликова М.А., Соромотин А.В., Демидова В.Р.</i>	117
ОЦЕНКА СНЕЖНОГО ПОКРОВА КАК ИСТОЧНИКА ПОСТУПЛЕНИЯ УРАНА В ОЗЕРНЫЕ СИСТЕМЫ <i>Макаров В.Н., Седельникова А.Л.</i>	120
ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ОБЩЕГО И ВОДОРАСТВОРИМОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА КОНТИНЕНТАЛЬНОГО И МОРСКОГО АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ <i>Симонова Г.В., Калашникова Д.А., Ким В.В.</i>	125
СЕКЦИЯ 6. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА, АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, АЭРОЗОЛЕЙ НА ПРИРОДНЫЕ, СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА.....	130
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОТОКСИКАНТОВ В СНЕГОВОМ ПОКРОВЕ НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ <i>Журба О.М., Алексеенко А.Н., Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В.</i>	131
МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ В МАЛОМАСШТАБНЫХ СООБЩЕСТВАХ <i>Берестнева О.Г., Даидорж З., Куклина М.В., Тихомиров А.А., Труфанов А.И.</i>	136
ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В СНЕГОВОМ ПОКРОВЕ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (Г. КАРАГАНДА, РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН) <i>Адильбаева Т.Е., Таловская А.В., Язиков Е.Г.</i>	140
ЛАВИННАЯ ОПАСНОСТЬ ЮГА ПРИБАЙКАЛЬЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ <i>Гулевич В.П., Кобылкин Д.В.</i>	145

РЕКРЕАЦИОННО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗЕРА ХУБСУГУЛ (МОНГОЛИЯ) <i>Кобылкин Д.В., Мядзелец А.В., Куклина М.В., Хадбаатар С., Труфанов А.И.</i>	150
ПОВСЕДНЕВНЫЕ ПРАКТИКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СНЕГА И ЛЬДА <i>Куклина М.В., Хадбаатар С., Филиппова В.В., Саввинова А.Н., Федорова А.С.</i>	155
ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ИРКУТСКОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ТЕХНИКУМА ПО НАПРАВЛЕНИЮ - ИССЛЕДОВАНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ <i>Быстрова Л.Б., Долбилина Н.С., Дикан Т.Г., Викулина В.Ю., Озолия В.Л.</i>	160
СЕКЦИЯ 7. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ СНЕЖНОГО ПОКРОВА, АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, АЭРОЗОЛЕЙ	164
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ВЛАГОЗАПАСОВ В СНЕГЕ НА МАКРОВОДОСБОРАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ ПО ДАННЫМ ПРОЕКТА GLOBSNOW <i>Тананаев Н.И.</i>	165
УЧЕТ ВЛИЯНИЯ СЕТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЕТРОТУРБИН, ОРОГРАФИИ МЕСТНОСТИ, ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ И УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА АТМОСФЕРНЫЙ ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ <i>Ковальногов В.Н., Хахалев Ю.А., Корнилова М.И., Хахалева Л.В., Чукалин А.В., Демидов Д.А.</i>	170
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЕТРОТУРБИН, ВНЕШНИХ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭВОЛЮЦИЮ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ <i>Ковальногов В.Н., Корнилова М.И., Федоров Р.В., Хахалева Л.В., Чукалин А.В., Петров А.В.</i>	174
РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ВИЗУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ СЕТЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ: ПРИМЕР ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ <i>Зеленков Д.В., Труфанов А.И.</i>	179
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ <i>Путцев Р.И.</i>	183

СЕКЦИЯ 8. ТРАНСПОРТНОЕ СНЕГОВЕДЕНИЕ	192
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АГРАРНОЙ МЕСТНОСТИ НА ПАРАМЕТРЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА	
<i>Жуков С.С., Макаров В.С., Беляков В.В.</i>	193
ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНЫХ ТРАСС И ЗИМНИКОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ГЕОРАДАРМ	
<i>Чернов Р.А., Муравьев А.Я.</i>	201
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СНЕГА ПО ВЫСОТЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА	
<i>Макаров В.С., Папунин А.В., Беляев А.М., Ключикин А.А., Беляков В.В.</i>	206
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОРНЫХ ОСНОВАНИЙ	
<i>Папунин А.В., Ключикин А.А., Макаров В.С.</i>	211
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	217
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ	218
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. РАБОЧАЯ ГРУППА ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА КОНФЕРЕНЦИИ.....	220
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ФОТОГРАФИИ С IV БАЙКАЛЬСКОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ - СТРАТЕГИЧЕСКОЙ СЕССИИ «СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ, АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ, АЭРОЗОЛИ»	222

CONTENTS

WELCOME SPEECH	16
SECTION 1. METHODS, METHODOLOGY TO THE STUDY OF THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND COMPOSITION OF THE SNOW COVER, PRECIPITATION, AEROSOLS.	20
STUDIES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF PRECIPITATION AND AEROSOL IN THE FAR EAST OF RUSSIA	
<i>Kondratyev I. I.</i>	21
CHANGES IN SNOW COVER SURFACE TEMPERATURE DURING THE DAY. IRKUTSK	
<i>Ianchenko N.I.</i>	26
COMPARISON OF AIR TEMPERATURE AND SNOW HEIGHT. MARCH 2021-2023 IRKUTSK	
<i>Ianchenko N.I., Antsiferov E.A.</i>	32
ASSESSMENT OF SNOW COVER AS A SOURCE OF URANIUM INCOME INTO LAKE SYSTEMS	
<i>Makarov V.N.</i>	36
MATHEMATICAL PROCESSING OF THE RESULTS SNOW COVER STUDIES	
<i>Baranov A.N., Savchenko E.I., Peskova T.A.</i>	41
IMPACT OF RAIN ON THE CONCENTRATION OF PARTICULATE PARTICLES IN THE NEAR-SURFACE LAYER OF THE EARTH IN THE SUMMER PERIOD 2021-2022 ACCORDING TO THE DATA OF THE MIKHNEVO OBSERVATORY	
<i>Riabova S.A.</i>	45
ATMOSPHERIC AIR CONDITION OF THE «BASTAK» RESERVE OF THE JEWISH AUTONOMOUS REGION	
<i>Revutskaya I. L., Khristoforova N. K., Lonkina E. S.</i>	49
GEOCHEMICAL ACTIVITY OF SNOW AND LAYER-BY-LAYER VARIABILITY OF THE ISOTOPE RATIO ($\delta^{18}O$) IN THE SNOW MASS UNDER CONDITIONS OF THE DIFFERENT SURFACE ATMOSPHERE DUSTINESS	
<i>Simonenkov D.V., Tentyukov M.P., Smoleva I.V., Lyutoev V.P., Shukurov K.A., Belan B.D., Arshinov M.Yu., Ivlev G.A., Fofonov A.V., Mikhailov V.I., Buchelnikov V.S.</i>	54

ACCOUNTING FOR THE CONTRIBUTION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION, GROUNDWATER, AND THE GLACIER TO THE FORMATION OF THE RUNOFF OF A SMALL WATER COURSE IN THE MOUNTAIN-ARID ZONE ACCORDING TO THE DATA ON THE ISOTOPE COMPOSITION OF WATER (^{18}O , ^2H) AND URANIUM ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) <i>Tokarev I.V., Yakovlev E.Yu., Erokhin S.A., Tuzova T.V., Druzhinin S.V., Puchkov A.V.</i>	61
SECTION 2. THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE, PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES IN THE ATMOSPHERE AND ANTHROPOGENIC ACTIVITY AT THE CHEMICAL COMPOSITION OF SNOW COVER, PRECIPITATION, AEROSOLS.....	67
ASSESSMENT OF THE LEVEL OF POLLUTION OF THE SNOW COVER WITH INORGANIC COMPOUNDS IN THE TERRITORY OF THE SHELEKHOVSKY DISTRICT <i>Lisetskaya L.G.</i>	68
CHARACTERISTICS OF SOIL POLLUTION OF THE TERRITORY SVIRSK COMPOUNDS OF HEAVY METALS AND ARSENIC <i>Shayakhmetov S.F., Merinov A.V., Zhurba O.M., Alekseyenko A.N.</i>	72
CONTENT OF Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Co IN THE SNOW COVER OF THE TERRITORY OF THE ILE RIVER DELTA AND «ILE-BALKASH» STATE NATURAL RESERVE <i>Madibekov A., Amirgaliyev N.A., Ismukhanova L., Musakulkyzy A., Zhadi A., Sultanbekova B.</i>	77
SECTION 3. MODELING OF THE STUDY OF CLIMATE CHANGE, CHEMICAL COMPOSITION AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF THE SNOW COVER, PRECIPITATION AND AEROSOLS	83
THE SPECIFICITY OF SNOW MOISTURE BALANCE IS A KEY TO UNDERSTANDING CONTRADICTIONS IN THE ASSESSMENT OF THE HYDROLOGICAL ROLE OF BOREAL FORESTS <i>Onuchin A.A., Musokhranova A.V., Burenina T.A.</i>	84
MONITORING OF POLLUTION OF THE SNOW COVER IN THE RESIDENTIAL AREA OF KRASNOYARSK TOWN <i>Zubareva O.N., Prysov D.A., Danilova I.V., Plyashechnik M.A.</i>	88
SOME RESULTS OF ASSESSMENT OF SNOWPACK DEPTH VARIABILITY ON THE Khibiny Mountains Slopes <i>Chernous P.A., Mikhailenko N.O.</i>	94
SECTION 4. THE ROLE OF THE SNOW COVER, PRECIPITATION, AEROSOLS IN BIOGEOCHEMICAL CYCLES AND THE CRYOSPHERE	101

ANALYSIS OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF PRECIPITATION AND SNOW COVER ON THE TERRITORY OF BOLSHEVIK ISLAND IN THE AREA OF THE SEVERNAYA ZEMLYA ARCHIPELAGO	
<i>Pershina N.A., Polischuk A.I., Pavlova M.T., Kharitonova E.S.</i>	102
SNOW COVER MONITORING AT THE GEOCRYOLOGICAL STATION TUIMAADA (CENTRAL YAKUTIA)	
<i>Markova S. A., Makarov V. N.</i>	108
SECTION 5. INTERACTION OF THE OCEANS, THE LAND SURFACE AND THE BIOSPHERE WITH SNOW COVER, PRECIPITATION, AEROSOLS.....	113
IONIC COMPOSITION OF SNOW COVER IN THE ESTUARY OF THE INDIGA RIVER (BARENTS SEA BASIN)	
<i>Kotova E.I., Netsvetaeva O.P., Titova K.V.</i>	114
GEOCHEMICAL ANALYSIS OF SNOW COVER AND LAKE WATER IN THE SOUTHERN PART OF THE TAZOV PENINSULA	
<i>Kulikova M.A., Soromotin A.V., Demidova V.R.</i>	117
ASSESSMENT OF SNOW COVER AS A SOURCE OF URANIUM INCOME INTO LAKE SYSTEMS	
<i>Makarov V.N., Sedelnikova A.L.</i>	120
ISOTOPE COMPOSITIONS OF TOTAL AND WATER-SOLUBLE ORGANIC CARBON OF CONTINENTAL AND MARINE ATMOSPHERIC AEROSOLS	
<i>Simonova G.V., Kalashnikova D.A., Kim V.V.</i>	125
SECTION 6. ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE SNOW COVER, PRECIPITATION, AEROSOLS ON NATURAL, SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS AND HUMAN HEALTH.....	130
STUDY OF ECOTOXICANTS IN SNOW COVER IN URBANIZED TERRITORY	
<i>Zhurba O.M., Alekseyenko A.N., Shayakhmetov S.F., Merinov A.V.</i>	131
SOCIAL CONNECTION MODELLING FOR SMALL - SCALE COMMUNITIES	
<i>Berestneva O.G , Dashdorj Z., Kuklina M.V., Tikhomirov A.A., Trufanov A.I.</i>	136
APPLICATION OF STATISTICAL METHODS FOR THE ANALYSIS OF ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL MEASUREMENTS OF THE ELEMENT OF THE SNOW COVER AROUND THERMAL POWER PLANT (KARAGANDA, REPUBLIC OF KAZAKHSTAN)	
<i>Adil'bayeva T.E., Talovskaya A.V., Yazikov E.G.</i>	140
AVALANCHE DANGER OF THE SOUTH OF THE BAIKAL REGION FOR THE DEVELOPMENT OF RECREATIONAL ACTIVITIES	
<i>Gulevich V.P., Kobylkin D.V.</i>	145

RECREATIONAL-GEOMORPHOLOGICAL POTENTIAL OF THE COAST OF LAKE KHUBSUGUL (MONGOLIA)	
<i>Kobytkin D.V., Miadzelets A.V., Kuklina M.V., Khadbaatar S., Trufanov A.I.</i>	150
DAILY PRACTICES USING SNOW AND ICE	
<i>Kuklina M.V., Khadbaatar S., Filippova V.V., Savvinova A.N., Fedorova A.S.</i>	155
ORGANIZATION OF EDUCATIONAL AND RESEARCH WORK OF IRKUTSK HYDROMETEOROLOGICAL COLLEGE STUDENTS IN THE FIELD OF SNOW COVER AND PRECIPITATION RESEARCH	
<i>Bystrova L.B., Dolbilina N.S., Dekan T.G., Vikulina V.Yu., Ozolinya V.L.</i>	160
SECTION 7. INFORMATION TECHNOLOGIES IN RESEARCH OF THE SNOW COVER, PRECIPITATIONS AND AEROSOLS....	164
DISTRIBUTION AND TRENDS IN MONTHLY AVERAGE SNOW WATER EQUIVALENT ACROSS NORTHERN EURASIAN MACROWATERSHEDS	
<i>Tananaev N.I.</i>	165
ACCOUNTING FOR THE INFLUENCE OF A NETWORK OF TERRITORIALLY DISTRIBUTED WIND TURBINES, TERRAIN OROGRAPHY, SURFACE ROUGHNESS AND CONTROL INFLUENCES ON THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER	
<i>Kovalnogov V.N., Khakhalev Yu.A., Kornilova M.I., Khakhaleva L.V., Chukalin A.V., Demidov D.A.</i>	170
PATTERNS OF WIND TURBINES OPERATION MODES, EXTERNAL CONTROL ACTIONS INFLUENCE ON THE EVOLUTION OF THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER	
<i>Kovalnogov V.N., Kornilova M.I., Fedorov R.V., Khakhaleva L.V., Chukalin A.V., Petrov A.V.</i>	174
DEVELOPMENT OF VISUAL SUPPORT TOOLS FOR NETWORK STUDIES OF NATURAL SYSTEMS: AN EXAMPLE OF EARTHQUAKES IN THE BAIKAL RIFT ZONE	
<i>Zelenkov D.V., Trufanov A.I.</i>	179
DEVELOPMENT OF A SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR USE IN THE FIELD OF AVALANCHE HAZARD FORECASTING	
<i>Pupcev R.I.</i>	183
SECTION 8. TRANSPORT SNOW SCIENCE.....	192
ANALYSIS OF INFLUENCE OF AGRICULTURAL TERRAIN CHARACTERISTICS ON SNOW COVER PARAMETERS	
<i>Zhukov S.S., Makarov V.S., Belyakov V.V.</i>	193

FIELD INVESTIGATIONS OF CHARACTERISTICS OF SNOW ROUTES AND WINTER ROADS WITH HIGH-FREQUENCY GEORADAR	
<i>Chernov R.A., Muraviev A.Ya.</i>	201
STUDY OF SNOW DENSITY DISTRIBUTION BY SNOW COVER HEIGHT	
<i>Makarov V.S., Papunin A.V., Belyaev A.M., Klyushkin A.A., Belyakov V.V.</i>	206
DEVELOPMENT OF A DEVICE DESIGN FOR DETERMINING THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE SUPPORT BASES	
<i>Papunin A.V., Klushkin A.A., Makarov V.S.</i>	211
APPLICATIONS	217
APPLICATION 1. INDEX OF AUTHORS	218
APPLICATION 2. WORKING GROUP OF THE ORGANIZING COMMITTEE	220
APPLICATION 3. PHOTOS FROM 4RD BAIKAL INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE - STRATEGIC SESSION "SNOW COVER, ATMOSPHERIC PRECIPITATION, AEROSOLS"	222



ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО

Владимир Сергеевич Макаров,
доктор технических наук,
профессор «Нижегородского
государственного технического
университета им. Р.Е. Алексеева»,
Нижний Новгород

Dr. Sci. Vladimir Makarov
Nizhny Novgorod State Technical
University n.a. R.E. Alekseeva, Nizhny
Novgorod, Russia

Уважаемые участники конференции, здравствуйте!

Рад Вас приветствовать на V Байкальской международной научной конференции-стратегической сессии «Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли». География представленных материалов охватывает всю нашу страну от Южно-Сахалинска до Санкт-Петербурга. Также много докладов от коллег из соседних стран. В очередной раз конференция собрала участников, занятых исследованием снежного покрова, атмосферных осадков, аэрозолей по разным, в том числе междисциплинарным направлениям исследований. И это хорошо! Как показал опыт предыдущих лет именно тогда, когда на площадке конференции общаются ученые и исследователи из, казалось бы, не пересекаемых областей деятельности, рождаются новые идеи и мысли. И это великолепно! Кроме того, природа Прибайкалья поражает своим величием и умиротворенностью.

Желаю Вам прекрасно провести время, обогатиться в научном и духовном плане, а красоты Байкала в этом помогут.

Hello, dear participants of the conference!

I am glad to welcome You to the V Baikal International Scientific Conference-Strategic Session "Snow cover, atmospheric precipitation, aerosols". The geography of the materials presented covers our entire country from Yuzhno-Sakhalinsk to St. Petersburg. There are also many reports from colleagues from neighboring countries. Once again, the conference brought together participants engaged in the study of snow cover, atmospheric precipitation and aerosols in various areas of research, including interdisciplinary lines. That is perfect! As the experience of previous years has shown, it is when scientists and researchers from seemingly non-overlapping fields of activity communicate at the conference that new ideas and thoughts are born. And it's great! In addition, the nature of the Baikal region impresses with its greatness and tranquility.

I wish You have a great time and enrich yourself scientifically and spiritually, and the beauty of Lake Baikal will help You in this!

ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО

Председатель программного комитета,

Наталья Ивановна Янченко,

доктор технических наук
по специальности «Экология», доцент,
ведущий специалист ИРНТУ

Chairman of the program committee,

Dr. Sci. Natalia Ianchenko

Associate Professor, Leading Specialist
National Research Technical University,
Irkutsk, Russia



Уважаемые читатели, авторы и участники конференции!

Мы рады представить пятый сборник материалов, изданный в рамках V Байкальской международной научной конференции-стратегической сессии «Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли». Как и прежде конференция проходит благодаря поддержке Иркутского национального исследовательского технического университета, создается совместными усилиями организаторов, спонсоров и наших дорогих очных, заочных, онлайн участников. И конференция, и сборник объединяют исследователей, которые своими трудами прокладывают тропы к научным горизонтам. Среди очных участников конференций были аспиранты, которые впоследствии стали кандидатами наук и кандидаты наук, которые стали докторами наук, авторы публикаций третьей конференции имели возможность опубликовать и опубликовали свои материалы в журнале второго (третьего) квартала. Также отмечаем, что сборник материалов конференции размещается в научной электронной библиотеке eLIBRARY.

Благодарим уважаемых авторов и читателей данного сборника и приглашаем исследователей присоединиться к нашим конференциям, которые уже пять лет традиционно проходят на берегу озера Байкал. Мы надеемся, что при встречах вы почувствуете очарование Сибирской природы, щедро дарящей вдохновение для дальнейших творческих созидательных решений.

Dear readers, authors and conference participants!

We are pleased to present the fifth collection of materials published within the framework of the V Baikal International Scientific Conference-Strategic Session "Snow cover, atmospheric precipitation, aerosols". As before, the conference is held with the support of the Irkutsk National Research Technical University and is created by the joint efforts of the organizers, sponsors, as well as our dear full-time, part-time and online participants. Both the conference and the collection bring together researchers who pave the way to scientific horizons with their work. Among the full-time participants of the conferences were graduate students who later became candidates of sciences and candidates of sciences who became doctors of sciences, the authors of the publications of the third conference had the opportunity to publish and published their materials in the journal of the second (third) quarter. We also note that the collection of conference materials is available in the scientific electronic library eLIBRARY.

We thank the dear authors and readers of this collection and invite researchers to join our conferences, which have traditionally been held on the shores of Lake Baikal for five years now. We hope that during the meetings you will feel the charm of Siberian nature, generously giving inspiration for further creative noble decisions.



ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО

Беляков Владимир Викторович,

Заслуженный работник высшей школы РФ, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, Почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор, начальник Управления научно-исследовательских и инновационных работ «Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород

Prof. Vladimir Belyakov

Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation in the field of science and technology, Honorary Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Research and Innovation Department of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod

Уважаемые участники V Байкальской научной конференции «Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли» от имени руководства Нижегородского государственного технического университета им Р.Е. Алексеева приветствую вас и благодарю за проявленное внимание и участие в данном мероприятии.

Лед и снег — это величайшие творения природы. Только 4% (74% - темная энергия, 22% - темная материя) вещества Вселенной составляет видимая материя, при этом из них **1,8% её составляет ледяной компонент** (97,7% - газы, 0,5% - минеральное вещество). При этом на ряде естественных космических объектов встречается не только водный лед и снег, но и присутствуют неводные ледовые компоненты (метановые, аммиачные углекислотные и другие типы). На планете Земля 130 млн. км² - 1/4 поверхности ежегодно покрыта снегом и льдом. На необъятных просторах России 80% её территории покрыто снегом на 5...10 месяцев в году, где среднеголетняя высота снежного покрова составляет 1,2 м.

Ледовым компонентом (льдом), в широком понятии, называют некоторые вещества в твёрдом агрегатном состоянии, которым свойственно иметь жидкую или газообразную форму при нормальной (комнатной) температуре. Вопросами изучения ледового компонента Вселенной занимается **криология**, которая исследует физические, химические и минералогические изменения жидкостей и газов при температурах ниже их точки замерзания, а также природные тела и явления, возникающие при отрицательных температурах.

Специфическую форму ледового компонента представляет снег — форма атмосферных осадков, состоящая из мелких кристаллов льда. Снег - решающий погодный фактор, он оказывает влияние на все отрасли человеческой деятельности и особенно в районах сурового климата.

Изучением **снежных осадков** и сформированного в результате их оседания на землю **снежного покрова** занимается **снеговедение** — наука, возникшая на стыке криологии (гляциологии), метеорологии, биологии и инженерии. Снеговедение, бурно развивающееся, как в Мире, так и в России научная отрасль, которая становится серьезной, многосложной современной дисциплиной, общенаучная значимость её весьма велика, а практические приложения неисчислимы.

Снег относится к обложным осадкам, выпадающим на поверхность естественных космических объектов при наличии на них атмосфер. Выпадение снежных осадков формирует снежный покров, который значительно осложняет существование человека в районах устойчивого снеголежания. В целом снеговедение подразделяется на *естественное* и *инженерное*. Предметом естественного снеговедения - является формирование и существование снежного покрова, инженерного – взаимодействие снега с техническими и архитектурными объектами. К инженерному снеговедению относится *транспортное снеговедение* изучающее взаимодействие транспортных систем со снежным покровом, а также методы и средства *снегоуборки*.

На базе НГТУ и Р.Е. Алексеева более 90 лет существует Научно-практическая школа транспортного снеговедения, основанная Михаилом Викторовичем Веселовским в 1929 году, когда им были построены первые аэросани с мотоциклетным двигателем для конкурса АВТОДОРА. Нижегородская научно-практическая школа транспортного снеговедения прошла большой эволюционный путь от первых аэросаней удостоенных премии «АВТОДОРА» (1929 г.) до современных снего-болотоходных транспортных средств, создателям, которых присуждена премия Правительства РФ в области науки и техники (2022 г.). В рамках этой научной школы было создано более сотни образцов снегоходных машин и специальных машин для разработки снега, льда и мерзлых грунтов.

В до военный период аэросани нижегородского производства обслуживали почтовые, санитарные и другие коммерческие перевозки в Нижегородском крае и среднем Поволжье. В годы Великой отечественной войны аэросани, созданные конструкторами научной школы, и построенные на оборонных предприятиях Наркомлеса и Наркомречфлота, участвовали в боевых операциях на всех фронтах включая оборону Москвы, охрану ленинградской дороги жизни, сталинградское сражение. Созданные сегодня боевые снегоходные машины приняты на вооружение в российской армии и специальных военных структурах. В после военный период снегоходные машины Нижегородской научно-практической школы транспортного снеговедения работали в космических поисково-спасательных отрядах СССР и службах МЧС России. Создавался и создается сегодня большой спектр снегоходных и снегоуборочных машин гражданского назначения. Так сегодня машины для разработки льда участвуют в монтаже байкальского нейтринного телескопа.

Сотрудники Нижегородской научно-практической школы транспортного снеговедения со своими машинами принимали участие в десятке арктических и антарктических экспедиций. Под руководством Аркадия Федоровича Николаева санно-гусеничный поезд достиг Полюса относительной недоступности Антарктиды (1957 г.). В Арктике осуществлялись работы по строительству аэродромов на дрейфующих льдинах для дозаправки стратегических бомбардировщиков, носителей ядерного оружия, в рамках Атомного проекта СССР (1956 г.).

В Нижегородской научно-практической школе транспортного снеговедения созданы теоретические основы передвижения по снежному покрову машин оснащенных различными типами движителей и по разработке снега, льда и мерзлых грунтов, подтвержденные большим количеством экспериментальных исследований. В рамках выполнения этих работ были получены большие объемы данных по физико-механическим свойствам, снега и льда как поверхностей движения и рабочих сред, а также их изменений в зависимости от метеоусловий.

В этом году впервые в рамках Байкальской научной конференции «Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли» будет работать секция «Транспортное снеговедение». Мы надеемся, что работы данной секции обогатят теоретические и практические знания в области транспортного снеговедения. Найдутся связи с базовыми направлениями конференции. Желаем вам новых открытий и ярких достижений в области криологических исследований.

***СЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ, СРЕДСТВА, МЕТОДОЛОГИЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ И СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА,
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, АЭРОЗОЛЕЙ***

***SECTION 1. METHODS, METHODOLOGY TO THE
STUDY OF THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES
AND COMPOSITION OF THE SNOW COVER,
PRECIPITATION, AEROSOLS***

ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДКОВ И АЭРОЗОЛЯ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

Кондратьев И.И.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН. Владивосток, Россия

igor@tigdvo.ru

Аннотация. Представлены основные результаты изучения химического состава атмосферных осадков и элементного состава аэрозоля, полученные по материалам исследований и данным мониторинга химического состава осадков на территории Дальнего Востока России.

Ключевые слов. Мониторинг, аэрозоль, трансграничный перенос, эмиссия.

STUDIES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF PRECIPITATION AND AEROSOL IN THE FAR EAST OF RUSSIA

Kondratyev I. I.

Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch, RAS, Vladivostok, Russia

igor@tigdvo.ru

Summary. The chemical composition of precipitation and aerosol in the Territory of the Russian Far East, obtained from research materials and monitoring data, are presented in this work.

Key words: Monitoring, aerosol, transboundary transport, emissions.

Первые фундаментальные исследования закономерностей миграции вещества в природных и антропогенных средах юга Дальнего Востока были проведены сотрудниками Тихоокеанского института географии ДВО РАН в 80-х годах XX века [1, 2]. Полученные результаты заложили методологическую основу для дальнейших исследований. С целью изучения состояния и динамики глобального фонового загрязнения окружающей среды в СССР создавалась сеть станций фонового мониторинга. Одну из них предполагалось создать в Сихотэ-Алинском биосферном заповеднике (САБЗ). В связи с этим возникла необходимость обследовать территорию заповедника и буферную зону на предмет фонового загрязнения. Проводились обследования почв, растительности, поверхностных вод, гидробионтов, также исследовался элементный состав атмосферного аэрозоля и химический состав осадков и снежного покрова. Отбор проб аэрозоля проводился путем принудительного фильтрования 1,5-2,0 тыс. м³ воздуха в сутки через

волоконный фильтр марки ФПП. Содержания элементов Si, Al, K, Ca и Ti определялся на рентгеновском спектрометре СРМ-20. Тяжелые металлы после химического разложения фильтров анализировались атомно-абсорбционным методом (Hitachi-180/70).

С января 1986 по май 1988 гг. отбор проб аэрозоля проводился на метеостанции в поселке Терней и в 1989 на территории САБЗ. Результаты исследований, показали явно выраженную сезонную изменчивость концентраций пыли и макроэлементов в атмосфере заповедника (рис. 1). Рост концентраций аэрозоля начинается в феврале и достигает максимума в весенний период в апреле - мае. Второй максимум концентраций наблюдается осенью. Летом, в Приморье выпадает, основная масса осадков, которые очищают атмосферу от взвеси, что и объясняет низкие концентрации аэрозоля. На изменчивость содержания взвеси в атмосфере пос. Терней, несомненно, оказывает влияние антропогенная составляющая, в основном пыль, поднимаемая автотранспортом с грунтовых дорог. На территории заповедника (САБЗ), где отсутствуют локальные источники загрязнения атмосферы, концентрации взвеси и макроэлементов в четыре раза ниже, чем поселке. Здесь содержание взвеси в основном определяются выносом пыли из азиатских пустынь в весенний период [3]. Это явление хорошо известно в Китае, Кореи и Японии. Подтверждением выноса пыли являются весенний рост концентраций ^{137}Cs в атмосфере Приморья [4]. Этот долгоживущий радионуклид осел и адсорбировался в почве азиатских пустынь в период испытаний ядерного оружия и аварий на АЭС. С частицами почвы он переносится на большие расстояния в период пыльных бурь в пустынях [4].

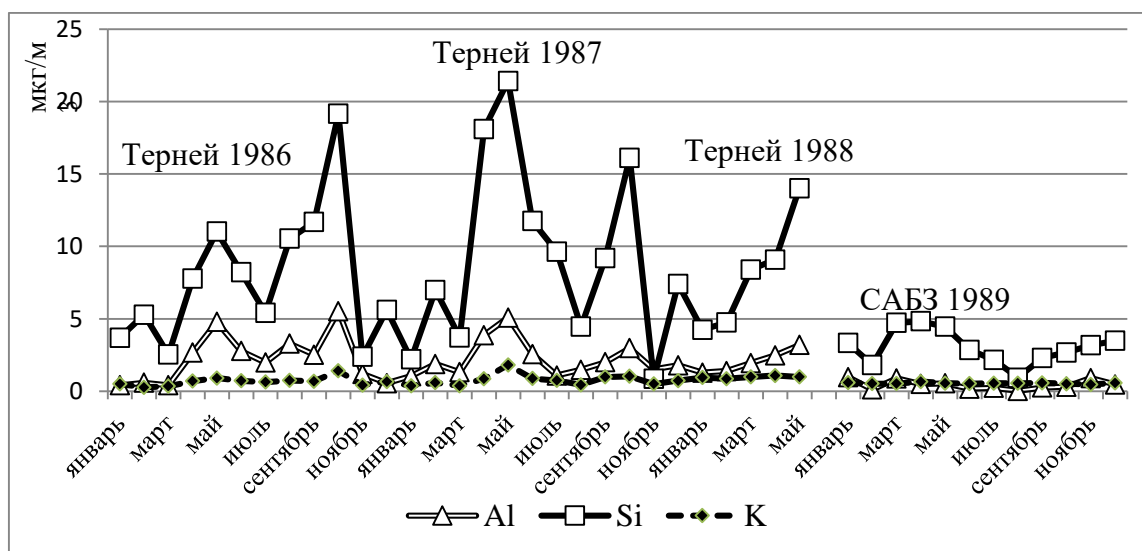


Рисунок 1. Изменчивость среднемесячных концентраций Al, Si и K в воздухе пос. Терней и САБЗ в 1986 -1989 гг.

Пробы снежного покрова отбирались на территории заповедника и буферной зоны. Раздельно исследовалась взвешенная и растворенная фракции растаявшего снега. В растворенной фракции определялись рН,

основные гидрохимические показатели и микроэлементы (Mn, Fe, Ni, Cu, Cd). Исследования химического состава снежного покрова показали более высокое содержание ионов морского происхождения на восточном склоне Сихотэ-Алиня и повышенные концентрации элементов терригенного происхождения на западном [3]. С целью выявления зон антропогенного воздействия и их границ в 2000-х годах исследования химического состава снежного покрова охватили практически всю территорию Приморского края. Были выявлены зоны антропогенного воздействия ряда городов Приморья: Владивостока, Спасска-Дальнего, Дальнегорска. В 2005 г. на территориях не подверженных локальному антропогенному воздействию была зафиксирована аномально высокая кислотность снежного покрова. В ряде точек отбора проб, рН составлял 3,7, 3,8 ед. Случаи повышенной кислотности снежного покрова регистрировались и ранее, но в 2005 году она наблюдалась на большей части обследованной фоновой территории (5). Анализ синоптического материала показал, что в зимний период 2004-2005 гг. снежный покров в Приморье сформировался в результате выхода пяти циклонов. Три из них зародились в восточных провинциях Китая, являющихся крупнейшими центрами эмиссии загрязняющих веществ в восточной Азии. Один циклон сформировался во Внутренней Монголии и один на юге Японского моря. Осадки, принесенные этими циклонами, определяли химический состав снежного покрова на момент отбора проб. Анализ данных химического состава осадков сети мониторинга на территории Дальнего Востока показал, что рост кислотности осадков на станциях юга региона наблюдается с 1980-х годов (рис. 2).

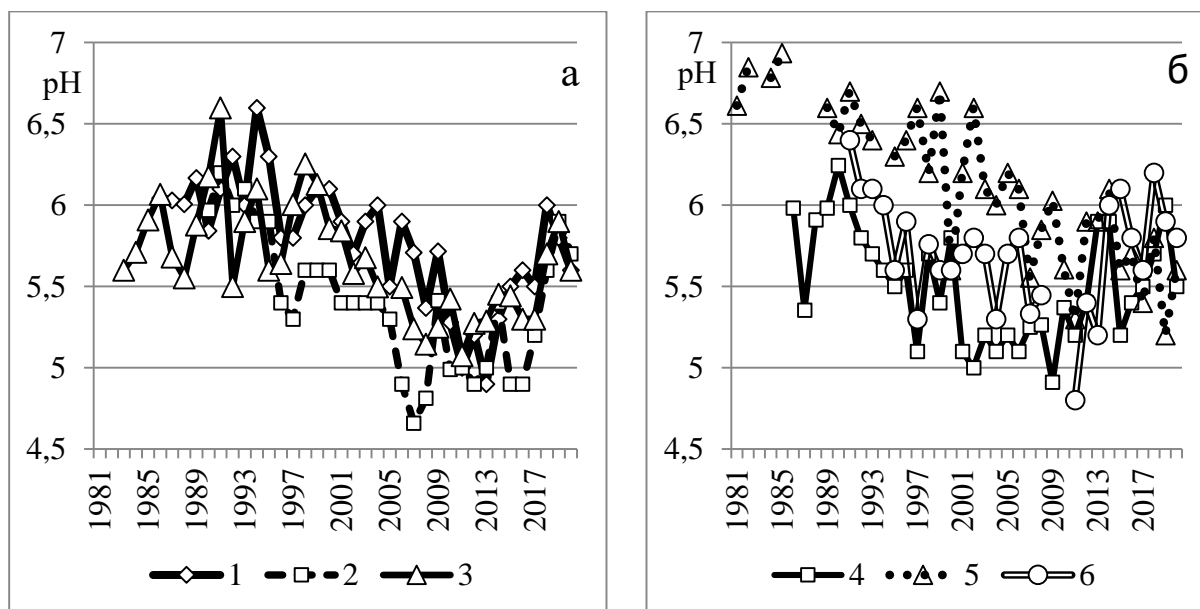


Рисунок 2. Изменчивость кислотности осадков на станциях мониторинга химического состава осадков Дальнего Востока.

(а - Приморский край: 1 - Садгород, 2 – Партизанск, 3 – Терней), (б: 4 – Петропавловск-Камчатский, 5 – Палатка (Магаданская область), 6 – Александровск (Сахалин)).

Основной причиной кислотных осадков являются окислы серы и азота, которые попадают в атмосферу с выбросами промышленных предприятий и транспорта. К загрязнению атмосферы от местных источников добавляется трансграничный перенос загрязняющих веществ из сопредельных стран. Западно-восточным переносом воздушных масс, преобладающим в сороковых широтах, загрязняющие атмосферу вещества и осадки переносятся на Дальний Восток с территории Китая. В районах с высокой плотностью эмиссии загрязняющих веществ, циклоны, в процессе своего формирования, могут включать в свою циркуляцию эти вещества и переносить их на большие расстояния.

Основная масса осадков выпадает в Приморье в результате выхода циклонов. Анализ траекторий перемещения циклонов, вызвавших осадки в Приморье показал, что в период с 2002 по 2013 гг. наиболее часто выходили циклоны с юго-запада, северо-запада и запада. Для оценки степени воздействия трансграничного переноса загрязняющих веществ на территорию Приморского края наибольший интерес представляют юго-западные и западные (выходящие южнее 45° с. ш.) циклоны, которые формируются в загрязненной атмосфере урбанизированных районов Китая. Количество таких циклонов за период с 2002 по 2013 гг. в среднем составляло 31 и 16 % от общего их числа всех типов циклонов. За анализируемый период больше всего осадков в Приморье было вызвано выходом юго-западных циклонов, на них приходилось в среднем 44 % от общей суммы всех осадков. Начиная с 2010 г. происходит постепенное сокращение количества осадков, причиной которых были юго-западные циклоны. За 11-летний период юго-западные циклоны за счет большего количества осадков дали наибольший вклад в суммарный поток влажных выпадений сульфатов и нитратов (соответственно, 43 и 40 % от всех типов циклонов). Максимум вклад юго-западных циклонов в общий поток выпадений сульфатов и нитратов достиг в 2007 г. - 70 и 64 %, но в 2012 он сократился до 14 и 10 % соответственно [6]. Изменчивость циркуляции атмосферы в регионе, выразившаяся в сокращении числа юго-западных циклонов, совпала со стабилизацией, а затем некоторым сокращением в Китае выбросов окислов серы в атмосферу. По-видимому, именно эти факторы определили понижение среднегодовых концентраций сульфатов в осадках при некотором росте концентраций нитратов. В отдельные года среднегодовые концентрации нитратов в осадках были выше чем сульфатов. Проведенный анализ показал, что в среднем за 11-летний период, каждый из шести типов циклонов имел свои особенности изменчивости плотности выпадений сульфатов и нитратов. Значимые корреляционные зависимости изменчивости среднегодовых потоков влажных выпадений сульфатов и нитратов для каждого типа циклонов, а также отсутствие корреляции между среднегодовой изменчивостью выпадений разных типов циклонов, свидетельствует об общих источниках поступления кислотообразующих

веществ в воздушные массы в период формирования каждого из этих типов циклонов.

Угрозу для экосистем Дальнего Востока кроме кислотных осадков представляют, также все возрастающий поток выпадений азота. В среднем поток выпадений азота на станции фоновоего мониторинга «Приморская» в 2013/17 гг. составлял 0,72 г/м²год. В 2018 г. уровень только влажных выпадений на этой станции был выше критической величины 1г/м²год. Излишнее осаждение азота изменяет характер растительности, вследствие чего большое количество находящихся под охраной видов замещаются доминантными видами растительности – такими, как травы, кустарники.

Исследования дисперсного, химического и минералогического состава микрочастиц в снежном покрове были проведены в малых, больших городах и заповедниках на территории Дальнего Востока сотрудниками Дальневосточного Федерального университета. Были получены уникальные данные о сложном дисперсионном, минералогическом составе частиц, в том числе и на территориях, удаленных от зон локального загрязнения атмосферы, что подтверждает трансграничный перенос этих частиц терригенного и антропогенного происхождения на территорию Дальнего Востока [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елпатьевский П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М.: Наука, 1993. С. 252.
2. Елпатьевский П. В., Аржанова В. С., Разжигаева Н. Г. Аэральная компонента материальной основы почвообразования на Юге Приморья // Почвоведение. № 11. 1993.- С. 5-8.
3. Кондратьев И. И. Элементный состав и сезонная изменчивость концентраций аэрозоля в Сихотэ-Алинском биосферном заповеднике. // Метеорология и гидрология. № 2. 2002.- с. 31-42.
4. Кондратьев И. И., Скалыга О. Р. Атмосферный трансграничный перенос цезия-137 терригенной пылью азиатских пустынь на юг Дальнего Востока // География и природные ресурсы. 2011 № 2.- СС 32-38.
5. Кондратьев И. И. Трансграничный атмосферный перенос аэрозоля и кислотных осадков на юг Дальнего Востока России - Монография - 2014. Дальиздат. - 300 с.
6. Кондратьев И. И., Гришина М. А., Мезенцева Л. И. Зависимость влажных выпадений сульфатов и нитратов от траекторий циклонов // География и природные ресурсы. 2020 № 2 СС 135–142.
7. Холодов А. С., Чернышов С. М., Угай С. М., Кириченко К. Ю., Чайка В. В., Голохваст К. С. и др. Дисперсный и химический состав атмосферных выпадений в снежном покрове городов Дальнего Востока России – Монография - 2021. Изд-во ДФВУ, 293 с.

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ТЕЧЕНИЕ СУТОК. ИРКУТСК

Янченко Н.И.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

fduesn@bk.ru

Аннотация. Исследовали изменение температуры воздуха и температуры на поверхности снежного покрова в отдельные даты 21 января 2022; 9, 15, 18, 29 декабря 2022; 1 января 2023; 18, 25 февраля 2023 года в Иркутске. Температура поверхности снежного покрова в течение суток не постоянна, температура поверхности повышается в интервале 10 - 15 часов. Установлена высокая степень корреляции ($R 0,63 \dots 0,99$) для зависимости изменения температуры поверхности снега от температуры воздуха. Отмечено явление вымораживание поверхности снежного покрова, когда поверхность снежного покрова более холодная, чем воздух. Это отмечается как в дневное время, так и в отсутствие солнечной радиации.

Ключевые слова: снежный покров, температур воздуха, Иркутск.

CHANGES IN SNOW COVER SURFACE TEMPERATURE DURING THE DAY. IRKUTSK

Ianchenko N.I.

National Research Technical University, Irkutsk, Russia

fduesn@bk.ru

Summary. We studied the change in air temperature and temperature on the surface of the snow cover on separate dates January 21, 2022; December 9, 15, 18, 29, 2022; January 1, 2023; February 18, 25, 2023 in Irkutsk. The temperature of the surface of the snow cover during the day is not constant, the temperature rises in the range of 10 - 15 hours. A high degree of correlation ($R 0.63 \dots 0.99$) was established for the dependence of the change in the temperature of the snow surface on the air temperature. The phenomenon of freezing of the surface of the snow cover is noted, when the surface of the snow cover is colder than the air. This is observed both in the daytime and in the absence of solar radiation.

Key words: snow cover, temperatures, Irkutsk

Изучение температуры поверхности снежного покрова имеет теоретическое, прикладное значение и является актуальным. Например, А. Б. Шерстюков пишет, что «в инженерной геокриологии разработаны разные методы стабилизации фундаментов сооружений ... Однако такие модели не

получили большого распространения, поскольку для расчетов требуется полный набор метеорологических данных, параметров снежного покрова и почвы, которые для больших территорий часто не удается получить» [1]. Связь температуры воздуха и температуры поверхности снежного покрова (ПСП) представлена уравнением в работе В.М. Котлякова и А.В. Сосновского [2]. Об актуальности данной темы указывает В.В. Пономарев [3], он пишет что, «представляется ценным получение конкретных значений термического режима снежного покрова и поверхностного почвенного слоя для территории государственного природного заповедника «Присурский» для учета влияния данного фактора в экологических исследованиях».

Цель работы: сравнение температуры поверхности снежного покрова с температурой воздуха в отдельные даты зимнего периода 2022/2023 годов в Иркутске.

Полевые наблюдения за температурой воздуха, снежного покрова и высотой снежного покрова в Иркутске были выполнены с помощью автономного автоматического атмосферно-снежного измерительного комплекса [4]. Прибор установили на нижнем стадионе ИРНИТУ. Комплекс включает измерительную рейку (термокоса) длиной 40 см с малогабаритными цифровыми датчиками температуры, расположенными через 2,5 см, солнечную батарею, контроллер. Измерительный комплекс настроен для регистрации T каждый час, результаты передаются на удаленный сервер. Высота снежного покрова (СП) определяется по изменению температуры T на границе воздух-поверхность снега [4], по данным на 5 утра.

На рисунках 1 (а) - 8 (а) представлен ход температуры на поверхности снежного покрова в течение суток в выборочные даты 21.11.2022; 9, 15, 18, 29 декабря 2022; 01.01.2023; 18, 25 февраля 2023.

В дневное время ТПСП выше, чем ТПСП в другие часы отдельных суток, например, 21.11.2022 (рис.1 (а)), 15.12.2022 (рис.3 (а)), 29.12.2022 (рис.5 (а)), 01.01.2023 (рис.6 (а)), 18.02.2023 (рис.7 (а)), 25.02.2023 (рис.8 (а)), кроме данных 9.12.2022 (рис.2.(а)).

На рисунках 1 (б) - 8 (б) представлен ход разницы температур между температурой воздуха (T_B) и температурой поверхности снежного покрова ($T_{ПСП}$). Если $\Delta T > 0^\circ\text{C}$, то наблюдается явление выхолаживания, при этом $T_{ПСП}$ ниже, чем T воздуха, т.е. поверхность СП более холодная по сравнению с температурой воздуха. Анализ хода кривой показывает, что максимальное выхолаживание (максимальные значения ΔT) может быть как в дневное время (рис.5-8 (б)), так и при снижении солнечной радиации или при ее отсутствии (рис.1-8 (б), рис.8. (г)). Например, 21.11.2022 (рис.1 (б)) только с 11/12 часов до 15/16 часов не было явления выхолаживания, когда ΔT менее 0°C .

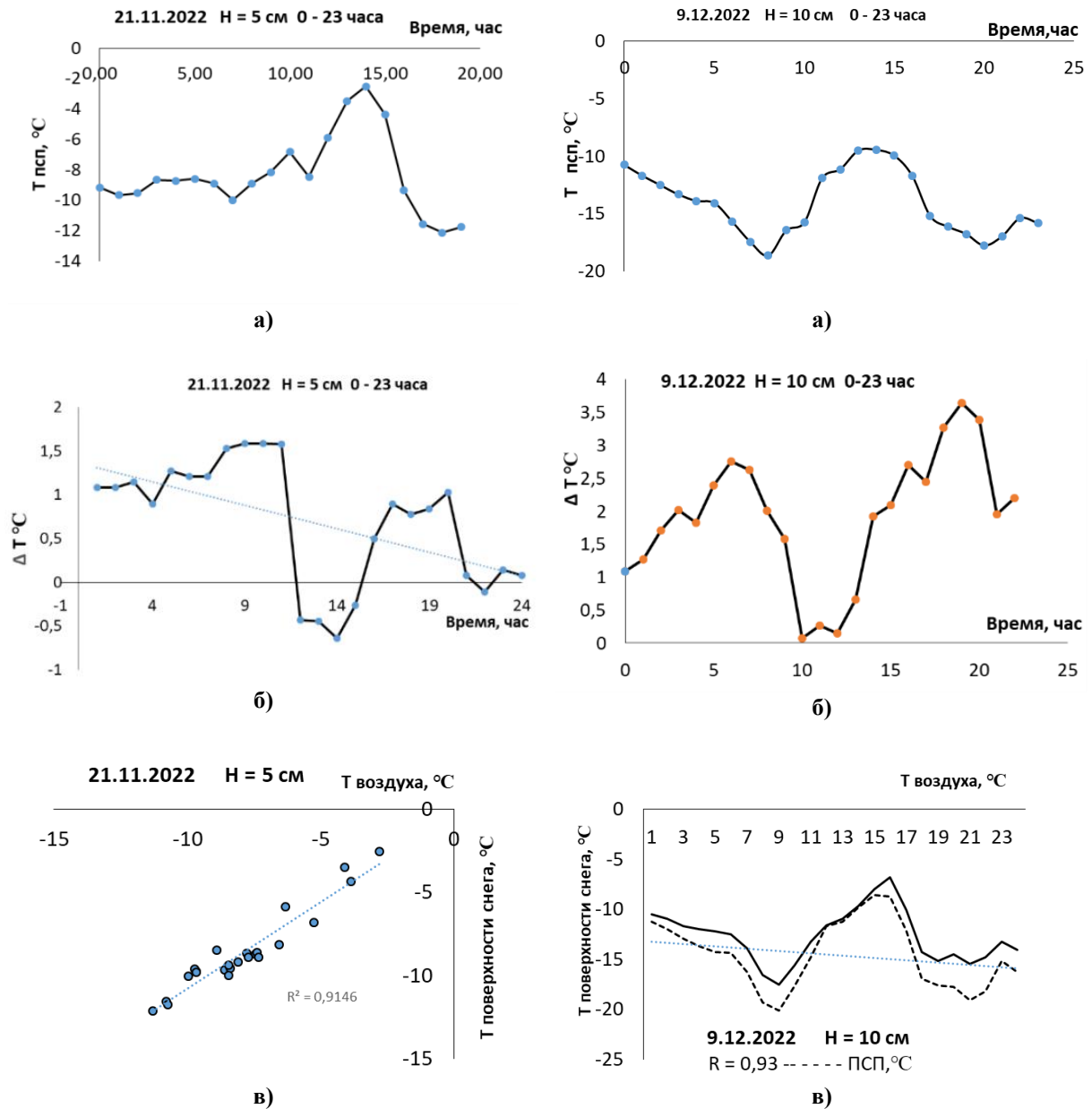
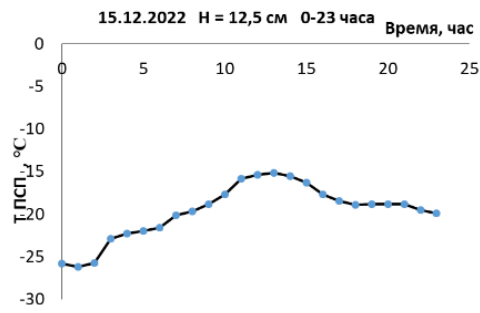


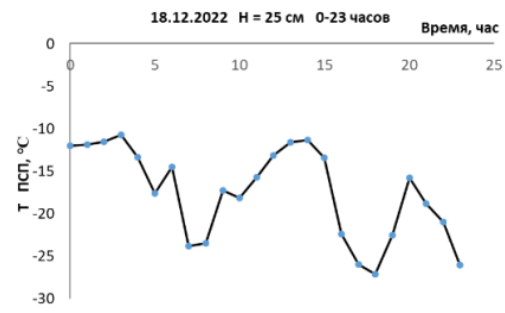
Рисунок 1. Изменение T_{псп} (а); изменение разности между T_в и T_{псп} (б) корреляция T_в и T_{псп} (в) в течение суток 21.11.2022. H_{сп} = 5 см

Рисунок 2. Изменение T_{псп} (а); изменение разности между T_в и T_{псп} (б) и корреляция T_в и T_{псп} (в) в течение суток 9.12.2022. H_{сп} = 10 см

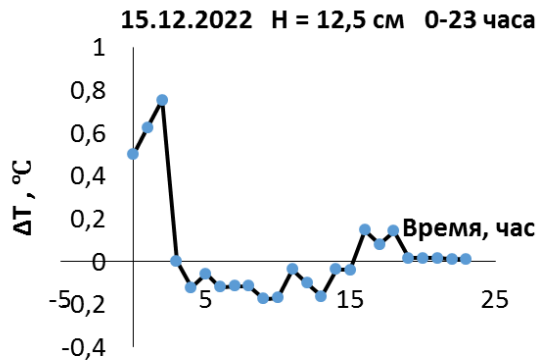
Как указано в работе [1], «сочетание излучательных, отражательных и изоляционных свойств снежного покрова приводит к выхолаживанию его поверхности и образованию приземных радиационных инверсий температуры, при которых самая низкая температура отмечается у поверхности снежного покрова, а с увеличением высоты она растет» [1].



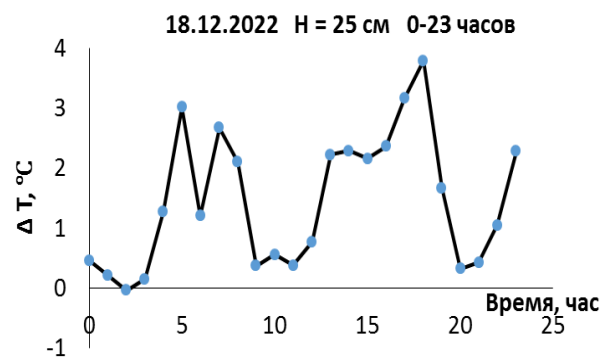
а)



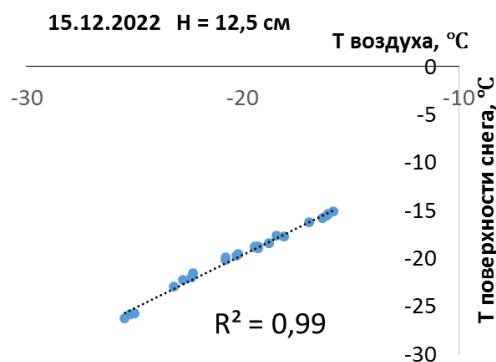
а)



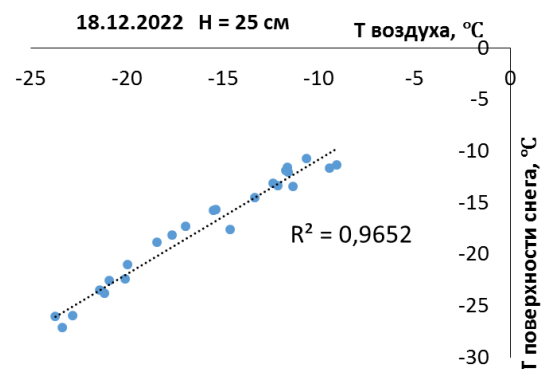
б)



б)



в)



в)

Рисунок 3. Изменение $T_{псп}$ (а); изменение разности между $T_в$ и $T_{псп}$ (б), корреляция $T_в$ и $T_{псп}$ (в) в течение суток 15.12.2022. $H_{СП} = 12,5$ см

Рисунок 4. Изменение $T_{псп}$ (а); изменение разности между $T_в$ и $T_{псп}$ (б), корреляция $T_в$ и $T_{псп}$ (в) в течение суток 18.12.2022. $H_{СП} = 25$ см

Графики на рисунках 1 – 8 представляют собой как бы снимок распределения температуры на ПСП и T воздуха в течение суток.

Связь температуры воздуха, температуры поверхности снежного покрова (ПСП), скорости ветра и облачности представлена в работе В.М. Котлякова и А.В. Сосновского.

Авторы [2] пишут, что «результаты расчётов показали, что разница температуры воздуха и температуры поверхности снега (при толщине снега больше 5 см) зависит в основном от облачности и в меньшей степени – от скорости ветра и температуры воздуха» [2].

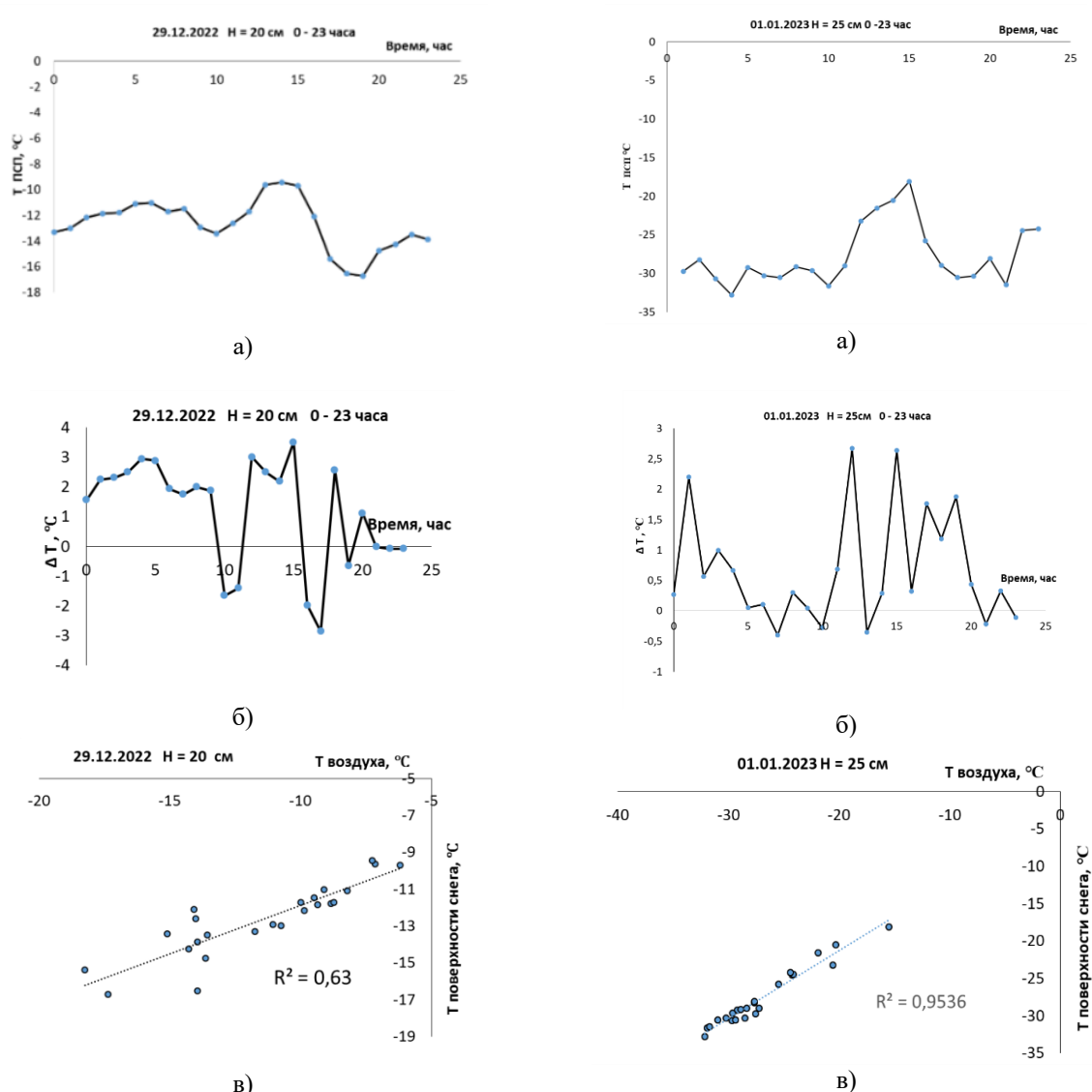


Рисунок 5. Изменение T_{сп} (а); изменение разности между T_в и T_{сп} (б), корреляция T_в и T_{сп} (в) в течение суток 29.12.2022. H_{сп} = 20 см

Рисунок 6. Изменение T_{сп} (а); изменение разности между T_в и T_{сп} (б), корреляция T_в и T_{сп} (в) в течение суток 01.01.2023. H_{сп} = 25 см

Таким образом, можно сделать некоторые выводы:

- автономный автоматический снежно-атмосферный комплекс установлен на территории нижнего стадиона ИРНИТУ в Иркутске (2022/2023).
- температура поверхности снежного покрова в течение суток не постоянна, температура повышается ближе к 15 часам, в выборочные даты 21.11.2022; 9, 15, 18, 29.12.2022; 01.01.2023; 18, 25.02.2023 года.
- установлена высокая степень корреляции (R 0,63 ...0,99) для зависимости температуры поверхности снега от температуры воздуха.
- отмечено явление вымораживания поверхности снежного покрова, как в дневное время, так и в отсутствие солнечной радиации.

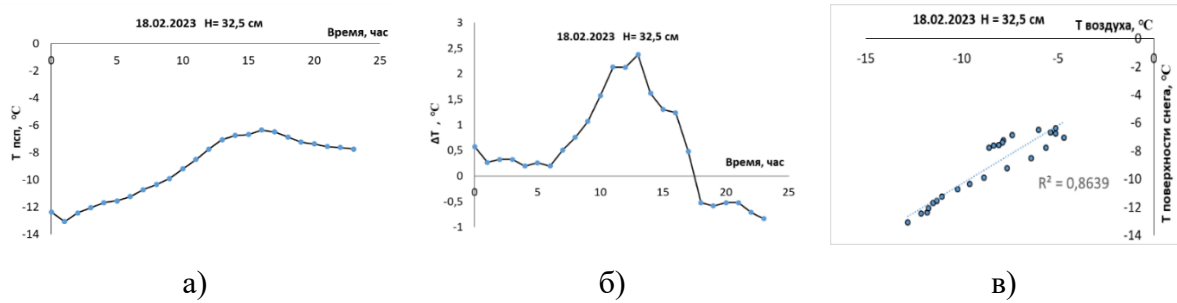


Рисунок 7. Изменение $T_{псп}$ (а); изменение разности между $T_{в}$ и $T_{псп}$ (б), корреляция $T_{в}$ и $T_{псп}$ (в) в течение суток 18.02.2023 (в). $H_{сп} = 32,5$ см.

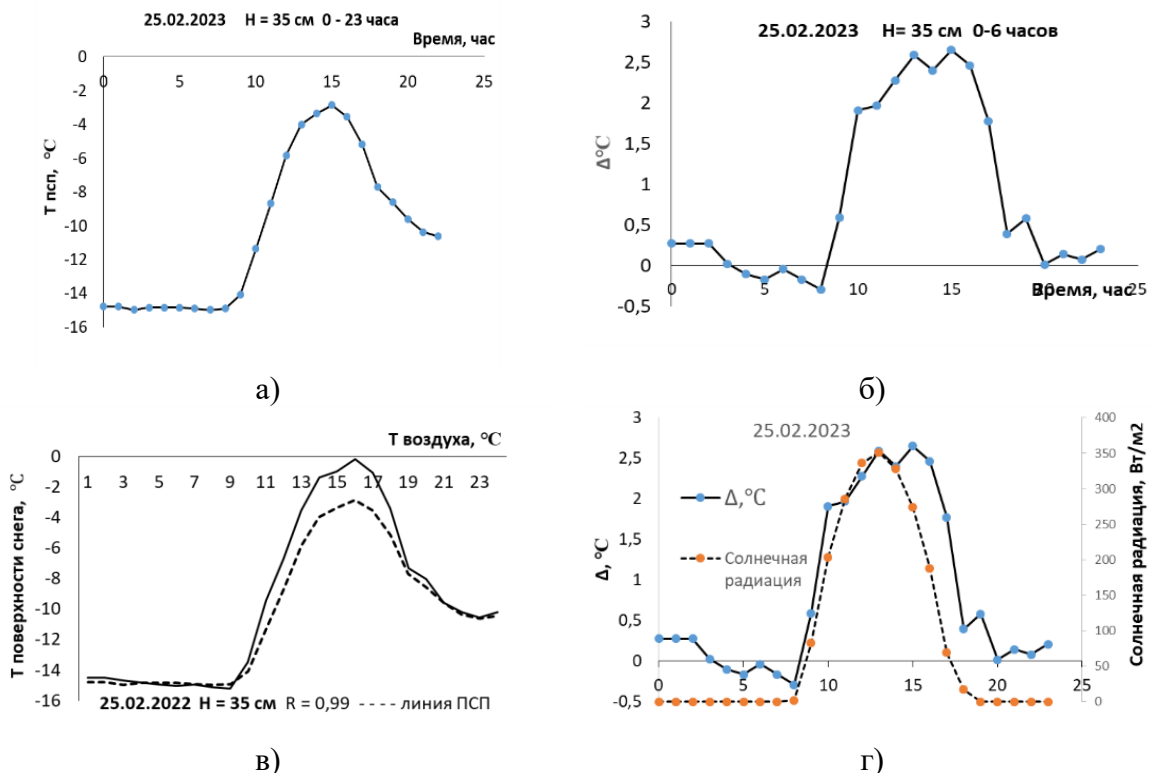


Рисунок 8. Изменение $T_{псп}$ (а); изменение разности между $T_{в}$ и $T_{псп}$ (б), корреляция $T_{в}$ и $T_{псп}$ (в), солнечная радиация (г) 25.02.2023 $H_{сп} = 35$ см.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка влияния снежного покрова на температуру поверхности почвы по данным наблюдений / А. Б. Шерстюков, О. А. Анисимов // Метеорология и гидрология. – 2018. – №2. – С.17–24.
2. Оценка термического сопротивления снежного покрова по температуре грунта / В.М. Котляков, А.В. Сосновский // Лёд и Снег. – 2021. – 61(2). – С.195-205. <https://doi.org/10.31857/>
3. Пономарев В.В. «Присурский» // Научные труды государственного природного заповедника «Присурский». – 2018. – Т. 33. – С.21-31.
4. Automatic meteorological measuring systems for microclimate monitoring / M. V. Kiselev, N. N. Voropay, E. A. Dyukarev, S. A. Kurakov, P. S. Kurakova, E. A. Makeev. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2018. –190. – 012031.

СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ВЫСОТЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В МАРТЕ 2021-2023 ГОДОВ. ИРКУТСК

Янченко Н.И.,¹ Анциферов Е.А.²

^{1,2}Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

¹fduecn@bk.ru ²antsiferov@istu.edu

Аннотация. По результатам измерения температуры воздуха с помощью атмосферно-снежного измерительного комплекса в Иркутске (ИРНТУ) установлено, что в марте 2023 года температура выше (теплее), чем в 2021 году. По изменению температуры на границе атмосфера-снежный покров определена высота снежного покрова и установлено, что высота снежного покрова в марте 2023 года выше, чем в марте 2021 года.

Ключевые слова: температура воздуха, высота снежного покрова

COMPARISON OF AIR TEMPERATURE AND SNOW HEIGHT. MARCH 2021-2023 IRKUTSK

Ianchenko N.I.,¹ Antsiferov E.A.²

^{1,2}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

¹fduecn@bk.ru ²antsiferov@istu.edu

Summary. According to the results of air temperature measurements using the atmospheric-snow measuring complex in Irkutsk (INRTU), it was found that in March 2023 the temperature is higher (warmer) than in 2021. Based on the change in temperature at the atmosphere-snow cover boundary, the snow cover height was determined and it was found that the snow cover height in March 2023 is higher than in March 2021.

Keywords: temperature, snow cover, height

Полевые наблюдения за температурой сделаны с помощью атмосферно-снежного измерительного комплекса, установленного на нижнем стадионе (грунтовое покрытие) Иркутского национального исследовательского технического университета (ИРНТУ) в городе Иркутске. Комплекс позволяет определить высоту снежного покрова (СП) по резкому изменению температуры на границе воздух-поверхность снега [1]. Измерительная температурная рейка (термокоса) имеет длину 40 см. Часть этой рейки находится в снежном покрове и регистрирует температуру снежного покрова, а другая часть рейки регистрирует температуру приземного слоя воздуха. Датчики регистрации температуры расположены

через 2,5 см по высоте рейки. Измерительный комплекс настроен для регистрации температуры по высоте термокосы каждый час и результаты передаются на компьютер. В данной статье (рис.1, 2, табл.1-3) представлены результаты измерения температуры на высоте 40 см от основания рейки (от подстилающей грунтовой поверхности).

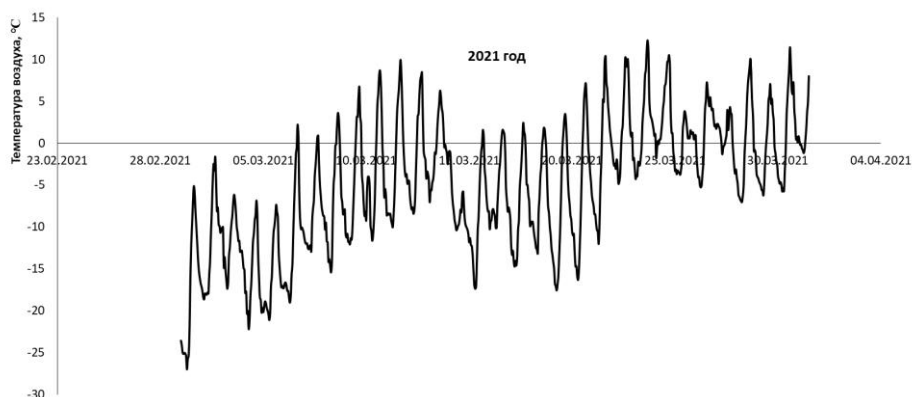


Рисунок 1. Температура воздуха, март 2021 год. Иркутск (ИРНITU)

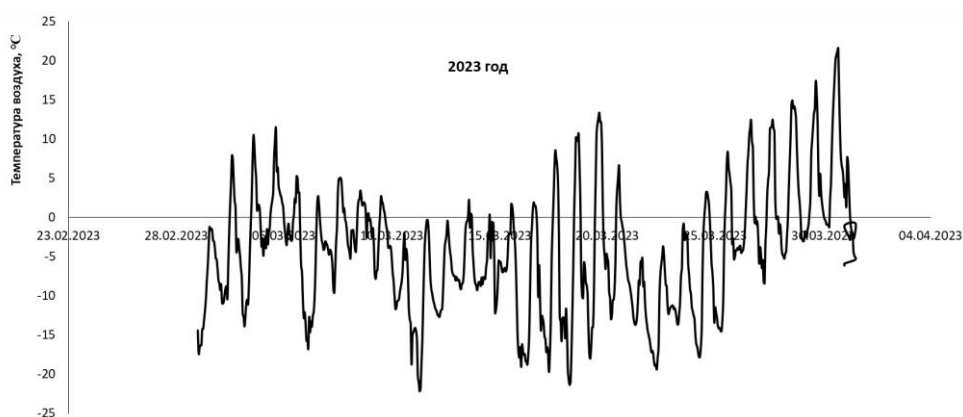


Рисунок 2. Температура воздуха, март 2023 год. Иркутск (ИРНITU)

Таблица 1. Интервалы дат с температурой воздуха выше 0°C, минимальная, максимальная и средняя температуры в марте 2021-2023 годов. Иркутск

Место измерения	1-ый интервал дат $t > 0^{\circ}\text{C}$			2-ой интервал дат $t > 0^{\circ}\text{C}$			3-ий интервал дат $t > 0^{\circ}\text{C}$		
	t_{\max}	t_{\min}	$t_{\text{сред}}$	t_{\max}	t_{\min}	$t_{\text{сред}}$	t_{\max}	t_{\min}	$t_{\text{сред}}$
ИРНITU	06.03-13.03.2021 (8 дней)						15.03-31.03.2021 (17 дней)		
	9,9	-27,0	-4,8				12,3	-17,4	-7,9
17 км БТ*	1-ый интервал дат $t > 0^{\circ}\text{C}$			2-ой интервал дат $t > 0^{\circ}\text{C}$			3-ий интервал дат $t > 0^{\circ}\text{C}$		
	01.03-03.03.2022 (4 дня)			05.03-10.03.2022 (6 дней)			16.03-31.03.2022 (16 дней)		
	t_{\max}	t_{\min}	$t_{\text{сред}}$	t_{\max}	t_{\min}	$t_{\text{сред}}$	t_{\max}	t_{\min}	$t_{\text{сред}}$
	4,5	-14,3	-8,5	11,5	-17,2	-5,2	7,7	-29,8	-7,3
ИРНITU	1-ый интервал дат $t > 0^{\circ}\text{C}$			2-ой интервал дат $t > 0^{\circ}\text{C}$			3-ий интервал дат $t > 0^{\circ}\text{C}$		
	02.03-9.03.2023 (8 дня)			13.03-20.03.2023 (8 дней)			24.03-31.03.2023 (8 дней)		
	t_{\max}	t_{\min}	$t_{\text{сред}}$	t_{\max}	t_{\min}	$t_{\text{сред}}$	t_{\max}	t_{\min}	$t_{\text{сред}}$
	11,4	-13,9	-2,4	12,7	-21,3	-13,08	21,2	-14,5	-

* БТ- Байкальский тракт (спортивно-оздоровительная база «Политехник»)

Таблица 2. Статистические характеристики температуры воздуха в марте 2021-2023 годов. Иркутск

Температура воздуха, °С	2021 год (ИРНТУ)	2022 год (17 км БТ)	2023 год (ИРНТУ)	1961-1990 годы Иркутск (УГМС Иркутск)*
Высота	на высоте 40 см от основания			Высота по РД [2]
Среднее	-4,9	-8,0	-4,2	-7,4
Медиана	-4,5	-8,3	-4,0	-7,3
Мода	-8,2	-9,1	-2,9	-5,2
Минимальная	-27,0	-29,8	-22,2	н/д
Максимальная	12,3	11,5	21,2	н/д

*- результаты получены авторами при анализе научно-технической литературы Иркутского УГМС и не являются официальными

С помощью автономного автоматического измерительного комплекса было сделано измерение температуры воздуха в марте 2021-2023 годов в Иркутске (2022 год, Иркутск, 17 км Байкальский тракт). В 2021 году было два периода с положительными температурами, в 2022 и 2023 году – три периода (рис.1, 2 и табл.1, 2). Общая продолжительность дней с положительными температурами примерно одинакова и составляет 25, 26, 24 дня, соответственно.

В 2021 году в марте на площадке ИРНТУ $t_{\text{сред}}$ воздуха составила $-4,9^{\circ}\text{C}$, t_{max} $12,3^{\circ}\text{C}$, t_{min} -27°C . В 2023 году было теплее, что подтверждается, тем что $t_{\text{сред}}$ воздуха $-4,2^{\circ}\text{C}$, t_{max} $21,2^{\circ}\text{C}$, t_{min} -22°C (табл.2). На сайте указано в [http://irkipedia.ru/content/klimat_i_pogoda_irkutska, дата обращения 2.05.2023] абсолютный максимум отмечен в марте 1994 года t_{max} 20°C .

Из 100% измерений t в марте в диапазоне от -29°C до 25°C наибольшее число измерений t было в интервале от -3°C до 1°C , а именно 18% от общего кол-ва измерений (2021 год) и 21% (2023 год) (рис. 3, табл. 3). В 2021 году в трех интервалах (рис.3, табл. 3) от 13°C до 25°C в 2021 году нет температур (так как t_{max} $12,3^{\circ}\text{C}$), в 2023 году 1,48%, 0,54% и 0,25%, соответственно

Можно отметить, что высота снежного покрова в марте 2023 года, выше чем в 2021 году (рис.4). В некоторые дни марта снежный покров не относится в категории «устойчивый снежный покров».

Отмечаем, что 13 апреля, 27 апреля 2023 года были снегопады, высота снежного покрова в 5 утра составила 12,5 см (рис.4). В качестве справки: в Иркутске 13.04.2021 тоже был снег [<https://www.ogirk.ru/2021/04/12/dozhd-i-mokryj-sneg-ozhidajutsja-13-aprelja-v-irkutske/>], средняя температура воздуха в Иркутске днём 27.04.2021 составила $+4,3^{\circ}\text{C}$, ночью $+5,3^{\circ}\text{C}$ [<http://weatherarchive.ru/Irkutsk/27-April-2021>].

Таблица 3. Частота повторяемости (%) температуры воздуха в марте 2021, 2023 годов (Иркутск, ИРНИТУ)

Границы интервала температуры воздуха, на высоте 40 см	2021 год	2023 год
Менее -29°C	0,00	0,00
От -29°C до -27°C	0,13	0,00
От -27°C до -23°C	1,21	0,00
От -23°C до -19°C	2,15	1,48
От -19°C до -15°C	7,39	6,85
От -15°C до -11°C	10,08	13,44
От -11°C до -7°C	18,82	14,52
От -7°C до -3°C	17,47	19,62
От -3°C до 1°C	18,15	20,97
От 1°C до 5°C	14,52	11,56
От 5°C до 9°C	7,66	5,11
От 9°C до 13°C	2,42	4,17
От 13°C до 17°C	0,00	1,48
От 17°C до 21°C	0,00	0,54
От 21°C до 25°C	0,00	0,27
Общее количество измерений, %	100	100

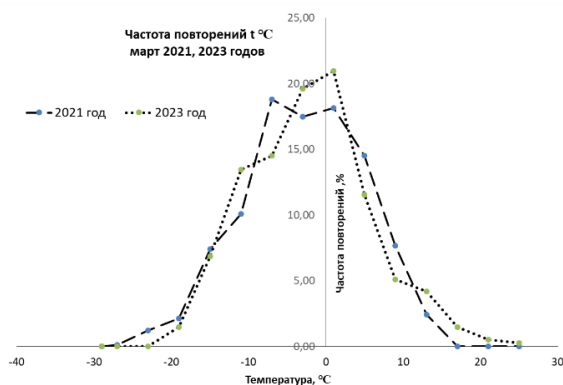


Рисунок 3. Частота повторений (%) температуры воздуха в интервалах температур (14 интервалов) в марте 2021, 2023 годов. Иркутск

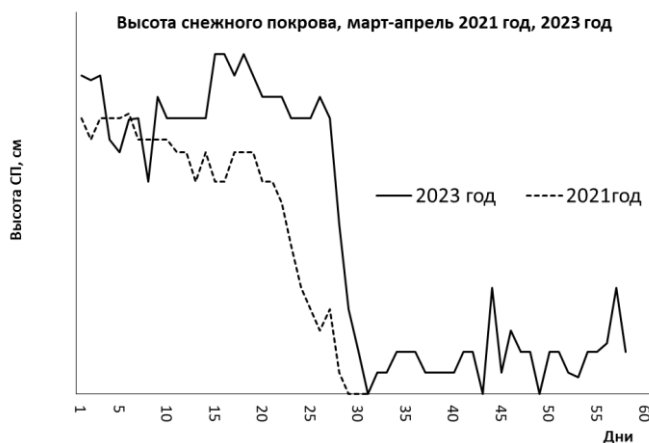


Рисунок 4. Высота снежного покрова в марте 2021 года, в марте –апреле 2023 года. Иркутск

Выводы: по результатам измерения температуры воздуха с помощью атмосферно-снежного измерительного комплекса в Иркутске (ИРНИТУ) установлено, что в марте 2023 года температура воздуха выше (теплее), чем в 2021 году; по изменению температуры на границе атмосфера-снежный покров определена высота снежного покрова и установлено, что высота снежного покрова в марте 2023 года выше, чем в марте 2021 года.

Авторы благодарят Иркутское УГМС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2542598 Российская Федерация, МПК G01W 1/14. Датчик высоты снежного покрова / С.А. Кураков; заявитель и патентообладатель ИМКЭС СО РАН. - № 2013136310/28; заявл. 01.08.2013; опубл. 20.02.2015. Бюл. № 5.
2. РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы». – М.: Изд-во Госкомитет СССР по гидрометеорологии и Министерство здравоохранения СССР, 1991. – 683с.

ПЛОТНОСТЬ И ТЕМПЕРАТУРА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ БОРЕАЛЬНЫХ РАЙОНАХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Макаров В.Н.

Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск, Россия

vnmakarov@mpi.ysn.ru

Аннотация. Рассматриваются результаты изучения физических параметров (высота, плотность, температура, запас влаги) снежного покрова в высокоширотных континентальных районах бореального пояса Восточной Сибири. Исследованиями охвачены районы распространения широтно-зональных и высотно-поясных типов мерзлотных ландшафтов. Температура воздуха в период исследований колебалась от -11 до -38 °С. Температура снега на поверхности почвы изменялась в интервале отрицательных температур 7,8-19,9 °С. Минимальная температура снега на поверхности почвы -19,4 °С наблюдалась в ландшафтах горных редколесий, максимальная (-14,1 °С), обусловленная температурной инверсией в ландшафтах горных пустынь. Наблюдаются особенности залегания снега, связанные с климатическими факторами и ландшафтной поясностью. Характерная особенность снежного покрова региона – небольшая плотность. В среднетаёжных ландшафтах, где не бывает зимних оттепелей, наблюдается минимальная плотность снега, местами 0,112-0,114 г/см³. Исключением являются горно-таёжные ландшафты, где средние значения величины плотности составляют 0,180 г/см³.

Ключевые слова: снежный покров, ландшафты, температура, плотность, выпадение из атмосферы.

ASSESSMENT OF SNOW COVER AS A SOURCE OF URANIUM INCOME INTO LAKE SYSTEMS

Makarov V.N.

Institute of Permafrost Science SB RAS, Yakutsk, Russia

vnmakarov@mpi.ysn.ru

Summary. The results of studying the physical parameters (height, density, temperature, moisture content) of snow cover in the high-latitude continental regions of the boreal belt of Eastern Siberia are considered. The research covered areas of distribution of latitudinal-zonal and altitudinal-belt types of permafrost landscapes. The air temperature during the research period ranged from -11 to -38 °C. The temperature of snow on the soil surface varied in the range of negative temperatures of 7.8-19.9 °C. The minimum snow temperature on the soil surface -19.4 °C was observed in the landscapes of mountain woodlands, the maximum (-14.1 °C) due to temperature inversion in the landscapes of mountain deserts. There are features of snow occurrence associated with climatic factors and landscape zonality. A characteristic feature of the region's snow cover is its low density. In the middle taiga landscapes, where there are no winter thaws, the minimum snow density is observed, in places 0.112-0.114 g/cm³. The

exception is the mountain-taiga landscapes, where the average density values are 0.180 g/cm^3 .

Key words: snow cover, landscapes, temperature, density, atmospheric fallout.

Рассматриваются результаты изучения физических параметров (высота, плотность, температура, запас влаги) снежного покрова в высокоширотных континентальных районах бореального пояса Восточной Сибири. Исследованиями охвачены районы распространения широтно-зональных и высотно-поясных типов мерзлотных ландшафтов. Снежный покров в Восточной Сибири очень чувствителен к изменениям климата. Ожидается, что в XXI в. температура в этом регионе превысит глобальное среднее значение, а в связи с общим усилением гидрологического цикла увеличится и количество осадков [1]. Знание физических (высота, плотность, запас влаги, температура) параметров снежного покрова в Восточной Сибири одной из недостаточно исследованных областей мира, где сеть гидрометеостанций наиболее редкая, необходимо для глобального климатического и гидрологического мониторинга. Снежный покров является одним из первостепенно важных факторов в формировании криогенной толщи и теплового режима грунтов. Знание характеристик снежного покрова и условий и динамики его формирования позволяет дать детальную характеристику особенностей инженерно-геологических условий территории и повысить достоверность прогноза изменения природной среды.

Основная цель исследования – изучение физических характеристик снежного покрова широтно-зональных и высотно-поясных мерзлотных ландшафтов континентальных бореальных районов Восточной Сибири.

С этой целью в период 2000-2015 гг. были проведены маршрутные и стационарные наблюдения в Восточной Сибири, где эти параметры снежного покрова ранее практически не изучались. Для уточнения различных характеристик снежного покрова, Стационарные наблюдения велись на станциях расположенных в Центральной Якутии (стационар «Туймада» ИМЗ СО РАН) и в северной части Алданского щита (Эльконский горст).

Все ландшафтно-маршрутные исследования проводились в марте, до начала снеготаяния. Расстояние между пунктами наблюдений по маршруту составляло 50 км. Участки наблюдений располагались в типичном ландшафте, в 150–200 м от автодороги. Общее число пунктов наблюдений снега, плотность, вид и размер зерен снега.

Общая протяженность маршрутов составила около 8 тыс. км. Наиболее протяженный маршрут субширотного простирания (около 2 000 км) протягивался примерно вдоль 62° параллели. Крайняя западная точка наблюдений располагалась в районе г. Мирный ($62^\circ 32' \text{ с.ш.}, 113^\circ 57' \text{ в.д.}$), восточная - в селе Томтор (метеостанция Оймякон – $63^\circ 16' \text{ с.ш.}, 143^\circ 13' \text{ в.д.}$), самом холодном населённом пункте на Земле, где в 1926 г. академиком С.В. Обручевым была вычислена температура, равная $-1,2^\circ\text{C}$ [2]. Другие трассы

маршрутных наблюдений меридионального направления (протяженностью 1400-1600 км) начинались в центральной части Якутии и продолжались в северо-восточном направлении, через западную часть Верхояно-Колымской горно-складчатой области и Яно-Индигирского гольцового тундрово-таёжного нагорья (до г. Верхоянск – 67° 23' с.ш., 133° 23' в.д.), и юго-восточном – вдоль р. Лены через Приленское плато. Перепад высот мест отбора проб снега по маршрутам, от минимальных отметок – 90 м, до максимальных 2448 м, составил 2358 м. Трассы маршрутных наблюдений пересекали районы распространения широтно-зональных (среднетаёжные, таёжные) и высотно-поясных (горно-таёжные, горно-редколесные, горно-тундровые, горные пустыни) типов мерзлотных ландшафтов.

На большей части региона снежный покров залегает 220–250 дней в году, в горных районах продолжительность достигает 260–280 дней. Высота снежного покрова вследствие антициклонального режима погоды гг большей части региона сравнительно невелика (рис. 1).

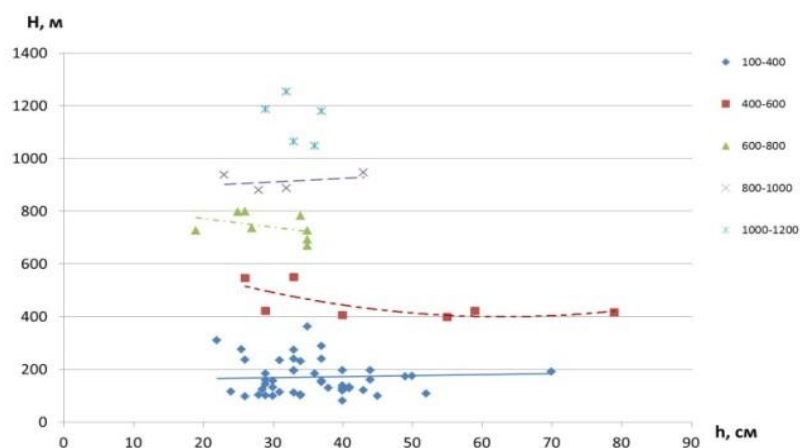


Рисунок 1. Изменение высоты снежного покрова в различных типах мерзлотных ландшафтов (широтно-зональных - абс. отм. 100-400 м и высотно-поясных - абс. отм. 400-1200 м)

Наблюдаются некоторые особенности залегания снега, связанные с климатическими факторами и ландшафтной поясностью. В среднетаёжных ландшафтах высота снежного покрова в среднем 40 см, в ландшафтах горных пустынь (выше 1000 м) она уменьшается до 29 см, в горно-таежных ландшафтах Верхояно-Колымской горно-складчатой области и Яно-Индигирского гольцового нагорья, в среднем 42 см. Максимальная наблюдается в горных ландшафтах Эльконского горста (Алданский район), где мощность снежного покрова составляет в среднем 79 см и возрастает с повышением высотности рельефа до 99-103 см ландшафтах редколесий и тундр с высотами 1200 – 1400 м.

Температура воздуха в период исследований в конце марта колебалась от -11 до -38 °С. В среднем температура снега на поверхности почвы изменялась в интервале отрицательных температур от 4,8-24,5 °С (рис. 2).

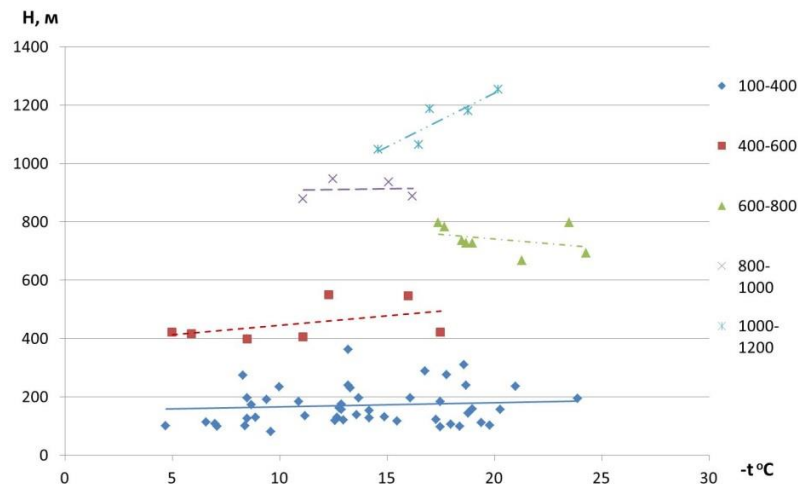


Рисунок 2. Изменение температуры снежного покрова на почве в различных типах мерзлотных ландшафтов (широтно-зональных - абс. отм. 100-400 м и высотно-поясных - абс. отм. 400-1200 м)

Минимальная температура снега на поверхности почвы $-19,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (среднее за период наблюдений) наблюдалась в ландшафтах горных редколесий в интервале высот 600-800 м. Максимальная ($-14,1\text{ }^{\circ}\text{C}$), в среднетаёжных и в ландшафтах горных пустынь (800-1000 м), где её повышение обусловлено температурной инверсией.

Характерная особенность снежного покрова на большей части региона – небольшая плотность (рис. 3).

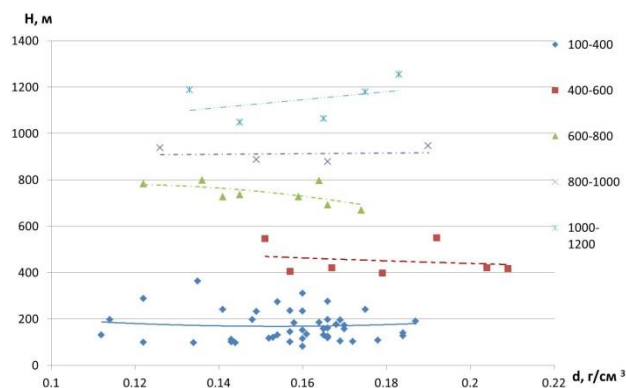


Рисунок 3. Изменение плотности снежного покрова в широтно-зональных (абс. отм. 100-400 м) и высотно-поясных (абс. отм. 400-1200 м) типах мерзлотных ландшафтов

Снег выпадает очень сухой и мало уплотняется в течение зимы. К началу снеготаяния его плотность в среднетаёжных и в горных ландшафтах примерно одинакова $0,151\text{--}0,160\text{ г/см}^3$. Исключения, как и в высоте снежного покрова, являются горно-таёжные ландшафты, где средние значения величины плотности составляют $0,180\text{ г/см}^3$, а максимальная - достигает $0,336\text{ г/см}^3$ оттепелей, наблюдается минимальная плотность снега, местами $0,112\text{--}0,114\text{ г/см}^3$. В редколесных горно-таёжных ландшафтах ветра сильно уплотняют

снег и там высота и плотность снежного покрова значительно больше, на 15-достигает своего максимума к началу периода снеготаяния.

Плотность снежного покрова определяет его физические свойства. Такие его характеристики как теплопроводность, термическое сопротивление, прозрачность и некоторые другие параметры учитывают при прогнозах формирования сезоннопромерзающих и многолетнемерзлых пород, а также при изучении процессов преобразования и разрушения последних [3]. Характеристики эффективной теплопроводности снега резко изменяются в зависимости от высоты и плотности снежного покрова в различных элементах рельефа (таблица 1).

Таблица 1. Характерные разрезы снежного покрова в различных элементах рельефа Эльконского горста [4].

Мощность, см	Описание структуры снега	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·К)
Долины			
69-84	рыхлый свежавывавший	127	0,15
52-69	мелкозернистый	249	0,28
34-52	среднезернистый	283	0,32
0-34	крупнозернистый	268	0,31
Плоские водоразделы			
86-106	рыхлый свежавывавший	133	0,16
65-86	мелкозернистый	267	0,30
45-65	среднезернистый	312	0,36
0-45	крупнозернистый	275	0,31

Исследования выполнены при поддержке комплексной программы фундаментальных научных исследований ИМЗ СО РАН (Проект СО РАН АААА-А20-120111690008-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балобаев В.Т., Скачков Ю.Б., Шендер Н.И. Прогноз изменения климата и мощности мерзлых пород Центральной Якутии до 2200 г. // География и природные ресурсы. 2009. № 2. С. 50-56.
2. Обручев С.В. В Неизведанные края. Путешествия на Север 1917 – 1930 г.г. М.: Изд-во "Молодая гвардия", 1954. 347 с.
3. Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны. Новосибирск: Академ. изд-во "Гео", 2008. 229 с.
4. Кириллин А.Р. Геотемпературное поле и криолитозона Эльконского горста. Автореферат диссертации на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук. Якутск: ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2020. 23 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Баранов А.Н.^{1,2}, Савченко Е.И.^{1,3}, Пескова Т.А.^{1,4}

¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет, г.
Иркутск, Россия

²baranov@istu.tdu, ³katya0501200361@gmail.com, ⁴tanya19102002@gmail.com

Аннотация. Снежный покров является геологической средой, сформированной на короткий период в различных регионах Земли. При формировании снежного покрова в результате протекания адсорбционных процессов происходит очистка атмосферного воздуха, а снег является индикатором экологического состояния региона. Для оценки результатов природоохранной деятельности предлагается проводить ежегодные измерения концентрации выбросов в снежном покрове и осуществлять мониторинг выбросов. Нами на примере выбросов минеральных солей проведена математическая обработка результатов отбора проб снежного покрова и определена неопределённость определения минерализации с учетом отбора проб. Для этого каждую пробу отбирали разные люди по установленной методике и определяли плотность снега и минерализацию. Полученные результаты позволили определить доверительный интервал и неопределённость измерения согласно нормативным документам.

Ключевые слова: Снег, отбор пробы, плотность, минерализация, неопределенность, снеговая нагрузка

MATHEMATICAL PROCESSING OF THE RESULTS SNOW COVER STUDIES

Baranov A.N., Savchenko E.I., Peskova T.A.¹.

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

¹ baranov@istu.tdu

Summary. Snow cover is a geological environment formed for a short period in different regions of the Earth. During the formation of snow cover as a result of adsorption processes, atmospheric air is purified, and snow is an indicator of the ecological state of the region. To assess the results of environmental activities, it is proposed to conduct annual measurements of the concentration of emissions in the snow cover and to monitor emissions. Using the example of mineral salt emissions, we carried out mathematical processing of the results of sampling of snow cover and determined the uncertainty of determining mineralization, taking into account sampling. To do this, each sample was taken by different people according to the established methodology and determined the density of snow and mineralization. The results obtained made it possible to determine the confidence interval and measurement uncertainty according to regulatory documents.

Key words: Snow, sampling, density, mineralization, uncertainty, snow load.

Снежный покров является эффективным накопителем газообразных и аэрозольных загрязняющих веществ, выпадающих из атмосферного воздуха [1], следовательно, он является эффективным индикатором процессов загрязнения воздуха и сопряженных природных сред. Загрязнение снежного покрова происходит в два этапа. Во-первых, это загрязнение снежинок во время их образования в облаке и выпадения на местность – влажное выпадение загрязняющих веществ со снегом. Во-вторых, это – загрязнение уже выпавшего снега в результате сухого выпадения загрязняющих веществ из атмосферы, а также их поступления из подстилающих почв и горных пород. В настоящее время имеются публикации по определению концентрации в снеговой воде концентрации различных элементов, плотности снега, снеговой нагрузки, но отсутствует статистическая обработка и неизвестна их достоверность и неопределенность измерений с учетом современных метрологических стандартов [2].

В настоящее время имеются публикации по оценке неопределенности измерений [3], в которой отмечается что неопределенность измерения наиболее важный обобщённый параметр, характеризующий качество измерения. Неопределённость возникает на аналитическом этапе измерения, где, достигнут значительный прогресс, однако измерения почти всегда включают процесс отбора пробы. Отбор пробы вносит существенный вклад в неопределенность и требует тщательного планирования и контроля. В связи с этим ужесточаются требования по оценке неопределенности, связанные с процессом отбора проба [4]. Для оценки неопределенности с учетом отбора проб необходимо повторить отбор проб примерно 10%, но не менее 8 проб. В связи с этим положением нами и были отобраны 9 проб в одной точке различными пробоотборщиками. Для этого использовали студентов группы металлургии цветных металлов МЦб-20-1 во время проведения практических занятий по экологии. В результате получили следующие результаты. На стадионе ИРНИТУ на специально подготовленной площадке было отобрано 11 проб в одной точке в радиусе 1 м каждый студент отобрал 1 дм³ снега по всей глубине выпавшего снега 0,3 м. 10 марта 2023 г. Вторая точка отбора на стадионе сенохранилище, где находится снег в куче с дороги студгородка Иркутска была отобрана проба снега 10 дм³. Отобранные пробы, таяли, определяли плотность снега P и минерализацию C с помощью кондуктометра TDS-3. Третья проба отобрана в центре. Шелихова и 4 проба в Ангарске. Для сравнения с данными других исследований, где результаты приведены с учетом плотности P выпадений пересчитаем наши результаты по минерализации на плотность выпадений. Определение плотности (P) солей в снеге г. Иркутск (стадион) проводили по уравнению.

$$P = \frac{C \cdot V}{S \cdot t},$$

где S – площадь отбора снега, 0,27 дм²; t – время выпадения снежного покрова; 114 сут. (с 15.11.2022 по 10.03.2023) 114 дней; C – концентрация солей, 14,36 мг/дм³; V – объем воды, 0,34 дм³.

$$P = \frac{C \cdot V}{S \cdot t} = \frac{0,335 \cdot 14,36}{0,0027 \cdot 114} = 15,59 \frac{\text{мг}}{\text{м}^2 \cdot \text{сут}} = 0,65 \frac{\text{мг}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$$

Для проб 2, 3, 4 плотности выпадений составят 25,5, 2,6 и 1,3 мг/м² час соответственно. В табл.1 приведены результаты математической обработки отбора проб снежного покрова.

Таблица 1. Результаты математической обработки отбора проб снежного покрова

№ Пробы	Место отбора пробы	С м г/дм ³	Нм %	Пс г/см ³	Нп %	Р	Нр %
1.	Стадион ИРНТУ 11 проб	14,36	7,6	0,34	5,9	0,65	6,75
2.	Дорога ИРНТУ	725		0,34		25,5	
3.	Шелехов	57,0		0,34		2,6	
4.	Ангарск	26,6		0,34		1,3	

Таким образом, установлено, что минерализация снега в Иркутске на дороге в 50 раз выше, чем на стадионе и вероятно это связано с тем, что дороги загрязнены выбросами автомобилей и использованием песка и соли для снижения обледенения. В Шелехове и Ангарске минерализация выше в 4 и 2 раза выше, чем в Иркутске на стадионе соответственно. Это значительно выше неопределенности определения минерализации, значит, результат достоверен. По данным других исследований [6] минерализация снеговых вод (Мс) в снеге на территории исследованного полигона меняются в широких пределах 12,26–64 мг/л и 0,3–700 мг/л соответственно. На фоновых участках снеговые воды характеризуются гидрокарбонатно-кальциевым типом, минерализация варьирует в пределах 15–25 мг/л. Значительная доля в сумме растворенных компонентов приходится на Na⁺, Ca²⁺, HCO₃⁻, SO₄⁻, в твердом осадке снега преобладают SiO₂, Na₂O, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃. В среднем минерализация превышает региональный фон в 2–3 раза, это связано с тем, что атмосферные аэрозоли района содержат легкорастворимые формы таких компонентов, как кальций, натрий, сера.

Заключение

В результате проведенных исследований и математической обработки установлено, что при анализе водной фазы снежного покрова необходимо учитывать неопределенность измерения с учетом отбора пробы и для этого необходимо провести как минимум отбор 9 параллельных пробы в одной точке для получения достоверного результата. Следует отметить что это относится как к определению в снеге минерализации которая отражает суммарную концентрацию ионов, так вероятно и для определения элементного состава (металлы, фториды, сульфаты и др.). В случае определения плотности (нагрузки) выпадения ингредиентов снеге по формуле то, для определяя неопределенность этой расчетной величины необходимо учитывать неопределённость определения плотности снега, площади отбора, время выпадения снежного покрова и в результате

неопределенность этой величины возрастает. Эти результаты опубликованы в трудах [8] и гос. докладах [8] по оценке экологического состояния регионов и трудно понять какова достоверность или неопределенность этих измерений особенно когда размерность этих величин выражается в несистемных единицах т/км² мес. или год и не указана неопределенность измерений. Следует отметить что эта размерность соответствует удельному показателю скорости коррозии металлов (г/м² час) и согласно ГОСТ 9.908-85 рекомендована шкала коррозионной стойкости металлов и покрытий [5]. Поэтому предлагаем использовать для оценки плотности выпадения использовать эти системные единицы измерений, что позволит повысить достоверность и сопоставимость результатов снежному покрову полученными различными авторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Гидрометеоздат, – 1985. – 182 с.
2. Янченко Н.И., Баранов А.Н. Управление экологической безопасностью производства алюминия на основе распределения компонентов выбросов в атмосферных выпадениях: монография. – Иркутск: Изд-во. ИрГТУ, 2012. -156 с.
3. Клевицкая Е. Д, Деминов Н.В., Савелова Е.Н. Применение теории отбора проб при оценивании неопределенности в измерениях // 10-ая Международная научно-техническая конференция «Приборостроение 2017». Минск. Республика Беларусь. стр. 156-158.
4. ГОСТ Р 8.878-2014 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Учет и контроль ядерных материалов. Система измерений. Оценивание неопределенности пробоотбора.
5. Баранов А.Н. Коррозия и защита металлов: учеб. пособие. Иркутск; Изд-во ИРНТУ, 2015. –178 с.
6. Филимонова, Л.М. Оценка атмосферного загрязнения методами геохимической съемки снегового покрова в районе алюминиевого производства / Л.М. Филимонова, А.В. Паршин, В.А. Бычинский // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 7–2. – С. 75–84.
7. Н.Д Давыдова Распределение и воздействие на компоненты геосистем поллютантов пылегазовых эмиссий предприятий по производству алюминия//Охрана окружающей среды на современном этапе: материалы научно-практической конференции. – Братск: ФГБОУ ВО «БрГУ», 2017. – 240 с.
8. Государственный доклад «О состоянии санитарноэпидемиологического благополучия населения в Иркутской области в 2019 году». Иркутск; 2020.

ВЛИЯНИЕ ДОЖДЕЙ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ЗЕМЛИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2021-2022 Г. ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИИ «МИХНЕВО»

Рябова С.А.^{1,2}

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук, Москва, Россия

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

riabovasa@mail.ru

Аннотация. Исследуется изменение концентрации твердых частиц в приповерхностном слое Земли, связанное с дождями в летний период на основе данных, полученных на среднеширотной Геофизической обсерватории «Михнево» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук. Определена зависимость концентрации частиц от интенсивности осадков для летних периодов 2021 и 2022 г.

Ключевые слова: интенсивность осадков, микродисперсные аэрозольные частицы, вариации, зависимость.

IMPACT OF RAIN ON THE CONCENTRATION OF PARTICULATE PARTICLES IN THE NEAR-SURFACE LAYER OF THE EARTH IN THE SUMMER PERIOD 2021-2022 ACCORDING TO THE DATA OF THE MIKHNEVO OBSERVATORY

Riabova S.A.^{1,2}

¹ Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Schmidt Institute of Physics of the Earth of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

riabovasa@mail.ru

Summary. The change in the concentration of solid particles in the near-surface layer of the Earth, associated with rains in summer, is studied. The data obtained at the mid-latitude Mikhnevo Geophysical Observatory of the Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences. The dependence of the concentration of particles on the intensity of precipitation for the summer periods of 2021 and 2022 was determined.

Keywords: precipitation intensity, microdispersed aerosol particles, variations, dependence.

Микродисперсные аэрозольные частицы являются загрязнителями атмосферного воздуха, которые включают в себя смеси твердых и жидких частиц, находящихся в воздухе во взвешенном состоянии. К показателям, которые обычно используются для характеристики содержания аэрозольных частиц в воздухе, относятся массовые концентрации частиц диаметром менее 10 мкм (PM 10) и частиц диаметром менее 2.5 мкм (PM2.5).

Актуальность исследований микродисперсных аэрозольных частиц продиктована их возможной связью с изменением климата [1]. Действие аэрозолей, вызывающее климатические эффекты, имеет двоякое направление [2]: влияние на процессы облако- и осадкообразования путем изменения микроструктуры облачных частиц, а также на время жизни облаков в атмосфере (косвенный эффект) [3]; воздействие на процессы переноса солнечной и тепловой радиации в атмосфере, и тем самым на температурный режим климатической системы Земли (прямой эффект) [4].

Среди атмосферных процессов существенное влияние на аэрозольное загрязнение оказывают осадки, в частности, в виде дождя [5].

Цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния дождей на концентрацию твердых частиц в приповерхностном слое Земли в летний период на основе данных, полученных на среднеширотной Геофизической обсерватории «Михнево» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук.

Геофизическая обсерватория "Михнево" (МНУ, координаты: 54,959° N; 37,766° E) расположена в 85 км к югу от города Москвы, на юге Московской области (неподалеку от города Серпухов). Местоположение обсерватории характеризуется отсутствием промышленных загрязнений.

Для обработки и анализа привлекались данные инструментальных наблюдений за вариациями массовой концентрации частиц PM2.5 и PM10 в приземном слое атмосферы за летний период 2021 и 2022 гг. Регистрация интенсивности осадков на обсерватории «Михнево» выполнялась с помощью автоматизированной цифровой метеостанции Davis Vantage Pro2 с дискретизацией 1 мин с точностью 0,1° C. С 26 по 31 августа 2022 г. регистрация метеопараметров не проводилась по техническим причинам.

Измерение массовой концентрации микрочастиц выполнялось с помощью оригинальной системы на основе аппаратной платформы Arduino Uno и лазерного датчика микрочастиц Sensirion SPS30.

Датчик способен работать в температурных условиях от –10 до 60° C, что важно для проведения измерений вне помещений. Sensirion SPS30 сертифицирован MCERT Performance Standards for Indicative Ambient Particulate Monitors (№ SiraMC200350/01) для измерений PM2.5 в диапазоне 0–75 мкг/м3. Датчик обладает низкой внутримодельной изменчивостью и хорошо себя показывает при длительной работе, согласно заявлениям

производителя, возможна непрерывная работа Sensirion SPS30 в течение 10 лет. Регистрация массовых и счетных концентраций на обсерватории «Михнево» выполнялась с частотой 1 Гц.

Результаты регистрации температуры и концентраций аэрозолей выложены на сайте ИДГ РАН в графическом и цифровом виде (<http://idg-comp.chph.ras.ru/~mikhnevo/>).

Одним из ключевых явлений, оказывающих сильное влияние на концентрацию аэрозольных частиц, являются осадки. Следует отметить, что рассматриваемый в работе период характеризует наличием осадков в виде дождя.

В июне 2021 г. на обсерватории "Михнево" дожди наблюдались в течение 11 суток (с 06.06.2021 г. по 10.06.2021 г., 13.06.2021 г., 25.06.2021 г., 26.06.2021 г., с 28.06.2021 г. по 30.06.2021 г.). В июле 2021 г. тоже на треть суток пришлись дожди (01.07.2021 г., 02.07.2021 г., с 17.07.2021 г. по 19.07.2021 г., 23.07.2021 г., 26.07.2021 г., 28.07.2021 г., 30.07.2021 г., 31.07.2021 г.). Больше дождливых дней зарегистрировано в августе 2021 г. Число таких дней составило 17 (01.08.2021 г., 02.08.2021 г., с 04.08.2021 г. по 06.08.2021 г., 08.08.2021 г., с 10.08.2021 г. по 12.08.2021 г., 18.08.2021 г., с 21.08.2021 г. по 23.08.2021 г., 25.08.2021 г., 26.08.2021 г., 30.08.2021 г., 31.08.2021 г.). 2022 г. был более засушливым по сравнению с 2021 г.

В июне 2022 г. дожди наблюдались в течение 9 суток (с 02.06.2022 г. по 03.06.2022 г., с 10.06.2022 г. по 11.06.2022 г., с 13.06.2022 г. по 14.06.2022 г., 19.06.2022 г., с 21.06.2021 г. по 22.06.2022 г.). Самое большое число дождливых дней за летний период 2021 г. и 2022 г. было зарегистрировано в июне 2022 г. Количество суток с дождями составило 14 суток (03.07.2022 г., с 05.07.2022 г. по 07.07.2022 г., 09.07.2022 г., 14.07.2022 г., с 17.07.2022 г. по 22.07.2022 г., 25.07.2022 г., 31.07.2022 г.). Самым засушливым был август, по нашим данным было только 4 дождливых дня (с 07.08.2022 г. по 08.08.2022 г., 11.08.2022 г., 13.08.2022 г.).

Дождевая активность приводит к снижению массовой концентрации аэрозольных частиц PM_{2.5}, причем как слабые осадки, так и сильные вызывают уменьшение концентрации частиц PM_{2.5}.

Зависимость концентрации частиц PM_{2.5} от интенсивности осадков для летних периодов 2021 и 2022 г. представлена на рис. 1.

Данные, представленные на рис. 1, свидетельствует о том, что при отсутствии дождей (0 мм/ч) диапазон среднечасовой концентрации микрочастиц PM_{2.5} (от 1 до 37 мкг/м³) значительно шире вариаций среднечасовой концентрации в период осадков (от 1 до 19 мкг/м³). Это косвенное подтверждение снижения концентрации микрочастиц, в частности в диапазоне размеров PM_{2.5}.

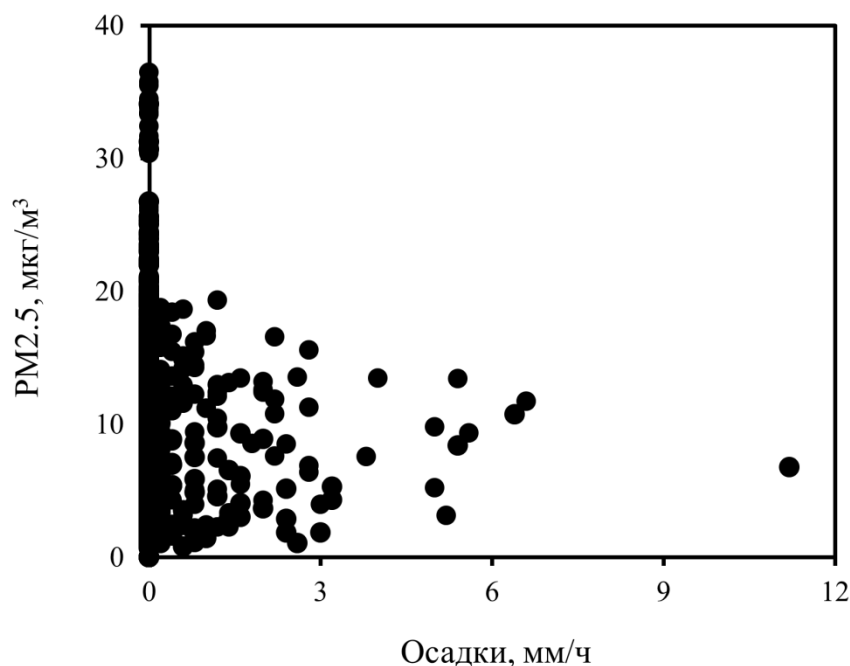


Рисунок 1. Суммарная зависимость среднечасовой массовой концентрации PM2.5 от интенсивности осадков за летний период 2021 и 2022 гг.

Источник финансирования. *Исследования выполнены в рамках государственного задания ИДГ РАН (№ 1220329000185-5 «Проявление процессов природного и техногенного происхождения в геофизических полях») и в рамках государственного задания ИФЗ РАН.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Climate forcing by aerosol – a hazy picture / T.L. Anderson, R.J. Charlson, S.E. Schwartz, R. Knutti, O. Boucher, H. Rodhe, J. Heintzenberg // *Science*. – 2003. – Vol. 300. P. 1103–1104. – doi: 10.1126/science.1084777.
2. Simulation of climate response to aerosol direct and indirect effects with aerosol transport-radiation model / T. Takemura, T. Nozawa, S. Emori, T.Y. Nakajima, T. Nakajima // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. – 2005. – Vol. 110. – No. D2. – doi: 10.1029/2004JD005029.
3. Kristjansson J.E. Studies of the aerosol indirect effect from sulfate and black carbon aerosols // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. – 2002. – Vol. 107. – No. D15. – doi: 10.1029/2001JD000887.
4. Huang Y., Chameides W.L., Dickinson R.E. Direct and indirect effects of anthropogenic aerosols on regional precipitation over East Asia // *Journal of Geophysical Research*. – 2007. – Vol. 112. – No. D03. – doi: 10.1029/2006JD007114.
5. Feng X.Y., Wang S.G. Influence of different weather events on concentrations of particulate matter with different sizes in Lanzhou, China // *Journal of Environmental Sciences*. – 2012. – Vol. 24. – P. 665–674.

СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ЗАПОВЕДНИКА «БАСТАК» ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ

Ревуцкая И.Л.^{1,3}, Христофорова Н.К.^{1,2}, Лонкина Е.С.³

¹ Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема,
Биробиджан, Россия

² Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

³ Государственный заповедник «Бастак», Биробиджан, Россия

irina.etx@mail.ru

Аннотация. На шести станциях, расположенных на территории заповедника «Бастак», в зимнее время 2022-2023 гг. изучено содержание в свежеснеге основных биогенных элементов и тяжелых металлов. Показано, что атмосферный воздух над особо охраняемой природной территорией не загрязнен примесями природного и антропогенного происхождения.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, снежный покров, заповедник.

ATMOSPHERIC AIR CONDITION OF THE «BASTAK» RESERVE OF THE JEWISH AUTONOMOUS REGION

Revutskaya I. L.^{1,3}, Khristoforova N. K.^{1,2}, Lonkina E. S.³

¹ Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidjan, Russia

² Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

³ State nature reserve «Bastak», Birobidjan, Russia

irina.etx@mail.ru

Summary. At six stations located on the territory of the Bastak Nature Reserve, during winter time 2022-2023 the content of the main biogenic elements and heavy metals in freshly fallen snow was studied. It is shown that the atmospheric air over the specially protected natural area is not polluted by impurities of natural and anthropogenic origin.

Key words: air pollution, snow cover, nature reserve.

В настоящее время проблема загрязнения атмосферного воздуха является одной из острейших экологических проблем. Загрязняющие вещества, поступающие в атмосферу городов, легко переносятся на дальние расстояния воздушными потоками. От загрязнения воздуха, вызванного промышленными предприятиями, дорожным транспортом, страдают не только крупные промышленные центры, но и сопредельные территории [1; 2]. Так, территории заповедников, практически не имеющие антропогенной

нагрузки, могут быть подвержены химическому загрязнению за счет воздушных переносов.

Государственный природный заповедник «Бастак», расположенный в Еврейской автономной области на границе с Хабаровским краем, осуществляет многие задачи, одной из которых является экологический мониторинг. В системе наблюдений выделяют мониторинг состояния атмосферного воздуха. Одним из путей получения информации о загрязнении воздуха в зимний период является снежный покров.

В атмосферных взвешках современных городов содержится большое количество техногенных частиц. Однако за счет атмосферных переносов рост числа примесей в атмосфере Земли наблюдается не только в воздухе городов, но и природоохранных объектов.

Аэрозольные загрязнения, поступающие в атмосферу, удаляются из нее путем естественных процессов самоочищения. Основные механизмы выведения химических элементов из атмосферы – вымывание с атмосферными осадками и осаждение на подстилающую поверхность.

В качестве интегрального показателя загрязненности атмосферы в зимний период для территорий, которые характеризуются наличием устойчивого снежного покрова, широко используют снег [3; 4; 5]. Он обладает высокой сорбционной способностью и поглощением аэрозолей, частиц пыли и сажи и других компонентов атмосферного воздуха.

Содержание примесей в снеге отражает их концентрацию в атмосфере и указывает на источник и механизм образования аэрозолей вблизи места отбора проб. Поскольку снежинки и снежные хлопья падают медленнее и имеют большую поверхность контакта со средой, чем дождевые капли, они дольше находятся под влиянием примесей и потому являются лучшими индикаторами их наличия в атмосфере.

Цель исследования – проанализировать состояние атмосферного воздуха заповедника «Бастак» по содержанию в снежных выпадениях основных биогенных элементов, тяжелых металлов (Fe, Cd, Mn, Ni, Pb, Cu, Zn, Co, Hg) и As зимой 2022-2023 гг.

Анализ проб снега на содержание химических компонентов проведен в аккредитованном испытательном лабораторном центре ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в ЕАО» (г. Биробиджан).

Данное исследование продолжает наблюдения за состоянием атмосферного воздуха индицируемого по свежевывавшему снегу в заповеднике «Бастак», начатых в 2011 г. [6; 7].

Снег собирался на территории заповедника зимой 2022–2023 гг. Чтобы исключить вторичное загрязнение антропогенными аэрозолями, собирали верхний слой (5–10 см) только что выпавшего снега в стерильные контейнеры объемом 3 л. Растаявшие пробы фильтровали через

обеззоленный фильтр «белая лента» и анализировали на содержание химических компонентов.

При исследовании химического состава талой воды используют методики, применяемые при анализе природных вод [8]. Анализ воды выполняли по стандартным методикам, используя прямую потенциометрию, титриметрию и фотометрию. Анализ растаявших проб снега на содержание тяжелых металлов выполнялся атомно-абсорбционным методом.

Всего было проанализировано 24 пробы свежеснегавшего снега, что составило 354 элемент-определений. Пробы снега собирались 12.11.2022 г., 14.12.2022 г., 10.03.2023 г. и 15.03.2023 г. на 6 станциях, расположенных на территории заповедника «Бастак», различающихся экологическими условиями. Среди мест отбора наиболее экологически напряженной является станция 1 вблизи трассы Чита-Хабаровск, являющейся участком федеральной автодороги с наиболее активным движением автомобильного транспорта. Остальные точки 2, 3, 4, 5, 6 расположены вдоль не напряженной автотрассы Биробиджан-Кукан, пересекающей территорию заповедника.

Из набора предлагаемых к определению компонентов по итогам анализа в число результатов не включены и не обсуждаются те показатели, величины которых были ниже пределов обнаружения использованными методами (сульфаты, хлориды, фосфаты, общая жесткость).

Результаты химического анализа талых вод представлены в табл. 1.

Как видно, для талой воды зимних отборов 2022–2023 гг. характерно наличие нитратов и нитритов. Содержание нитрат-ионов варьировало от 0,77 мг/дм³ до 2,93 мг/дм³, с максимальной концентрацией в декабрьской пробе со ст. 1. Нитрит-ионы обнаружены во всех пробах в следовых количествах.

Значения рН талой воды изменялись от 4,7 до 8,5, хотя концентрация ионов водорода в атмосферных осадках обычно колеблется в пределах 4,6–6,1 [9]. Следовательно, в нашем случае диапазон рН охватывает более нейтральную зону и близкую к слабощелочной.

Концентрация гидрокарбонатов в талой воде, количество которых в снежном покрове определяется содержанием CO₂ в атмосфере, поступающего при сжигании топлива, варьировала от 6,1 до 20,7 мг/дм³. Эти незначительные показатели свидетельствуют об отсутствии дополнительных источников поступления CO₂ антропогенного происхождения.

Ион-аммония обнаружен практически во всех пробах с максимумом на станции 6 - 1,105 мг/дм³.

Таблица 1. Содержание химических компонентов в снеге заповедника Бастак

Дата отбора проб	Точки отбора проб	Концентрация, мг/дм ³				pH, ед.
		NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	
12.11.2022	1	1,62±0,32	0,007±0,003	0,45±0,09	8,54±1,03	4,8±0,2
	2	1,37±0,27	0,006±0,003	0,30±0,06	7,32±0,88	4,7±0,2
	3	1,0±0,2	0,004±0,002	0,30±0,06	7,32±0,88	4,8±0,2
	4	1,0±0,2	0,008±0,004	0,31±0,06	6,1±0,7	5,7±0,2
	5	1,12±0,22	0,006±0,003	0,26±0,05	7,32±0,88	5,4±0,2
	6	0,77±0,15	0,005±0,002	0,16±0,03	6,1±0,7	5,3±0,2
14.12.2022	1	2,93±0,44	0,285±0,108	1,085±0,217	20,7±2,5	8,4±0,2
	2	1,5±0,3	0,180±0,068	0,805±0,161	14,6±1,8	8,1±0,2
	3	1,11±0,22	0,215±0,082	0,945±0,189	15,9±1,9	8,2±0,2
	4	1,16±0,23	0,235±0,089	0,835±0,167	19,5±2,3	8,3±0,2
	5	1,34±0,27	0,225±0,086	0,985±0,197	17,1±2,1	8,4±0,2
	6	1,63±0,33	0,265±0,101	1,105±0,221	17,1±2,1	8,5±0,2
10.03.2023	1	1,30±0,26	0,01±0,06	0,46±0,09	<6,1	6,8±0,2
	2	1,27±0,25	0,011±0,006	<0,1	20,7±1,7	6,8±0,2
	3	1,33±0,27	0,025±0,012	0,28±0,06	<6,1	6,5±0,2
	4	1,43±0,29	0,006±0,003	0,27±0,05	<6,1	6,3±0,2
	5	1,44±0,29	0,009±0,004	0,41±0,08	<6,1	6,3±0,2
	6	1,63±0,33	0,007±0,004	0,23±0,05	<6,1	6,8±0,2
15.03.2023	1	1,28±0,26	0,011±0,005	0,84±0,17	<6,1	6,7±0,2
	2	1,29±0,26	0,011±0,005	0,63±0,13	6,1±0,7	6,8±0,2
	3	1,34±0,27	0,011±0,005	0,56±0,11	<6,1	6,7±0,2
	4	1,23±0,25	0,012±0,006	0,65±0,13	6,1±0,7	6,7±0,2
	5	1,14±0,23	0,010±0,005	0,59±0,12	<6,1	6,6±0,2
	6	1,43±0,29	0,010±0,005	0,70±0,14	<6,1	6,7±0,2

Из 10 определяемых тяжелых металлов и мышьяка, мы исключили из обсуждения Cd, Ni, Co, Hg и As, находившихся в пробах, как правило, ниже предела обнаружения или в следовых количествах. Из оставшихся пяти элементов Fe и Mn свидетельствуют о терригенном влиянии на осадки, Cu, Zn и Pb – яркие трассеры антропогенного воздействия (табл. 2).

Как видно, максимальная концентрация железа обнаружена в пробе со ст. 1, находящейся рядом с федеральной трассой и являющейся самой экологически напряженной из всех точек отбора. В отличие от распространенного железа Mn присутствовал в пробах на порядок и более величин меньших, и не обнаружен на четырех из шести станций в ноябрьском отборе. Цинк и медь найдены во всех без исключения пробах снега, с наибольшими показателями на станциях 4 и 3, соответственно, в центральной части заповедника.

Таким образом, химический анализ снежного покрова заповедника в зимний сезон 2022 – 2023 гг. показал, что атмосферный воздух над заповедной территорией не загрязнен основными примесями природного и антропогенного происхождения.

Таблица 2. Тяжелые металлы в пробах снега в заповеднике «Бастак», мг/дм³

Период, точки отбора	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	
12.11. 2022	1	<0,01	0,004±0,002	0,010±0,004	0,016±0,005	0,0005±0,0002
	2	<0,01	<0,001	0,003±0,001	0,008±0,003	0,0006±0,0002
	3	0,019±0,006	<0,001	0,031±0,006	0,029±0,006	0,0005±0,0002
	4	<0,01	<0,001	0,016±0,002	0,260±0,005	0,0003±0,0001
	5	<0,01	<0,001	0,005±0,002	0,012±0,004	0,0004±0,0001
	6	<0,01	0,002±0,001	0,006±0,003	0,009±0,004	<0,0001
14.12. 2022	1	0,391±0,078	0,044±0,009	0,017±0,005	0,015±0,005	<0,002
	2	0,218±0,044	0,025±0,008	0,013±0,004	0,011±0,003	<0,002
	3	0,294±0,059	0,027±0,005	0,021±0,006	0,008±0,003	<0,002
	4	0,239±0,048	0,031±0,006	0,011±0,003	0,007±0,003	<0,002
	5	0,224±0,045	0,031±0,006	0,010±0,004	0,007±0,003	<0,002
	6	0,214±0,043	0,024±0,007	0,013±0,004	0,011±0,003	<0,002

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ершов В.В., Исаева Л.Г., Поликарпова Н.В. Содержание тяжелых металлов в атмосферных выпадениях в окрестностях заповедника «Пасвик» // Вестник МГТУ. 2019. Т. 22. № 1. С. 83-89.
2. Kholodov A., Golokhvast K. Air pollution of nature reserves near cities in Russia. Scientifica, Т. 2020, с. 9148416.
3. Журба О.М., Ефимова Н.В., Ханхареев С.С., Алексеенко А.Н., Меринов А.В., Мадеева Е.В., Моторов В.Р. Оценка контаминации снегового покрова для выявления зон ингаляционного химического риска // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99. № 4. С. 363–367.
4. Королева Т.В., Шарапова А.В., Кречетов П.П. Химический состав снега на территориях, подверженных воздействию ракетно-космической деятельности (Республика Алтай) // Гигиена и санитария. 2017. 96/5. С. 432–437.
5. Новороцкая А.Г. О результатах химического мониторинга снежного покрова Хабаровска // Успехи современного естествознания. 2018. № 12–2. С.374–379.
6. Голохваст К.С., Ревуцкая И.Л., Лонкина Е.С., Никифоров П.А., Гульков А.Н., Христофорова Н.К. Гранулометрический анализ взвешенных частиц в снеге г. Биробиджана и государственного заповедника «Бастак» // Вода: химия и экология. 2013. № 2. С. 116-123.
7. Холодов А.С., Голохваст К.С. Результаты исследований гранулометрического и элементного состава атмосферных выпадений на территории заповедников Дальнего Востока РФ // Тихоокеанская география. 2020. № 3 (3). С. 38–46.
8. Дмитриев М.Г., Казнина Н.И., Пинигина И.А. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде. М.: Химия, 1989. 368 с.
9. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов. М.: Химия, 1996. 319 с.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ СНЕГА И ПОСЛОЙНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА КИСЛОРОДА ($\delta^{18}\text{O}$) В СНЕЖНОЙ ТОЛЩЕ В УСЛОВИЯХ РАЗНОЙ ЗАПЫЛЕННОСТИ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

**Симоненков Д.В.¹, Тентюков М.П.^{1,2}, Смолева И.В.³, Лютоев В.П.³,
Шукуров К.А.⁴, Аршинов М.Ю.¹, Белан Б.Д.¹, Ивлев Г.А.¹,
Фофонов А.В.¹, Михайлов В.И.⁵, Бучельников В.С.¹**

¹ Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН, Томск, Россия

² Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина,
Сыктывкар, Россия

³ Институт геологии им. Н.П.Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
Сыктывкар, Россия

⁴ Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

⁵ Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

simon@iao.ru, tentukov@yandex.ru

Аннотация. Исследуется послойное распределение изотопного состава ($\delta^{18}\text{O}$) в снежной толще в условиях разной запыленности приземной атмосферы двух научных полигонов ИОА СО РАН: обсерватории «Фоновая» и пригородном «БЭК» (г. Томск). Межслойные различия изотопных характеристик и активность снегохимических реакций оценивали совместно с анализом дисперсного состава осевшего аэрозольного вещества, радиационной прозрачности снега в УФ-диапазоне и с учетом обратных траекторий переноса воздушных масс. Установлены межслоевые колебания значений $\delta^{18}\text{O}$, вариативность которых возрастает в слоях, приуроченных к термодиффузионному геохимическому барьеру. Предполагается, что из-за геохимической активности снега, его ультрафиолетовой прозрачности, при наличии железосодержащих пыле-аэрозольных частиц в снежной толще возникают условия, инициирующие фотоактивированные снегохимические реакции, с вероятным свободнорадикальным окислением осевшего аэрозольного вещества и образованием стабильных продуктов фотореакции.

Ключевые слова: аэрозоли, изотопы кислорода, ультрафиолетовая прозрачность снега, снегохимические реакции, траекторный анализ

GEOCHEMICAL ACTIVITY OF SNOW AND LAYER-BY-LAYER VARIABILITY OF THE ISOTOPE RATIO ($\delta^{18}\text{O}$) IN THE SNOW MASS UNDER CONDITIONS OF THE DIFFERENT SURFACE ATMOSPHERE DUSTINESS

**Simonenkov D.V.¹, Tentyukov M.P.^{1,2}, Smoleva I.V.³, Lyutoev V.P.³,
Shukurov K.A.⁴, Belan B.D.¹, Arshinov M.Yu.¹, Ivlev G.A.¹, Fofonov A.V.¹,
Mikhailov V.I.⁵, Buchelnikov V.S.¹**

¹ V.E.Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

² Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

³ N.P.Yushkin Institute of Geology, Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia

⁴ A.M.Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

⁵ Institute of Chemistry, Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia

simon@iao.ru, tentukov@yandex.ru

Summary. The layer-by-layer ($\delta^{18}\text{O}$) values of the snow mass under conditions of the different surface atmosphere dustiness on the territory of two scientific test sites of the V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, SB RAS: the “Fonovaya” observatory and the suburban “BEC” observatory (Tomsk) were studied. Interlayer differences in isotopic characteristics and the snow chemical reactions activity were evaluated along with the analysis of the settled aerosol substance dispersed composition, the radiation transparency of snow in the UV range, and considering the reverse trajectories of air mass transfer. A phenomenological model of the identified differences is proposed.

Key words: aerosols, oxygen isotopes, ultraviolet transparency of snow, snow chemical reactions, trajectory analysis.

Осевшее аэрозольное вещество усиливает поглощение солнечного излучения в видимом диапазоне и, как следствие, увеличивает температуру поверхности загрязненного снега [1-3]. То есть, являясь основной рассеивающей свет компонентой в атмосфере, минеральная фракция аэрозольного вещества на поверхности снега становится поглощающей. Процесс сопровождается повышением температуры поверхности снежного покрова и ускоренным его таянием. В связи с этим предполагается, что на постседиментационное изотопное фракционирование в снежном покрове может влиять аккумулированное в снежной толще аэрозольное вещество.

В связи с этим цель данной работы – охарактеризовать особенности послонной динамики постседиментационных вариаций $\delta^{18}\text{O}$ с учетом физических свойств снега, его геохимической активности и стратиграфической структуры снежного покрова, формирующегося в пределах фоновой и городской территорий в условиях разной запыленности приземной атмосферы.

Методика. Для анализа послонной изменчивости интегральных геохимических показателей и изотопного состава снега зимой 2021-22 г. на ключевых участках, заложенных на научных полигонах ИОА СО РАН, различающихся по своей пылевой нагрузке – обсерватория «Фоновая» (60 км западнее г.Томска) и Базовый Экспериментальный Комплекс «БЭК» (восточная окраина г. Томска), были выполнены снегомерная съемка и пробоотбор снега. Для оценки динамики выпадения снегопадов в период формирования снежного покрова на указанных участках привлекались данные, находящиеся в открытом доступе (<https://rp5.ru>). При описании

стратиграфии снежного покрова учитывались наличие ветровых уплотнений в снежной толще, следов оттепелей, сублимационных преобразований снежных зерен при перекристаллизации. **Пробоотбор осуществляли с помощью специального снегоотборника** [4]. Подготовка проб к анализу в день отбора заключалась в их взвешивании и расчете плотности снега (ρ , г/см³). Затем пробы снега растапливали при комнатной температуре. В полученных пробах снеговой воды значения водородного показателя (рН) определяли потенциометрическим, удельную электропроводность (ηS , мкСм/см) – кондуктометрическими методами. **Оптическую плотность** ($A_{210\text{ нм}}$) проб снеговой воды в УФ-диапазоне определяли на спектрофотометре Solar PB2201 (раствор сравнения – деионизированная вода). **Оценка оптической прозрачности снега в УФ-диапазоне** выполнена с помощью специального метода ультрафиолетовой (УФ) дозиметрии с применением искусственных нанокристаллов периклаза (MgO) в кварцевых ампулах, с последующей ЭПР-регистрацией в них фотостимулированного перехода $Mn^{3+} e^{-} \rightarrow Mn^{2+}$ [5]. **Послойный гранулометрический анализ** аэрозольного вещества, аккумулированного в снежной толще, выполнен с помощью метода динамического рассеяния света (ДРС) с использованием лазерного анализатора ZetaSizerNanoZS (Malvern Panalytical, Великобритания). При проведении гранулометрического анализа по каждому измерению объемного распределения частиц по размерам оптимальное время накопления корреляционной функции определялось программным обеспечением прибора автоматически. Объемное содержание фракций наночастиц в образцах рассчитано интегрально по соотношению (%) площади фигур, описывающих данные распределения частиц по размерам в линейных координатах. **Сравнительную оценку запыленности приземного аэрозоля** на фоновой и городской территориях проводили параллельно со снегомерной съемкой с применением аэрозольных спектрометров Grimm 1.108 и Grimm 1.109 [6], установленных в обсерватории «Фоновая» и в Академгородке, 2 км от «БЭК», соответственно. Измерения счетной концентрации аэрозольными спектрометрами производились ежечасно в течение 10 минут с предварительной продувкой 3 минуты. Концентрация приземного аэрозоля измеряется в воздушных потоках, изокинетично отбираемых из аэродинамических воздухозаборных труб на высоте 4.5–5.5 м. Расход воздушного потока в спектрометре составляет 1.2 л/мин. Для сопоставимости измеряемых данных расчет суммарной счетной концентрации учитывали от нижнего порога измерения дисперсности 0,3 мкм более грубого спектрометра Grimm 1.108. **Изотопный анализ кислорода** выполнен на масс-спектрометре DELTA V Advantage (ThermoFisher Scientific, г. Бремен, Германия). Анализ проводился методом изотопного уравнивания с CO₂. Результаты установления концентраций кислорода-18 измерены в виде отклонения от стандарта

средней океанической воды V-SMOW (ViennaStandardMid-OceanWater) и выражены в значениях $\delta^{18}\text{O}$ (‰): $\delta^{18}\text{O} = \left[\frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{образца}}}{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{стандарта}}} - 1 \right] \times 1000\text{‰}$. Для контроля качества измерения и калибровки использовался стандарт V-SMOW. Средняя точность измерений $\sim 0,2\text{‰}$.

Картина снегомерных исследований. Для выявления структурного строения снежной толщи и выполнения пробоотбора на обоих участках были заложены снежные разрезы. Во время работ (06.12.2021 г.) высота снежного покрова на снегомерном пункте на обсерватории «Фоновая» составила 29 см, на площадке «БЭК» – 32. В обоих случаях в снежном профиле выделяются три стратиграфических слоя (рис. 1). Самый верхний слой – первичной текстуры в виде внутренней слоистости, сформированной в результате постседиментационных преобразований стратиграфически значимых снегопадов.

Скачкообразное изменение плотности в верхней части снежного разреза на «Фоновой» может быть связано с ветровым уплотнением снежной поверхности и постседиментационными преобразованиями верхней части снежной толщи в период между последними снегопадами, который для «Фоновой», в отличие от «БЭК», оказался продолжительнее на два дня (рис. 1.В и 1.Д). Для снегомерных участков «Фоновая» и «БЭК» интервал колебаний значений плотности составил 0.06–0.25 и 0.07–0.28 г/см³ соответственно (рис. 2). Частотное распределение аэрозольных частиц по размерам в снежной толще на обсерватории «Фоновая» представлено на рис. 2,А. Хронологическую привязку слоев опробования (рис. 1,А) осуществляли по времени выпадения стратиграфически значимых снегопадов (рис. 1,В). По характеру распределения частиц по размерам четко выделяется бимодальный (слои 1, 2, 6, 7) и трехмодальный (слои 3, 4, 5) типы распределения (рис. 2). Оба типа характеризуются значительной дисперсией. Следует заметить, что появление дополнительной фракции аэрозольного вещества в 3,4,5 слоях приурочено к зоне термодиффузионного геохимического барьера, на котором фиксируются относительно резкие изменения значений всех проанализированных параметров (рис. 2,А). Частотное распределение аэрозольных частиц по размерам в снежной толще на пригородном полигоне «БЭК» представлено на рис. 2,В. Хронологическую привязку слоев опробования (рис. 1,С) как и в первом случае осуществляли по времени выпадения стратиграфически значимых снегопадов (рис. 1,Д). Анализ динамики послойного распределения частиц аэрозольного вещества по размерам показал, что слои 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9 характеризуются бимодальным типом распределения, тогда как 4 и 6 – трехмодальным. И, также, как в первом случае, появление третьей фракции зафиксировано в зоне термодиффузионного геохимического барьера (рис. 2,В).

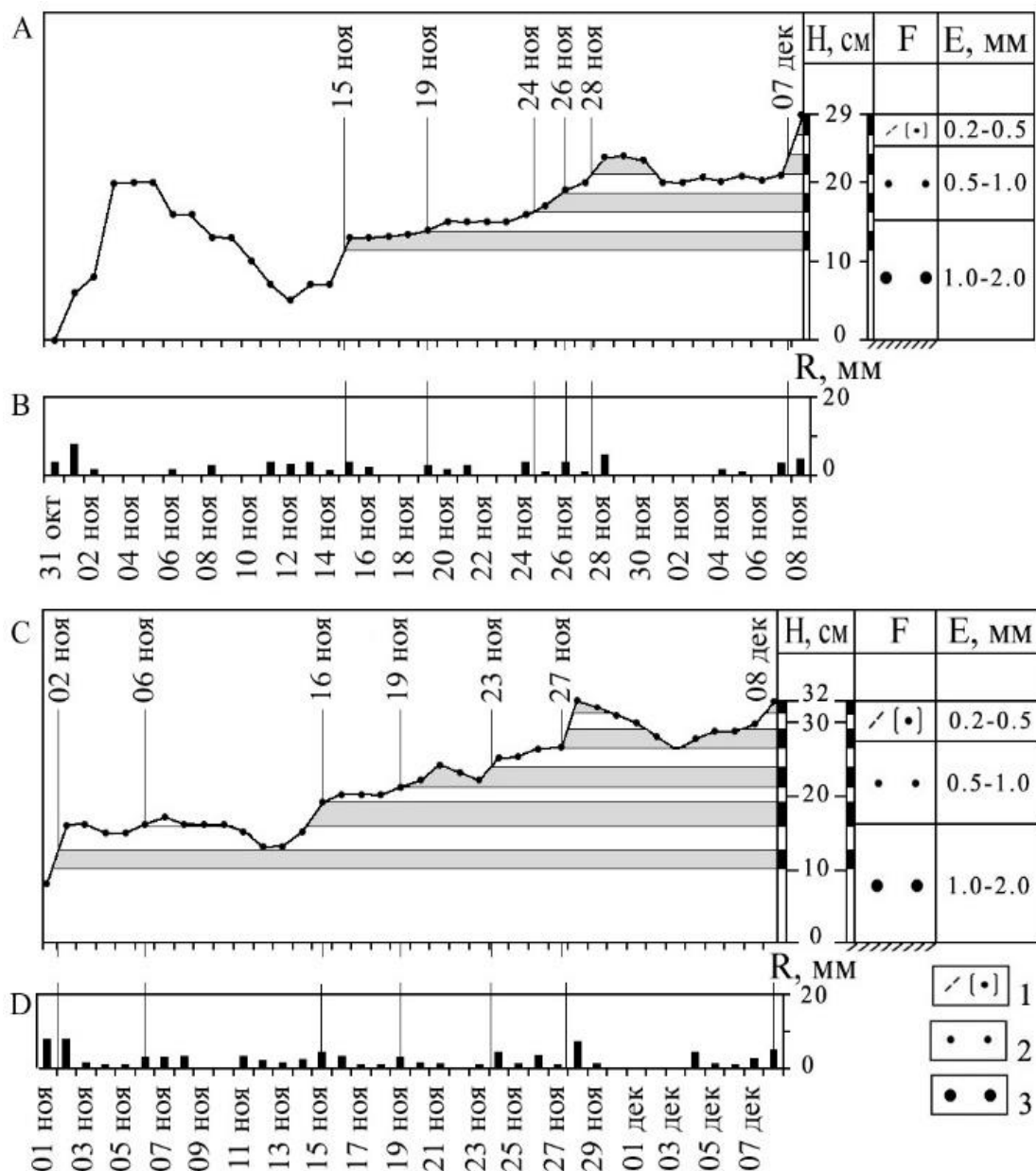


Рисунок 1. Временной ряд интенсивности нарастания снежного покрова для обсерватории «Фоновая» (А) и пригородного полигона «БЭК» (В) в сопряжении со слоями геохимического опробования снежной толщи на «Фоновой» (С) и «БЭК» (D), хронологически привязанных к датам выпадения стратиграфически значимых снегопадов (по данным м/с «Кожевниково» для обсерватории «Фоновая» и по данным м/с «Томск» для пригородного полигона «БЭК»). Обозн.: Н, см – высота снежного покрова и величина пробоотбора снежных слоев, F – форма снежных зерен (по [7]): 1 – недавно отложенный снег (DFbk) с округлыми зернами (RGsr), 2 – мелкозернистый снег (RGsr), 3 – мелко-среднезернистый снег сложен непрозрачными округлыми агрегатами из снежных зерен (RGlR), E, мм – размер снежных зерен.

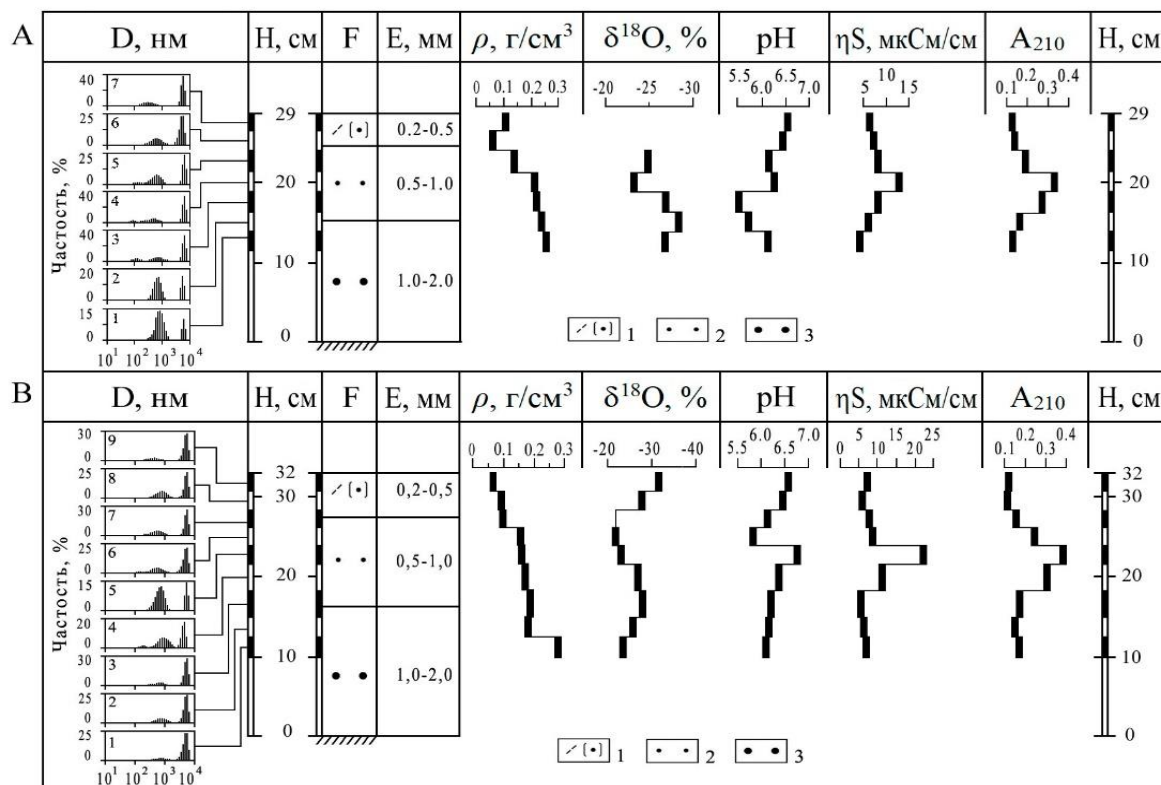


Рисунок 2. Сравнительная характеристика распределения интегральных показателей в снежном покрове: А – обсерватории «Фоновая», В – пригородного полигона «БЭК». Условн. обозн.: D, нм – частотное распределение аэрозольных частиц по размерам: в снежных слоях, H, см – высота снежного покрова и величина пробоотбора снежных слоев, F – форма снежных зерен: 1 – недавно отложенный снег (DFbk) с округлыми зернами (RGsr), 2 – мелкозернистый снег (RGsr), 3 – мелко-среднезернистый снег сложен непрозрачными округлыми агрегатами из снежных зерен (RGlR), E, мм – размер снежных зерен. Обозначение интегральных показателей: ρ , г/см³ – плотность снега, $\delta^{18}\text{O}$ ‰ – содержание ¹⁸O, pH – значения водородного показателя, ηS , мкСм/см – удельная электропроводность, A_{210} нм – оптическая плотность снеговой воды при длине волны 210 нм.

В ходе исследований выявлены межслоевые колебания значений $\delta^{18}\text{O}$, контрастность которых возрастает в зоне термодиффузионного геохимического барьера. Предполагается, что вследствие радиационной прозрачности снега в УФ-диапазоне и при наличии в нем железосодержащих кристаллогидратов в снежной толще возникают условия, инициирующие фотоактивированные снегохимические реакции, сопровождающиеся свободнорадикальным окислением осевшего аэрозольного вещества, заканчивающиеся образованием стабильных продуктов фотореакции. Процесс может сопровождаться изменением изотопного состава снега, что в свою очередь может приводить к различиям в изотопной стратификации снежного покрова на двух полигонах, формирование осадков на которых связано с общими источниками водяного пара.

Исследование проводилось в рамках госзаданий ИОА СО РАН, ИФА РАН, СГУ им.П.Сорокина, обособленных аффилированных подразделений ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; траекторный анализ выполнен при финансовой поддержке РФФИ и ННФИ в рамках научного проекта № 20-55-56028.

Лазерная гранулометрия и УФ-спектроскопия образцов талого снега выполнены в ЦКП «Химия» Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Flanner M., Liu X., Zhou C., Penner J. Enhanced solar energy absorption by internally-mixed black carbon in snow grains // Atmos. Chem. Phys. - 2012. – V.12. - P. 4699–4721. DOI:10.5194/acp-12-4699-2012
2. Jacobson M.-Z.: Climate response of fossil fuel and biofuel soot, accounting for soot’s feedback to snow and sea ice albedo and emissivity // J. Geophys. Res. - 2004. - V. 109. - P. D21 201. doi:10.1029/2004JD004945.
3. Skiles S. M., Painter T. H., Belnap J., Holland L., Reynolds R. L., Goldstein H. L., Lin J. Regional variability in dust-on-snow 30 processes and impacts in the Upper Colorado River Basin // Hydrological Processes – 2015. - V. 29. - P. 5397–5413.
4. Тентюков М.П. Особенности послойной изменчивости интегральных физико-химических параметров снежного покрова в среднетаежной зоне на Северо-Востоке Европейской равнины // Криосфера Земли–2018. Т. XXII. - №
5. Тентюков М.П., Лютоев В.П., Белан Б.Д., Симоненков Д.В., Головатая О.С. Детектор ультрафиолетового излучения на основе ультрадисперсного оксида магния с кристаллической структурой периклаза // Оптика атмосферы и океана. - 2021. - Т. 34. - № 11. - С. 916–923. DOI:10.15372/AOO20211112.
6. Soo J.-Ch., Monaghan K., Lee T., Kashon M. and Harper M. Air sampling Filtration media: Collection efficiency for respirable size-selective sampling // Aerosol Science and Technology – 2016 - V. 50 - No. 1. – P. 76–87. DOI: 10.1080/02786825.2016.1141112
7. Фирц Ш., Армстронг Р.Л., Дюран И., Этхеви П., Грин И., МакКланг Д.М., Мишимура К., Сатьявали П.К., Сократов С.А. Международная классификация для сезонно-выпадающего снега (руководство к описанию снежной толщи и снежного покрова) // МГИ. – 2012. - № 2. - 80 с.

УЧЕТ ВКЛАДА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ЛЕДНИКА В ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА МАЛОГО ВОДОТОКА ГОРНО-АРИДНОЙ ЗОНЫ ПО ДАННЫМ ОБ ИЗОТОПНОМ СОСТАВЕ ВОДЫ (^{18}O , ^2H) И УРАНА ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$)

**Токарев И.В.¹, Яковлев Е.Ю.², Ерохин С.А.³,
Тузова Т.В.³, Дружинин С.В.², Пучков А.В.²**

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Научный парк,
Санкт-Петербург, Россия

² Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П.Лаверова Уральского отделения РАН, Архангельск,
Россия

³ Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной Академии
Наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызская Республика

erochin@list.ru

Аннотация. Исследован водосбор р. Ала-Арча (северный склон Киргизского хребта, Кыргызстан). По данным полевых определений и лабораторных измерений идентифицирован четырехкомпонентный состав стока, включающий атмосферные осадки за счет плоскостного стока и руслового поступления с притоками в основной водоток; талый сток от современного оледенения и сезонного снега; талый сток от древнего оледенения – захороненного льда и мерзлоты; термальные подземный воды.

Ключевые слова: речной сток, изотопный состав воды

ACCOUNTING FOR THE CONTRIBUTION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION, GROUNDWATER, AND THE GLACIER TO THE FORMATION OF THE RUNOFF OF A SMALL WATER COURSE IN THE MOUNTAIN-ARID ZONE ACCORDING TO THE DATA ON THE ISOTOPE COMPOSITION OF WATER (^{18}O , ^2H) AND URANIUM ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$)

**Tokarev I.V.¹, Yakovlev E.Yu.², Erokhin S.A.³,
Tuzova T.V.³, Druzhinin S.V.², Puchkov A.V.²**

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Научный парк,
Санкт-Петербург, Россия

² N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

³ Institute of Water Problems and Hydropower of the National Academy of
Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic

erochin@list.ru

Summary. The watershed of the river was investigated. Ala-Archa (northern slope of the Kyrgyz Range, Kyrgyzstan). According to the data of field determinations and laboratory measurements, a four-component composition of the runoff was identified, including atmospheric precipitation due to planar runoff and channel inflow with tributaries to the main watercourse; melt runoff from modern glaciation and seasonal snow; melt runoff from ancient glaciation - buried ice and permafrost; thermal underground waters.

Keywords: river runoff, isotopic composition of water

Дважды в конце теплого сезона (август и сентябрь 2022 г.) выполнено масштабное (105 точек) опробование вод бассейна малого горного водотока с оледенением – р. Ала-Арча (площадь бассейна 233 км², средняя высота водосбора 3290 м н.у.м, среднемноголетний расход воды в реке – 4,17 м³/с, длина – 78 км, доля площади оледенения – 14 % [1]), ее притоков и родников в ее долине с целью расчленения источников формирования стока на базе данных о распространенности изотопов дейтерия ($\delta^2\text{H}$) и кислорода-18 ($\delta^{18}\text{O}$) и изотопов урана ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$). Пробы отбирались в 10 мл пластиковые толстостенные виалы с герметично завинчивающимися крышками, на месте определялась температура (t) и электропроводность воды (ЕС), а также редокс (Eh) и водородный (pH) потенциалы. Пробы хранились в пластиковом герметичном боксе в холодильнике при +4°C до пересылки и после поступления в лабораторию. Измерения изотопного состава воды выполнены в Ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы исследования» Научного парка СПбГУ на лазерном анализаторе Picarro L2130i с использованием стандартов USGS45 ($\delta^{18}\text{O} = -2.238 \pm 0.011 \text{‰}$ и $\delta^2\text{H} = -10.3 \pm 0.4 \text{‰}$) и USGS46 ($\delta^{18}\text{O} = -29.80 \pm 0.03 \text{‰}$ и $\delta^2\text{H} = -235.8 \pm 0.7 \text{‰}$) с точностью $\pm 0,02 \text{‰}$ по $\delta^{18}\text{O}$ и $\pm 0,3 \text{‰}$ по $\delta^2\text{H}$.

В целом, обнаруживается нормальное для поверхностных и подземных вод горных стран изменение измеренных показателей, в зависимости от высоты местности.

По мере подъема в горы:

- падает температура воды и ее электропроводность (Рисунок 1 а);
- уменьшается концентрация дейтерия и кислорода-18 (происходит облегчение изотопного состава воды, что выражается в появлении все более отрицательных величин $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$, Рисунок 1 б).

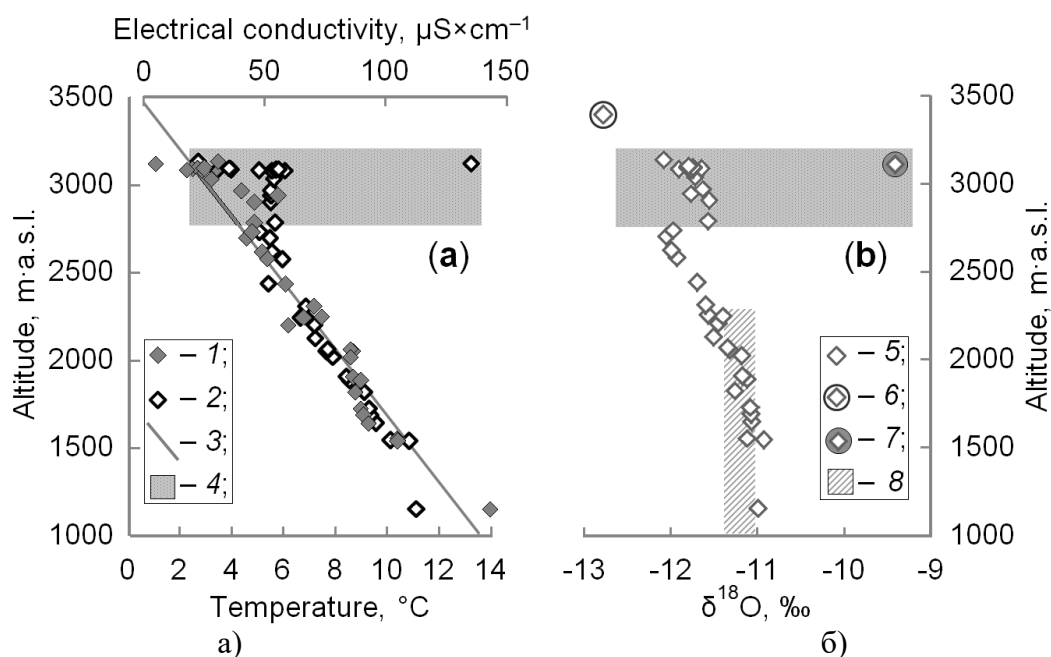


Рисунок 1. Изменение температуры и электропроводности (а), а также изотопного состава (б) воды р. Ала-Арча, в зависимости от высоты (сентябрь 2022 г.): 1 – температура; 2 – электропроводность; 3 – линия аппроксимации для данных по температуре воды ($y = 190,3x + 3611$); 4 – высотная зона, в пределах которой наблюдается аномалия по температуре, электропроводности и изотопному составу воды; 5 – изотопный состав воды; 6 – проба характеризующая «чистый» компонент современного ледникового стока; 7 – проба, характеризующая «аномальный» компонент; 8 – изотопный состав атмосферных осадков в пределах водосбора реки Ала-Арча по [3].

Судя по уравнению аппроксимации для изменения температуры воды в р. Ала-Арча с высотой (Рисунок 1 а), снеговая линия располагается на высоте около 3600 м н.у.м., что соответствует натурным наблюдениям [2]. Для редокс и водородного потенциалов зависимость от высоты менее выражена, однако заметно смещение рН в более кислую сторону и Eh в сторону увеличения положительных значений при подъеме отметок местности.

На указанные тренды накладываются вариации, обусловленные наличием нескольких источников формирования водного баланса и изотопно-химического состава воды, к которым относятся:

- (1) атмосферные осадки теплого периода года (дожди);
- (2) талый сток от современного оледенения (сезонный снег→фирн→лед);
- (3) талый сток от древнего оледенения (захороненный под плащом обломочных отложений лед и/или мерзлота);
- (4) термальные подземные воды.

Разделение на составляющие стока по вкладу отдельных факторов формирования стока возможно на базе сравнения изотопных и физико-химических параметров воды (Рисунок 2).

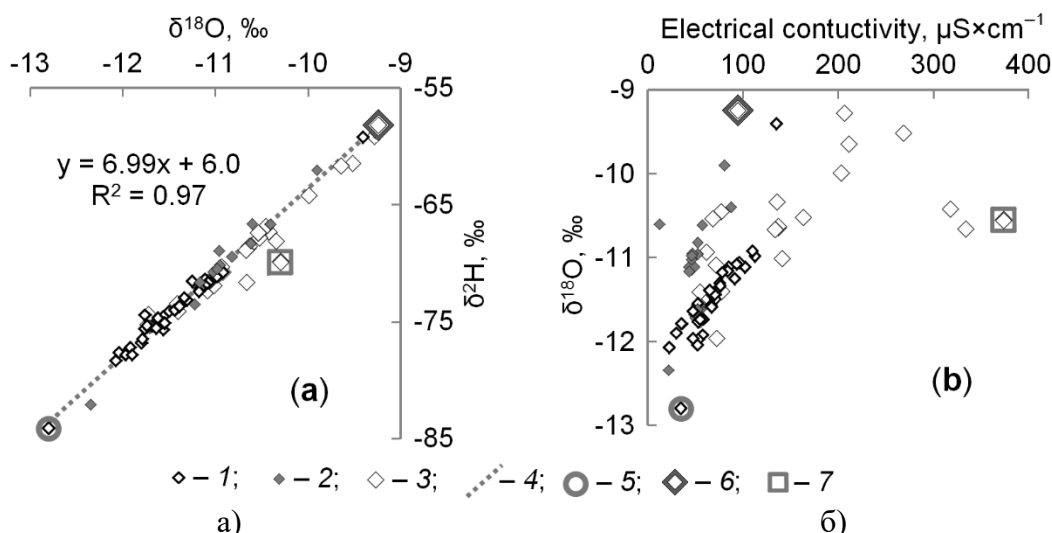


Рисунок 2. Изотопный состав поверхностных и подземных вод в бассейне реки Ала-Арча (а), а также сравнение изотопного состава кислорода с электропроводностью воды (б): 1 – р. Ала-Арча; 2 – р. Адыгене (наиболее крупный приток); 3 – родники; 4 – линия аппроксимации для всех данных по изотопному составу воды (уравнение на диаграмме); 5 – проба характеризующая «чистый» компонент современного ледникового стока; 6 – проба, вероятно характеризующая компонент, обусловленный таянием древнего оледенения (захороненный под плащом обломочных отложений лед и/или мерзлота); 7 – проба, вероятно, характеризующая термальную воду.

Изменения изотопного состава воды подчиняются линейной зависимости (Рисунок 2а). Это обычная картина при отсутствии значимого влияния вторичных факторов, изменяющих изотопный состав воды в ходе стока, в первую очередь, испарения и взаимодействия с породами (кислородный сдвиг). Уравнение линии аппроксимации изотопного состава воды (уравнение на диаграмме Рисунок 2а) близко к параметрам локальной линии метеорных вод (ЛЛМВ), найденной по данным, полученным в проекте МНТЦ КР-330.3 [4].

Две крайние точки на диаграмме $\delta^{18}\text{O}$ vs. ЕС однозначно определяют:
 – талый сток от современного оледенения с наиболее легким изотопным составом (проба льда из языка ледника, пункт 5 на Рисунке 2б;
 – талый сток от древнего оледенения или, скорее, талой мерзлоты с аномально тяжелым для высоты опробования изотопным составом (проба погребенного льда в верховьях р. Ала-Арча, пункт 6 на Рисунке 2б).

Погребенный лед имеет изотопный состав, который является аномально тяжелым для высоты опробования. Обнаруженный эффект изотопного утяжеления без следов вторичного неравновесного фракционирования, скорее всего, является следствием того, что вода (атмосферные осадки), из которой сформировался данный лед, поступила в подземную гидросферу в предыдущий период потепления. Возможно, это был атлантический оптимум голоцена, который был несколько теплее современного климата (то есть, исходная вода должна была быть

изотопически более тяжелой, чем современные осадки). Поскольку подземный сток происходит с существенно меньшими скоростями, чем поверхностный, то при промерзании разреза в бореальный период этот унаследованный изотопный состав был «заморожен» до настоящего времени. В настоящее время таяние мерзлоты могло быть инициировано потеплением климата.

Сравнение изотопного состава кислорода с минерализацией воды позволяет надежно идентифицировать третий источник формирования стока – термальные подземные воды. Этот компонент отличается, как обычно, большей минерализацией и повышенной, относительно бытовой, температурой (проба воды из родника). Превышение температуры подземной воды над речной для высоты точки опробования (около 3100 м) невелико и составляет всего 4–5 °С. Вероятнее всего обнаруженная разгрузка – это фланговый фрагмент гидротермальной системы, центральная часть которой находится в соседних долинах рек Аламедин и Иссык-Ата [2, 5]. Этот компонент стока пока охарактеризован плохо и вода родника, которая принята для параметризации указанного конечного члена, в свою очередь, почти наверняка является смесью глубинной компоненты и воды приповерхностной зоны гипергенеза. Вполне возможно, что имеется несколько активных участков выхода термальных вод. На это указывает наличие участка р. Ала-Арча с повышенной минерализацией и температурой (Рисунок 1 а). Вполне возможно также, что разгрузка термальной воды активизирует таяние мерзлоты.

Воды приповерхностной зоны разреза (грунтовый горизонт, связанный с рыхлыми обломочными породами, и воды из зоны трещиноватости коренных пород) должны формироваться под значительным влиянием местных атмосферных осадков. Это объясняет расположение части точек, характеризующих воду в р. Ала-Арча в ее нижнем течении, в области местных метеорных осадков (Рисунок 1 б).

В работах авторов [6, 7] показано, что индикатором талой мерзлоты является нарушение равновесия в ряду распада урана-238, что выражается в отклонении отношения от $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 1$ (по активностям). В водах бассейна р. Ала-Арча изотопный состав растворенного урана был определен в 50 точках (Рисунок 3).

Соотношение между изотопным составом воды и растворенного урана также однозначно вычленило три составляющих речного стока.

Таким образом, данные об изотопном составе воды и растворенного урана позволяют определить составляющие стока реки в зоне развития современного оледенения.

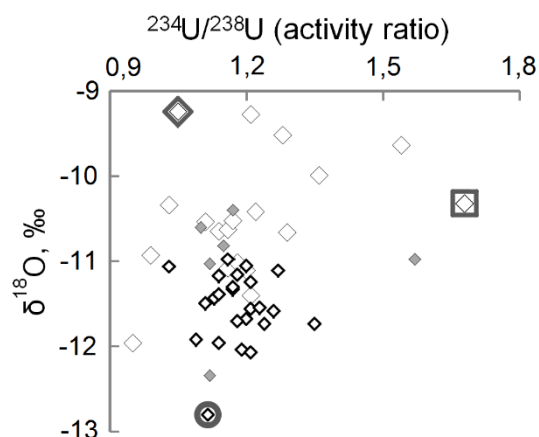


Рисунок 3. Сравнение изотопного состава поверхностных и подземных вод в бассейне реки Ала-Арча с изотопным составом растворенного урана (условные обозначения те же, что на Рисунке 2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Калашникова О.Ю., Мухаммед Эсенаман уулу, Усубалиев Р.А. Влияние климатических изменений на сток и оледенение бассейна реки Ала-Арча за период 1915-2018 гг. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, № 4, 2019, с. 36-41.

Ерохин С.А., Усупаев Ш.Э., Тузова Т.В., Загинаев В.В. Оценка изменений в развитии горных озер и их прорывоопасности в условиях изменения климата // Водные и гидроэнергетические ресурсы Кыргызстана в условиях изменения климата (Коллективная монография, посвященная основателю Института водных проблем и гидроэнергетики НАН КР академику НАН КР и РТ Маматканову Д.М.), Бишкек, 2021, гл. 2, с.49–150.

3. He Z., Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Weise S.M., Duethmann D., Kalashnikova O., Gafurov A., and Merz B. Comparing Bayesian and traditional end-member mixing approaches for hydrograph separation in a glacierized basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2020, 24, 3289–3309.

4. Изучение гидродинамики озера Иссык-Куль изотопными методами // МНТЦ, НАН КР, Бишкек, часть 1, 2007, 160 с.

Чалов П.И., Тузова Т.В., Алехина В.М. Изотопные параметры вод разломов земной коры в сейсмически активной зоне. Фрунзе, Илим, 1980, 105 с.

6. Tokarev I., Yakovlev E. Non-Equilibrium Uranium as an Indicator of Global Climate Variations – The World Ocean and Large Lakes. *Water*. 2021, 13, 3514.

7. Yakovlev E., Tokarev I., Zykov S., Iglovsky S., Ivanchenko N. Isotope Signs ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, ^2H , ^{18}O) of Groundwater: An Investigation of the Existence of Paleo-

Р
е
г
и
о
н

***СЕКЦИЯ 2. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА,
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В
АТМОСФЕРЕ И АНТРОПОГЕННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ
СНЕЖНОГО ПОКРОВА, АТМОСФЕРНЫХ
ОСАДКОВ, АЭРОЗОЛЕЙ***

***SECTION 2. THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE,
PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES IN THE
ATMOSPHERE AND ANTHROPOGENIC ACTIVITY
AT THE CHEMICAL COMPOSITION OF SNOW
COVER, PRECIPITATION, AEROSOLS***

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕГОВОГО ПОКРОВА НЕОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ НА ТЕРРИТОРИИ ШЕЛЕХОВСКОГО РАЙОНА

Лицецкая Л.Г.

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», Ангарск, Россия

Lis_lu154@mail.ru

Аннотация. В пробах талого снега определяли основные анионы и катионы, характерные для выбросов алюминиевого производства. Проведен количественный гранулометрический анализ состава взвесей с помощью лазерного анализатора. Субмикроскопические частицы до 1 мкм обнаружены во всех пробах в количестве 2%. Доля частиц до 10 мкм составила 7-11%. Преобладающий размер частиц 10-50 мкм, на их долю приходится 50% взвесей в жилых районах и до 80% вблизи промышленной зоны. Показано, что в зоне влияния транспортной магистрали повышено содержание в снеге сульфатов, нитратов, кальция, магния. Содержание фторидов, алюминия и бериллия в снежном покрове определяется направлением господствующих ветров.

Ключевые слова: снежный покров; анионы; катионы; гранулометрический анализ

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF POLLUTION OF THE SNOW COVER WITH INORGANIC COMPOUNDS IN THE TERRITORY OF THE SHELEKHOVSKY DISTRICT

Lisetskaya L.G.

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, Russian Federation

Lis_lu154@mail.ru

Sammury. In samples of melted snow, the main anions and cations typical for emissions from aluminum production were determined. A quantitative granulometric analysis of the composition of suspensions was carried out using a laser analyzer. Submicroscopic particles up to 1 μm were found in all samples in an amount of 2%. The proportion of particles up to 10 μm was 7–11%. The predominant particle size is 10-50 microns, they account for 50% of suspensions in residential areas and up to 80% near the industrial area. It is shown that in the zone of influence of the transport highway, the content of sulfates, nitrates, calcium, and magnesium in the snow is increased. The content of fluorides, aluminum and beryllium in the snow cover is determined by the direction of the prevailing winds.

Keywords: snow cover; anions; cations; particle size analysis.

Введение

В настоящее время общепризнано, что снег является поглотителем загрязняющих веществ, в котором сохраняются выбросы как стационарных, так и передвижных источников [1, 2]. Из снежного покрова загрязняющие вещества могут поступать обратно в атмосферу или в наземные и водные экосистемы во время снеготаяния [3]. В Иркутской области в связи с ее природно-географическими особенностями расположено значительное количество крупных промышленных предприятий, являющихся потенциальными источниками различных загрязняющих веществ. Среди них особое внимание занимает город Шелехов, промышленность которого представлена главным образом предприятиями цветной металлургии. Изучению загрязнения окружающей среды вокруг алюминиевых заводов посвящено много работ [4, 5]. О влиянии ПАО «РУСАЛ Братск» на окружающую среду также регулярно собирается обширная информация [6,7]. Целью настоящей работы явилась оценка уровня загрязнения снежного покрова химическими соединениями и элементами на территории Шелеховского района.

Район, материалы и методы исследования

Район исследования представляет собой зону выбросов промышленных предприятий города Шелехов. Отбор проб выполнен в разных направлениях от промплощадки, но преимущественно в северо-восточном направлении, где расположены жилые массивы города.

Талую воду фильтровали через предварительно взвешенные фильтры, которые после высушивания вновь взвешивали. По разнице в весе рассчитывали содержание твердого остатка. В водной фазе определяли содержание основных анионов и катионов.

Для изучения гранулометрического состава растаявший снег анализировали на лазерном анализаторе частиц Analysette 22 NanoTech (Fritsh). Пробы талого снега объемом 60 дм³ анализировали в режиме nanotech с установками Carbon/Water 20°C в трех повторях.

Результаты и обсуждение

Результаты гранулометрического анализа проб демонстрируют довольно равномерное распределение частиц по фракционному составу (табл.). Наибольший интерес представляют частицы фракций до 1 мкм и до 10 мкм, которые оказывают наиболее вредное воздействие на организм человека [8]. Их высокая токсичность обусловлена большой удельной площадью поверхности. Частицы размерностью PM₁ обнаружены во всех рассматриваемых пробах и их уровень находится в диапазоне от 1,7 до 2,0%. Частицы размерностью PM₁₀ также распределены равномерно по исследованным точкам, их содержание колеблется от 5,8 до 11,2%. Практически в каждой пробе наблюдается преобладание частиц размерностью 10-50 мкм. Их содержание составляет 48-71%. Крупноразмерные частицы (более 400 мкм) присутствуют в трех пробах.

Таблица 1. Гранулометрический состав атмосферных взвесей в снеговых пробах г. Шелехов, %

Место отбора	Размер частиц, мкм						
	Менее 1,0	1,0-10,0	10,0-50,0	50,0-100,0	100,0-400,0	400,0-700,0	Более 700,0
1	1,8	7,1	56,0	30,2	4,9	0	0
2	1,9	10,2	48,9	5,3	5,9	6,8	21,0
3	1,9	9,2	77,7	11,2	0	0	0
4	1,7	8,0	48,0	11,3	0	6,8	24,2
5	1,7	7,3	71,2	19,7	0,1	0	0
6	2,0	11,2	52,9	11,8	3,9	2,7	15,5
7	1,8	5,8	56,3	33,7	2,4	0	0
8	1,9	11,1	65,4	21,0	0,6	0	0

Высокие уровни концентрации минеральной пыли наблюдались вблизи транспортной и промышленной зоны. В наиболее загрязненных пылью участках превышение уровня по сравнению с фоном достигало до 50 раз. Концентрация катионов кальция в них увеличена в 8 и 36 раз по сравнению с фоновой точкой и региональным фоновым уровнем, магния – в 144 и 46 раз соответственно. Концентрация алюминия превышает таковую в фоновой точке в 30 раз, а региональный фоновый уровень – в 250 раз, для бериллия – в 4 и 10 раз соответственно. Наибольшие значения отмечены внутри жилых микрорайонов. В жилой зоне города содержание хлоридов в снеговой воде превышает фоновый уровень в 10-60 раз. Возможно, это связано с применением антигололедных средств для дорожных покрытий в зимний период.

Вблизи транспортной магистрали и особенно у территории Ф ПАО «РУСАЛ Братск» в г.Шелехов уровень сульфатов превышал фоновый показатель в 2 раза в жилой зоне и в 6 раз – в промышленной, что обусловлено загрязнением воздуха диоксидом серы. Наименее загрязненными были точки, которые соответствуют жилой зоне привокзального района и южной окраине промзоны. Вероятно, этому способствовала низкая частота повторяемости ветров в соответствующих направлениях. Самые низкие концентрации хлоридов (на уровне фоновой точки) наблюдались вдали от городских построек в районе промышленной зоны и пригородного поселка Олха.

Фтористые соединения являются одним из наиболее опасных компонентов промышленных выбросов при производстве алюминия. По данным мониторинга, среднемесячные концентрации фторидов в атмосферном воздухе стабильно превышают санитарные нормы [9]. Фториды рассматриваются как специфические и приоритетные загрязнители для алюминиевого производства. Превышение регионального фона в фоновой точке отбора составляет 34 раза, в жилой зоне – 140-260 раз, вблизи промышленной зоны – в 470 раз. Следует отметить, что общая минерализация снегового покрова в фоновой точке лишь в 1,5 раза ниже, чем в промышленной зоне и жилых застройках, несмотря на то, что находится она на расстоянии 9 км

от промышленных источников выбросов. Переносу загрязняющих веществ на такое расстояние способствуют частые ветра в северо-западном направлении.

Заключение

Исследование химического состава снегового покрова в различных функциональных зонах г. Шелехов позволяют заключить, что талую воду снеговых осадков можно отнести к гидрокарбонатно-хлоридному кальциевому классу с высокой концентрацией фторидов и нитратов. На характер загрязнения городской среды большое влияние оказывают выбросы промышленных предприятий, автотранспорта и хозяйственная деятельность городских организаций. Общая загрязненность пригородной сельскохозяйственной территории значительно ниже, чем в жилой зоне города. Это свидетельствует о том, что высокий уровень загрязнения городской среды формируется большей долей влияния автотранспорта, чем сельскохозяйственная. Преобладающие ветра северо-западного и юго-восточного направления способствуют переносу вредных веществ на большие расстояния, оказывая неблагоприятное воздействие на экосистемы региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mamontova E.A., Mamontov A.A., Tarasova E.N. Ecological and hygienic assessment of the consequences of the pollution with persistent organic compounds of industrial town (by the example of Usol'e-Sibirskoe): 1. Atmospheric air, snow, and soil.// Russian journal of general chemistry.- 2016.-V.13.-P.2987-2996.
2. Grebenshikova V.I., Efimova N.V., Doroshkov A.A. Chemical composition of snow and soil in Svirsk (Irkutsk region, Pribaikal'e).// Environmental Earth sciences.- 2017.-№. 20.- P. 712
3. Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Янчук М.С., Лопатина Д.Н. Химический состав снега акватории озера Байкал и прилегающей территории. // География и природные ресурсы.- 2017.№1.-С. 90-99
4. Rambabu P., Prasad N.E., Kutumbarao V., Wanhill R. Alluminium alloys for aerospace applications. //Aerospace and materials technologies. Singapore Springer.-2017.-P. 29-52.
5. Суходолов А., Янченко Н., Таловская А., Язиков Е. Сравнительный анализ распределения компонентов выбросов алюминиевых заводов Сибири. //Экология и промышленность России.- 2018.-Т.22.- С.51-55.
6. Ianchenko N.I., Talovskaya A.V., Zanin A.A. Comparative assessment of fluorine, sodium, and lithium distributions in snow cower in Siberia. Reports of the 3-th Baikal international scientific conference endorsed by IUPAC. Pure and applied chemistry. 2021;4 .
7. Shikhovsev M.Yu., Onishchuk N.A., Netsvetaeva O.G., Molozhnikova Ye.V. Multivariate statistical analysis of the chemical composition of the snow in the industrial cities of the Southern Baikal region.// Proceedings 27-th International Symposium on Atmospheric and ocean optics, Atmospheric Physics. 2021.-P.119161Q
8. Холодов А.С., Кириченко К.Ю., Задорнов К.С., Голохваст К.С. Влияние твердых взвешенных частиц атмосферы населенных пунктов на здоровье человека. // Вестник Камчатского государственного технического университета. -2019.-Т.49.-С. 81-88
9. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2019 году. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://irkobl.ru/sites/ecology/picture>

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЕРРИТОРИИ Г. СВИРСК СОЕДИНЕНИЯМИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКОМ

Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В., Журба О.М., Алексеенко А.Н.

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», Ангарск, Россия

salimf53@mail.ru

Аннотация: Выявлены уровни накопления и характер распределения подвижных форм элементов – токсикантов в почвах разных функциональных зон г. Свирска. Установлено, что приоритетными загрязнителями почв г. Свирска являются As, Zn, Pb, Cr, Fe и Cd. В почвах промышленных зон формируются преимущественно высококонтрастные полиэлементные геохимические аномалии Fe – Pb, As – Zn – Cd – Mn и Cu с чрезвычайно опасным уровнем загрязнения. Для почв селитебной зоны - частного жилого массива характерны локальные контрастные четырехэлементные аномалии (Zn – As, Cr – Mn) с опасной и чрезвычайно – опасной степенью загрязнения, многоэтажного жилого сектора – двухэлементные малоконтрастные аномалии Cr – Cu с опасной и умеренно – опасной экологической ситуацией.

Ключевые слова: тяжелые металлы и мышьяк, загрязнение почв, геохимические аномалии, территории города.

CHARACTERISTICS OF SOIL POLLUTION OF THE TERRITORY SVIRSK COMPOUNDS OF HEAVY METALS AND ARSENIC

Shayakhmetov S.F., Merinov A.V., Zhurba O.M., Alekseyenko A.N.

Federal State Budgetary Scientific Institution «East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research», Angarsk, Russia

salimf53@mail.ru

Summary. The levels of accumulation and the nature of the distribution of mobile forms of elements - toxicants in the soils of different functional zones of the city of Svirsk were revealed. It has been established that As, Zn, Pb, Cr, Fe and Cd are the priority soil pollutants in the city of Svirsk. In the soils of industrial zones, predominantly high-contrast multi-element geochemical anomalies Fe – Pb, As – Zn – Cd – Mn and Cu with an extremely dangerous level of pollution are formed. Soils of the residential area - a private residential area are characterized by local contrasting four-element anomalies (Zn - As, Cr - Mn) with a dangerous and extremely dangerous degree of pollution, a multi-storey residential sector - two-element low-contrast anomalies Cr - Cu with a dangerous and moderately dangerous ecological situation.

Keywords: heavy metals and arsenic, soil pollution, geochemical anomalies, city areas.

В настоящее время к наиболее опасным загрязнителям урбонизированной среды все чаще относят тяжелые металлы (ТМ) и металлоиды, которые способны оказывать токсическое воздействие на организм [1]. Их накопление, миграция и перераспределение в компонентах урбоэкосистем зависят как от целого комплекса природных факторов, так и от интенсивности и характера антропогенного воздействия факторов техногенной деятельности [2, 3]. В последние годы многие промышленные предприятия изменили профиль производимой продукции, провели реконструкцию и модернизацию технологий производства, а некоторые были закрыты. Однако, несмотря на сокращение производственной деятельности предприятий, снижение и даже прекращение выбросов вредных веществ в атмосферу на урбанизированных территориях обнаруживаются накопленные техногенные геохимические очаги с высоким содержанием соединений ТМ и металлоидов [4].

Город Свирск является одним из небольших городов Иркутской области с населением около 15 тыс. человек. Селитебная зона представлена многоэтажными жилыми зданиями, сосредоточенными в центре города и по его периферии домами частного сектора. Первыми ключевыми градообразующими предприятиями г. Свирск были Ангарский металлургический завод (АМЗ) по производству белого мышьяка (1934 – 1949гг) и аккумуляторный завод, «Востсибэлемент» (1939 – 2000гг).

В 2011 – 2014гг согласно Федеральной программы по ликвидации химически опасных загрязнений с территории бывшего АМЗ были вывезены и захоронены все опасные отходы и зараженный грунт. На промплощадке бывшего завода «Востсибэлемент» площадью 33 га продолжают находиться развалины аккумуляторных цехов. Вместе с тем, несмотря на проведенные единичные работы по оценке содержания валовых форм ТМ в компонентах природной среды г. Свирск [5, 6], полномасштабного анализа измерений концентраций и накопления подвижных форм элементов в почвенном покрове на всей территории города не проводилось.

Цель исследования – оценить уровень загрязнения урбанизированной территории г. Свирск на основе анализа распределения и концентрирования подвижных форм ТМ в почвенном покрове различных функциональных зон городской среды.

Для выявления специфики и закономерностей загрязнения почвенного покрова г. Свирск был проведен отбор проб в 11 участках наблюдений: промышленная зона (точки Т₁ – деревообрабатывающее предприятие ООО «ТМ Байкал»; Т₂ – территория бывшего АМЗ; Т₃ – промплощадка бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент»; Т₄ – район ул. Промучасток вблизи ТЭЦ и ООО «Актех»), селитебная зона – а) многоэтажный жилой сектор (точки С₁ – школа №3; С₂ – школа №1), б) частный жилой сектор с печным отоплением (точки С₃ – школа в

микрорайоне Макарьево; С₄ –садоводство «Виктория»; С₅ –ул. Комсомольская); лесопарковая зона (точка Л –ул. Совхозная, прибрежный лесной массив); фоновая зона (точка Ф – открытая местность район с. Чемодариха).

Пробы почвы на каждом исследуемом участке отбирали методом конверта из верхнего слоя (0 - 10 см) в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.4.02 -2017. Подготовку проб и анализ содержания подвижных металлов в почве проводили в соответствии с ПНД Ф 16.1:2:2. 2:2.3.79 – 2013. Для определения подвижной формы мышьяка в образцах почвы пробоподготовку осуществляли согласно М – МВИ – 80 – 2008 [7].

Для элементного анализа образцов почвенного покрова использовали атомно – абсорбционный спектрометр ААС DUO– 240 (Agilent Technologies, USA), оборудованный графической печью GTA 120, автоматическим пробоотборником и поляризованным корректором фона Zeeman. Анализ мышьяка проводили согласно инструкции по эксплуатации в системе генерации гидридов VGA – 77AA Agilent и условиям, предлагаемым программой Spectr AA.

Полученные данные о содержании ТМ и мышьяка сравнивали с фоновыми показателями, для оценки степени безопасности (опасности) для здоровья горожан – с ПДК (СанПиН 1.2.3685 – 21). Для установления степени воздействия техногенной нагрузки на почвенный покров рассчитывали геохимический показатель Кн – коэффициент концентрации элемента.

Для определения уровня загрязнения почвенного покрова ТМ и мышьяком, рассчитан комплексный показатель суммарного загрязнения (Zc) в соответствии с СанПиН 1.2.3685 -21. Степень химического загрязнения определялась в зависимости от величин Zc проб почвы: < 16 – допустимая, 16 – 32 – умеренно – опасная, 32 – 128 –опасная, > 128 – чрезвычайно опасная.

Анализ результатов содержания элементов ТМ и мышьяка в почвенном покрове по совокупной выборке проб выявил значительное пространственное варьирование их концентраций в почве г. Свирска: в наибольшей степени - As (145 раз), Pb (126), в средней степени - Zn (36 раз), Cr (18раз), F (13 раз), в меньшей - Cd (7 раза), Cu (3,7 раза) и Mn (2 раза).

В почвах г. Свирска содержание большинства подвижных форм элементов, для которых установлены ПДК находится на верхней предельной границе или выше их уровня. В среднем превышение нормативных показателей по содержанию Pb в почвах города составляет 13,5 раза, Mn – 1,1 раза. По количеству проб с превышением ПДК наибольший процент отмечается для Pb – 90 % и Mn – 50 %, тогда как по Cu и Zn всего 10 и 20% соответственно. При этом максимальное превышение нормативных значений (Кпдк_{max}) для Pb составило 61,1 ПДК, Zn – 1,6 ПДК, Mn – 1,5 ПДК, а Cu – 1,0 ПДК.

В почвенном покрове промышленной зоны превышение допустимых значений для Pb отмечено на уровне 3,0 (T_1), 4,9 (T_2), 52,4 (T_3) и 61,1 (T_4) ПДК, Zn – 1,6 ПДК (T_3), Mn – 1,4 ПДК (T_4). В селитебной зоне их концентрация в среднем была на уровне 1,7 – 6,3 ПДК_{Pb} (C_1 – C_6), 1,3 ПДК_{Zn} (C_5) и 1,1 – 1,5 ПДК_{Mn} (C_1 – C_2), в прибрежном лесном массиве (точка Л) – 3,0 ПДК_{Pb}. По сравнению с результатами исследований, ранее проведенных другими авторами [5-6], содержание подвижных форм ТМ и мышьяка в почвенном покрове города было значительно ниже.

Сравнение средних значений по совокупной выборке элементов с фоновым содержанием ($K_{нср}$) показало, что в почвенном покрове урбанизированной территории г. Свирска отмечено накопление всех исследуемых ТМ и мышьяка. Наиболее напряженную экологическую ситуацию представляет загрязнение почв промышленной зоны As, Pb, Zn и Cr. Очаги накопления As в почве продолжают отмечаться на территории бывшего АМЗ (T_2 -410 раз) и в районе с ТЭЦ и ООО «Актех» (T_4 -435 раз), для Pb - на промплощадке бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» (T_3 -39,8 раза) и вблизи находящихся ТЭЦ и ООО «Актех» (T_4 -46,4 раза). Высокие показатели коэффициента накопления для Zn (29,0-180,0 раза) и Cr (7,8-14,2 раза) наблюдаются на всех исследуемых точках территории промышленной зоны (T_1 – T_4).

В селитебной зоне максимальные значения накопления As и Pb зафиксированы в частном жилом секторе на территории школы микрорайона Макарьево (C_3 – 320,0 и 4,8 раза соответственно), со снижением в районе садоводства «Виктория» (C_4 – 70,0 и 3,0 раза) и прибрежном лесном массиве (точка Л – 85,0 и 3,0 раз) При этом высокая степень накопления Zn (5–152 раза) и Cr (4,0–40,0 раз) в почвах наблюдается практически повсеместно на всей территории города.

Анализ расчетов аномальных содержаний (интенсивность накопления) поллютантов в почвах [4] показал, что локальные контрастные геохимические очаги на территории города Свирска образуют следующие элементы (цифра – градиент аномальности > 1): промышленная зона $Fe_{4,6}$ и $Pb_{4,4} > As_{3,0}$ и $Zn_{3,0} > Cd_{2,3} > Mn_{1,4}$ и $Cu_{1,3}$; частный жилой массив $Zn_{2,6} > As_{2,2} > Cr_{1,7} > Mn_{1,4}$; многоэтажный жилой сектор $Cr_{2,5} > Cu_{2,0}$. Расчет комплексного показателя суммарного загрязнения почв ТМ и мышьяком свидетельствует, что исследованные поверхностные грунты промышленной зоны относятся к чрезвычайной (точки T_2 – T_4) и опасной (T_1) категории загрязнения почв. Состояние почвенного покрова многоэтажной жилой застройки соответствует опасному (точка C_2) и умеренно – опасному (C_1) уровню загрязнения. Однако почвы частного жилого сектора, находящиеся рядом с участками промзон характеризуются чрезвычайно опасным уровнем загрязнения (C_3 , C_5), а на удалении от них – опасным (C_4). В почвах прибрежного лесного массива рекреационной зоны города отмечается опасная степень загрязнения (точка Л). Исходя из полученных данных,

суммарный показатель загрязнения почв города ТМ и мышьяком уменьшается в ряду: район ул. Промучасток (ТЭЦ и ООО «Актех») > промзона бывшего АМЗ > площадка завода «Востсибэлемент» > частный жилой сектор > прибрежный лесной массив > многоэтажная жилая зона. Таким образом, использование данных об интенсивности накопления элементов и суммарном уровне загрязнения почв дает возможность оценить процессы формирования техногенных геохимических аномалий и пространственного распределения поллютантов в различных функциональных зонах городской среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мучкина Е.Я., Бадмаева С.Э., Коротченко И.С., Горлушкина К.С. Анализ распределения подвижных форм тяжелых металлов в почвенном покрове промышленно – урбанизированной территории г. Красноярск. Экология и промышленность России.–2020. –Т. 24. –№ 4.–С. 66–71.
2. Журба О.М., Алексеенко А.Н., Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В. Оценка содержания загрязнений в аккумулирующих природных средах в условиях техногенной нагрузки. Гигиена и санитария.–2020.–Т. 99.–№ 10.–С. 1049 –1054.
3. Yu G., Chen F., Wang Z., Zhang H. Pollution and health risk assessment of heavy metals in soils of Guizhou, China. Ecosystem health and sustainability.–2021.–V. 7.–№ 1.–1859948.
4. Касимов Н, С., Власов Д.В. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах Российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета). Вестник Московского университета. Серия 5. География.–2018.–№ 3.–С. 14–22.
5. Кузьминова О.В., Пройдакова О.А., Янчук Т.М. Оценка степени загрязнения тяжелыми металлами компонентов природной среды г. Свирска (Иркутская область). Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология.–2015.–Т. 11.– С. 81–92.
6. Богданов А.В., Шатрова А.С., Тюканова О.В. Оценка воздействия промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» Иркутской области на объекты окружающей среды. Экология и промышленность России.–2022.–Т. 26.–№ 3.–С. 52–57.
7. М-МВИ-8-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. СПб.– 2018.–36 с.

СОДЕРЖАНИЕ Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Co В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ТЕРРИТОРИИ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ИЛЕ И ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО РЕЗЕРВАТА «ИЛЕ-БАЛКАШ»

**Мадибеков А.С., Амиргалиев Н.А., Исмуханова Л.Т.,
Мусакулкызы А., Жади А.О., Султанбекова Б.М.**

¹АО «Институт географии и водной безопасности» МНВО РК, Алматы,
Республика Казахстан

madibekov@mail.ru

Аннотация. В данной статье приведены результаты исследований загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами охватывающей территорию дельты реки Иле и Государственного природного резервата «Иле-Балкаш». Тяжелые металлы в пробах определяли пламенным атомно-абсорбционным спектрометрическим методом с предварительной обработкой проб на атомно-абсорбционном спектрофотометре АА-7000. На основе изучения снежного покрова определены подвижные формы концентрации ТМ, относящиеся по своим химическим свойствам к 1-классу (Pb, Cd, Zn) и 2-классу опасности (Cu, Co, Ni). Результаты спектрометрического анализа ТМ в СП показали, превышение нормативов для хозяйственно-бытового назначения по кадмию до 3,5 раза, для рыбохозяйственного назначения регистрируются превышения во всех отобранных пробах.

Ключевые слова: снежный покров, тяжелые металлы, загрязнение, концентрация, нормативы.

CONTENT OF Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Co IN THE SNOW COVER OF THE TERRITORY OF THE ILE RIVER DELTA AND «ILE-BALKASH» STATE NATURAL RESERVE

**Madibekov A., Amirgaliyev N.A., Ismukhanova L.,
Musakulkyzy A., Zhadi A., Sultanbekova B.**

¹JSC «Institute of Geography and Water Sa Security» MNVO RK, Almaty,
Republic of Kazakhstan

madibekov@mail.ru

Summary. This article presents the results of studies of pollution of snow cover with heavy metals covering the territory of the Ile river delta and the «Ile-Balkash» state nature reserve. Heavy metals in samples were determined by flame atomic absorption spectrometric method with preliminary processing of samples on atomic absorption spectrophotometer AA-7000. On the basis of snow cover studies, mobile forms of HM concentrations related to their chemical properties to hazard class 1 (Pb, Cd, Zn) and hazard class 2 (Cu, Co, Ni) were determined. The results of spectrometric analysis of HM in SC showed excess of the norms for domestic

purposes for cadmium up to 3.5 times, for fishery purposes excesses are registered in all selected samples.

Key words: snow cover, heavy metals, pollution, concentration, standards.

Территория дельты р. Иле – является крупнейшей естественной внутренней дельтой Центральной Азии (ЦА), общая площадь которой достигает 20 тыс. км², из которых современная дельта занимает около 8 тыс. км², остальное – древняя дельта с веером русел – баканасов. Территория дельты включена в список водно-болотных угодий международного значения Рамсарской конвенции. В 2018 г. на территории дельты р. Иле согласно постановлению Правительства РК создан Государственный природный резерват «Иле-Балкаш» (ГПР «Иле-Балкаш»), который с введением заповедного режима является уникальной не имеющей аналогов в мире по экологической реставрации объектом [1].

На фоне глобального опустынивания и деградации, территория современной дельты р. Иле является единственной сохранившейся речной дельтой в Средней Азии. Но, в условиях техногенного прессинга на экосистему исследуемой территории, необходима объективная информация об антропогенном воздействии на природу. В этой связи, изучение химического состава атмосферных осадков, отражающий химический состав атмосферы, включающий как естественные, так и загрязняющие компоненты, может быть использован как индикатор качества воздушной среды [2]. В мониторинге загрязнения атмосферного воздуха используются, так называемые, природные планшеты, к которым относится СП в качестве депонирующей среды техногенных загрязнений, и в отличие от дождя, который уходит в почву, снег сохраняется на поверхности почвы, таким образом фиксируя все атмосферные выпадения за снежный период года [3, 4].

Как известно, снег загрязняется уже в процессе своего образования за счет поглощения взвешенных частиц в атмосфере и при его выпадении, когда сублимационные кристаллы, сталкиваясь друг с другом, образуют хлопья; при этом они захватывают, переносят и осаждают аэрозольные элементы [5]. С увеличением толщины СП на поверхности Земли возрастает загрязненность снега, а наиболее сильное загрязнение происходит в результате пыльных бурь, лесных пожаров, извержений вулканов, а также под влиянием деятельности человека. Отмечается также и то, что характеристики СП в зоне активной деятельности человека всегда существенно отличаются от фоновых значений. Вокруг городов, промышленных центров, сельских поселений, вдоль железных и автомобильных дорог и многих других объектов инфраструктуры формируются ореолы загрязнения местности.

Снежный покров отражает контуры аэрогенного загрязнения на период образования и позволяет судить о динамике происходящих

процессов. Характеристики техногенных аномалий в таких депонирующих средах, как снежный покров, могут служить косвенным показателем загрязнения воздушного бассейна и прямо свидетельствуют об интенсивности геохимического преобразования приповерхностной части литосферы.

В период снеготаяния, находящиеся в снеге токсиканты мигрируют в почву и поверхностные воды, ареал их распространения значительно превышает контуры геохимических аномалий в СП. Одна проба по всей высоте СП дает значительное представление о загрязнении за весь период от установления СП до момента отбора пробы, что позволяет получить динамику загрязнения за зимний сезон [6].

Установлено, что загрязнение СП происходит в результате влажного и сухого осаждения загрязняющих веществ с существенным влиянием метеорологических условий (скорость и направление ветра, влажность воздуха и др.). Большое значение имеют размеры частиц и высота, на которую они были подняты первоначально. Крупные частицы оседают обычно в течение нескольких часов или суток, тем не менее, они могут переноситься на сотни километров, если изначально оказались на достаточной высоте [7].

Проведенные до этого времени исследования о накоплении влажных и сухих выпадений из атмосферного воздуха, характеризуют масштабы и качество выбросов ПО «Балхашцветмет», годовое количество которых составляет 738,5 тыс. т (2005 г.), где доля твердых фракций составляет 13,4 тыс. т или 1,8 % от общей массы выбросов [8].

По абсолютной величине в более высоких концентрациях в снеге накапливается медь – от 3,55 мг/дм³ в районе Бертыс – Рембаза до 0,007-0,012 мг/дм³ в более удаленных районах Тасарал – Бозарал и Акжайдак – Коржун и цинк – от 1,25 до 0,038-0,078 мг/дм³. Свинец и никель в зависимости от района представлены значениями в убывающей последовательности – от 3,79 до 0,034 мг/дм³ и от 1,42 до 0,022 мг/дм³ соответственно. В минимальных концентрациях обнаружен кадмий – от 0,41 до 0,004-0,005 мг/дм³. В зависимости от вида металла их содержание в растворенном состоянии составляло от 4,5 до 27 %. По мере удаления от источника загрязнения, несмотря на общее снижение концентрации металлов в снеге, содержание растворимых форм металлов увеличивается – от 42-55 % для никеля и свинца до 58-80 % для меди, цинка, кадмия на участке Тасарал – Бозарал (105 км от источника загрязнения в западном направлении) и Акжайдак – Коржун к востоку (75 км от источника загрязнения). Тем самым доказывая, что более тяжелые формы соединения металлов осаждаются вблизи от источника загрязнения, легкие формы транспортируются воздушными потоками на более дальние расстояния. Общие очертания ореолов распространения загрязняющих веществ, согласно розе ветров и частоте прохождения дыма над поверхностью озера

составляет в среднем за многолетний период 59 % от общего. Следовательно, такое же количество воздушных выбросов ПО «Балхашцветмет» проносится над озером, частично осаждаясь на его поверхности вытягиваясь к юго-западу на 73 км от источника выброса загрязняющих веществ [8].

Материал и методы исследования. Сбор фактического материала проведен на установленных точках, поделенных на равные по площади квадраты ($\approx 120 \text{ км}^2$) и пронумерованных по порядку для удобства дальнейшей работы (см. рисунок 1).

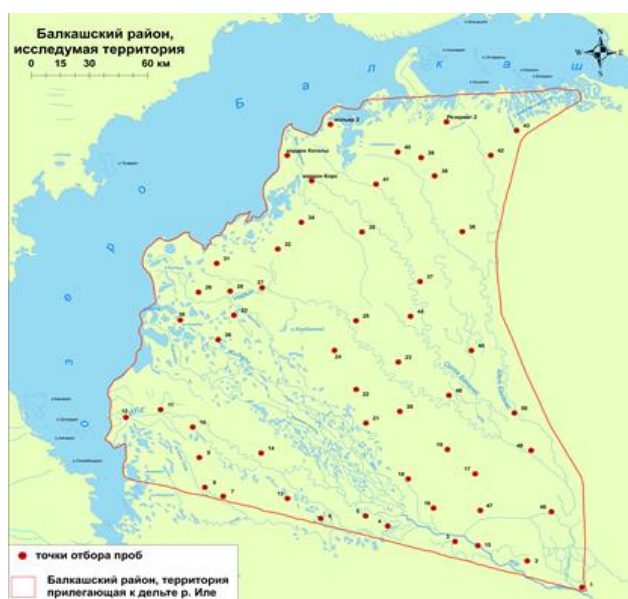


Рисунок 1. Схема ключевых точек отбора проб снежного покрова

Тяжелые металлы в пробах определяли пламенным атомно-абсорбционным спектрометрическим методом с предварительной обработкой проб на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-7000 фирмы Shimadzu (Япония). Атомно-абсорбционный спектрометр с полый катодной лампой для соответствующих металлов для корректировки коэффициента неударной абсорбции и с форсуночной горелкой, работающей на ацетилено-воздушной смеси [7].

Данные о качественной и количественной оценке уровня аэротехногенного загрязнения исследуемой территории на основе изучения СП с помощью атомно-абсорбционной спектрометрии были определены концентрации ТМ (подвижная форма) в снежном покрове. Рассматриваемые металлы по своим химическим свойствам относятся к 1-классу (Pb, Cd, Zn) и 2-классу опасности (Cu, Co, Ni), которые обладают высокой токсичностью [9, 10].

Результаты спектрометрического анализа ТМ в СП показали, что превышающие нормативы для хозяйственно-бытового назначения регистрируются по кадмию в среднем до 3,5 раза, остальные

рассматриваемые металлы ниже ПДК_{хб}. В случае сравнения полученных величин с нормативами для рыбохозяйственного назначения, то во всех отобранных пробах регистрируются превышения ПДК_{рх}: в среднем, по меди до 6,4 раза, цинку до 2,1 раза, свинцу до 1,7 раза, кобальту до 5,7 раза, никелю до 4,1 раза. Средние значения кадмия не превышают ПДК_{рх}, но по отдельным точкам имеют высокие концентрации до 2,7 раза превышающие нормативы. Распределение загрязненности СП тяжелыми металлами показано на рисунке 2, где отмечается неравномерный характер загрязнения СП металлами.

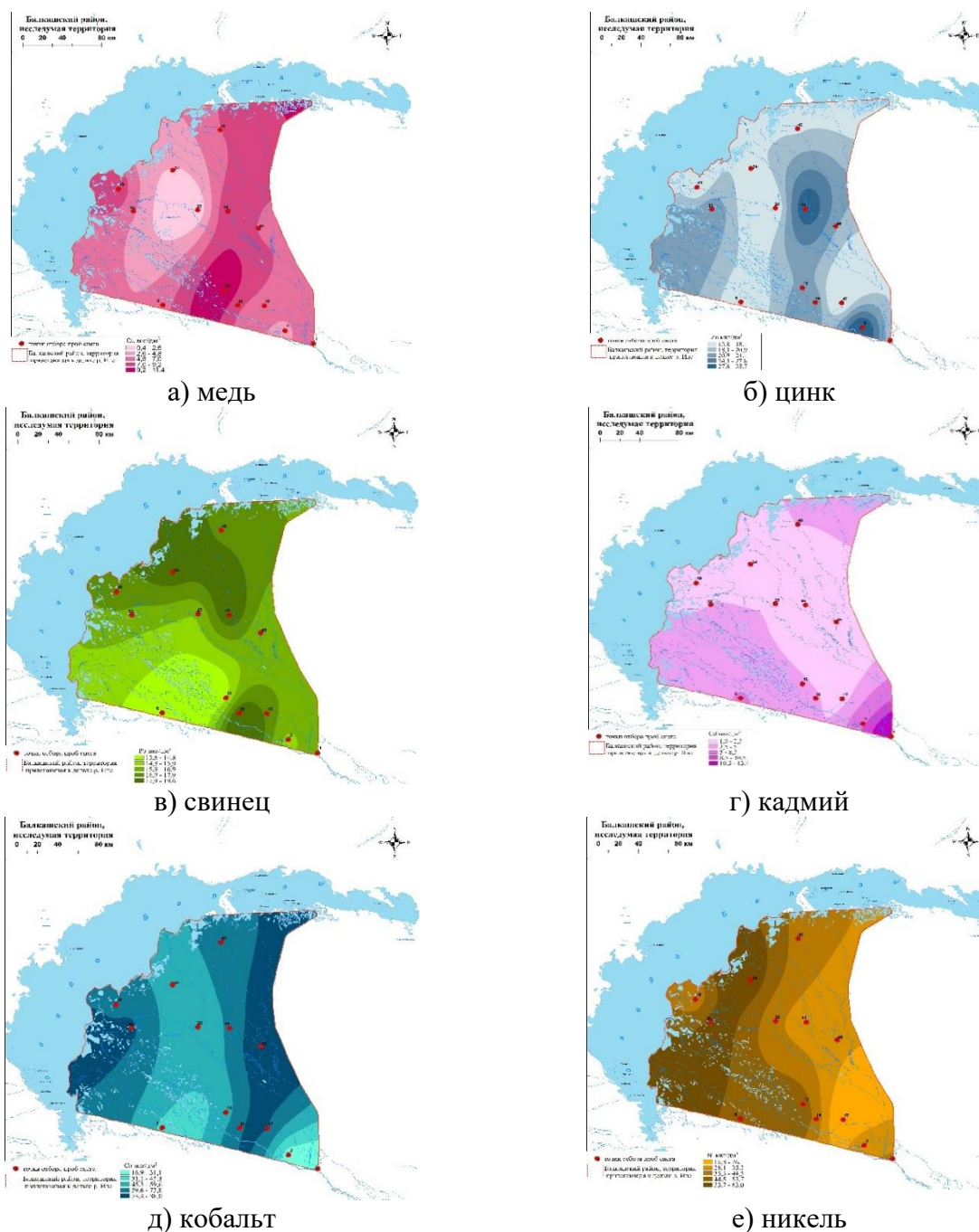


Рисунок 2. Карты интенсивности загрязнения СП металлами

Для величин свинца, в пространственном распределении прослеживаются высокие значения в северной (18,4 мкг/дм³) и южной (18,2 мкг/дм³) части, а для меди (11,4 мкг/дм³) и цинка (30,8 мкг/дм³) локальное загрязнение по средней полосе от СВ в направлении ЮЮЗ.

Пространственное распределение кадмия в СП локализовано от 8,3 до 13,3 мкг/дм³ в юго-восточной части территории, а кобальта ярко выражено в западной (75,6 мкг/дм³) и восточной (85,3 мкг/дм³), никеля в западной и северо-западной части (56,5 мкг/дм³) (рисунок 2).

Таким образом, по результатам исследования выявлено неравномерное загрязнения СП металлами. Так, для свинца, в пространственном распределении прослеживаются высокие значения в северной (18,4 мкг/дм³) и южной (18,2 мкг/дм³) части территории дельты, а для меди (11,4 мкг/дм³) и цинка (30,8 мкг/дм³) локальное загрязнение в средней полосе. Пространственное распределение кадмия в СП локализовано от 8,3 до 13,3 мкг/дм³ в юго-восточной части территории, а кобальта ярко выражено в западной (75,6 мкг/дм³) и восточной (85,3 мкг/дм³), никеля в западной и северо-западной части (56,5 мкг/дм³).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный природный резерват «Иле-Балхаш» Комитета лесного хозяйства и животного мира Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан: Постановление Правительства Республики Казахстан от 27 июня 2018 года № 381.
2. Чагина Н. Б., Пилюгина М. В. Исследование физико-химических параметров снеговых осадков Архангельска // Вестник Поморского университета. – 2007. – № 11. – С. 101–107.
3. Тяжелые металлы. – URL: https://archive.iwlearn.net/npa-arctic.iwlearn.org/Documents/da_full/section_4.3.2.pdf
4. Рыбалко А. Е., Фруммин Г. Т. По материалам результатов мониторинга, проводимого в "Севморгео" в восточной части Финского залива Балтийского моря 2001-2005 гг. – URL: http://esimo.oceanography.ru/esp1/index.php?sea_code=1§ion=8&menu_code=3889
5. Алексеев В. Р. Снежный покров как индикатор кумулятивного загрязнения земель // Лед и Снег. – 2013. – № 1(121). – С. 127–140.
6. Василенко В. Н., Назаров И. Н., Фридман Ш. Б. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 182 с.
7. Феленберг Г. Загрязнение природной среды: Введение в экологическую химию / Пер. с нем. – М.: Мир, 1997. – 458 с.
8. Асылбекова С. Ж., Исбеков К. Б., Лопарева Т. Л., Анурьева А. Н. Влияние воздушных выбросов промышленного комплекса «Балхашцветмет» на биоценозы озера Балхаш // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2011. – № 1. – С. 7–14.
9. Перечень рыбохозяйственных нормативов, предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М.: Изд-во ВНИРО, 1999. – 304 с.
10. Протасов В. Ф. Экология: Законы, кодексы. Экологическая доктрина, Киотский протокол, нормативы, платежи, термины и понятия. Экологическое право. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 380 с.

***СЕКЦИЯ 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА, ХИМИЧЕСКОГО
СОСТАВА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
СНЕЖНОГО ПОКРОВА, АТМОСФЕРНЫХ
ОСАДКОВ, АЭРОЗОЛЕЙ***

***SECTION 3. MODELING OF THE STUDY OF
CLIMATE CHANGE, CHEMICAL COMPOSITION
AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF THE
SNOW COVER, PRECIPITATION AND AEROSOLS***

СПЕЦИФИКА БАЛАНСА СНЕГОВОЙ ВЛАГИ – КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ ПРОТИВОРЕЧИЙ В ОЦЕНКЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ РОЛИ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ

Онучин А.А.¹, Мусохранова А.В.², Буренина Т.А.³

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия

¹onuchin@ksc.krasn.ru, ²nastyia.krasn@mail.ru, ³burenina@ksc.krasn.ru

Аннотация. Исследован механизм влияния лесов на речной сток на локальном и региональном уровнях с учетом климатических факторов и дана оценка баланса снеговой влаги в проявлении гидрологических функций лесов.

Ключевые слова: гидрологические функции лесов, сток рек.

THE SPECIFICITY OF SNOW MOISTURE BALANCE IS A KEY TO UNDERSTANDING CONTRADICTIONS IN THE ASSESSMENT OF THE HYDROLOGICAL ROLE OF BOREAL FORESTS

Onuchin A.A.¹, Musokhranova A.V.², Burenina T.A.³

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Irkutsk, Russia

¹onuchin@ksc.krasn.ru, ²nastyia.krasn@mail.ru, ³burenina@ksc.krasn@mail.ru

Summary. The mechanism of the effect of forests on river runoff at the local and regional levels is studied, taking into account climatic factors, and the assessment of the hydrological role of the forest cover was made on the basis of the snow moisture balance.

Key words: hydrological functions of forests, river flow.

Меняющийся климат, наряду с нарастающим беспокойством связанного с ограничением запасов пресной воды, требуют обобщения информации в части гидрологической роли бореальных лесов, что необходимо для создания стратегии управления лесами с целью минимизации гидрологического ущерба. Актуальность проблемы обусловлена не только теоретической значимостью ответа на вопрос о неоднозначной гидрологической роли леса, но и важными практическими последствиями использования теоретических положений при формировании лесной политики и практики лесопользования

Нехватка пресной воды в ряде регионов Мира является серьезной проблемой мирового сообщества, для решения которой целесообразно использовать все имеющиеся возможности, в том числе потенциал

природных экосистем, включая лесные. Получение желательного гидрологического эффекта может быть обеспечено посредством соответствующей системы лесоуправления, которая должна базироваться на глубоких знаниях реакции стока на те или иные изменения лесного покрова в различных природных условиях.

К сожалению, в труднодоступных регионах нашей планеты многие важные лесогидрологические процессы и явления до сих пор остаются неизученными. Анализ механизма этих процессов позволяет выявить особенности гидрологических циклов, во многом объясняющих причины существующих противоречий в оценке гидрологической роли лесов [3], [4].

В холодный период года активный влагооборот имеет место преимущественно над земной поверхностью, поскольку атмосферные осадки выпадают в виде снега и надолго консервируются в снежном покрове, а транспирация растительного покрова прекращается.

Важнейшими составляющими потоков снеговой влаги в зимний период являются перехват твердых атмосферных осадков пологом леса и их испарение, горизонтальное перераспределение снега посредством ветрового переноса и испарение снега, в том числе во время метелей. Зимой интенсивность и направленность потоков влаги не связаны с продуктивностью растительного покрова, а определяются преимущественно характером растительности (лес, безлесное пространство) и метеорологическими условиями территории.

Данные исследователей, которые работали в Северной Америке, Европе и Азии свидетельствуют о том, что значительная часть твердых атмосферных осадков задерживается пологом насаждений и испаряется, снижая сток с лесных водосборов, а нарушение лесов или изреживание лесного покрова снижает перехват осадков и способствует увеличению стока [1], [6], [7], [9].

Согласно исследованиям, которые были проведены в различных регионах Сибири, показатели запасов воды в снежном покрове после вырубki лесов, наоборот имеют тенденцию к снижению [3], [5]. Как известно, в регионах с резко континентальным климатом на обширных вырубках в первые несколько лет после рубок активизируются метели, которые увеличивают испарение со снега и этим самым снижают сток. В работах [4], [8] авторы показали, что ветер является основным фактором, влияющим на баланс снеговой влаги, поскольку он переносит снег с вырубок на опушки леса и способствует снижению запасов воды в снежном покрове за счет усиленной сублимации.

Из вышеизложенного можно констатировать, что в условиях теплого климата, где продуктивность лесов выше, зимой лес по сравнению с безлесными угодьями работает как лучший испаритель. Это обусловлено двумя основными причинами. Первая причина - это снижение непродуктивного испарения снеговой влаги на открытых участках, т.к.

плотный и влажный снег не подвержен ветровому переносу, во время которого испарение растёт по экспоненте с увеличением скорости ветра. Вторая причина связана с возрастанием перехвата снега пологом леса и с повышением температур воздуха. Эффект увеличения перехвата снега пологом с увеличением температур обусловлен изменением физических свойств снега – увеличением его пластичности и способности к слипанию частиц снега, как друг с другом, так и с кронами деревьев.

В условиях холодного климата, где, как правило, продуцируют низкополнотные древостои, лес, напротив, «работает» как накопитель снеговой влаги. Такой эффект обусловлен относительно небольшим зимним испарением в северных редколесьях по сравнению с безлесными территориями. В лесах, произрастающих в холодном климате, зимнее испарение не велико, поскольку с понижением температур воздуха и снижением полноты древостоев снижается и перехват твердых атмосферных осадков пологом леса. В тоже время на открытых участках в условиях суровых зим с увеличением скорости ветра испарение возрастает гораздо сильнее, чем в условиях мягких зим (Рис. 1). Это подтверждается результатами активных экспериментов, проведенных в аэродинамической трубе [10]. Согласно результатам, полученным в горных регионах Сибири на открытых участках испарение снега может достигать 140-200 мм [2], [10].

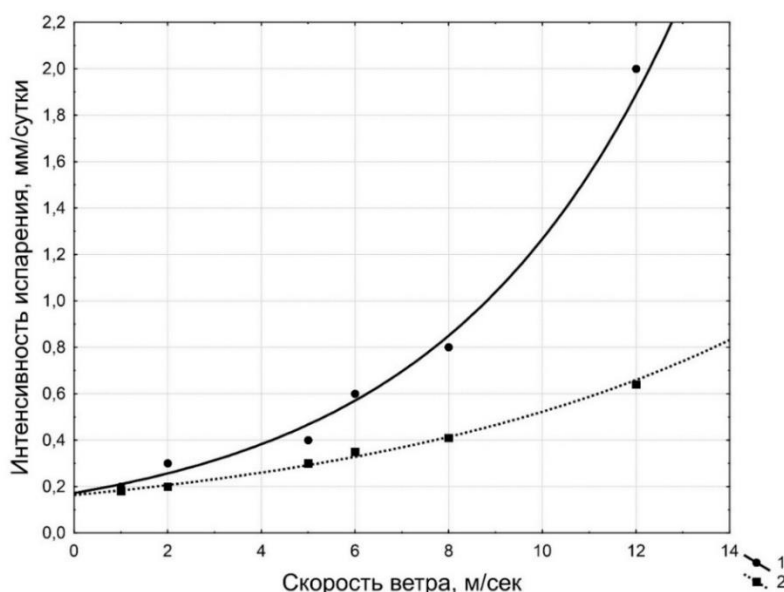


Рисунок 1. Зависимость интенсивности испарения снега от скорости ветра (1 – сухой, мелкий снег, в условиях суровых зим; 2 – влажный, плотный снег в условиях мягких зим)

Полученные результаты объясняют причины противоречий, которые существуют в оценке гидрологического значения бореальных лесов. На уровне насаждений в условиях теплого климата зимой лес по сравнению с безлесными угодьями работает как лучший испаритель и выступает как фактор снижения стока. В суровых климатических условиях с высокой

ветровой активностью наоборот, в лесу формируется более мощный снежный покров по сравнению с открытыми пространствами, где снег выдувается и испаряется. Лес в этих условиях выступает как фактор снижения эвапотранспирации и увеличения стока рек.

Как показали наши исследования специфика баланса снеговой влаги кардинально различается в зависимости от условий окружающей среды. Это позволяет объяснить, почему в условиях северной тайги сток с лесных водосборов больше чем с безлесных, а в южной тайге, наоборот, с увеличением лесистости сток снижается».

Это позволило при оценке гидрологической роли лесов применить концепцию географического детерминизма, которая позволяет объяснить многие противоречия, касающиеся потребления и производства воды лесными экосистемами. Эта концепция может служить теоретической основой для создания стратегий управления лесами, обеспечивающего интересы лесного и водного хозяйства крупных регионов с учетом разнообразия природно-климатических условий, а также позволит сформулировать принципы, на которых должно базироваться экосистемное управление лесами, обеспечивающее как постоянство лесопользования, так и сохранность водных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alton C., Fred L. Prediction of snow-water equivalents in coniferous forests. // Can. J. Forest Res. 1981. VII. №4. pp. 854-857.
2. Berkin N.S., Filippov A.K. Value of winter evaporation in Predbaikalie region // Meteorology and climatology of Pribaikalie. Irkutsk, Publ. House of ISU, 1972. P. 22-31. (In Russian).
3. Onuchin, A., 2015. The reasons for conceptual contradictions in evaluating hydrological role of boreal forests. *Sibirskij Lesnoj Žurnal*, 2. DOI:10.15372/SJFS20150204
4. Onuchin, A., Burenina, T., Shvidenko, A., Prysov, D., Musokhranova, A., 2021. Zonal aspects of the influence of forest cover change on runoff in northern river basins of Central Siberia. *Forest Ecosystems*, 8(1), 45. DOI:10.1186/s40663-021-00316-w
5. Onuchin, A.A., Burenina, T.A., Balzter, H., Tsykalov, A.G., 2018. New look at understanding hydrological role of forest. *Siberian Journal of Forest Science*, 5, 3-18.
6. Pomeroy, J. W. and Schmidt, R. A. 1993. The use of fractal geometry in modeling intercepted snow accumulation and sublimation, *Proc. Eastern Snow Conference*, 50, 1-10.
7. Schelker J., Kuglerova L., Eklof K., Bishop K., Laudon H. Hydrological effect of clear-cutting in a boreal forest – Snowpack dynamics, snowmelt and stream flow response. // *J. Hydrol.* 2013. V. 484. P. 105–114.
8. Varhola, A. et al., 2010a. The influence of ground- and lidar-derived forest structure metrics on snow accumulation and ablation in disturbed forests. *Can. J. For. Res.*, 40(4), 812-821. DOI:10.1139/X10-008
9. Wei, X., Giles-Hansen, K., Spencer, S., Ge, X., Onuchin, A., Li, Q., Burenina, T., Ilintsev, A., Hou, Y. Forest Harvesting and Hydrology in Boreal Forests: Under an Increased and Cumulative Disturbance Context. *Forest Ecology and Management* V.522. 2022.
10. Онучин А. А. Трансформация твердых атмосферных осадков горными лесами Хамар-Дабана: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1987. 19 с.

МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

Зубарева О.Н.¹, Прысов Д.А.¹, Данилова И.В.^{1,2}, Пляшечник М.А.¹

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение
ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

²Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

oliy2010zyb@mail.ru, prisov.krasn@gmail.com

Аннотация. В исследовании определено содержание загрязняющих веществ в снежном покрове и рассчитана плотность выпадения загрязняющих веществ на него в селитебной зоне города Красноярск. Изучен химический состав талой снеговой воды. В снежном покрове г. Красноярск отмечается значительное накопление нерастворимых веществ, растворимых соединений алюминия, фтора и сульфат-ионов.

Ключевые слова: снежный покров, пылевая нагрузка, твердый осадок, плотность выпадения загрязняющих веществ, г. Красноярск.

MONITORING OF POLLUTION OF THE SNOW COVER IN THE RESIDENTIAL AREA OF KRASNOYARSK TOWN

Zubareva O.N.¹, Prysov D.A.¹, Danilova I.V.^{1,2}, Plyashechnik M.A.¹

¹V.N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science, Siberian
Branch – Federal research center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian
academy of Sciences, Siberian Branch, Krasnoyarsk, Russia

²Siberian Federal University

oliy2010zyb@mail.ru, prisov.krasn@gmail.com

Summary. The content of pollutants in the snow cover of the residential area of Krasnoyarsk town was determined. The density of pollutant precipitation on the snow cover is calculated. The chemical composition of melted snow water has been studied. In the snow cover of Krasnoyarsk, there is a significant accumulation of insoluble substances, soluble compounds of aluminum, fluorine, and sulfate ions.

Key words: snow cover, dust load, solid sediment, pollutants fallout density, Krasnoyarsk.

Город Красноярск, крупный промышленный центр Сибири, площадью 320 км². Большая часть города расположена в широкой долине реки Енисей на восьми террасах. На севере – на возвышенной Красноярской равнине, с юго-востока и юго-запада он окружен отрогами Восточного Саяна [1]. Красноярск является участником Федерального проекта «Чистый

воздух» Национального проекта «Экология». Уровни загрязнений и их пространственное распределение становятся важнейшими критериями качества жизни городских жителей. Поэтому объективные оценки загрязнения городской среды являются актуальной задачей и востребованы в крупных городах.

Снежный покров является одним из наиболее адекватных и удобных природных планшетов для изучения загрязнения окружающей среды. Изучение химического состава снежного покрова позволяет выявить пространственные ореолы загрязнения и количественно рассчитать реальную степень загрязнения территории в течение периода залегания снега [2]. Возможность использования снегового покрова в качестве регистрирующей структуры и оценка на этой основе экологической ситуации города Красноярска рассматривалась в работах [3-6].

Цель работы – провести оценку комплексного загрязнения Красноярска, выделить наиболее загрязненные городские районы и фоновые участки на территории города на основе исследования химического состава снежного покрова.

В 2018 году был проведен первый рекогносцировочный отбор образцов снега в разных районах города.

Результаты экспериментальных исследований загрязнения снежного покрова города Красноярска выявили районы с низким (региональным фоновым) уровнем пылевой нагрузки, расположенные в западной и юго-западной частях города. Высокий уровень пылевой нагрузки, в 80 раз превышающий фоновый уровень, приходится на территорию размещения предприятий АО «РУСАЛ Красноярск», ООО «КраМЗ», АО «Красноярской ТЭЦ-3».

Определение ионного состава фильтрата снеговой воды и расчет плотности выпадения ионов на территорию города выявили наибольшие различия для потоков поступления ионов алюминия, водорастворимого фтора, никеля. Ореолы повышенных величин притока данных ионов приходились на район размещения предприятий АО «РУСАЛ Красноярск», ООО «КраМЗ», АО «Красноярская ТЭЦ-3».

На основании результатов кластерного анализа данных 2018 года было проведено зонирование территории города по комплексному загрязнению и выделены 4 условные зоны загрязнения [6]:

1 – рекреационно-парковая, которая характеризуется минимальным уровнем плотности атмосферных выпадений загрязнителей, что обусловлено ее удаленностью от промышленных объектов и крупных автомагистралей;

2 – транспортно-селитебная зона по уровню пылевых нагрузок и поступлению ионов с талой снеговой водой превышает эти показатели рекреационно-парковой зоны практически в два раза;

3 – промышленно-транспортная зона характеризуется значительной пылевой нагрузкой – в среднем $29,73 \text{ г/м}^2$ за сезон ($237,8 \text{ мг/м}^2$ в сутки), что в 23,8 раза превышает фоновый показатель. Отмечено увеличение поступления с талой снеговой водой ионов никеля в 3 раза, алюминия в 4, фтора в 13, хлора в 8, сульфат-иона в 5, нитрат ионов в 2 раза. В тоже время в некоторых пунктах этой зоны, попадающих под факел выбросов алюминиевого завода, плотность выпадения фтора превышала фоновые значения в 20-40 раз;

4 – зона влияния выбросов алюминиевого завода, ТЭЦ-3 и предприятий по выпуску строительных материалов. Плотность выпадения пыли в этой зоне в среднем составляет $57,52 \text{ г/м}^2$ за сезон (460 мг/м^2 в сутки). Вблизи предприятия пылевая нагрузка составляет $101,31 \text{ г/м}^2$ за сезон (810 мг/м^2 в сутки), что более чем в 80 раз превышает фоновые пылевые нагрузки [6].

На рисунке 1 приведена карта зонирования территории города Красноярска по уровню комплексного загрязнения.

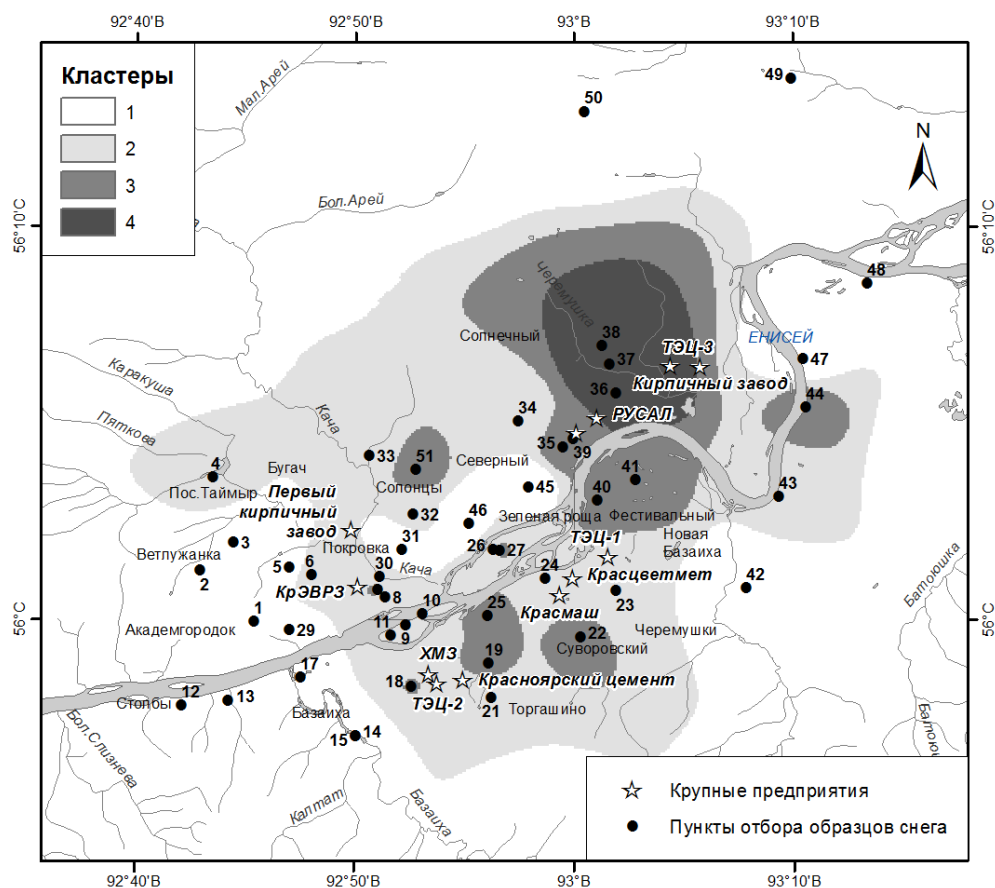


Рисунок 1. Карта зонирования территории г. Красноярска по уровню комплексного загрязнения. Кластеры: 1 – рекреационно-парковая зона, 2 – транспортно-селитебная зона, 3 – транспортно-промышленная зона, 4 – зона влияния алюминиевого завода.

С 2019 года отбор образцов снежного покрова проводится ежегодно на 10 мониторинговых пунктах, расположенных в разных районах города. В рекреационно-парковой зоне образцы снега отбирались в Академгородке (1), в окрестностях турбазы Дивногорск (12), сквере им. Чернышевского (31), Есаульском сосновом бору (48). В транспортно-селитебной зоне сбор снега был произведен в Центральном парке (8) и на острове Отдыха (10). В промышленно-транспортной зоне исследовались образцы снега с улицы Затонской (19). В зоне алюминиевого завода – пункты 36 (вблизи завода), 37 и 38. (рис. 1).

Результаты 5-летних наблюдений за уровнем загрязнения снежного покрова показали, что самый высокий уровень пылевой нагрузки характерен для пункта 36, расположенного вблизи территории АО «РУСАЛ Красноярск». Сравнительный анализ данных по пылевой нагрузке за период наблюдений выявил наибольшую величина снижения пылевой нагрузки в пункте 36 (рис. 2), расположенном в 1,3 км восточнее промышленной площадки завода. Мы полагаем, что это, вероятно, обусловлено проведением первого этапа модернизации на КрАЗе, который завершился в 2021 году. На предприятии было полностью завершено внедрение наилучшей доступной технологии «Экологический Содерберг»; технологии анодной массы со сниженным содержанием ПАУ для сокращения выбросов бенз(а)пирена в атмосферу; внедрена новая современная система очистки газов, что позволяет улавливать 99,5 % фтористого водорода и твердых фторидов. Согласно данным мониторинга на КрАЗе зафиксировано снижение загрязняющих выбросов в атмосферу за период с 2017 по 2021 годы на 2,8 тыс. тонн. [7].

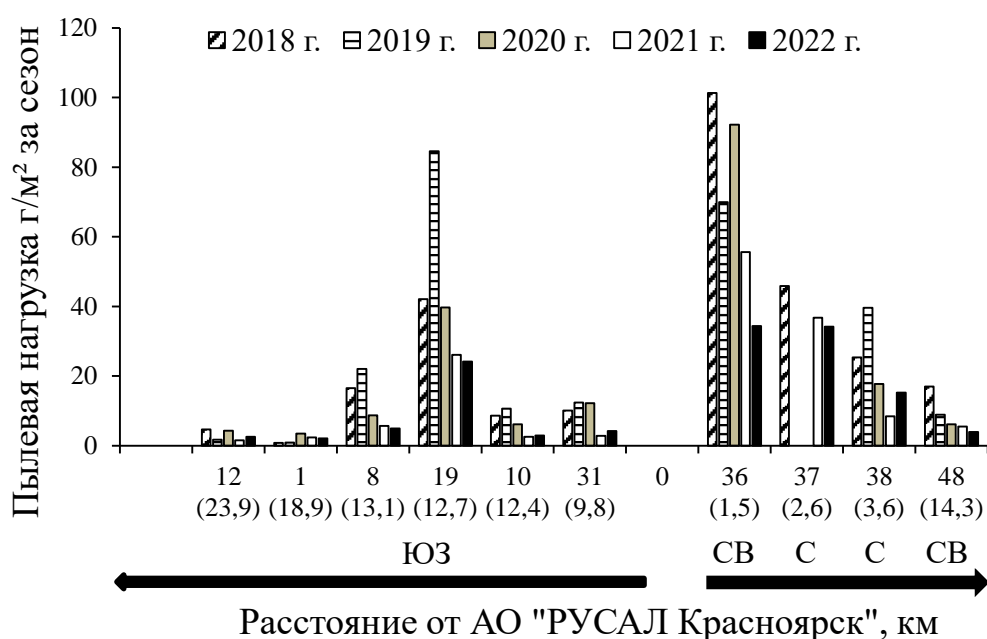


Рисунок 2. Уровень пылевой нагрузки на мониторинговых пунктах в разные годы наблюдений

Определение ионного состава фильтрата талой снеговой воды также выявило максимальный уровень поступления значительного количества ионов алюминия в пунктах 36, 38 – в 25-81 раз превышающих фоновый уровень (рис. 3). В 2021 году было отмечено снижение поступления ионов алюминия на этих пунктах в 6-17 раз.

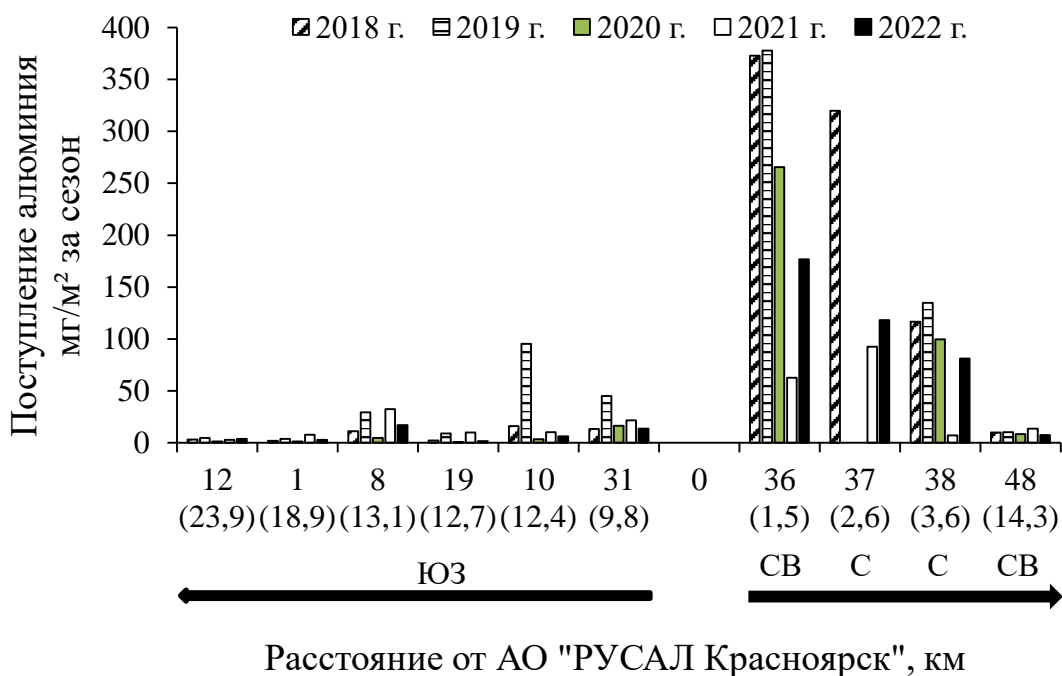


Рисунок 3. Поступление ионов водорастворимого алюминия на поверхность мониторинговых пунктов

Результаты экспериментальных исследований загрязнения снежного покрова города Красноярска выявили районы с низким (региональным фоновым) уровнем пылевой нагрузки, расположенные в западной и юго-западной частях города. Высокий уровень пылевой нагрузки, в 28-80 раз превышающий фоновый уровень, приходится на территорию размещения предприятий АО «РУСАЛ Красноярск», ООО «КраМЗ», АО «Красноярской ТЭЦ-3».

Проведенный анализ, основанный на собственных экспериментальных исследованиях – единой методике отбора образцов снега и анализа снеговых проб в лабораторных условиях, современных методах обработки и анализа данных и визуализации полученных результатов, свидетельствует о конструктивности и адекватности использования снегового покрова для получения объективной картины комплексного загрязнения городских территорий.

Работа выполнена в рамках базового проекта ИЛ СО РАН № 0287-2022-0004. «Состояние и функционирование компонентов антропогенно-трансформированных экосистем в условиях крупных мегаполисов Сибири».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мокринец К.С. Цифровая модель рельефа Красноярска как основа для проведения эколого-геоморфологических исследований. – Вестник КГПУ им. В.П. Астафьева. – Т. 2. – № 3. – С. 205–209.
2. Хлебопрос Р.Г., Тасейко О.В., Иванова Ю.Д., Михайлюта С.В. Красноярск. Экологические очерки. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. – 130 с.
3. Стримжа Т.П., Неустроева М.В., Перфилова О.Ю., Фертиков А.И. Оценка атмосферного воздуха города Красноярска по снеговому покрову // Вестник Красн. Госуд. Педагогич. Унив. Им. В.П. Астафьева. – 2012. – № 3. – С. 319–327.
4. Бадмаева С.Э., Циммерман В.И. Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха городов Красноярского края // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 2. – С. 27–32.
5. Демиденко Г.А., Владимирова Д.С. Оценка антропогенного загрязнения снежного покрова левобережья г. Красноярска // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 9. – С.120–124.
6. Onuchin A.A., Kofman G.B., Zubareva O.N., Danilova I.V. Using an Urban Snow Cover Composition-Based Cluster Analysis to Zone Krasnoyarsk Town (Russia) by Pollution Level // Pol. J. Environ. Stud. – 2020. – V. 29 (6). – P. 4257–4267.
7. Добровольный отчет о вкладе компании РУСАЛ в реализацию Федерального проекта «Чистый воздух». URL: <http://https://rusal.ru/sustainability/clean-air/Добровольный%20отчет%20РУСАЛ%20Чистый%20воздух.pdf> (дата обращения 11.01.2023).

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЫСОТЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА СКЛОНАХ ХИБИН

Черноус П.А.^{1,2}, Михайленко Н.О.³

¹ Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

² Лавинная ассоциация России, Москва, Россия

³ Институт наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

pchernous48@gmail.com

Аннотация. Даны оценки параметров пространственной статистической структуры высоты снежного покрова на однородных участках склонов с характерным линейным размером 50–100 м. Их знание необходимо для вероятностного прогноза схода лавин на основе моделей механической устойчивости снежного покрова на склоне. Знание пространственно-статистической структуры высоты снежного покрова также позволяет рационально разместить снегомерную сеть в лавинных очагах.

Ключевые слова: лавины, высота снега, статистические параметры, моделирование, прогноз, рационализация измерений.

SOME RESULTS OF ASSESSMENT OF SNOWPACK DEPTH VARIABILITY ON THE Khibiny MOUNTAINS SLOPES

Chernous P.A.^{1,2}, Mikhailenko N.O.³

¹ Special research bureau for automation of marine researches, FEB RAS
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

² Russian avalanche association, Moscow, Russia

³ Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, St. Petersburg,
Russia

pchernous48@gmail.com

Summary. Estimates are given for the parameters of the spatial statistical structure of the snowpack depth on homogeneous sections of slopes with a characteristic linear size of 50–100 m. Knowing them is necessary for probabilistic prediction of the avalanche releases based on models of the mechanical stability of snowpack on a slope. Knowledge of the spatial statistical structure of the snowpack depth also makes it possible to rationally place the snow-measuring network in the avalanche starting zones.

Key words: avalanches, snow depth, statistical parameters, simulation, forecast, measurement rationalization.

Введение. Наиболее важные для потребителей оперативные прогнозы возникновения лавин в отдельном лавиносборе могут основываться лишь на моделях механической устойчивости снежного покрова, на расчетах его напряженного состояния на склоне. Такие расчеты для склонов произвольной конфигурации требуют знания пространственных распределений характеристик снега, отвечающих за его устойчивость. Современные средства измерений этих характеристик позволяют провести необходимые измерения лишь в отдельных немногочисленных точках лавинного очага. Возникает дилемма – либо упрощать используемые модели, либо каким-то образом восполнять необходимые недостающие данные. Использование упрощенных моделей не привело к успеху. Детерминированные модели, в которых недостающие данные получаются с помощью интерполяции или экстраполяции также плохо отражают устойчивость снега на склоне, из-за низкой точности результатов этих процедур. Использование статистического моделирования, при котором поля характеристик снега генерируются в соответствии с их статистической структурой и данными измерений в отдельных точках лавинного очага, позволяет отразить недостаточность имеющихся исходных данных необходимых для расчетов, в вероятностном заключении об устойчивости снега [1, 2]. Такой подход был достаточно успешно применен в практике работы противолавинной службы [3]. Хотя пространственная изменчивость является фундаментальным свойством снежного покрова, данных о ее параметрах для полей высоты снежного покрова на небольших участках склонов очень мало и получены они в различных условиях [4-8]. Настоящая работа касается определения параметров пространственной статистической структуры полей высоты снега на склонах с различной подстилающей поверхностью в Хибинах и их сравнительному анализу, а также сравнению с такими же параметрами, полученными в других районах. Знание этих параметров также необходимо для рационального размещения сетей мониторинга высоты снега в лавинных очагах. Т.к. часть имеющихся сведений о пространственном распределении снегонакопления на склонах относится к высоте снежного покрова, а часть к его толщине, одной из целей настоящей работы было сравнение параметров пространственной статистической структуры этих характеристик. В качестве параметров пространственной статистической структуры были использованы оценки дисперсий, σ^2 и нормированных автокорреляционных функций (АКФ), $r(l)$.

Измерения. Измерения высоты снежного покрова проводились на трех участках г. Айкуайвенчорр в феврале 2023 г. Характеристики этих участков, а также двух других участков на г. Айкуайвенчорр и г. Кукисвумчорр, где измерения проводились в предыдущие годы, представлены в таблице 1. Измерения проводились в горизонтальных профилях и профилях, направленных вдоль линии падения склона. Расстояние между точками измерений во всех профилях было равно 1 м. Высота снега измерялась с

помощью промерного щупа с ценой деления 1 см. Длина профилей 50-100 м соответствовала характерным размерам участков с однородной подстилающей поверхностью в лавинных очагах или их частях. Угол склона и его экспозиция также были характерными для всего участка измерений. Всего было выполнено 1271 измерений в 22 профилях.

Таблица 1. Характеристики участков склонов, на которых проводились измерения

Участок	Качественное описание подстилающей поверхности	Высота н.у.м. (м)	№ профиля	Угол склона (град.)	Экспозиция (румб)
№1	На участке был выкорчеван лес. Поверхность представляет собой рывины глубиной несколько десятков сантиметров. Имеются редкие кустарники, небольшие насыпи грунта, оставленные техникой.	430 - 480	1 - 5	21 - 22	Ю
№2	Для участка характерны гладкие скальные поверхности, покрытые мхом, присутствуют небольшие осыпи мелкого щебня естественного происхождения.	580 - 605	6 - 10	18 - 19	ЮЗ
№3	На склоне присутствуют достаточно резкие скальные выступы, большое количество каменных глыб с линейным размером до 1 метра.	770 - 840	11 - 14	22 - 23	ЮВ
№4*	Сверху профиля - гладкая скальная поверхность с мелким обломочным материалом, снизу - мелкий и средний обломочный материал	700 - 800	15 - 20	17 - 18	СЗ
№5*	Скальная поверхность, местами покрытая мхом	640 - 655	21	23 - 24	В

Результаты и их обсуждение. Значения АКФ, вычисленных по измерениям в отдельных профилях, имеют плохую статистическую обеспеченность на расстояниях, превышающих несколько метров. Для более надежной оценки пространственных связей на выбранных участках они были осреднены (Рис. 1). Осредненные АКФ хорошо аппроксимируются экспоненциальными функциями вида $r(l) = a \times \exp(-b \times l)$. Отличие $r(0)$ от 1 объясняется ошибками измерений. Радиусы корреляции для такого вида

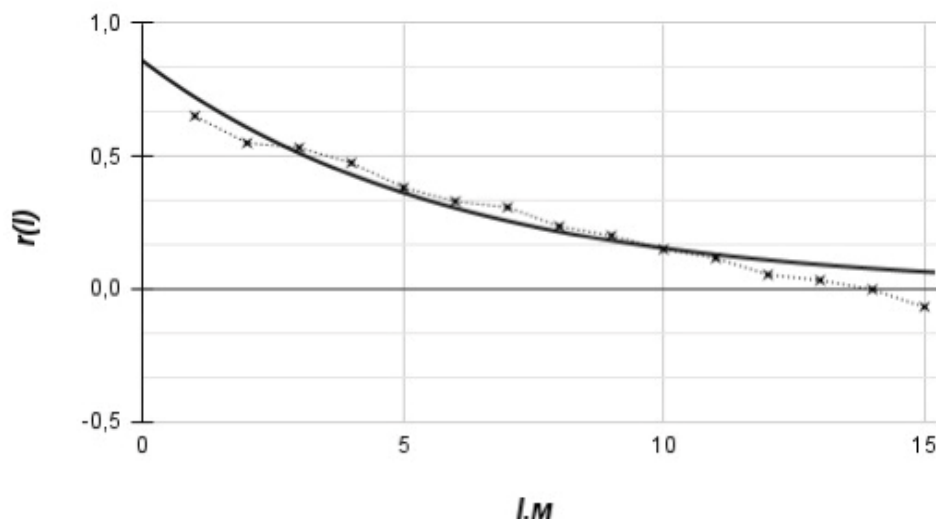


Рисунок 1. Значения эмпирической автокорреляционной функции - ×, и аппроксимирующая их кривая - ---, $r(l) = 0,858 \times \exp(0,172 \times l)$ для участка №2

функций $R = 1/b$, характеризующие связность полей с экспоненциальной АКФ, получены для всех участков (Табл. 2). Очевидно, что радиусы корреляции уменьшаются с увеличением неоднородности подстилающей поверхности. Оценки АКФ, полученные ранее в Хибинах и других регионах очень сходны, по форме и мало отличаются радиусами корреляции. Хотя они были выполнены в большом диапазоне средних высот снежного покрова (от 0,4 м до 1,7 м).

Таблица 2. Значения радиусов автокорреляции для различных участков (м)

№ участка	1	2	3	4, профили 15 - 17	4, профили 18 - 20)	5
Радиус автокорр. R	3,3	6,7	5,8	3,1	4,5	3,7

АКФ, полученные для одинаковых подстилающих поверхностей на склонах горы Улав (Шпицберген) [8] и в Хибинах имеют практически одинаковые радиусы корреляции. Около 7 м для участков с ровной подстилающей поверхностью. Ранее полученные оценки R для участка хребта Аибга (Кавказ) равны примерно 10 м. Примеры расчетов ошибок линейной интерполяции на середину отрезка между двумя измерениями высоты снежного покрова, ошибок замены средней интегральной по площади высоты снежного покрова средним арифметическим из точечных измерений на этой площади и ошибок замены математического ожидания средним арифметическим из точечных измерений выполнены в соответствии с методиками представленными в [9,10] (см. Рис. 2-4).

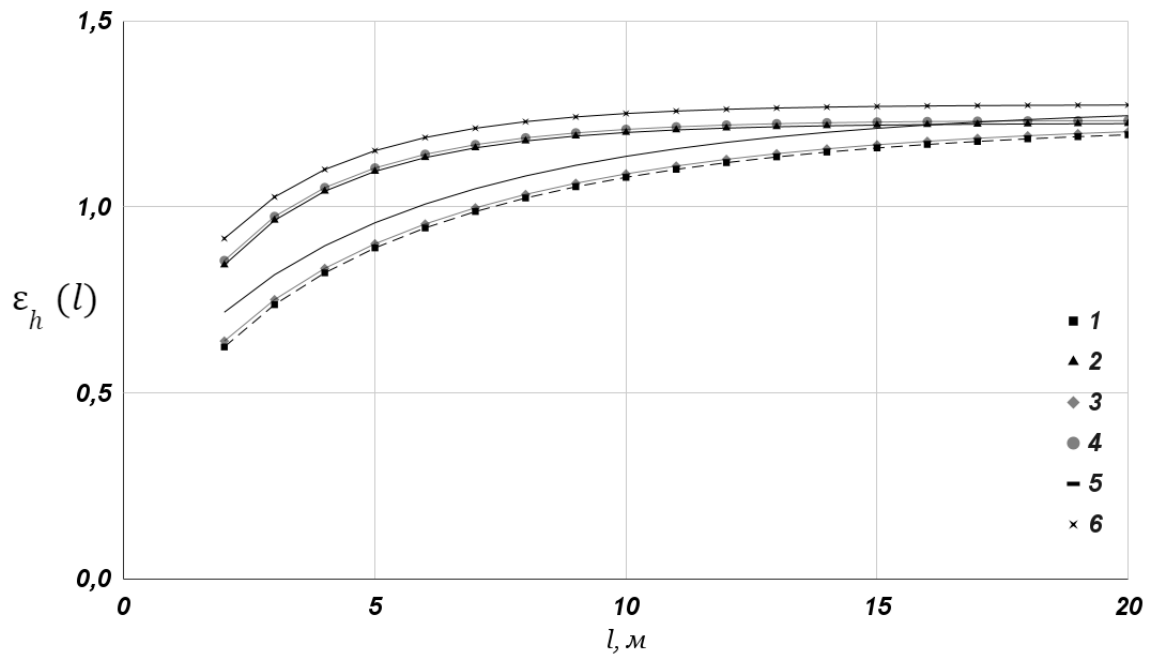


Рисунок 2. Значения ошибок линейной интерполяции в зависимости от расстояния l между точками измерений для полей с экспоненциальными АКФ с радиусами корреляции R и относительными ошибками измерений $\eta = \Delta/\sigma$. Где Δ – стандартная ошибка измерений. 1 – ($\eta = 0, R = 6,7$ м); 2 – ($\eta = 0, R = 3,1$ м); 3 – ($\eta = 0,2, R = 6,7$ м); 4 – ($\eta = 0,2, R = 3,1$ м); 5 – ($\eta = 0,5, R = 6,7$ м); 6 – ($\eta = 0,5, R = 3,1$ м)

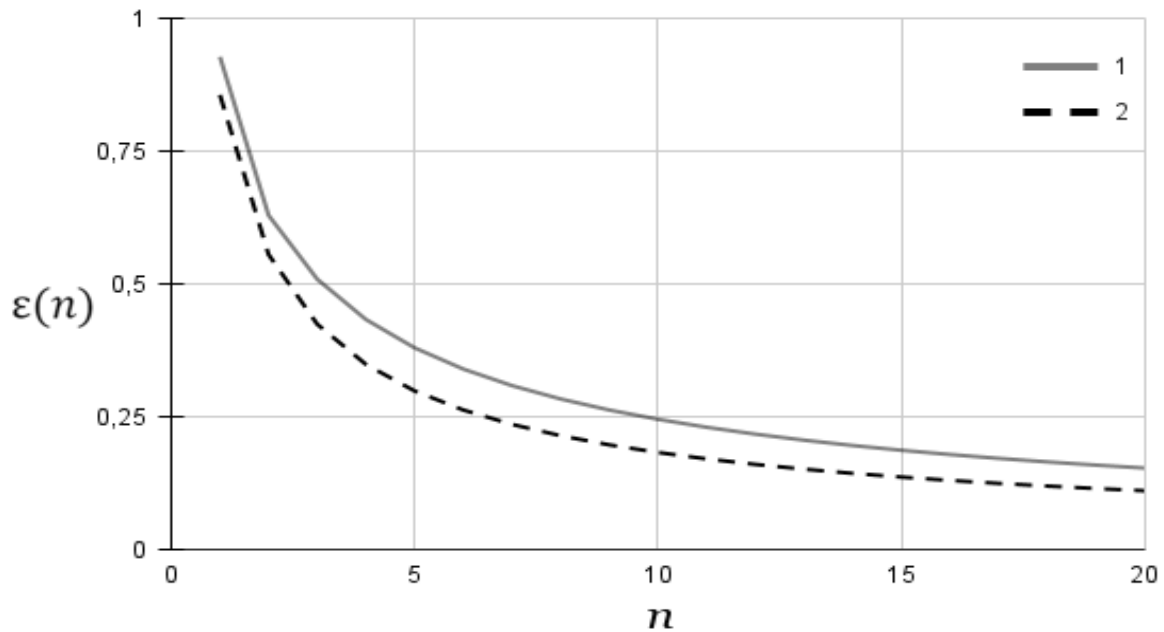


Рисунок 3. Пример зависимости ошибки замены средней интегральной высоты снега для площади $S = 1000$ м² средним арифметическим из n точечных измерений в центрах равновеликих квадратов, на которые разделена площадь S . Поля с экспоненциальными АКФ с радиусами корреляции R : 1 – 3,1 м; 2 – 6,7 м.

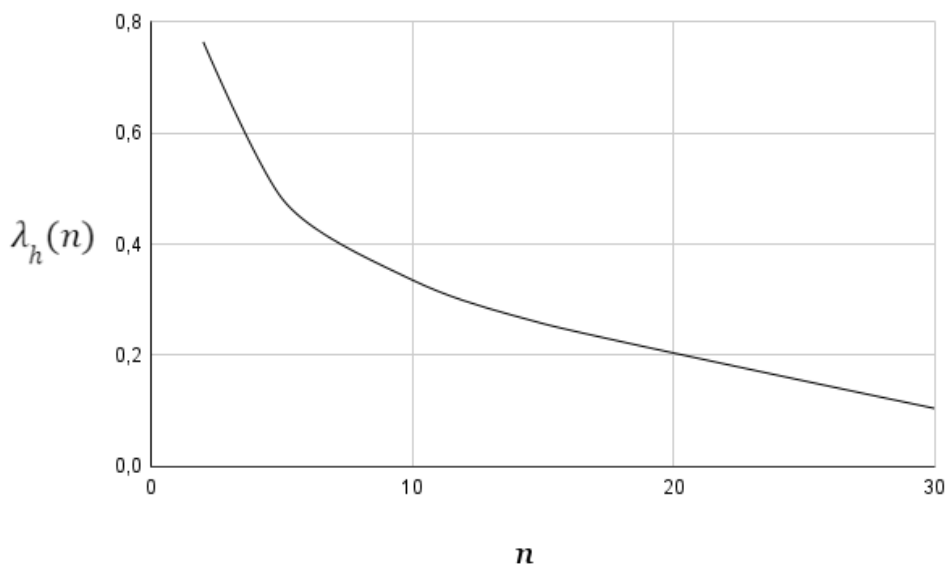


Рисунок 4. Пример зависимости ошибки замены математического ожидания средним арифметическим из точечных значений высоты снега, измеренных в n равномерно распределенных точках вдоль профиля длиной 200 м в поле с экспоненциальной АКФ с радиусом корреляции 6,7 м.

Заключение. Полученные значения осредненных по участкам пространственных АКФ, которые характеризуют связность поля высоты снежного покрова, достаточно близки к аналогичным немногочисленным ранее полученным в Хибинах и горах Шпицбергена оценкам. Все осредненные АКФ хорошо описываются экспоненциальными зависимостями с различными радиусами корреляции. Наименьшую связность имеют поля высоты снега на участках с наибольшей неоднородностью микрорельефа подстилающей поверхности, а также расположенные в местах с интенсивным метелевым перераспределением снега. Имеющихся данных пока недостаточно для создания универсальной классификации параметров пространственной статистической структуры, охватывающей все типы микрорельефа подстилающей поверхности и метеорологических условий формирования снежного покрова. Полученные результаты будут способствовать созданию такой классификации.

Оценки параметров пространственной статистической структуры уже сейчас могут использоваться в вероятностных методиках определения механической устойчивости снежного покрова на склоне с использованием статистического моделирования [1-3].

Полученные оценки параметров пространственной статистической структуры высоты снежного покрова могут также быть использованы для рационального размещения снегомерных сетей в лавинных очагах, предназначенных для оценки лавинной опасности. Такие сети повсеместно формировались субъективно и каких-либо нормативных документов, учитывающих пространственную изменчивость высоты снежного покрова

в лавинных очагах, не существует. В работе представлены различные критерии точности характеристик высоты снежного покрова, получаемых на основании точечных измерений в лавинных очагах, и позволяющие размещать снегомерные сети на рациональной основе. Приведенные расчеты показывают очень низкую информативность существующих снегомерных сетей в Хибинских лавинных очагах и необходимость их замены на более эффективные.

Проведено сравнение параметров связности полей высоты и толщины снежного покрова. Эмпирические АКФ показали большое сходство.

Представленный в работе подход может также быть использован в экологических исследованиях. В частности, для построения сетей мониторинга концентраций загрязняющих веществ в снежном покрове.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вероятностная модель устойчивости снега на склонах гор / А.Н. Божинский, П.А. Черноус // Материалы гляциологических исследований. - 1986. - Вып. 55, - С. 53-61.
2. Вероятностная оценка устойчивости снежной доски на склонах / П.А. Черноус, Федоренко Ю.В. // Материалы гляциологических исследований. – М., 2000. – Вып.88. – С. 87-91.
3. Автоматизированное рабочее место прогнозиста лавин / П.А. Черноус, А.М. Перликов, Е.Г. Мокров // Материалы гляциологических исследований. -1998, - № 84, - С. 72-75
4. Канаев Л.А., Чиркова А.А. К вопросу о распределении снега на малых площадях // Труды САНИГМИ, 1970. - вып. 56 (71), С. 112-124.
5. Чиркова А.А. Статистический анализ глубины снежного покрова на малых площадях в горах // Труды САРНИГМИ, 1977. - вып. 32 (113), С. 40-54.
6. Чиркова А.А. Особенности структурных функций глубины снежного покрова в зависимости от характера рельефа лавинных очагов // Труды САРНИГМИ, 1977. - вып. 37 (118), С. 43-50.
7. Влияние характеристик снега на лавинообразование / П.А. Черноус, Ю.Г. Селиверстов, В.Е. Сучков // Лед и снег, - 2015, - том 55, - № 2, С. 53-59.
8. Пространственная изменчивость толщины снежного покрова на горном склоне (архипелаг Шпицберген) / П.А. Черноус, Н.И. Осокин, Р.А. Чернов // Лед и снег, - 2018, - том 3, - № 58, С. 353-358
9. Жуковский Е.Е., Киселева Т.Л., Мандельштам С.М. Статистический анализ случайных процессов. - Ленинград, Гидрометеиздат, 1976. - 408 с.
10. О рационализации измерений характеристик снега для оценки его устойчивости на склоне / П.А. Черноус // Гидросфера. Опасные процессы и явления. – 2019, - №1(!). С. 114-142.

***СЕКЦИЯ 4. РОЛЬ СНЕЖНОГО ПОКРОВА,
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, АЭРОЗОЛЕЙ
В БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ
И КРИОСФЕРЕ***

***SECTION 4. THE ROLE OF THE SNOW COVER,
PRECIPITATION, AEROSOLS
IN BIOGEOCHEMICAL CYCLES
AND THE CRYOSPHERE***

АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ О. БОЛЬШЕВИК В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ

Першина Н.А., Полищук А.И., Павлова М.Т., Харитоновна Е.С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»
РФ, 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д.7.

ximosadki@gmail.com

Аннотация. Приводятся результаты наблюдений за химическим составом атмосферных осадков и снежного покрова на Научно-исследовательском стационаре (НИС) «Ледовая база «Мыс Баранова», расположенном на острове Большевик архипелага Северная Земля, полученные за период 2021-2022 гг. Показано, что в ионном балансе как атмосферных осадков, так и снежного покрова свыше 60 % принадлежит хлоридам и натрию, что свидетельствует о «морском» формировании их химического состава и антропогенный вклад сульфатов не превышает 60%.

Ключевые слова. Арктика, химический состав, снежный покров, атмосферные осадки, антропогенный вклад.

ANALYSIS OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF PRECIPITATION AND SNOW COVER ON THE TERRITORY OF BOLSHEVIK ISLAND IN THE AREA OF THE SEVERNAYA ZEMLYA ARCHIPELAGO

Pershina N.A., Polischuk A.I., Pavlova M.T., Kharitonova E.S.

Voeikov Main Geophysical Observatory
7, Karbyshevast., 194021, Saint-Petersburg, Russia

ximosadki@gmail.com

Summary. The results of observations of the chemical composition of precipitation, snow cover at the Scientific Research Hospital (NIS) "Ice Base "Cape Baranova", located on the Bolshevik Island of the Severnaya Zemlya archipelago, obtained in the period 2021-2022 are presented. The data obtained showed that in the ion balance of both precipitation and snow cover, more than 60% belongs to chlorides and sodium, which indicates the "marine" formation of their chemical composition and the anthropogenic contribution of sulfates does not exceed 60%.

Key words. Arctic, the chemical composition of snow cover and precipitation, anthropogenic contribution of sulfates

Арктика является климатообразующим регионом планеты, состояние окружающей среды в этом регионе является индикатором глобальных изменений. В сравнении с большинством других территорий мира Арктика остается пока сравнительно чистой. Именно поэтому возникла необходимость проводить наблюдения за изменением антропогенной нагрузки вследствие развивающегося активного освоения арктического региона и прилегающих территорий.

Данные о содержании загрязняющих веществ в атмосферных осадках, как жидких, так и твердых являются чувствительным показателем загрязнения атмосферы и являются основным материалом для оценки регионального загрязнения атмосферы [1].

При существующей системе циркуляции воздушных масс основной перенос загрязнителей в Арктику из промышленно развитых регионов Европы, Азии и Северной Америки осуществляется в зимний период, поэтому особое значение приобретает изучение химического состава атмосферных осадков и снежного покрова.

Для оценки влияния прилегающих территорий на природные объекты Арктики с 2016 г. выполняется отбор проб и измерения химического состава снежного покрова и атмосферных осадков на научно-исследовательском стационаре ААНИИ «Ледовая база. Мыс Баранова», расположенном на острове Большевик, архипелага Северная Земля, и по своему местоположению может рассматриваться как место для изучения состояния полярной атмосферы по химическому составу атмосферных выпадений.

Рассматриваются результаты химического анализа снежного покрова, отобранные в период с 2021 по 2022 г. Отбор проб снежного покрова и атмосферных осадков выполнялся в соответствии с РД 52.04.186-89 и РД 52.04.878-2019, соответственно [2, 3]. В пробах в соответствии с Перечнем основных ионов, принятым для сети Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО, были измерены концентрации основных ионов: сульфатов, хлоридов, нитратов, гидрокарбонатов, аммония, натрия, калия, кальция, магния, кислотность, а также цинк, удельная электрическая проводимость и величина рН [4].

Снежный покров. Отбор проб снежного покрова был осуществлен в 3-х точках – на куполе и подножье ледника Мушкетова о. Большевик, а также на метеоплощадке НИС ААНИИ «Ледовая база. Мыс Баранова». Пробы снега на леднике Мушкетова отобраны в период интенсивного таяния. Расстояние до станции 19,19 км, расстояние до пролива Шокальского 13,4 км высота места - 530 м над уровнем моря.

В первых двух точках отбор проб был осуществлен в начале мая при глубине снежного покрова 58-62 см на высоте 530 м над уровнем моря (рис. 1). Отбор проб на метеоплощадке проводился спустя месяц, когда глубина снежного покрова составила 80 см.

По результатам химического анализа отобранных проб было выявлено, что суммарная минерализация снежного покрова на леднике Мушкетова составила от 6,5 до 7,4 мг/дм³. Это практически в 2 раза ниже величины регионального фоновое значения, принимаемого равным 15 мг/дм³.



Рисунок 1. Высотный профиль от НИС до купола ледника Мушкетова

Примечание: пробы снежного покрова были отобраны у подножия (снегомерная площадка №3) и на куполе ледника (снегомерная площадка №4)

Минерализация снежного покрова, отобранного на куполе ледника несколько выше минерализации снежного покрова, отобранного у подножья в основном за счет более высокого содержания сульфатов, гидрокарбонатов и цинка.

Следует отметить, что содержание компонентов преимущественно морского происхождения в атмосферных осадках и снежном покрове в основном обеспечено выносом морских солей и соотношение ионов в морских аэрозолях, несмотря на разбавление, то же, что и в морской воде. В снежном покрове преобладали хлориды и натрий (рис. 2). В пробах, отобранных на куполе ледника Мушкетова и на метеоплощадке определено повышенное содержание сульфатов.

При этом на куполе Мушкетова в снежном покрове концентрация сульфатов приблизительно в 3 раза выше, чем у Подножья, возможно, как результат антропогенного влияния. Дополнительными источниками сульфатов в атмосфере, кроме морских аэрозолей, служат частицы пыли, содержащие сульфатные минералы, а также газы — двуокись серы и сероводород, которые, окисляясь, дают сульфаты. Кроме того, источником сульфатов в осадках могут быть лесные пожары, которые регулярно возникают в теплый период года.

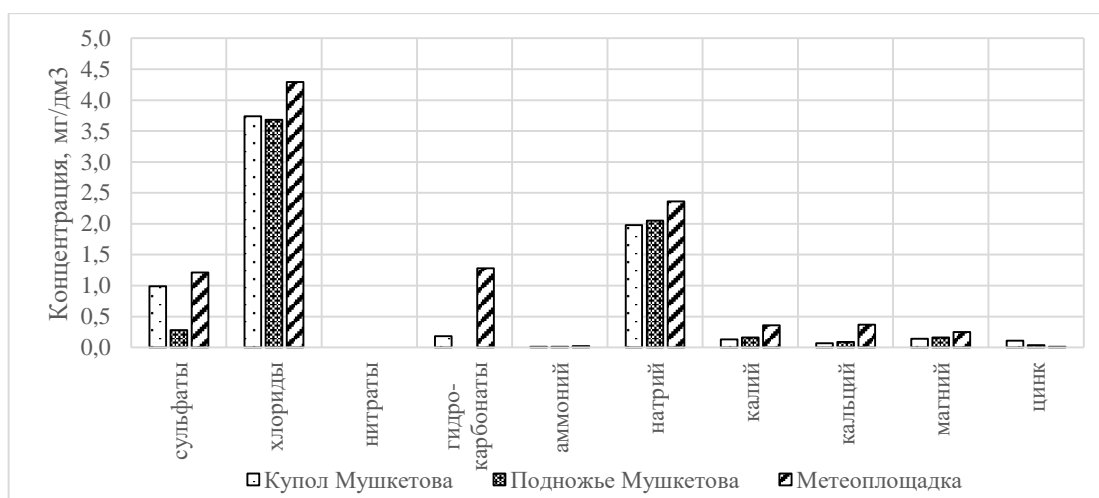


Рисунок 2. Химический состав снежного покрова.

Атмосферные осадки. Минерализация осадков находилась в широком интервале от 2,07 до 495,03 мг/дм³ и в значительной степени зависела от суммы выпадающих осадков. Компоненты по убыванию концентраций располагались в следующем порядке: Cl – Na – K – SO₄ – Mg – Ca – Zn – NH₄. Преобладали хлориды и натрий – основные компоненты морской воды – и составляли около 80 % от общей суммы ионов. Наиболее значимое суммарное содержание компонентов около 500 мг/дм³ определено в декабре 2021 года при сумме осадков 9,5 мм и минимальное – 2,07 мг/дм³ в июле 2022 г при сумме осадков 22,1 мм.

Годовой ход концентраций практически всех компонентов имеет ярко выраженный сезонный характер: концентрации большинства компонентов снижаются в теплый период года и увеличиваются с наступлением холодов. Содержание таких биогенных компонентов как аммоний – в течение всего рассматриваемого периода, и нитратов – в теплый период, может быть обусловлено, как влиянием локальных источников, так жизнедеятельностью микроорганизмов в теплый период года.

Более низкие значения величины рН также фиксируются в холодный период (рис.3). На диаграмме значительная часть измеренных величин рН лежит в основном ниже равновесного значения (рН=5,6). Осадки с рН ниже равновесного значения выпадали как в холодный, так и в теплый период. Максимальная кислотность осадков была измерена в декабрьских пробах – 25 мкг/дм³ при величине рН 4,6 и в мартовских пробах – 20 мкг/дм³ при величине рН - 4,7. В остальное время величина рН изменялась от 4,8 до 5,9.

Расчет антропогенной составляющей. Значения весовых отношений основных ионов в морской воде: Cl⁻ = 1.000; SO₄²⁻ = 0.140; Ca²⁺ = 0.021; Mg²⁺ = 0.067; K⁺ = 0.020; Na⁺ = 0.556. Из этого соотношения следует, что сульфаты морского, неантропогенного происхождения в атмосферных осадках составляют 14 % от содержания хлоридов или 25 % от содержания натрия [5].

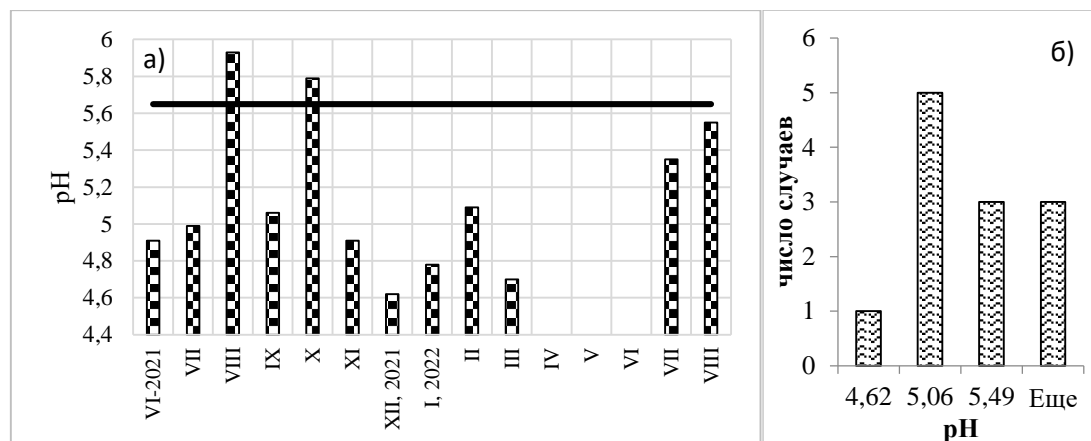


Рисунок 3. Величина рН (а) и число случаев рН (б) в атмосферных осадках в период с июня 2021 по август 2022 гг.

Концентрация сульфатов в атмосферных осадках о. Большевик изменялась в пределах от 0,2 до 27,0 мг/дм³, а концентрация натрия от 0,4 до 112,97 мг/дм³. Исходя из этого, количество природных сульфатов в атмосферных осадках о. Большевик варьирует в пределах 0.05–6,75 мг/дм³. Сделав необходимые расчеты, получаем, что от 25 до 80 % сульфатов преимущественно в летний период поступает в атмосферу о. Большевик с антропогенными выбросами (рис. 4).

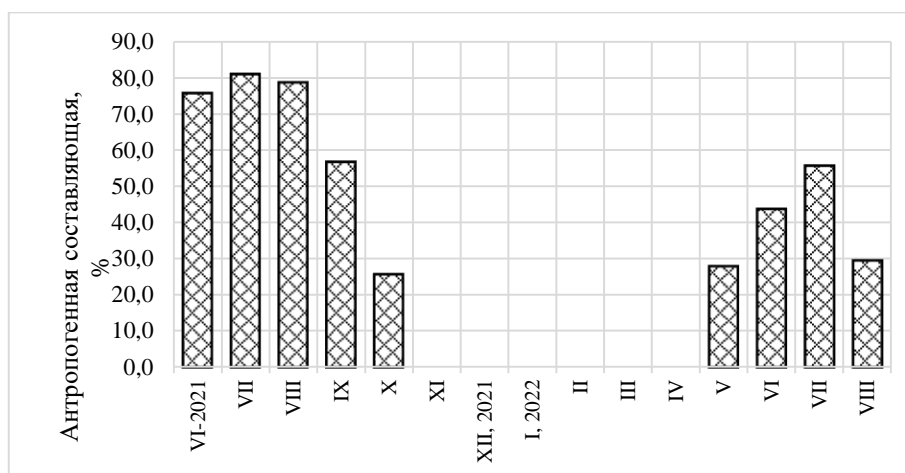


Рисунок 4 — Антропогенный вклад сульфатов в состав атмосферных осадков в период с июня 2021 по август 2022 гг.

В среднем за весь период вклад антропогенной составляющей составил 53 %. В общем объеме окислов серы, включая сухие выпадения, антропогенная составляющая может быть еще выше.

Выпадения. Влажные выпадения компонентов с атмосферными осадками позволяют оценить нагрузку на окружающую среду в целом, в том числе на подстилающую поверхность. Величина суммарных влажных выпадений загрязняющих компонентов с атмосферными осадками в основном определяется суммой осадков.

Общая сумма выпадений загрязняющих компонентов с атмосферными осадками составила 26,98 т/км²•год. В общей массе выпадений преобладают хлориды. Их вклад в общую сумму выпадений около 54 %. На втором месте с 25 % натрий. Величина выпадений натрия с хлоридами в сумме составляют 21,61 т/км²•год или 79 %. Вклад остальных компонентов составил 5,37 т/км²•год или 19 % от общей суммы выпадений. Из них сульфатам принадлежит 5 %, магнию, цинку, калию и кальцию по 2 – 3 %, нитратам – около 1 %.

Выводы

1. В формировании общего химического состава, как снежного покрова, так и атмосферных осадков на мысе Баранова и в целом на острове Большевик главная роль принадлежит морским аэрозолям.
2. В среднем за весь период вклад антропогенной составляющей составил 53 %. В общем объеме окислов серы, включая сухие выпадения, антропогенная составляющая может быть еще выше.
3. В 2021 г. общая сумма выпадений загрязняющих компонентов с атмосферными осадками составила 26,98 т/км²•год. Преобладают хлориды и натрий и в сумме составляют 21,61 т/км²•год или 79 %. Вклад сульфатов в общую сумму выпадений составил в 2021 г. 1,53 т/км²•год (в пересчете на серу S = 0.51 т/км²•год).

В заключение следует отметить, что проблема закисления снежного покрова, по-прежнему, актуальна для острова Большевик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т. Феномен кислотности и химического состава атмосферных осадков в ЦЕНТРАЛЬНОЙ АРКТИКЕ // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 3-2. – С. 255-255; № 3-2. – С. 255-255; URL: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=6836> (дата обращения: 12.12.2022)
2. РД 52.04. 186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Москва, 1991, ч. II, с. 437-503.
3. РД 52.04.878-2019. Отбор проб при наблюдениях за химическим составом атмосферных осадков.
4. GAW report No. 160. Manual for the GAW Precipitation Chemistry Programme/ - Geneva, WMO, 2004, xii+170 p.
5. Комов В.Т., Лазарева В.И. Причины и последствия антропогенного закисления поверхностных вод северного региона на примере сравнительно-лимнологического исследования экосистем озер Дарвинского заповедника // Тр. Ин-та биологии внутренних вод РАН. – 1994. – № 70. – С. 3–30.

МОНИТОРИНГ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОМ СТАЦИОНАРЕ ТУЙМААДА (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)

Маркова С.А., Макаров В.Н.

Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск, Россия

Аннотация. В статье анализируются результаты геохимического мониторинга снежного покрова на геокриологическом стационаре «Туймаада» в Центральной Якутии. Изучены физических характеристик (температура снега, высота, плотность, влагозапас) и химического состава снежного покрова в зимний период: январь-апрель 2022 г. Рассматриваются особенности изменения физических характеристик снежного покрова в период мониторинга. Установлено аномальное возрастание минерализация снега обусловленное резким потеплением во второй половине марта и увеличением испаряемости с поверхности снежного покрова.

Ключевые слова: минерализация, мониторинг, снежный покров, температура

SNOW COVER MONITORING AT THE GEOCRYOLOGICAL STATION TUIMAADA (CENTRAL YAKUTIA)

Markova S. A., Makarov V. N.

Institute of Permafrost Science SB RAS, Yakutsk, Russia

vnmakarov@mpi.ysn.ru; stellapotapova93@mail.ru

Summary. The article analyzes the results of geochemical monitoring of snow cover at the geocryological station "Tuymaada" in Central Yakutia. The physical characteristics (snow temperature, height, density, moisture content) and the chemical composition of the snow cover in the winter period: January-April 2022 were studied. The features of changes in the physical characteristics of the snow cover during the monitoring period are considered. An anomalous increase in snow mineralization was established due to a sharp warming in the second half of March and an increase in evaporation from the surface of the snow cover.

Key words: mineralization, monitoring, snow cover, temperature

Центрально-Якутском комплексном геокриологическом стационаре Туймаада (КГСТ) расположен в Центральной Якутии, на надпойменной террасе р. Лены в пригородной юго-западной части г. Якутска. В 2022 г. на территории КГСТ продолжался многолетний мониторинг физических характеристик (температура снега, высота, плотность, влагозапас) и химического состава снежного покрова. Особый интерес представляет

изучение снежного покрова в весенний период зимнего времени, когда происходят резкие изменения физических и химических показателей снежного покрова и контактирующей почвы. Авторы проанализировали результаты мониторинга на стационаре КГСТ в период с января по апрель 2022 г. Пробы снега отбирались на ровной луговой площадке размерами 6х6 м, в центральной части КГСТ. Интервал отбора проб составлял 10 дней, а во второй половине апреля 3 дня. В пункте наблюдений измерялась высота и плотность снега, температура приземного воздуха, снега на поверхности и на почве. Химический анализ снеговой воды выполнен в лаборатории подземных вод и геохимии криолитозоны ИМЗ СО РАН (аналитики Л.Ю.Бойцова, С.А. Маркова и О.В.Шепелева). В образцах снега определялось содержание макрокомпонентов: SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , величина pH, Eh и электропроводности.

В период мониторинга наблюдалось постоянное уменьшение объёма выпадающих атмосферных осадков до апреля : январь – 8,4 мм, февраль – 7,9 мм, март – 3,2 мм, в апреле эта тенденция изменилась и 2-4.04 осадков выпало 5,4 мм, а 19.05 - 6,6 мм (рис. 1).

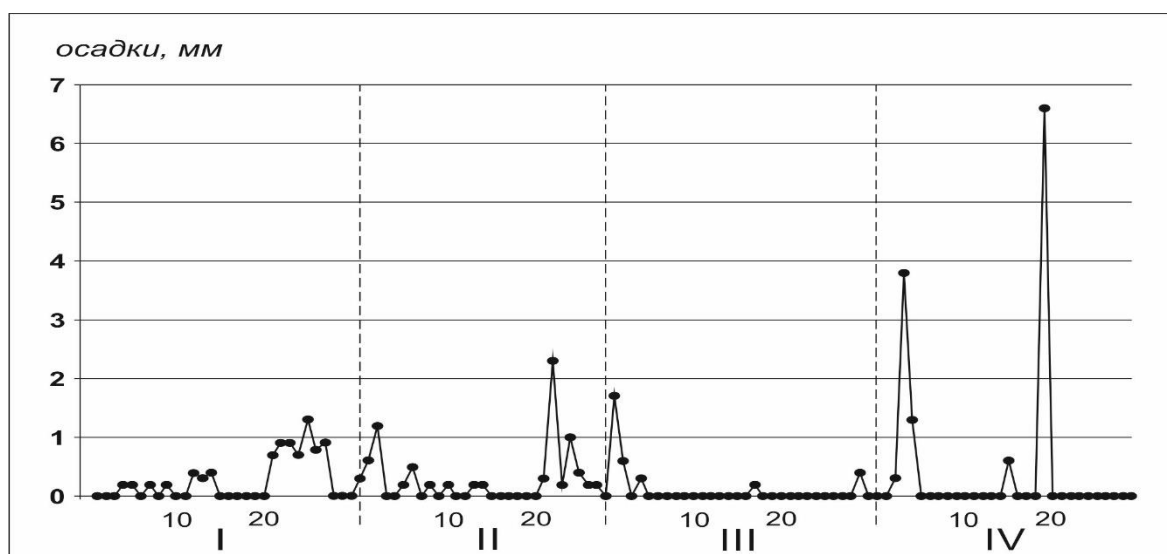


Рисунок 1. Атмосферные осадки в период мониторинга

Температура воздуха в период мониторинга изменялась в диапазоне от минус 39,3 – 18 января, до положительных значений 2-4 °С – во второй половине апреля (рис. 2).

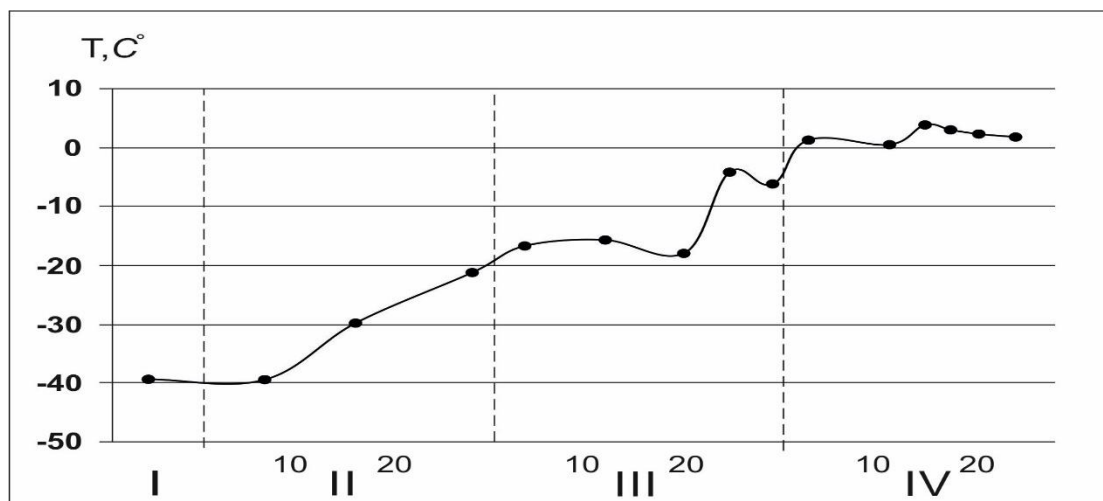


Рисунок 2. Дневная температура воздуха на Стационаре в период мониторинга

Первое потепление с переходом температуры воздуха выше 0°C наблюдалось 2 апреля, когда температура воздуха поднялась до $+1,6^{\circ}\text{C}$. Постоянное потепление с переходом температуры воздуха в дневное время выше 0°C (в 10 часов утра) установилось с 8 апреля.

В этот же период температура снега на поверхности снежного покрова изменялась в диапазоне от $-39,4^{\circ}\text{C}$ - 20 января, до $+7,9^{\circ}\text{C}$ - 25 апреля (рис. 3).

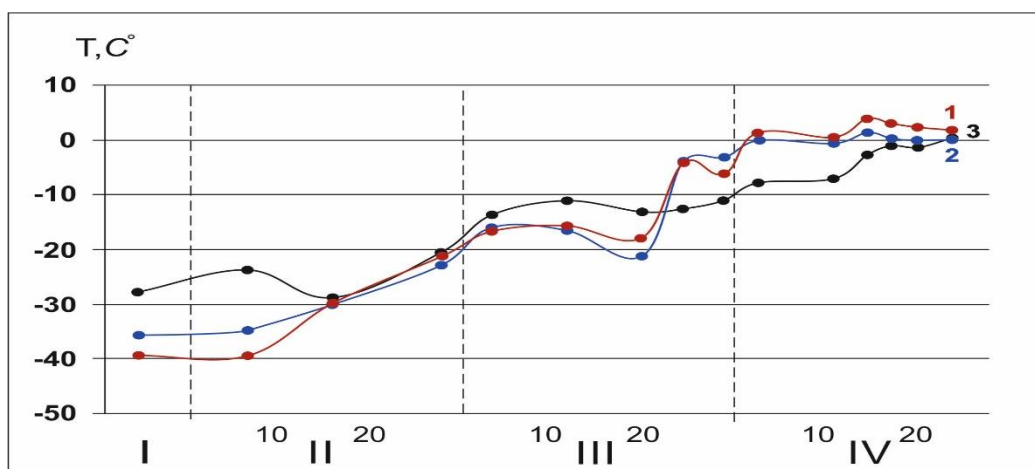


Рисунок 3. Изменение температуры снега и почвы на Стационаре. Температура $^{\circ}\text{C}$: 1 – воздух; 2 - снег на поверхности; 3 - снег на почве

Температура снега на подошве снежного покрова в период мониторинга была несколько выше - в диапазоне от $-28,7^{\circ}\text{C}$ (29 февраля) до $+0,4^{\circ}\text{C}$ (25 апреля). Разница температур поверхность-подошва снежного покрова была максимальна в конце января – около 11°C , а в конце наблюдений 25 апреля практически сравнялась и составила $0,1^{\circ}\text{C}$.

Высота снежного покрова невелика – 24–34 см, и оставалась относительно постоянной с начала января до начала апреля. Максимальной

высоты 33-34 см снег достиг в начале марта, минимальная 14-18 см наблюдалась во второй половине апреля (рис. 4).

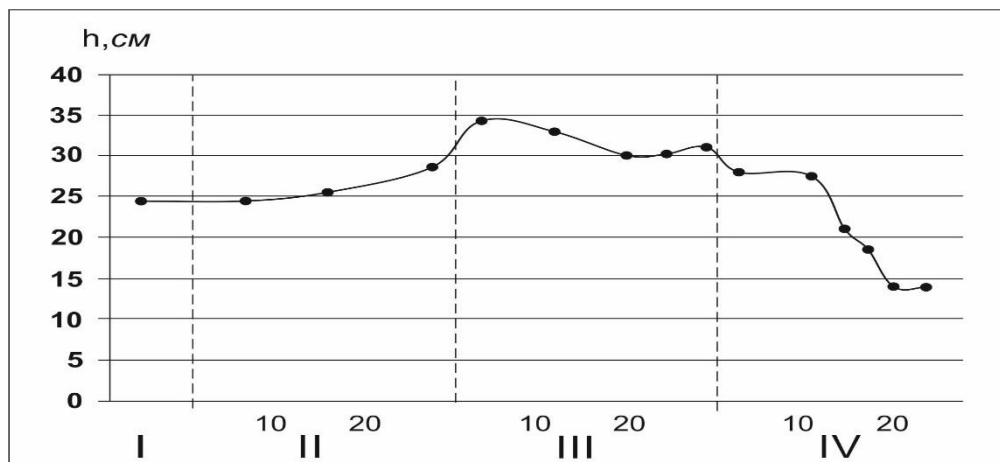


Рисунок 4. Изменение высоты снежного покрова

Характерная особенность снежного покрова на участке мониторинга – небольшая плотность $0,14\text{--}0,21\text{ г/см}^3$. Снег выпадает очень сухой и мало уплотняется в течение зимы, но с середины апреля его плотность возрастает с $0,24$ (15.04) до $0,37\text{ г/см}^3$ (25.04).

Величина влагозапаса в январе – первой половине февраля составила 34-40 мм, в остальной же период наблюдений оставалась относительно стабильной - 50-63 мм. Основные запасы воды в снеге сформировались в конце холодного периода в марте-апреле.

Химический состав снеговой воды в период мониторинга оставался в основном гидрокарбонатно-хлоридным кальциевым ультрапресным, с диапазоном изменения минерализации в пределах одного порядка 25–38 мг/л, в среднем около 31 мг/л (рис. 5).

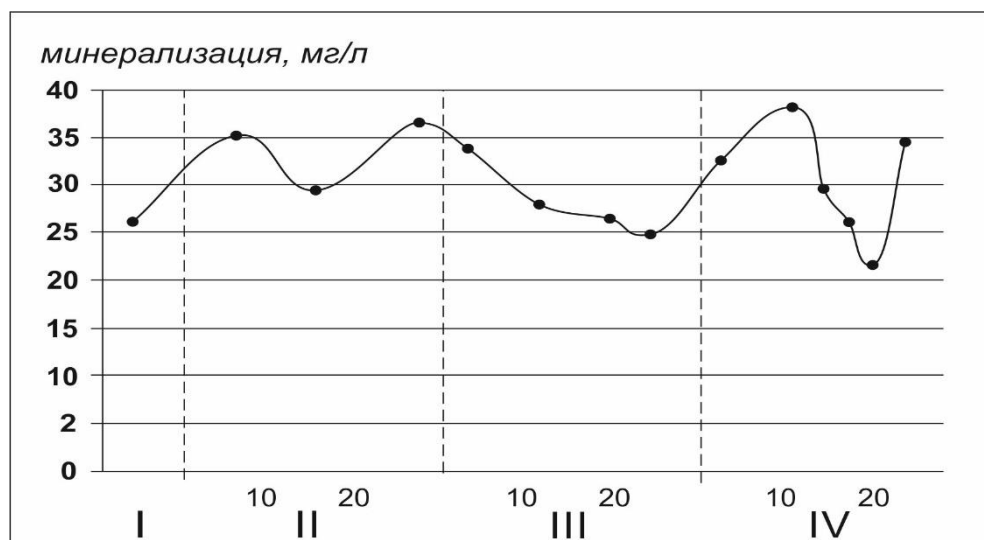
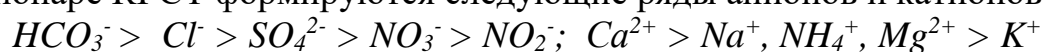


Рисунок 5. Динамика минерализации снежного покрова

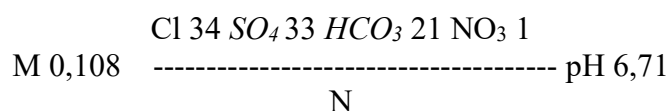
Аномальное повышение минерализации снежного покрова произошло со второй половины марта, когда резко повысилась дневная температура воздуха с $-17,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (19.03) до $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (21.03), что обусловило и повышение температуры системы субстрат-снег (см. рис. 3). Повышение температуры воздуха привело к увеличению величины испаряемости с поверхности снежного покрова и концентрированию солей в растворимой фазе снега. Величина испарения с поверхности снежного покрова в этот период может достигать 0,32 мм за сутки [1]. За счет испарения с поверхности минерализация снега возросла почти в четыре раза с 27 мг/л (19.03) до 108 мг/л (21.03), и снизилась затем после обильных атмосферных осадков 2-4 апреля до 25 мг/л (см. рис. 5).

По величине концентрации макрокомпонентов в снежном покрове на стационаре КГСТ формируются следующие ряды анионов и катионов:



Соотношение главных ионов химического состава снежного покрова типично для среднетаёжных ландшафтов Якутии [2] и подчиняется общей гидрохимической закономерности, в соответствии с которой, первым анионом пресных и ультрапресных вод является HCO_3^- .

Аномальное потепление во второй половине марта, сопровождавшееся интенсивным испарением с поверхности снега, привело к существенному, но кратковременному изменению химического состава снежного покрова за счет повышения концентрации хлоридов и сульфатов натрия:



Уже через несколько дней, после обильного снегопада в первые дни апреля, минерализация снега снизилась до средних значений для периода мониторинга (25-30 мг/л), а химический состав снова становится гидрокарбонатно-хлоридным кальциевым.

Исследования выполнены при поддержке комплексной программы фундаментальных научных исследований ИМЗ СО РАН (Проект СО РАН АААА-А20-120111690008-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Салазанов В. В. К вопросу об испарении с поверхности снега в условиях Якутии // Труды Центр. ин-та прогнозов, Л.: Гидрометеиздат, 1957, вып. 58. С. 121—126.
2. Макаров В.Н. Геохимия снежного покрова таёжных и горных мерзлотных ландшафтов Якутии // Лед и снег. 2014. №1 (125). С. 73-80

***СЕКЦИЯ 5. ХИМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
ОКЕАНОВ, ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И
БИОСФЕРЫ СО СНЕЖНЫМ ПОКРОВОМ,
АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ, АЭРОЗОЛЯМИ***

***SECTION 5. THE CHEMICAL INTERACTION OF THE
OCEANS, THE LAND SURFACE AND THE
BIOSPHERE WITH SNOW COVER, PRECIPITATION,
AEROSOL***

ИОННЫЙ СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ЭСТУАРИЯ РЕКИ ИНДИГИ (БАССЕЙН БАРЕНЦЕВА МОРЯ)

Котова Е.И.¹, Нецветаева О.П.¹, Титова К.В.²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск, Россия

ecopp@yandex.ru

Аннотация. С целью изучения состава снежного покрова в марте 2023 г. были проведены экспедиционные исследования в устье р. Индига (Ненецкий автономный округ). Отбор проб снежного покрова осуществлялся со льда р. Индига на 4 площадках. Определялся уровень рН, минерализации талой фазы снега. Фильтрат анализировался на содержание хлоридов, сульфатов, ионов натрия, магния, кальция, кремния, фосфора фосфатного, нитритной и нитратной форм азота. Минерализация снежного покрова доходила до значений 12,6 г/л. Такие высокие значения минерализации обусловлены пропитыванием снега морскими водами, которые просачиваются через лед. Антропогенное влияние поселка проявляется в увеличении рН талой фазы снега, содержания фосфора фосфатного, азота нитратного, кремния.

Ключевые слова: снежный покров, Индига, морской аэрозоль

IONIC COMPOSITION OF SNOW COVER IN THE ESTUARY OF THE INDIGA RIVER (BARENTS SEA BASIN)

Kotova E.I.¹, Netsvetaeva O.P.¹, Titova K.V.²

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow,
Russia

²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of
the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

ecopp@yandex.ru

Summary. Expeditionary studies were carried out in March 2023 at the estuary of the Indiga River (Nenets Autonomous District) in order to study the composition of the snow cover. Snow samples were taken from the ice of the Indiga River at 4 locations. The pH and mineralization of the snow melt phase were determined. The filtrate was analyzed for the content of chlorides, sulfates, sodium ions, magnesium ions, calcium ions, silicon, phosphorus phosphate, nitrites and nitrates. Mineralization of the snow cover reached values of 12.6 g/l. Such high values of mineralization are caused by soaking of snow by sea water, which seeps through the ice. The anthropogenic impact of the settlement is manifested in an increase in the pH of the snow melt phase, phosphorus phosphate, nitrate nitrogen, and silicon content.

Key words: snow cover, Indiga, marine aerosol.

Снежный покров в Арктике является важным звеном в геохимических процессах. Содержание веществ в снежном покрове оказывает влияние на состояние водных объектов, особенно малых и средних рек [1]. В марте 2023 г. на территории Ненецкого автономного округа в устьевой области р. Индига были отобраны пробы снежного покрова. Отбор проб осуществлялся со льда р. Индига на 4 площадках: точка 1 располагалась на расстоянии примерно в 2 км от впадения реки в Индигскую губу Баренцева моря, точка 2 – в 9 км, точка 3 – в 16 км, в районе пос. Индига, точка 4 – в 30 км. Снег собирался в пластиковую тару с помощью пластикового пробоотборника на всю глубину залегания. После отбора пробы растапливали при комнатной температуре. После оттайки пробы проводились замеры уровня рН и минерализации талой фазы снега. Для определения содержания хлоридов, сульфатов, ионов натрия, магния, кальция, биогенных элементов часть усредненной пробы фильтровалась с использованием шприцов с насадками для фильтрации из полиэфирсульфона с диаметром пор 0,45 мкм. Количественный химический анализ ионного состава проб проводился методом ионной хроматографии (ФР.1.31.2005.01724, ПНД Ф 16.1.8-98). Погрешность определения не превышает 20 %. Концентрации биогенных элементов определены фотометрически по стандартным методикам [2].

Результаты. Минерализация снега изменялась в очень широком диапазоне. Минимальное значение на уровне 40 мг/л было определено в точке 4, удаленной от места впадения реки в море и поселка. Наибольшее значение получено в пробе, отобранной между поселком и побережьем, и составило 12630 мг/л. В районе поселка значения минерализации находились на уровне 4400 мг/л. Ближе к морю минерализация снега была на уровне 1291 мг/л. Высокие значения минерализации обусловлены не только поступлением морского аэрозоля через атмосферу. Кроме этого, морские воды просачиваются через лед и насыщают снег. Явного выхода морской воды на лед при этом не фиксируется, подтаивание снега и образование ледовых корок не отмечено. Влияние морских вод прослеживается и на кислотно-щелочные свойства снега. Уровень рН талого снега соответствовал щелочной среде в точках 1–3: 8,7–9,2 ед. рН. Такие высокие значений рН редко встречаются в литетурных источниках и характерны для антропогенно загрязненных районов [3]. При этом наблюдался рост значений от побережья к поселку: максимальное значение рН определено в районе п. Индига. Помимо влияния морских вод в районе поселка Индига увеличению рН снега способствуют антропогенные выбросы, в том числе от угольной котельной. В точке 4 талые воды имели уже слабокислые свойства, рН был на уровне 6,38, характерном для снежного покрова побережья Белого моря. Нитритные формы азота в снежном покрове не обнаружены. Концентрация нитратного азота снижается при приближении к морской границе от значений 137,92 мкгN/л

в точке 4 до 62,15 мкгN/л в точке 1. Некоторое увеличение содержания нитратной формы азота отмечается в районе поселка, где концентрация составила 143,07 мкгN/л. Содержание растворенного кремния было определено в районе поселка Индига на уровне 285,14 мкгSi/л, и в точке 2 – 49,98 мкгSi/л. Содержание фосфора фосфатного изменялось в диапазоне 1,88–3,75 мкгSi/л. Наибольшее значение также было получено в районе пос. Индига. Пространственное распределение содержания хлоридов, сульфатов, ионов натрия, кальция, магния сходно с пространственным распространением значений минерализации. Наибольшее содержание определено в точке 2: 4860 мг/л, 716 мг/л, 2850 мг/л, 154 мг/л, 408 мг/л соответственно. Минимальные значения получены в пробе снега, отобранной в точке 4: 7,74 мг/л, 1,71 мг/л, 4,24 мг/л, 082 мг/л, 0,57 мг/л соответственно.

Выводы. Снежный покров в устье р. Индига оказался уникальным по своим характеристикам. Минерализация снежного покрова в данном районе доходила до значений 12,6 г/л, при том, что это не самая близкая точка к морской границе. Непосредственно в районе впадения реки Индига в море значения составили 1,3 г/л, что близко к значениям минерализации снежного покрова в некоторых других прибрежных районах Двинского и Онежского заливов Белого моря [4]. Такие высокие значения минерализации обусловлены пропитыванием снега морскими водами, которые просачиваются через лед. При этом ледяных корок или выход воды непосредственно на лед не наблюдается. Антропогенное влияние поселка проявляется в увеличении рН талой фазы снега, содержания фосфора фосфатного, азота нитратного, кремния.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 22-77-10074.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котова Е.И., Мискевич И.В. Влияние состава снега на состав донных отложений малой реки на прмере реки Лапа в дельте Северной Двины // Успехи современного естествознания. – 2023. – № 4. – С. 49-54.
2. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. – 202 с.
3. Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа / Д.В. Московченко, А.Г. Бабушкин // Криосфера Земли. – 2012. – Т. XVI. – № 1. С. 71–81.
4. Геобиохимические характеристики снежного покрова побережья Белого моря в 2021 и 2022 гг / Е. И. Котова, В. Ю. Топчая, Ю. В. Новикова // Лёд и снег. – 2023. – Т. 63, № 1. – С. 60-70.

ГЕОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ОЗЕРНЫХ ВОД ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТАЗОВСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Куликова М.А., Соромотин А.В., Демидова В.Р.

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

asoromotin@mail.ru

Аннотация. В работе приводятся результаты исследования и сравнительная характеристика элементного состава талых снеговых и озерных вод термокарстовых озер южной части Тазовского полуострова. Показано, что содержание основных элементов, за исключением Zn и Cu, в талой воде ниже, чем в озерной. Высокая концентрация Zn в талых снеговых водах обусловлена антропогенными выбросами.

Ключевые слова: снежный покров, термокарстовые озера, Западная Сибирь.

GEOCHEMICAL ANALYSIS OF SNOW COVER AND LAKE WATER IN THE SOUTHERN PART OF THE TAZOV PENINSULA

Kulikova M.A., Soromotin A.V., Demidova V.R.

University of Tyumen, Tyumen, Russia

asoromotin@mail.ru

Summary. The paper presents the results of the study and comparative characteristics of the elemental composition of melted snow and lake water of the thermokarst lakes in the southern part of the Tazovsky Peninsula. It is shown that the content of the main elements, except for Zn and Cu, in the melt water is lower than in the lake water. The high concentration of Zn in melted snow water is due to anthropogenic emissions.

Key words: snow cover, thermokarst lakes, Western Siberia

Интенсивное хозяйственное освоение арктической зоны Российской Федерации вносит существенный вклад в формирование химического состава природных сред, трансформируя естественные природные процессы [1]. Загрязнение атмосферного воздуха может быть оценено по геохимическому состоянию снежного покрова. Снег способен накапливать различных веществ из атмосферы в течение осенне-весеннего периода, что позволяет оценивать поступление загрязняющих веществ в почвенный покров и поверхностные воды.

Мы определили геохимический состав озерных вод термокарстовых озер и талой воды из проб снега, взятых весной на льду озер на юге Тазовского полуострова. Пробы снега отбирались в апреле, пробы озерных вод в конце августа 2018 года.

Элементный анализ проб талых снеговых и озерных вод проведен в Аналитическом сертификационном испытательном центре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН). Определение элементного состава вод проводили по методике НСАМ №520-АЭС/МС “Определение элементного состава природных, питьевых, сточных и морских вод атомно-эмиссионным и масс-спектральными методами с индуктивно связанной плазмой”.

Результаты показали, что содержание основных элементов в талой воде низкое по сравнению с содержанием в озерной воде (таблица 1). Крайне низкие концентрации в снеге отмечены для Fe, Mg, Al, V, Mn, Ni, As и Sr. Превышение содержания в талых водах отмечено для Zn (57,5 мг*л⁻¹ в снеге и 7,1 мг*л⁻¹ в воде озера) и Cu (3,3 мг*л⁻¹ в снеге и 1,2 мг*л⁻¹ в воде озера). Содержание большинства микроэлементов в талых водах снега было значительно ниже (в десятки раз) по сравнению с содержанием в озерных водах (рисунок 1). Крайне низкие концентрации в снеге были показаны для Li, Y, Zr, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Th, U, Mo, Sb и Tl.

Таблица 1. Концентрации тяжелых металлов в талых снеговых водах и водах термокарстовых озер Тазовского района ЯНАО

Тяжелые металлы	Вода термокарстовых озер, мл*л ⁻¹ (среднее)				Талая снеговая вода, мл*л ⁻¹ (среднее)	
	Наши данные	Агбалян и др., 2019 [2] (Тазовский район)	Manasyrov et al., 2015 [4] (lakes < 500 000 m ² , summer)	Manasyrov et al., 2014 [3] (lakes > 200,000 m ²)	Наши данные	Пожитков и др., 2019 [5] (растворимые и нерастворимые формы на фоновом участке, Тазовский район)
Fe	0,338	-	0,251	0,13	0,009	0,023
Mn	0,018	0,02	0,016	0,0016	0,003	0,005
Cd	1,1*E-05	-	2,4* E-05	3,0* E-05	9,5* E-06	7,3*E-05
Pb	0,0001	-	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001
Ni	0,0015	-	0,0003	0,0026	0,0003	0,0004
Cu	0,0012	0,005	0,0005	0,0005	0,003	0,0014
Zn	0,007	0,02	0,062	0,027	0,057	0,018

Распределение основных тяжелых металлов в талой снеговой воде Тазовского полуострова:

10–100 мкг/л Zn

1–10 Ba, Mn, Cu, Sr

0–0,5 Ni, Sb, Pb, Rb, La, Mo, Ce, Tl, Cs

Среднее содержание тяжелых металлов в озерной воде термокарстовых озер Тазовского полуострова:

>1000 мкг/л Fe

100–1000 Mn

10–100 Sr, Ba

1–10 Zn, Cu, Ni, Co, Rb, Sb

0,1–1 Ce, Y, Nd, La, Zr, Pb, Mo, Sm, Gd, Dy, Pr, U

В талых водах основным тяжелым металлом является Zn, природные источники которого требуют дальнейшего изучения. Антропогенным фактором высокой концентрации Zn в талых водах могут быть выбросы промышленных предприятий в воздушные массы Тазовского полуострова.

Класс качества талых снеговых вод в зависимости от значения индекса загрязнения от «загрязненных» до «умеренно-загрязненных».

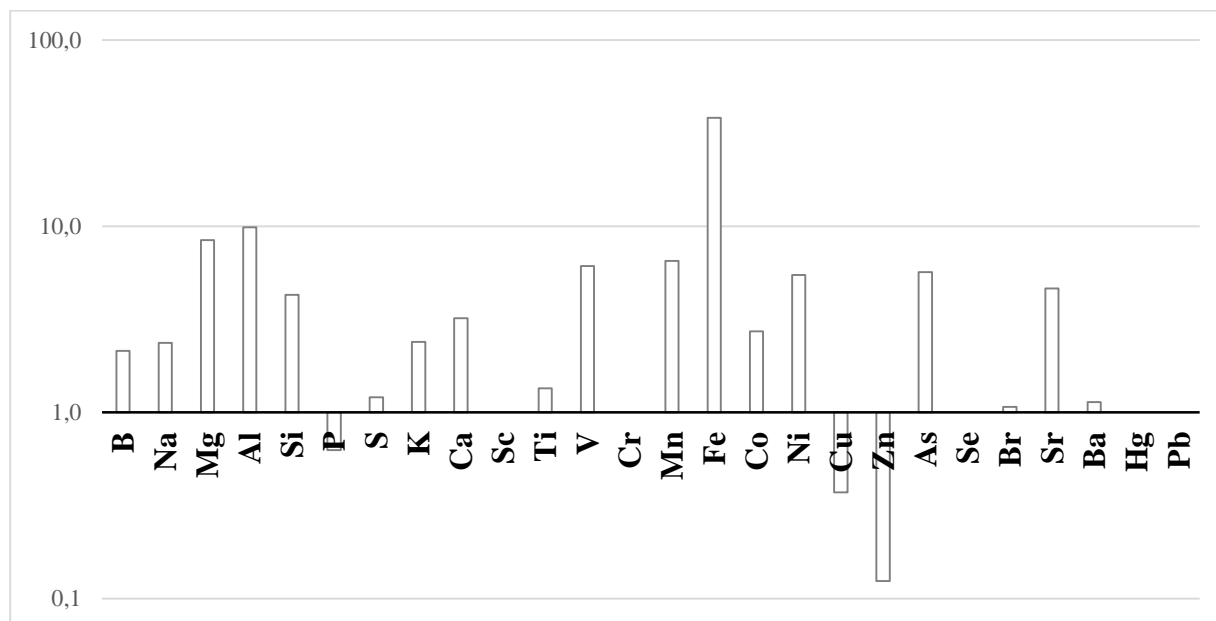


Рисунок 1. Отношение средних концентрации некоторых элементов в водах термокарстовых озер к среднему содержанию элементов в талых снеговых водах

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. – М.: Наука, 2010. – 266 с.
2. Оценка качества природных вод на научных полигонах Ямало-Ненецкого автономного округа (Пуровский, Тазовский, Шурышкарский, Полярно-Уральский) / Е.В. Агбалян, Р.А. Колесников, А.С. Красненко, Е.Н. Моргун, Е.В. Шинкарук, А.С. Печкин, Р.И. Локтев, Р.М. Ильясов, В.О. Кобелев // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2019. – № 6. – С. 6-23.
3. Thermokarst lake waters across the permafrost zones of western Siberia / R.M. Manasyrov, O.S. Pokrovsky, S.N. Kirpotin, L.S. Shirokova // Cryosphere. – 2014. – V. 8. – P. 1177–1193.
4. Seasonal dynamics of organic carbon and metals in thermokarst lakes from the discontinuous permafrost zone of western Siberia / R.M. Manasyrov, S.N. Vorobyev, S.V. Loiko, I.V. Kritzkov, L.S. Shirokova, V.P. Shevchenko, S.N. Kirpotin, S.P. Kulizhsky, L.G. Kolesnichenko, V.A. Zemtsov, V.V. Sinkinov, O.S. Pokrovsky // Biogeosciences. – 2015. – V. 12. – P. 3009–3028.
5. Оценка загрязнения снегового покрова Заполярного месторождения / Р.Ю. Пожитков, Д.В. Московченко, А.В. Соромотин, А.А. Кудрявцев, Е.В. Томилова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2019. – № 5(290). – С. 15-21.

ОЦЕНКА СНЕЖНОГО ПОКРОВА КАК ИСТОЧНИКА ПОСТУПЛЕНИЯ УРАНА В ОЗЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

Макаров В.Н., Седельникова А.Л.

Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск, Россия

vnmakarov@mpi.ysn.ru; chizuk82@mail.ru.

Аннотация. Представлены результаты исследования распределения урана в растворимой и твердой фазах снежного покрова на территории городских озер. Дана оценка концентрации урана в снежном покрове. Получены данные нагрузок, создаваемых поступлением урана в составе растворимой и твердой фазы зимних атмосферных осадков на площадь озерных систем, достигающие 160 кг. Показано, что твердые нерастворимые примеси в снеговой воде существенно обогащены ураном, по сравнению с растворимыми. Основная масса урана, поступает из атмосферы на поверхность городских озерных систем в зимний период, в твердой фазе снежного покрова примерно на один-два порядка выше, чем в растворимой фазе. Основная масса урана, поступает из атмосферы на поверхность городских озерных систем в зимний период, в твердой фазе снежного покрова, количество которой на один-два порядка выше, чем в растворимой фазе. Специфика техногенного загрязнения зимней атмосферы на территории акватории и водосбора озера определяет особенности поступления урана в озерные системы.

Ключевые слова: уран, атмосфера, снежный покров, озера, растворимая и твердая фаза, выпадение из атмосферы.

ASSESSMENT OF SNOW COVER AS A SOURCE OF URANIUM INCOME INTO LAKE SYSTEMS

Makarov V.N., Sedelnikova A.L.

Institute of Permafrost Science SB RAS, Yakutsk, Russia

vnmakarov@mpi.ysn.ru; chizuk82@mail.ru.

Summary. The results of a study of the distribution of uranium in the soluble and solid phases of snow cover on the territory of urban lakes are presented. An estimate of the uranium concentration in the snow cover is given. The data of loads created by the influx of uranium in the composition of the soluble and solid phases of winter precipitation on the area of lake systems, reaching 160 kg, were obtained. It is shown that solid insoluble impurities in snow water are significantly enriched in uranium, compared to soluble ones. The bulk of uranium comes from the atmosphere to the surface of urban lake systems in winter, in the solid phase of the snow cover is approximately one to two orders of magnitude higher than in the soluble phase. In the solid phase of the snow cover, the amount of which is one or two orders of magnitude higher than in the soluble phase. The specificity of technogenic pollution of the winter atmosphere in the territory of the water area and catchment area of the lake determines the features of the influx of uranium into lake systems.

Keywords: uranium, atmosphere, snow cover, lakes, soluble and solid phases, atmospheric fallout.

Уран является токсичным металлом и представляет собой глобальную экологическую проблему. Поступление урана в биосферу обеспечивается как природными, так и антропогенными факторами. Уран, в отличие от радия и тория, более подвижен и способен активно мигрировать с природными водами [1]. Поэтому изучение путей поступления урана с атмосферными водами имеет важное значение для выяснения особенностей накопления урана в озерных системах. Особое внимание авторов уделено поступлению урана из зимней атмосферы, миграция урана с которыми и распределение в озерных системах является объектом исследования авторов. Прежде всего, в крупных озерах города, обладающих собственными названиями, имеющими многолетнюю историю, важное культурное и рекреационное значение.

Поверхность долины Туймаада, где расположен Якутск, покрыта густой сетью старичных и термокарстовых озер. Большинство старичных озер объединены в проточные системы. Озера, занимают около 12% территории города Якутска [2]. В настоящее время вследствие техногенного вмешательства проточные озерные системы на многих участках нарушены: одни озера на территории города практически исчезли, другие изменили площадь зеркала и объем воды [3]. Площадь акватории самого крупного озера - Ытык-Кюель составляет 0,895 км², водосбора – 8, 49 км².

Химический состав воды озер изучался в ходе геохимического мониторинга в 1998-2021 гг. Пробоотбор снега проводился во второй половине марта, в оптимальный период для его изучения, непосредственно перед началом снеготаяния. Измерялась высота, влагозапас, температура на поверхности и в почве. После окончания отбора пробы подвергались фильтрованию для разделения жидкой (снеговая вода) и твердой фаз (пыль), для лабораторных исследований. Аналитическая обработка геохимических проб проведена в лаборатории подземных вод и геохимии криолитозоны Института мерзлотоведения СО РАН (аналитики Л.Ю. Бойцова, Е.С. Петрова, О.В. Шепелева) и в Аналитическом сертификационном испытательном центре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН) г. Черноголовка Московской обл.

Для снеговых вод за пределами влияния города характерны низкая минерализация (менее 10 мг/л) и преимущественно хлоридно-гидрокарбонатный магниевый-кальциевый кислый (pH=4,7-5,1) состав. Компоненты химического состава снега образует значимые корреляционные связи (КК=0,97-0,98) с анионами SO₄²⁻, Cl⁻, катионами Na⁺ и Mg²⁺ и менее сильные – с HCO₃⁻ и K⁺ (КК=0,72). Пылевая составляющая снежного покрова формирует корреляционные связи с Ca²⁺ (КК=0,65) и NO₂⁻ (КК=0,54).

Техногенное воздействие городского хозяйства отражается на повышении концентрации в снежном покрове большинства химических компонентов: кальция, магния и натрия, аммония, сульфатов, карбонатов,

хлоридов. Химический состав снеговых вод становится щелочным (рН=8,12) хлоридно-гидрокарбонатным преимущественно кальциевым.

Содержание урана в районе городских озер в зимней атмосфере колеблется в пределах: 18,1-79,9 нг/л в растворимой фазе снежного покрова, в среднем 44,0 нг/л, заметно ниже, чем на территории города - 67,8 нг/л, и 0,09-1,12 мг/кг – в нерастворимой фазе, в среднем 0,48 мг/кг, примерно равной городским зимним пылевым выпадениям - 0,52 мг/кг (табл. 1).

Таблица 1. Содержание урана в снежном покрове в районе городских озер, Якутске и воде городских озер

Объекты	Снег		Озера
	Растворимая фаза, нг/л	Твердая фаза, мг/кг	Вода, нг/л
Г. Якутск	67,8	0,52	738
Озера			
Сергелях	29,2	0,11	955
Ытык-Кюель	18,1	0,09	442
Белое	22,3	0,18	1082
Талое	59,4	1,12	670
Теплое	61,4	0,36	918
Сайсар	79,9	0,71	966
ЯТЭЦ	37,8	0,70	296
<i>С арифм</i>	<i>44,0</i>	<i>0,48</i>	738
ПДК урана [4]	-	-	15 000

Содержание урана в нерастворимой фазе снега, в зимней пыли, в районах объектов городской инфраструктуры (транспорт, энергетика, стройиндустрия) представлены в таблице 2.

Таблица 2. Среднее содержание U в зимней пыли (снежном покрове) в районе объектов городской инфраструктуры, мг/кг

Территория города	Автодороги	ЯТЭЦ	Микрорайон	Озера	Фон
0,52	0,60	0,39	0,70	0,48	0,02

Уран, присутствующий в различных фазах снежного покрова, неравномерно распределяется на территории города (рис. 1, а и б).

Максимально содержание U в растворимой фазе снежного покрова наблюдается в центральной части города (озера Сайсар, Талое, Теплое), в районе интенсивного дорожного движения (рис. 1а), что может указывать на автотранспорт как на основной источник поступления газовой-аэрозольных выбросов U в зимнюю атмосферу города.

Аномальные концентрации U в нерастворимой (твердой) фазе снежного покрова неравномерно распределены на территории Якутска и сосредоточены как в центральной части города, где они совпадают с аномальными концентрациями растворимой фазы U, так и в районах интенсивной застройки в южной и северной частях города (см. рис. 1Б). Вероятно, основными источниками поступления U в твердой фазе в зимнюю

приземную атмосферу наряду с автотранспортом, являются пылевые выбросы стройиндустрии.

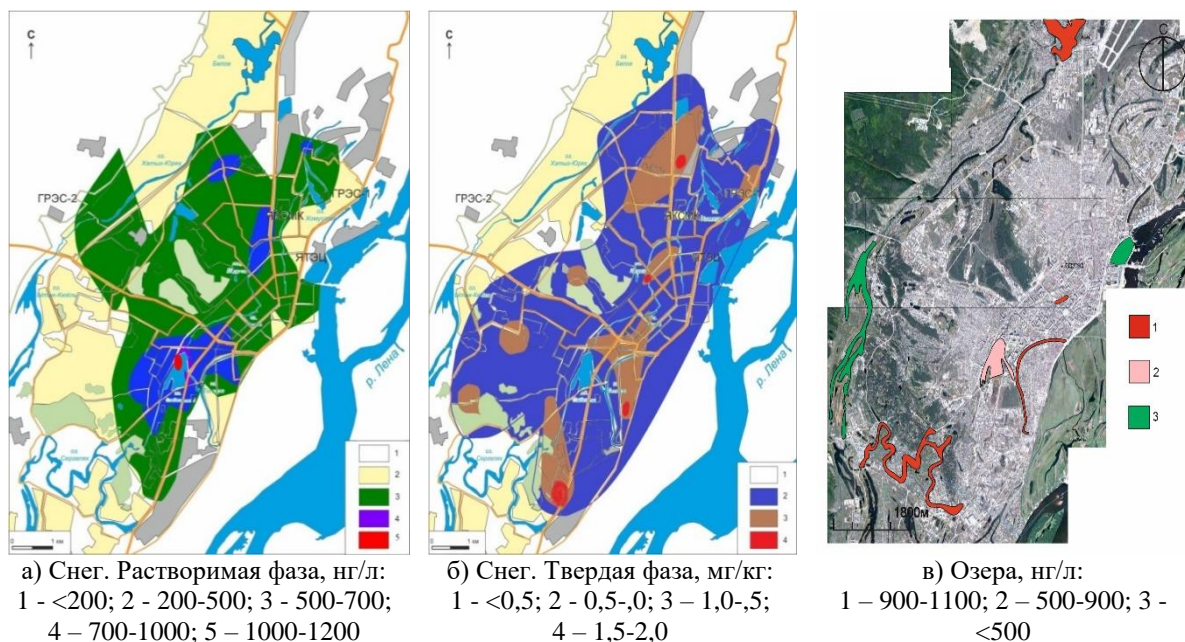


Рисунок 1. Распределение урана в снежном покрове и в воде озер

Концентрация урана в воде городских озер примерно на порядок превышает его содержание в снежном покрове (см. табл. 1).

Содержание урана в растворимой фазе снежного покрова на два, а в воде городских озер примерно на порядок ниже предельно допустимой концентрации элемента в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК U = 0,015 мг/л).

На основании изучения химического состава зимних атмосферных осадков и данных о влагозапасе последних [5], подсчитано количество урана - показателя нагрузки Pn кг/км²·зима [6], вносимого снеговыми водами на акваторию озер и на площадь их водосборов (табл. 3)

Таблица 3. Объем урана, поступающего ежегодно на акваторию и водосбор озер в зимнее время в растворимой и твердой фазах снега

Озера	Растворимая фаза, Pn, кг			Твердая фаза, Pn, кг			Всего, кг/ зима
	Озеро	Водосбор	Всего	Озеро	Водосбор	Всего	
Сергелях	0,150	0,850	1,00	9,27	52,53	61,8	62,8
Ытык-Кюель	0,095	0,900	0,995	15,13	143,48	158,6	159,6
Белое	0,220	0,420	0,640	1,49	2,83	4,3	4,9
Талое	0,004	0,253	0,257	0,023	15,21	15,2	15,5
Теплое	0,044	0,473	0,517	5,89	64,19	70,1	70,6
Сайсар	0,101	0,439	0,540	22,51	98,09	120,6	121,1
ЯТЭЦ	0,006	0,013	0,019	0,47	0,94	1,4	1,4
С мин	0,006	0,013	0,019	0,023	0,94	1,4	1,4
С макс	0,22	0,90	1,00	22,51	143,48	158,6	159,6
С арифм	0,089	0,478	0,567	7,83	53,9	61,7	62,3

Выпадение урана из зимней атмосферы в озера происходит преимущественно за счет стока с поверхности водосборов, в среднем на такие стоки приходится около 99% элемента. При этом, основная масса урана, поступает из атмосферы в зимний период на поверхность городских озерных систем в твердой фазе снежного покрова (в среднем 61,7 кг), на один-два порядка выше, чем в растворимой фазе (в среднем 0,567 кг).

Исследования выполнены при поддержке комплексной программы фундаментальных научных исследований ИМЗ СО РАН (Проект СО РАН АААА-А20-120111690008-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евсева Л.С., Перельман А.И., Иванов К.Е. Геохимия урана в зоне гипергенеза. - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Атомиздат, 1974. 280 с.
2. Syromyatnikov I.I., Kunitsky V.V. The structure of lacustrine deposits of the
3. Макаров В.Н., Седельникова А.Л. Экогеохимия городских озер Якутска. Якутск: Изд-во ФГБУН Ин-та мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2015. 232 с.
4. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов вредности обитания" (с изменениями на 30 декабря 2022 г.). Минздрав России, Москва. 2021
5. Макаров В.Н., Торговкин Н.В. Экогеохимия взвешенных веществ в атмосфере Якутска. Якутск: Изд-во ФГБУН Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 2021. 94 с.
6. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: Мин. охраны окружающей среды России, 1992. 55 с.

о
п

т
н
е

т
е
р
р
и
т
о
р
у

о

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ОБЩЕГО И ВОДОРАСТВОРИМОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА КОНТИНЕНТАЛЬНОГО И МОРСКОГО АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

Симонова Г.В.¹, Калашникова Д.А.^{1,2}, Ким В.В.¹

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
Томск, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия

galina_simonova@inbox.ru

Аннотация. С целью понимания источников происхождения морского и континентального атмосферных аэрозолей применялся метод мокрого окисления совместно с методом масс-спектрометрии изотопных отношений для измерения изотопного состава как общего углерода ($\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$), так и водорастворимого органического углерода ($\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$). Величина $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ показала более низкие значения, чем величина $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$. Наиболее высокое среднее значение величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ (-22%) зафиксированы в морских аэрозолях, что согласуется с изотопным составом углерода, выделяемым фитопланктоном, и указывает на первичные источники морского аэрозоля. Для континентально аэрозоля среднее значение величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ ($-24,9\%$) соизмеримо с величиной $\delta^{13}\text{C}$ выбросов, образующихся при сжигании угля, это объясняется близостью локального источника (тепловая электростанция).

Ключевые слова: изотопный состав углерода, атмосферный аэрозоль

ISOTOPE COMPOSITIONS OF TOTAL AND WATER-SOLUBLE ORGANIC CARBON OF CONTINENTAL AND MARINE ATMOSPHERIC AEROSOLS

Simonova G.V.¹, Kalashnikova D.A.^{1,2}, Kim V.V.¹

¹Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS, Tomsk, Russia

²V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, SB RAS, Russia, Tomsk

galina_simonova@inbox.ru

Summary. The wet oxidation method in conjunction with the isotope ratio mass spectrometry were used to measure the isotope composition of both total carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$) and water-soluble organic carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$) to understand the origin sources of marine and continental atmospheric aerosols. The $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ value showed lower values than the $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ value. The highest average $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ value (-22%) was recorded in marine aerosols which is consistent with the carbon isotope composition emitted by phytoplankton and indicates the primary sources of marine aerosol. For continental aerosol, the average $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ value (-24.9%) is approximately equal to the $\delta^{13}\text{C}$ value of emissions from coal combustion, this is due to the proximity of a local source (thermal power plant).

Key words: carbon isotope composition, atmospheric aerosol

Введение. Состав стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) в атмосферном аэрозоле можно использовать для отслеживания потенциальных источников их происхождения и с целью исследования процессов, происходящих с углеродсодержащими атмосферными аэрозолями. Известно, что изотопный состав углерода разных источников происхождения углеродсодержащего аэрозоля имеет определенные значения: при сжигании угля величина $\delta^{13}\text{C}$ изменяется от $-24,0$ до $-21,0\%$ [1]; выбросы при работе двигателей автотранспорта имеют значения величины $\delta^{13}\text{C}$ от $-26,0$ до $-28,0\%$ [2]; для растений с C3 типом фотосинтеза значение величины $\delta^{13}\text{C}$ колеблется от $-34,7$ до $-25,4\%$, а для растений с C4 типом фотосинтеза от $-22,2$ до $-13,0\%$ [3]; источники морских органических аэрозолей имеют значения величины $\delta^{13}\text{C}$ от -22 до -18% [4]; карбонатный углерод характеризуется высокими значениями величины $\delta^{13}\text{C}$ ($-0,3\%$) [5], но он составляет лишь незначительную часть углеродсодержащего аэрозоля и обычно преобладает в пылевых аэрозолях. Большинство исследований сосредоточено на изучении изотопного состава общего углерода ($\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$), однако в атмосферных аэрозолях большую часть органического углерода (9-75%) составляет водорастворимый органический углерод (WSOC), и благодаря своей гидрофильности WSOC оказывает большое влияние на гигроскопические свойства аэрозолей [6].

Цель работы заключалась в определении значений величины изотопного состава общего углерода и водорастворимого органического углерода в морском и континентальном атмосферном аэрозоле для отслеживания потенциальных источников возникновения атмосферных аэрозолей.

Материалы и методы. Отбор образцов атмосферного аэрозоля осуществлялся на предварительно прокаленные при температуре 500°C стекловолоконные фильтры MGF (Munktell, Швеция) диаметром 70 мм с использованием вихревой воздуходувки в течение 1–3 дней. Девять образцов континентального аэрозоля были отобраны на базе Геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН (г. Томск) в период с 12 октября по 7 ноября 2022 г. Образцы морского атмосферного аэрозоля были отобраны во время рейсов научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» (АМК) проходящих в акватории Баренцево – Карского морей: 89.2 рейса АМК с 20 сентября по 9 октября 2022 г. (8 образцов) и 90 рейса АМК с 12 октября по 16 ноября 2022 г. (11 образцов).

Изотопный состав общего углерода определяли методом масс-спектрометрии изотопных отношений легких элементов с использованием изотопного масс-спектрометра DELTA V Advantage, совмещенного с элементным анализатором Flash 2000 (Thermo Fisher Scientific, Бремен, Германия). Приборы предоставлены центром коллективного пользования ТомЦКП СО РАН. Среднеквадратическое отклонение величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ для трех повторных измерений не превышало $\pm 0,2\%$. В качестве стандартного образца использовался стандарт кофеина – IAEA-600 (МАГАТЭ).

Для определения величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ предварительно из $\frac{1}{2}$ диска фильтра диаметром 70 мм удаляли водорастворимый органический углерод путем экстракции водой в ультразвуковой ванне с использованием 10 мл особо чистой воды с удельным сопротивлением $>18,2\text{МОм}\cdot\text{см}$. Полученный WSOC-экстракт фильтровали с помощью шприцевого фильтра для удаления нерастворенных частиц и помещали в виалы из боросиликатного стекла объемом 12 мл, которые предварительно прокаливали при температуре 500°C в течении 5 часов для удаления органических загрязнителей. При подготовке проб для измерения изотопного состава WSOC важным является устранение влияния растворенного неорганического углерода. Для этого в виалы помещали 0,3 мл H_3PO_4 (85%) и при помощи системы Gas Bench II проводили продувку виал He (99,999%). Затем через резиновую септу виалы закалывали по 0,7 мл WSOC-экстракта. Полученную смесь нагревали (80°C) в течение 60 минут. Выделенный CO_2 при реакции неорганического углерода с H_3PO_4 удаляли продувкой гелием. Для анализа WSOC применяли метод мокрого окисления с использованием персульфата натрия в качестве окислителя с целью превращения водорастворимого органического углерода в CO_2 [7]. После продувки в виалу с помощью шприца вводили 1 мл окислителя (2,5 г $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ + 100 г H_2O + 0,2 мл H_3PO_4) и 50 мкл катализатора (0,1М AgNO_3). Виалу вновь нагревали (100°C) в течение 25 мин для превращения органического углерода в растворе в CO_2 , и затем выделенный в верхнее пространство виалы CO_2 анализировали с использованием системы Gas Bench II, подключенной к изотопному масс-спектрометру Delta V Advantage (метод Gas Bench II + IRMS). Среднеквадратическое отклонение величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ составило $\pm 0,6\text{‰}$ для пяти повторностей. В качестве стандартного образца использовался стандарт бензойной кислоты IAEA-601 (МАГАТЭ).

Результаты и обсуждение. Результаты измерения значений величин $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ и $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ атмосферного аэрозоля представлены на рис. 1. Диапазон вариации величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ в пробах морского атмосферного аэрозоля, отобранного в ходе 90-го рейса АМК, изменяется от $-28,8$ до $-27,3\text{‰}$, со средним значением равным $-28,0\pm 0,5\text{‰}$, что свидетельствует о преобладании углерода, образующегося при горении нефтепродуктов, при движении морского транспорта. Для образцов аэрозолей 89.2 рейса АМК и образцов континентального аэрозоля средние значения величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ составили $-27,6\pm 0,8\text{‰}$ и $-27,7\pm 0,9\text{‰}$, соответственно. Такие значения характерны для смеси источников горения ископаемого топлива, биотоплива и нефтепродуктов.

Для образцов аэрозоля 90-го рейса АМК значения величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ находятся в диапазоне от $-25,8$ до $-22,2\text{‰}$, со средним значением $-23,5\pm 1\text{‰}$. Самое высокое среднее значение величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ ($-22,0\pm 1,5\text{‰}$) зафиксировано для образцов аэрозоля 89.2-го рейса АМК, что соизмеримо и согласуется с изотопным составом углерода, выделяемым фитопланктоном, и, следовательно, связано с первичными источниками морского аэрозоля [4].

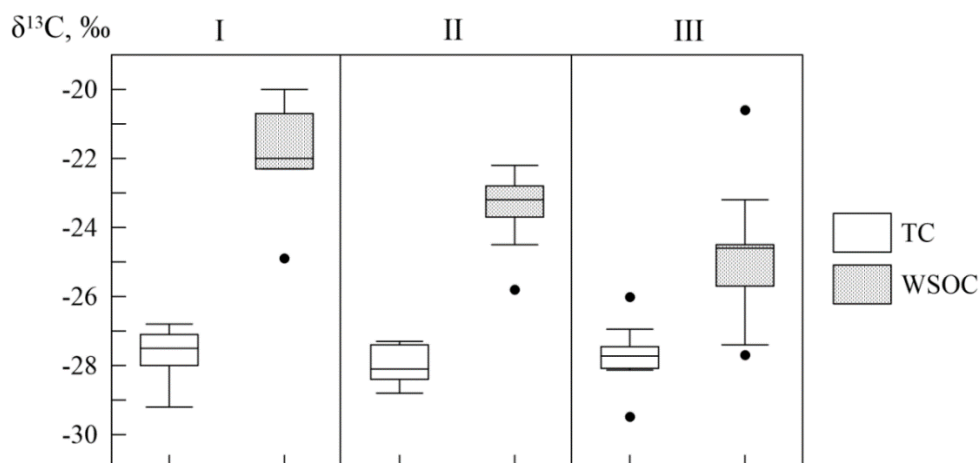


Рисунок 1. Диаграммы размаха числовых значений величины $\delta^{13}\text{C}$ для углеродсодержащих фракций аэрозоля (общий углерод — TC, водорастворимый органический углерод — WSOC), отобранных во время 89,2-го рейса АМК (I), 90-го рейса АМК (II) и в Геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН (III): диапазон между первым и третьим квартилем распределения заключен в рамку, вертикальные линии («усы») на нижнем и верхнем конце оси рамки представляют минимальные и максимальные значения, которые не считаются выбросами, горизонтальной линией в рамке обозначена медиана выборки значений; точками обозначены выбросы величины $\delta^{13}\text{C}$

Максимально высокое значение величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ (-20‰) для морского аэрозоля получено при отборе образцов в ходе 89.2-го рейса АМК, согласно обратным траекториям движения HYSPLIT воздушные массы приходили с Северного Ледовитого океана. Экстремально низкое значение величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ ($-24,9\text{‰}$) зафиксировано в конечной точке рейса 89.2 рейса АМК на подходе к порту Мурманска и согласно обратным траекториям воздушных масс, перенос воздушных масс осуществлялся со Скандинавского полуострова, что указывает на антропогенный вклад, связанный с источниками горения ископаемого топлива. Наибольший разброс значений величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ с более низким средним значением величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ ($-24,9 \pm 2,1\text{‰}$), согласующимся с величиной $\delta^{13}\text{C}$ выбросов, образующихся при сжигании угля, зафиксирован для континентального аэрозоля, это объясняется близостью локального источника (тепловая электростанция) и подтверждается «розой» ветров юго-западного направления, переносящего выбросы продуктов горения электростанции в район Геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН. В двух образцах континентально аэрозоля зафиксированы экстремально низкие значения величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ ($-27,7\text{‰}$ и $-27,4\text{‰}$) и соответствующие им низкие значения величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ ($-28,1\text{‰}$ и $-29,5\text{‰}$), что свидетельствует о том, что преобладающими источниками аэрозоля были выбросы сгорания нефтепродуктов. Экстремально высокое значение величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ ($-20,6\text{‰}$) континентального аэрозоля, скорее всего, можно объяснить процессами окисления соединений в аэрозольной фазе, приводящими к обогащению тяжелым изотопом углерода ^{13}C [8].

Таким образом, исследование величин $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ и $\delta^{13}\text{C}_{\text{WSOC}}$ атмосферного аэрозоля расширяет возможности различения источников происхождения и позволяет обнаружить влияние локальных источников промышленных выбросов (например, при работе электростанции в г. Томке).

Благодарности. Авторы выражают благодарность руководителям морских экспедиций М. В. Флинту и И. П. Семилетову, а также сотрудникам Геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН за организацию отбора образцов атмосферного аэрозоля.

Финансирование. *Исследование изотопного состава атмосферного аэрозоля, отобранного во время проведения морских экспедиций, проведено при финансовой поддержке проекта РНФ № 21-77-2005, анализ фильтров континентального аэрозоля выполнялся в рамках госзадания ИМКЭС СО РАН (регистрационный номер проекта 121031300154-1).*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stable carbon isotopes in aerosols from Chinese cities: Influence of fossil fuels / J.J. Cao, J.C. Chow, J. Tao, S.C. Lee, J.G. Watson, K.F. Ho, G.H. Wang, C.S. Zhu, Y.M. Han // *Atmospheric Environment*. – 2011. – V. 45. – P. 1359–1363. – DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.10.056.
2. Widory D. Combustibles, fuels and their combustion products: A view through carbon isotopes // *Combustion Theory and Modelling*. – 2006. – V. 10, No. 5. – P. 831–841. – DOI: 10.1080/13647830600720264.
3. Aguilera J., Whigham L.D. Using the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ carbon isotope ratio to characterise the emission sources of airborne particulate matter: a review of literature // *Isotopes in Environmental and Health Studies*. – 2018. – V. 54, No. 6. – P. 573–587. – DOI: 10.1080/10256016.2018.1531854.
4. Latitudinal distributions of organic nitrogen and organic carbon in marine aerosols over the western North Pacific / Y. Miyazaki, K. Kawamura, J. Jung, H. Furutani, M. Uematsu // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2011. – V. 11, No. 7. – P. 3037–3049. – DOI: 10.5194/acp11-3037-2011.
5. Organic and inorganic compositions of marine aerosols from East Asia: Seasonal variations of water-soluble dicarboxylic acids, major ions, total carbon and nitrogen, and stable C and N isotopic composition / K. Kawamura, M. Kobayashi, N. Tsubonuma, M. Mochida, T. Watanabe, M. Lee // *Geochemical Investigations in Earth and Space Sciences: A Tribute to Isaac R. Kaplan (The Geochemical Society Special Publications Series, 9)*. – 2004. – P. 243–265. – DOI: 10.1016/S1873-9881(04)80019-1.
6. Airborne Cloud Condensation Nuclei Measurements during the 2006 Texas Air Quality Study / A. Asa-Awuku, R.H. Moore, A. Nenes, R. Bahreini, J.S. Holloway, C.A. Brock, A.M. Middlebrook, T.B. Ryerson, J.L. Jimenez, P.F. DeCarlo, A. Hecobian, R.J. Weber, R. Stickel, D.J. Tanner, L.G. Huey // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres Journal*. – 2011. – V. 116. – D11201. – DOI: 10.1029/2010JD014874.
7. Analytical methods and application of stable isotopes in dissolved organic carbon and inorganic carbon in groundwater / Y. Zhou, H. Guo, H. Lu, R. Mao, H. Zheng, J. Wang // *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. – 2015. – V. 29. – P. 1827–1835. – DOI: 10.1002/rcm.7280.
8. Carbon isotope-constrained seasonality of carbonaceous aerosol sources from an urban location (Kanpur) in the Indo-Gangetic Plain / S. Bikkina, A. Andersson, K. Ram, M.M. Sarin, R.J. Sheesley, E.N. Kirillova, R. Rengarajan, A.K. Sudheer, Ö. Gustafsson // *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. – 2017. – V. 122, No. 9. – P. 4903–4923. – DOI:

J
D

***СЕКЦИЯ 6. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СНЕЖНОГО
ПОКРОВА, АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ,
АЭРОЗОЛЕЙ НА ПРИРОДНЫЕ, СОЦИАЛЬНО-
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ЗДОРОВЬЕ
ЧЕЛОВЕКА***

***SECTION 6. ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE
SNOW COVER, PRECIPITATION, AEROSOLS ON
NATURAL, SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS AND
HUMAN HEALTH***

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОТОКСИКАНТОВ В СНЕГОВОМ ПОКРОВЕ НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Журба О.М., Алексеенко А.Н., Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В.

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», Ангарск, Россия.

zhurba99@gmail.com

Аннотация: На территории со стойким снеговым покровом атмосферные загрязнения накапливаются в течение нескольких месяцев, твердые осадки в виде снега является индикаторным объектом оценки состояния городской среды. К приоритетным загрязнителям, накапливающимся в снеговом покрове, относятся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и нефтяные углеводороды (НУ), представляющие опасность для здоровья населения на урбанизированной территории. Приведены данные о содержании ПАУ и НУ в снеге г. Шелехов. Установлено, что темпы атмосферных выпадений ПАУ, определенные по их концентрациям в снеговом покрове высоки. Максимальные концентрации ΣПАУ - 134,7 и 78,0 мкг/л, НУ 0,98 и 0,32 мкг/л обнаружено в отметках, наиболее приближенных к стационарным источникам.

Ключевые слова: снеговой покров, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), канцерогенная активность, вклады источников

STUDY OF ECOTOXICANTS IN SNOW COVER IN URBANIZED TERRITORY

Zhurba O.M., Alekseyenko A.N., Shayakhmetov S.F., Merinov A.V.

Federal State Budgetary Scientific Institution «East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research», Angarsk, Russian Federation

zhurba99@gmail.com

Summary. On the territory with a resistant snow cover, atmospheric pollution accumulates over several months; solid precipitation in the form of snow is an indicator object for assessing the state of the urban environment. Priority pollutants accumulated in the snow cover include polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and petroleum hydrocarbons (PHs), posing a public health hazard in urban areas. The data on the content of PAHs and PHs in the snow of the city of Shelekhov are presented. It has been established that the rates of atmospheric fallout of PAHs, determined from their concentrations in the snow cover, are high. The maximum concentrations of ΣPAH - 134.7 and 78.0 µg/l, PHs 0.98 and 0.32 µg/l were found at levels closest to stationary sources.

Keywords: snow cover, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), carcinogenic activity, contributions of sources

Снеговой покров является депонирующим транзитным компонентом окружающей среды и используется как интегральный показатель загрязнённости атмосферы на территориях, характеризующихся наличием устойчивого снежного покрова в течение длительного времени [1].

В зимний период времени на большей части России, Канады, стран Скандинавского полуострова и др. основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха и снегового покрова вносят антропогенные источники – промышленные предприятия и транспорт [2–3]. Несмотря на очевидную ценность снеговых проб, аккумулирующих информацию о длительной экспозиции на определенных территориях, для задач гигиенической и экологической оценки этот объект используется недостаточно часто.

Существующая система государственного мониторинга за химическим загрязнением приземного слоя атмосферы не позволяет получить полную информацию об экспозиции. В связи с тем, что на территориях со стойким снежным покровом атмосферные загрязнения накапливаются в течение нескольких месяцев, твердые осадки в виде снега является удобным индикаторным объектом оценки состояния городской среды, позволяющих анализировать как твёрдую, так и жидкую фазу [4].

ПАУ относятся к стойким органическим загрязнителям, содержащих два или более бензольных колец, обладают высокой канцерогенной активностью, являясь повсеместными загрязнителями окружающей среды [5]. Нефтяные углеводороды (НУ) относятся к числу наиболее распространённых и опасных веществ, загрязняющих поверхностные воды. Отмечено, что в присутствии нефти, бензина и нефтепродуктов растворимость ПАУ в воде возрастает [6].

Исследуемая территория г. Шелехов находится под техногенным воздействием предприятий цветной металлургии, теплоэнергетики и автотранспорта. Вклад валовых выбросов ПАО «Русал Братск» в общее количество выбросов от стационарных источников в атмосферу г. Шелехов за последние 5 лет составляет 68–69%. В приоритетные загрязнители входят: азота диоксид, азота оксид, углерод (сажа), метан, серы диоксид, углерода оксид, бенз(а)пирен, формальдегид, керосин, бензин нефтяной малосернистый. В соответствии с ф. 2-ТП (воздух) [7] и данными Иркутскстата о количестве валовых выбросов вклад алюминиевого завода в г. Шелехов в валовые выбросы в атмосферный воздух бенз(а)пирена составляет 100%. В настоящее время на алюминиевом заводе главное внимание уделяется реконструкции и техническому совершенствованию предприятия на основе внедрения новой техники и технологии, современные системы общеобменной и локальной вентиляции. Для крупного предприятия эти задачи имеют особую актуальность, важнейшее значение среди которых придаётся улучшению условий труда и охране здоровья работающих и населения [8].

Цель работы - оценка качественного состава снеговых осадков и количественного содержания полиаренов, нефтяных углеводородов вблизи крупных стационарных источников и в черте промышленного города.

Для оценки уровня загрязнённости снегового покрова в г. Шелехов были выбраны 9 площадок на разном расстоянии от стационарных источников. В качестве фоновой выбрана площадка отбора – посёлок в лесной зоне Шелеховского района, не подвергающийся техногенному воздействию или испытывающий его в минимальной степени и расположенный за городской чертой с наветренной стороны относительно города.

Талую снеговую воду анализировали как осадок и фильтрат. При определении ПАУ отфильтрованную воду (200 мл) пропускали через картридж ТФЭ Bond Elute C18 (300 мг 3 мл), затем адсорбированные ПАУ с C18 элюировали дихлорметаном, который высушивали над Na_2SO_4 , затем упаривали в токе азота до сухого остатка, сухой остаток растворяли в гексане (1 мл). ПАУ в высушенном осадке дважды экстрагировали ацетоном (50 мл) в ультразвуке, экстракты объединяли, ацетон отгоняли на водяной бане при $80\text{ }^\circ\text{C}$ до 2–5 мл, затем упаривали в токе азота до сухого остатка, который растворяли в 1 мл гексана. Гексановые экстракты анализировали методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием на базе Agilent 7890A. Количественное определение осуществляли способом абсолютной градуировки по стандартным смесям ПАУ в гексане.

Анализ на содержание НУ проводится в жидкой фазе после экстракции нефтепродуктов, растворённых в воде, гексаном в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:4.128–98. Для представления характеристики химической нагрузки на исследуемой территории провели расчёт комплексного показателя по формуле $K = \sum (C_i/C_{fi})$, где C_i – содержание i -го вещества в снеговой пробе (твёрдая и жидкая фазы), C_{fi} – содержание i -го вещества в фоновой пробе снега. Качественно-количественная характеристика загрязнения дана в виде формул, включающих величину превышения фонового содержания ингредиентов.

На основе полученных данных была рассчитана суммарная канцерогенная активность ПАУ для исследуемых объектов.

Статистическую обработку проводили с применением программного обеспечения Jamovi (version 2.3). Сравнение качественных характеристик – по критерию χ^2 . Корреляцию рассчитывали с помощью коэффициентов Пирсона и Спирмана.

Уровни НУ варьировались от 0,04 до 0,98 мг/л. Наибольшие значения отмечались в точках отбора проб: микрорайон № 1 (0,28 мг/л), т. 7 (0,32 мг/л), Олха (0,35 мг/л) и проспект Metallургов (0,98 мг/л). Наименьшие концентрации НУ зарегистрированы в фоновой зоне – 0,04 мг/л (загородный посёлок Пионерск).

Максимальные содержания суммы ПАУ – 134,7 и 78 мкг/дм³ – обнаружены в снеговых пробах, отобранных в т. № 6 (пр-т Metallургов), т. № 7 (за алюминиевым и кремниевым заводом), находящихся под влиянием выбросов данных предприятий, а также «Ново-Иркутской ТЭЦ», расположенных с наветренной стороны.

Установлено, что в условиях урбанизированной среды составы жидкой и твёрдой фракций ПАУ статистически значимо различались ($\chi^2 = 56,2$ при 99-процентном критически значимом уровне 18,475, $p < 0,01$). Основные ингредиенты занимали в структуре: фенантрен – 32% в жидкой и 9% в твёрдой, флуорантен – 36,8 и 14%, пирен – 15,9 и 9,4%, хризен – 4,1 и 11,5%, бенз(б)флуорантен – 2,3 и 14,3%, бенз(к)флуорантен – 0,2 и 9,3%, бенз(а)пирен – 0,7 и 5,7%, индено(123-с,d)пирен – 0,4 и 8,23% соответственно. Состав твёрдой и жидкой фракций в фоновой точке отбора (загородный посёлок) также имел значимые различия ($\chi^2 = 51,6$; $p < 0,01$). При этом структура твёрдой ($\chi^2 = 11,652$; 95-процентный критический уровень 15,507; $p > 0,05$) и жидкой фракции ($\chi^2 = 14,216$; 95-процентный критический уровень 15,507; $p > 0,05$) в пробах снегового покрова урбанизированной территории и фона были однородными.

В качестве показателя присутствия канцерогенных ПАУ в природном объекте чаще всего определяют незамещённый индивидуальный углеводород бенз(а)пирен. Как правило, в объектах, где обнаруживается бенз(а)пирен, идентифицируются и другие ПАУ.

Выявлены сильные связи между концентрациями бенз(а)пирена и других полиаренов – фенантеном, флуорантеном, пиреном, хризеном, бенз(б)флуорантеном, индено(123-с,d)пиреном, бенз(а)антраценом, бенз(g,h,i)периленом $r_{xy} = 0,91–0,95$ ($p > 0,05$).

Канцерогенная активность ПАУ зависит от вклада Б(а)П в суммарное содержание соединений. Найдена статистически значимая прямая зависимость суммарной канцерогенной активности ПАУ от содержания Б(а)П с коэффициентом корреляции $r_{xy} = 0,95$ ($p < 0,05$).

Показана специфичность состава ПАУ. Установлено, что 5–6-ядерные ПАУ в больших количествах содержатся в пробах твёрдой фазы. Максимальные концентрации ПАУ и НУ выявлены в точках отбора проб, наиболее приближённых к стационарным источникам – предприятиям теплоэнергетики и цветной металлургии, которые выше фоновых значений в 37,1–64,1 и в 24,5–8 раз соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ariya P.A., Dastoor A., Nazarenko Y., Amyot M. Do snow and ice alter urban air quality? // *Atmos Environ.* – 2018. – V. 186. – P. 266–268.
2. Semi volatile organic compounds in the snow of Russian Arctic islands: Archipelago Novaya Zemlya / Lebedev A.T., Mazur D.M., Polyakova O.V.,

Kosyakov D.S., Kozhevnikov A.Y., Latkin T.B. [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2018. – V. 239. – P. 416–427.

3. Журба О.М., Алексеенко А.Н., Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В. Оценка содержания загрязнений в аккумулирующих природных средах в условиях техногенной нагрузки // *Гигиена и санитария*. – 2020. – Т. 99. – № 10. – С. 1049–1054.

4. Рапута В.Ф., Таловская А.В., Коковкин В.В., Языков Е.Г. Анализ данных наблюдений аэрозольного загрязнения снегового покрова в окрестностях Томска и Северска // *Оптика атмосферы и океана*. – 2011. – Т. 24. – № 1. – С. 74–78.

5. Exposure to atmospheric particulate matter-bound polycyclic aromatic hydrocarbons and their health effects: a review / Yang L., Zhang H., Zhang X., Xing W., Wang Y., Bai P. [et al.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2021. – V. 18. – N 4. – 2177.

6. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) present in ambient urban dust drive proinflammatory T cell and dendritic cell responses via the aryl hydrocarbon receptor (AHR) in vitro / O'Driscoll C.A., Gallo M.E., Hoffmann E.J., Fechner J.H., Schauer J.J., Bradfield C.A. [et al.] // *PLoS One*. – 2018. – V. 13. – N 12. – E0209690.

7. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2019 году». – Иркутск: ООО «Мегапринт», 2020 . – 314 с.

8. Гигиенические аспекты условий труда в современном производстве алюминия / Шаяхметов С. Ф., Мещакова Н.М., Лисецкая Л.Г., Меринов А.В., Журба О.М., Алексеенко А.Н. и др. // *Гигиена и санитария*. – 2018. – Т. 97. – № 10. – С. 899–904.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ В МАЛОМАСШТАБНЫХ СООБЩЕСТВАХ

**Берестнева О.Г.¹, Дашдорж З.², Куклина М.В.³, Тихомиров А.А.⁴,
Труфанов А.И.³**

¹ Томский политехнический университет, Томск, Россия

² Монгольский университет науки и технологий, Улан-Батор, Монголия

³ Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

⁴ Университет Инха, Инчхон, Республика Корея

troufan@gmail.com

Аннотация. Построена модель социального взаимодействия в сетях небольшого масштаба. Предлагаемая модель предусматривает: - рождение и гибель поколений узлов в слое родственных отношений; - образование случайных связей в слое, описывающем дружбу. Модель может быть полезна при оценках и планировании развития малонаселенных труднодоступных территорий.

Ключевые слова: малонаселенные территории, социальное взаимодействие, комплексные сети.

SOCIAL CONNECTION MODELLING FOR SMALL- SCALE COMMUNITIES

**Berestneva O.G¹, Dashdorj Z.², Kuklina M.V.³, Tikhomirov A.A.⁴,
Trufanov A.I.³,**

¹ Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

² Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia

³ National Research Technical University, Irkutsk, Russia

⁴ Inha University, Incheon, Republic of Korea

troufan@gmail.com

Summary. A model of social interactions in small- scale networks has been constructed. The proposed model envisages: - birth and death of generations of nodes in the layer of kinship relations; - formation of random connections in the layer describing friendship. The model can be useful in estimating and planning development processes of sparsely populated hard-to-reach territories.

Key words: sparsely populated territories, social interactions, complex networks.

Введение. В последние десятилетия основное внимание исследователей было приковано к крупномасштабным системам и моделирующим их сетям [1]. Безусловно, социальные сети и инструменты, их поддерживающие, могут включать в себя сотни миллионов узлов и миллиарды связей (мега-сети) [2]. Однако, следует отметить, что, зачастую, общий интерес экспертов, изучающих отдаленные и труднодоступные территории сосредоточен на социальных группах малочисленного коренного населения. Например, население каждой из четырех территорий, составляющих так называемый Саянский перекресток (Тоджинский кожуун, Республика Тыва, РФ; Тофалария, Иркутская область, РФ; Окинский район, Республика Бурятия, РФ; Цагааннуур и Ханх, Хубсугульский аймак, Монголия) составляет от 700 до 6000 жителей.

Модель. Моделирование социальных связей в сообществах с невеликим числом участников, представляющих не более 2-3 больших групп, каждая до 2500 (по классификации Р.Данбэра (R.I.Dunbar) [3], предполагает возможность тщательного и детального внимания к природе отношений и сопутствующей их стратификации. В настоящей работе предложена модель социальных связей, описываемых двухслойной комплексной сетью [4].

Первый - базовый слой представляет собой структуру родственных отношений акторов-узлов. В отличие от семейства известных моделей предпочтительного присоединения ВА (Barabasi-Albert) [5], основной фокус направлен на процессы рождения и гибели поколений узлов. Дополнительно к образованию родственных связей принимается во внимание вывод (миграция) отдельных узлов нового поколения за пределы данного сообщества. Реальными примерами из жизни социума является как отъезд жителя данной территории, так и возможный преждевременный летальный исход. Подобная сеть представляет собой структуру, состоящую из иерархических кластеров.

Второй – порождаемый слой - предполагает образование случайных связей, которые могут быть ассоциированы с дружескими контактами в социуме. Случайные связи не дублируют родственные, что приводит в агрегированной сети (суммирующей родственную и дружескую) замыкание триад в треугольники, увеличивая средний коэффициент кластеризации.

Основные результаты. В рамках разработанной модели были проведены множественные расчеты с коэффициентом деления поколений (числом наследников)- 2. Вероятность вывода узла из сети P1 (отъезд за пределы территории или преждевременная смерть) варьировалась в пределах 0÷0.5. На рисунке 1 представлены значения размеров сети в разных поколениях для двух значений P1.

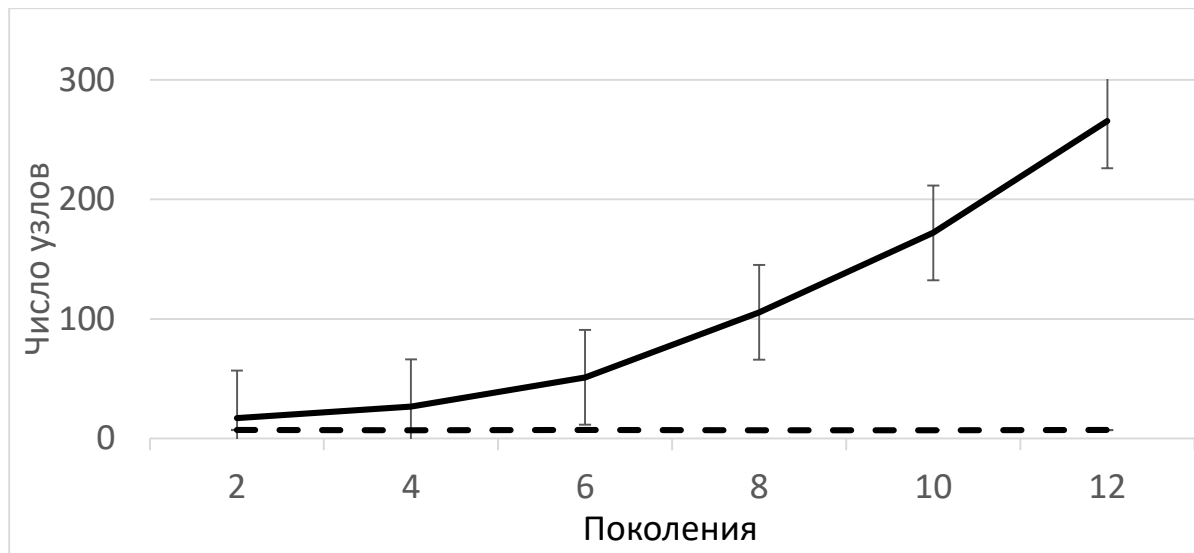


Рисунок 1. Рост числа узлов в различных поколениях . Сплошная линия - $P1=0.33$, штриховая – $P1=0.5$

На рисунке 2А приведена структура 12-го поколения одной из случайных реализаций сети родственных связей для значения $P1=0.45$ (Число узлов-52, число связей-76). Использована раскладка Fruchterman Reingold из набора плагинов инструмента Gephi 0.10.1 [6]. Рисунок 2В демонстрирует ту же реализацию, но с агрегированием случайных дружеских отношений – в отдельном поколении, вероятность генерации которых составляет 0.33, что находится в соответствии с положениями Р.Данбэра о 15 близких друзьях [7] (Число узлов по-прежнему -52, число связей – 116).

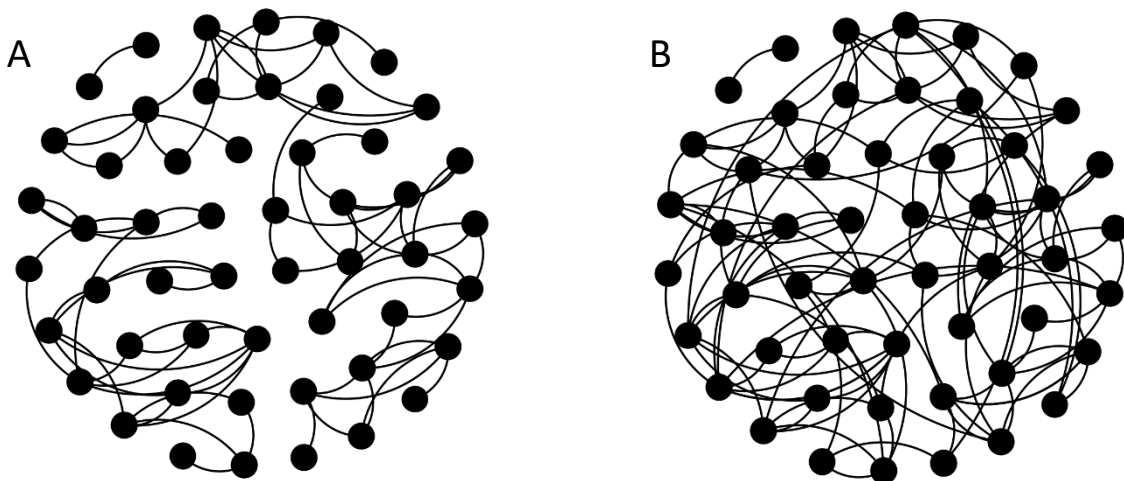


Рисунок 2. Пример реализации модели роста сети социальных связей в 12 поколениях $P1=0.45$ (А-без случайных связей, В – с образованием случайных связей с вероятностью 0.33)

Выводы. Предлагаемые алгоритмы сетевого конструирования – генерации поколений небольших и средних по численности групп (мезосообществ) включают в себя базовые процессы, наблюдаемые в реальном социуме. В отличие от классической модели предпочтительного присоединения для роста сети предлагаемая модель рассматривает процессы рождения и естественного ухода поколений узлов, сопутствующей генерации родственных связей, миграции узлов за пределы исследуемого пространства (территории), преждевременной их гибели, а также образования связей случайных. Важно, что предлагаемая модель качественно соответствует развитию социумов малочисленного коренного населения, сформированных на отдаленных и труднодоступных территориях. Можно полагать, что модель найдет свое применение при анализе проблем, оценках и планировании развития малонаселенных труднодоступных территорий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научного проекта № 20-57-44002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Large-Scale Complex Network Community Detection Combined with Local Search and Genetic Algorithm./ D. Lyu, B. Wang, W. Zhang // Applied Sciences. – 2020 . – V. 10(9). – P. 3126.
2. Analysis of Large-Scale Networks Using High Performance Technology (Vkontakte Case Study) / N. A. Kinash, A. A. Tikhomirov, A. V. Trufanov, O. Berestneva, A. Boukhanovsky, Z. Ashurova // Communications in Computer and Information Science . – 2015. – V. 535: Creativity in Intelligent Technologies and Data Science . – P. 531-541.
3. Neocortex size as constraint on group size in primates/ R.I. Dunbar // J. Human Evolution. – 1992. – V. 22. –P. 469–93.
4. Кружево единых сетей (как управлять миром)/М. Аминова , А. Россодивита , А.А. Тихомиров , А.И. Труфанов //Научные труды Вольного экономического общества России. –2011. –Т. 148. С. –190-207.
5. Networks with growth and preferential attachment: modelling and applications/ G. G. Piva, F. L. Ribeiro, A.S. Mata// Journal of Complex Networks . – 2021 – V. 9(1). – P. 1–23.

6

7. Dunbar R. I. How many friends does one person need?: Dunbars number and

o

G

h

p

h

i

e

v

h

h

u

**ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА
ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ
ЭЛЕМЕНТОВ В СНЕГОВОМ ПОКРОВЕ В РАЙОНЕ
РАСПОЛОЖЕНИЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
(Г. КАРАГАНДА, РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)**

Адилбаева Т.Е., Таловская А.В., Язиков Е.Г.

Томский политехнический университет, Томск, Россия

mega.adilbaeva@mail.ru

Аннотация. В статье проведены результаты статистической обработки результатов динамики уровня пылевой нагрузки и геохимических данных о составе твердого осадка снегового покрова в районе расположения теплоэлектростанции. Анализ содержания 28 химических элементов в пробах выполнялся методом инструментального нейтронно-активационного анализа и атомно-абсорбционной спектрометрией. Обработка результатов выполнена с использованием ПО «Statistica». В результате определены статистически достоверное снижение уровня пылевой нагрузки и концентрации ряда микроэлементов в пробах по мере удаления от ТЭЦ на расстоянии от 0,5 до 4,5 км. С помощью корреляционного, кластерного и факторного анализа в пробах из района расположения ТЭЦ выделены геохимические ассоциации и факторы их образования.

Ключевые слова: снеговой покров, химические элементы, техногенные образования, теплоэлектростанция, статистический метод анализа.

**APPLICATION OF STATISTICAL METHODS FOR
THE ANALYSIS OF ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL
MEASUREMENTS OF THE ELEMENT OF THE SNOW COVER
AROUND THERMAL POWER PLANT (KARAGANDA, REPUBLIC
OF KAZAKHSTAN)**

Adil'bayeva T.E., Talovskaya A.V., Yazikov E.G.

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

mega.adilbaeva@mail.ru

Summary. The study shows statistical processing of the results of the dynamics of the level of dust load and geochemical data on the composition of the particulate phase of snow cover, as a depositing medium, around the coal-fired thermal power plant. The analysis of the content of 28 chemical elements in the samples was measured by the instrumental neutron activation analysis and atomic absorption method. The results were processed using the "Statistica" software. The results showed a statistically significant decrease in the level of dust load and some trace element contents in the samples at a distance of 0.5 to 4.5 km from thermal power plant. Correlation, cluster and factor analysis makes it possible to determine geochemical associations and factors of their formation in the samples around thermal power plant.

Key words: snow cover, chemical elements, anthropogenic particles, thermal power plant, statistical method of analysis.

Введение. В течение долгого времени выбросы от производства электроэнергии также стали одним из основных движущих факторов серьезной проблемы загрязнения воздуха во многих странах [1]. На данный момент 83 % выбросов в г. Караганды приходится на теплоисточники, отапливаемые углем. Твердые частицы образованные в результате сжигания угля сами по себе и в комбинации с другими загрязнителями представляют очень серьезную угрозу для здоровья человека [2].

Снеговой покров обладает высокой сорбционной способностью и является носителем не только влажных, но и сухих выпадений, поэтому дает объективную оценку всех атмосферных загрязнений за зимний период.

В данной статье с помощью статистической обработки данных геохимических данных о составе твердого осадка снега в районе расположения теплоэлектростанции в г. Караганда.

Методика и методы. Планирование точек, отбор проб и пробоподготовку проводили по методике согласно работам [3-5]. Отбор и анализ проб снегового покрова в окрестностях ТЭЦ проводились с 2014 по 2017 гг., с 2020 по 2021 гг. Пробы были отобраны в 7 направлениях от ТЭЦ (северо-восточном, северо-западном, северном, восточном, южном, юго-восточном и юго-западном) на расстоянии 0,5; 0,7; 1,6; 2,2; 3,2 и 4,5 км от труб. Фоновая территория была выбрана на расстоянии 55-80 км от г. Караганда. Всего отобрано и подготовлено 101 проба снегового покрова за период мониторинга.

Элементный состав твердого осадка снега определяли в аккредитованных лабораториях Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» ТПУ (Томск). Инструментально нейтронно-активационным анализом определяли содержания 27 химических элементов в пробах на ядерном реакторе ТПУ. Hg измерена методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Обработка данных включала расчет эколого-геохимических показателей в соответствии с работами [3-5]. Полученные количественные данные обработаны с помощью программ Microsoft Excel 2019 и Statistica 8.0.

Результаты. Пылевая нагрузка в районе расположения ТЭЦ в период с 2014 по 2022 гг. варьирует от 26 до 1751 мг/(м²·сут.), при фоне 47 мг/(м²·сут.). За 2014-2022 гг. среднее значение пылевой нагрузки составляет 427 мг/(м²·сут.) и соответствует среднему и умеренно-опасному уровню загрязнения. Резкое уменьшение пылевой нагрузки определено с 2015 г. С 2015 по 2022 гг. статистически достоверное снижение пылевой нагрузки наблюдается от 1,5 до 5 раз (рис.1). Согласно главенствующему направлению ветра, зафиксировано уменьшение пылевой нагрузки по мере удаления от ТЭЦ в северо-восточном направлении. Максимальный уровень

пылевой нагрузки выявлен на расстоянии до 0,7 км, снижение наблюдается на расстоянии 1,6-4,5 км от 1,5 до 4 раз. Связано это, с влиянием открытого угольного склада, близко расположенного от точек мониторинга, процессами вымывания мелких твердых частиц ледяной крупой в трубе ТЭЦ. Установлены корреляционные связи между пылевой нагрузкой и температурным режимом в зимние сезоны.

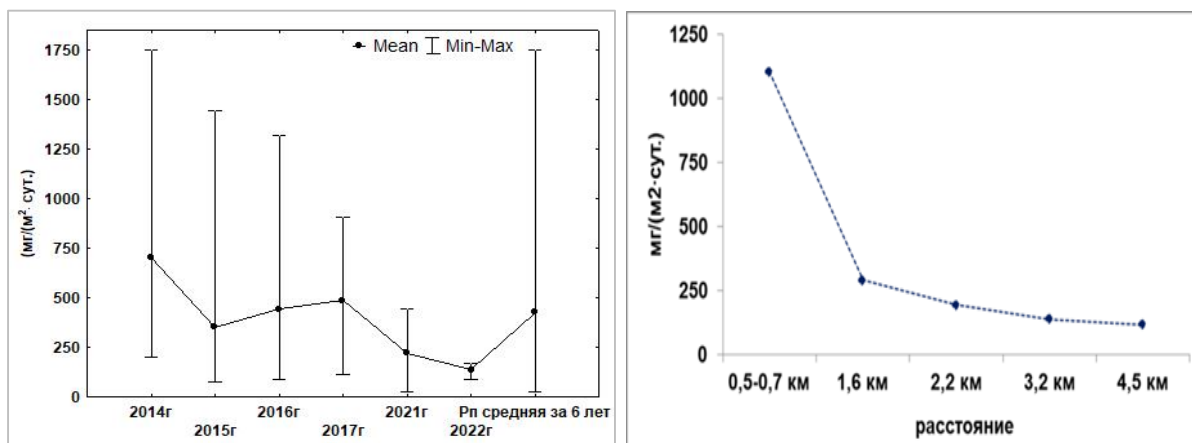


Рисунок 1. Пылевая нагрузка в районе расположения ТЭЦ по данным снеговой съемки (среднее за 2014-2022 гг.): а) динамика; б) северо-восточное направление

В период 2014 по 2022 гг. значения коэффициента концентрации (K_c) U, Hg, Ta, Zn, Na, Cr, Co, Sr, Rb, Cs, Sc, Ca, Fe, Nd, Ba в твердом осадке снега варьируют от 1,5 до 25 раз (табл.). Концентрация As, Ba, Br, Th и некоторых лантаноидов находится на уровне $K_c \leq 1,5$ в твердом осадке снега и статистически достоверно не изменяется по годам. Результаты Zс показали высокий и средний уровень загрязнения снегового покрова в 2014-2017 гг., который изменился на низкий в 2021-2022 гг. Статистически значимое снижение по мере удаления от ТЭЦ (0,5-4,5 км) определено для Na, Ca, Fe, Hg, Sb, Co, Cr, Sc, Cs (рис.2) с 2015 по 2022 гг.

Кластерный и корреляционный анализ позволил выделить 7 значимых геохимических ассоциаций (рис. 3а), которые объединяют элементы с наивысшими значениями меры сходства (парных коэффициентов корреляции Пирсона, r). Наиболее сильные корреляционные связи установлены для ассоциаций (среднее $r \sim 0,65 \dots 0,99$): Tb-Sm-Eu-Ce-La, Lu-Yb-Hf-Br, U-Ta-Nd-Ba, Cr-Co-Zn-Sb-As, Sr-Ca, Rb-Hg, Fe-Na.

По результатам факторного анализа, наибольший вклад в общую дисперсию (29,8 %) распределения содержания химических элементов в твердом осадке снега в районе расположения ТЭЦ дает первый фактор (рис.3б).

В фактор 1 образуют ассоциации элементы преимущественно урана, тория и редкоземельных элементов, некоторых тяжелых металлов, отражающие геохимические особенности углей [6] и золы уноса.

Таблица 1. Геохимический ряд по коэффициентам концентрации элементов в твердом осадке снега и суммарный показатель загрязнения (Z_c) в районе расположения теплоэлектростанции (2014-2022 гг.)

Года	Геохимический ряд	Z_c
2014	Hg>Sc>Na>Ca>Zn>Ta>Co>Cs>Sr>U>Cr>Rb>Fe>As>Sb>Ba>Br>La>Hf>Ce>Nd>Sm>Eu>Tb>Yb>Lu>Th	71
2015	Ta>U>Na>Sr>Hg>Co>Cr>Cs>Nd>Rb>Ca>Zn>Fe>As>Sb>Ba>Sc>Br>La>Hf>Ce>Sm>Eu>Tb>Yb>Lu>Th	77
2016	Hg>Cs>Rb>U>Sr>Na>Ca>Zn>Nd>Ta>Tb>Fe>Cr>Co>As>Sb>Ba>Sc>Br>La>Hf>Ce>Sm>Eu>Yb>Lu>Th	75
2021	U>Hg>Sr>Ta>Fe>Lu>Zn>Na>Ca>As>Sb>Co>Cr>Ba>Sc>Br>Rb>Cs>La>Hf>Ce>Nd>Sm>Eu>Yb>Th	56
2022	Ta>U>Hg>Lu>Na>Ca>Sr>Fe>As>Zn>Sb>Co>Cr>Ba>Sc>Br>Rb>Cs>La>Hf>Ce>Nd>Sm>Eu>Tb>Yb>Th	62
за 5 лет	U>Hg>Ta>Zn>Sr>Na>Rb>Cr>Sc>Ca>Cs>Co>Fe>Nd>Ba>Tb>Lu>Sm>Eu>Sb>La>Th>Ce>Hf>Yb>As>Br	58

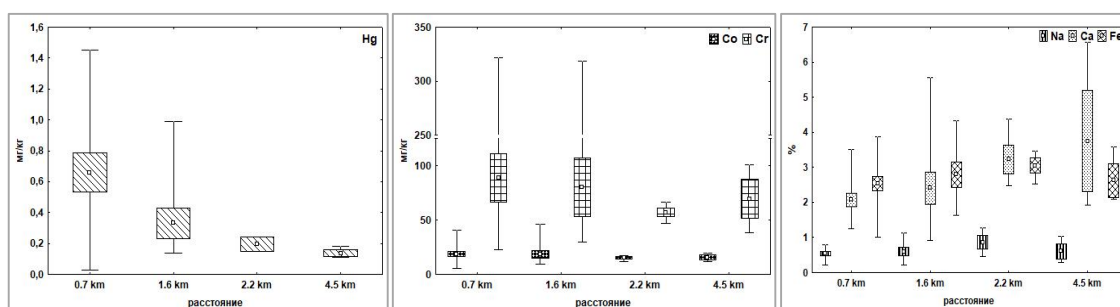


Рисунок 2. Распределение содержания элементов в твердом осадке снега в районе расположения теплоэлектростанции (среднее значение за 2014-2022 гг.)

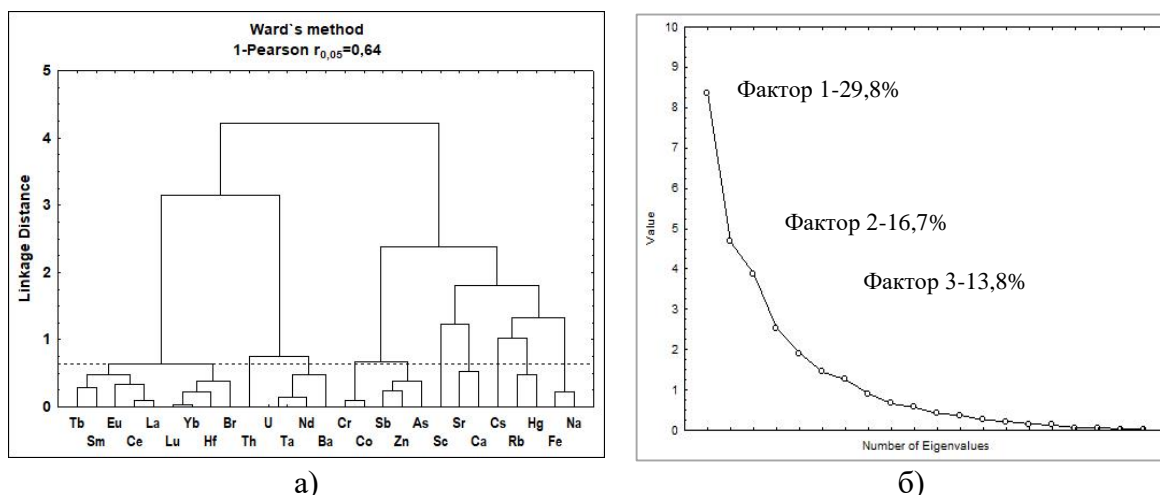


Рисунок 3. Результаты кластерного и факторного анализа состава твердого осадка снега в районе расположения теплоэлектростанции (среднее за 2014-2022 гг.): а) дендрограмма корреляционной матрицы геохимических ассоциаций элементов (метод Варда, $1-r_{0,05}=0,64$, $n=39$); б) кривая вкладов факторов в общую дисперсию распределения химических элементов

Во втором факторе в геохимическую ассоциацию входят в основном тяжелые металлы (Cr, Co, As, Sb, Zn), данный фактор состоит из 16,7 %

дисперсии. Известно, что при сжигании углей с золой уноса происходит вынос в атмосферу многих химических элементов, которые, как правило, связаны с органической составляющей твердого топлива [6]. Мы определили, что в пыли с электрофильтров содержание Na, As, Sc, Br, Cs, Th и лантаноидов в 2-17 раз выше содержания этих элементов в золе уноса. Дополнительно, в золе уноса содержание Zn и U выше в 2-3 раза, чем в пыли с электрофильтров. Третий фактор образован ассоциацией Zn, Nd, Ta, предположительно поступающие путем трансграничного переноса загрязняющих веществ от других источников и городов-спутников. Поступление Zn возможно также связано с влиянием транспортной развязки на расстоянии свыше 2 км от ТЭЦ, поскольку поступление Zn может происходить при истирании деталей автотранспорта [3].

Закключение. В твердом осадке снегового покрова в районе расположения ТЭЦ г. Караганда проанализирована динамика пылевой нагрузки и выделены геохимические ассоциации элементов, факторы их образования в твёрдом осадке снега с использованием эколого-геохимических подходов и методов многомерного статистического анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Three-year variations in criteria atmospheric pollutants and their relationship with rainwater chemistry in karst urban region, Southwest China./ J. Zeng, X. Ge, Q. Wu, S. Zhang// Atmosphere. – 2021. – V. 12. – P. 1073. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12081073>
2. The need for clean air: the way air pollution and climate change affect allergic rhinitis and asthma./ Eguiluz-Gracia, I., Mathioudakis, A.G., Bartel, S., Vijverberg, S.J., Fuertes, E., Comberiat, P., Hoffmann, B.// Allergy. – 2020. – V. 75 (9). – P. – 2170–2184.
3. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Сает, Б. А. Ревич, Е. П. Янин, Р. С. Смирнова, И. Л. Башаркевич, Т. Л. Онищенко, Л. Н. Павлова, Н. Я. Трефилова, А. И. Ачкасов, С. Ш. Саркисян. – Москва: Изд-во Недра, 1990.— 335 с.
4. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186 № 2932 83. М.: Госкомгидромет, 1991. — 693 с.
5. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. – Москва: ИМГРЭ, 1982. – 111 с.
6. Comments on the geochemistry of rare-earth elements (La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu) with examples from coals of north Asia (Siberia, Russian far East, North China, Mongolia, and Kazakhstan) / S. I. Arbuzov, S. S. Iljenok, A. M. Mazhibor, et al. // International Journal of Coal Geology. – 2019. – V. 206. – P. 106–120.

ЛАВИННАЯ ОПАСНОСТЬ ЮГА ПРИБАЙКАЛЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Гулевич В.П., Кобылкин Д.В.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

gulaval.risk@mail.ru

Аннотация. В связи с развитием внутреннего туризма, связанного с вовлечением все больших объектов рекреации необходимо детальное изучение опасных природных процессов. Особенно это актуально для горных областей, где геодинамические процессы протекают наиболее активно. Одним из самых опасных является сход лавин. В настоящее время одним из наиболее активно развивающихся видов туризма является зимний горный туризм. Данная работа посвящена анализу лавинной опасности в горных районах Прибайкалья.

Ключевые слова: Прибайкалье, снежные лавины, рекреация

AVALANCHE DANGER OF THE SOUTH OF THE BAIKAL REGION FOR THE DEVELOPMENT OF RECREATIONAL ACTIVITIES

Gulevich V.P., Kobylkin D.V.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS

gulaval.risk@mail.ru

Summary. In connection with the development of domestic tourism associated with the involvement of increasingly large recreational facilities, a detailed study of dangerous natural processes is necessary. This is especially true for mountainous areas, where geodynamic processes are most active. One of the most dangerous is avalanches. Currently, one of the most actively developing types of tourism is winter mountain tourism. This work is devoted to the analysis of avalanche danger in the mountainous regions of the Baikal region.

Key words: Baikal region, snow avalanches, recreation.

Рекреационная деятельность в хребтах Южного Прибайкалья - одно из перспективных направлений экономического развития Республики Бурятия и Иркутской области. Переориентирование ее на внутренний зимний туризм и спортивно-массовые мероприятия в удаленных и малозаселенных горных районах («бэккантри»), на необорудованных трассах, удаленных от системы лавинной безопасности и спасательной инфраструктуры, создает необходимость всесторонней оценки возможных рисков для потенциальных рекреантов. Наибольшее число среди них

составляют туристы (отдыхающие), любители фрирайда и хелиски, но постепенно возрастает количество снегоходчиков.

Наиболее перспективными районами развития зимних видов отдыха и спорта в Прибайкалье являются склоны хребтов Хамар-Дабана и Байкальского, обладающие значительными снеговыми запасами и благоприятными погодными условиями. Устойчивый снежный покров в изучаемых районах формируется в начале октября, а его исчезновение в середине-конце мая. Лавинообразование в этих районах начинается, как правило, через 10–12 дней после установления снежного покрова в многоснежных и через 40–50 дней и позднее в малоснежных зонах. В зависимости от снежности зимы первые обрушения снега фиксируются в последней декаде сентября–начале декабря, а последние отмечаются в конце мая–начале июня.

Максимальные высоты снежного покрова в пределах рассматриваемой части данных хребтов колеблются в интервале 1800–2000 м абс. Хамар-Дабан – самое увлажненное место в Прибайкалье с количеством осадков до 1300 мм в год. Высота снежного покрова варьирует от 1 до 3 м и более от года к году и в зависимости от экспозиции макросклонов. На рисунке 1 показана средняя из максимальных высота снежного покрова на исследуемом участке хребта Хамар-Дабан (долина р. Бол. Мамай).



Рисунок 1. Высота снежного покрова в районах развития зимнего туризма

В Байкальском хребте в исключительно многоснежные зимы (например, 1977–1978 г. и 1982–1983 г.) высота снежного покрова в пригребневых частях наветренных макросклонов в 2–2,5 раза превышала значения в среднеснежные годы – 3–5 метров. В связи с этим

продолжительность сезона катания на горных лыжах, сноубордах и снегоходов могла быть увеличена на месяц. В пределах рассматриваемых горных территорий Прибайкалья снежный покров залегает до 6-9 месяцев в году и лимитирует не только развитие природных процессов, но и различные виды человеческой деятельности [Гулевич, 1987].

Формирование неблагоприятных (снежные заносы, наледи и т.д.) и опасных природных явлений (снежные лавины, водоснежные потоки) приводит к существенным материальным потерям и гибели людей. Особое место среди них по масштабу распространения и интенсивности проявления занимают снежные лавины, которые существенно удорожают строительство транспортно-энергетических магистралей и рекреационное освоение горных районов. Снежный покров является важным ресурсом гидроэнергетики и сельского хозяйства, а также фактором образования опасных гидрологических явлений.

Режим схода снежных лавин зависит от экспозиции склонов, состояния и мощности снежного покрова, ветровой деятельности и других факторов. На наветренных макросклонах (северных – в Хамар-Дабане и северо-западных – в Байкальском хребте), отличающихся повышенной снежностью, сходит примерно равное количество лавин, вызванных выпадением сухого и мокрого снега, а также образующихся в период снеготаяния вследствие радиационных, адвективных оттепелей и выпадения дождя на снежный покров [Гулевич, Карбаинов, 1988]. Для макросклонов исследуемых хребтов южной и юго-восточной ориентации характерно преобладание лавин, формирующихся в результате снегопадов и общих метелей. Почти 70 % сходящих лавин имеют объемы менее 1 тыс. м³, около 20 % – 1–10 тыс. м³ и до 10 % – более 10 тыс. м³.

Во время проектирования и строительства трассы БАМ и сопутствующей инфраструктуры проводились детальные исследования лавинной опасности на перевалах. В бассейне реки Кунермы сухие лавины, обусловленные снегопадами, общими или низовыми метелями, составляют около 40% от общего числа всех обрушений за холодный период. Мокрые лавины, сход которых вызывают осадки в виде мокрого снега или дождя, радиационные и адвективные оттепели, составляют здесь более 60%. На противоположном макросклоне хребта (бассейн реки Гоуджokit) в течение всей зимы доминируют лавины, связанные со снегопадами – около 80%

В 1980, 1985, 1986 годах в бассейне р. Кунермы крупными лавинами неоднократно засыпались автомобильная и железная дороги, разрушались опоры ЛЭП и контактной сети, возникала реальная угроза крушения пассажирских и грузовых поездов. Отмечались здесь и случаи массового схода крупных по размерам лавин, как например, 6-7 апреля 1986 года. Из 60 зафиксированных лавин объемы 14 превысили 50 тыс. м³, а двух – более 500 тыс. м³ [1].

За последние 50 лет только зафиксированных случаев попадания людей в лавины в горах Прибайкалья было более 30 (реальное число случаев больше, поскольку система обязательной фиксации лавинных происшествий в нашей стране отсутствует). Из более чем 120 погребенных снегом 70 человек погибло, а 3 скончались от полученных травм позднее, 14 человек получили легкие травмы и остались живы. 70% ставшихся в живых были обнаружены и извлечены из снега участниками происшествий, остальным удалось выбраться самостоятельно. Статистика совершенно определенно указывает на то, что в удаленных от крупных населенных пунктов горных районах «спасение утопающих...» в основном становится делом рук «...саших утопающих» Существует несколько причин, по которым спасательные команды обычно исполняют роль «похоронных»:

- позднее сообщение о лавинном происшествии;
- неумелые действия участников бедствующих групп;
- удаленность мест базирования спасательных формирований от районов проведения спортивно-массовых мероприятий;
- трудности оперативной доставки спасателей в зону бедствия;
- не применение эффективных методов поиска пострадавших в лавинах (с помощью обученных собак, лавинных датчиков и других приборов).

Наиболее посещаемым районом Прибайкалья является хребет Хамар-Дабан. Следует напомнить, что самая крупная из лавинных катастроф с горными туристами произошла здесь 3 мая 1985 года. При спуске с пика Бабха группа из 19 студентов Иркутского педагогического института вызвала лавину, под которой были погребены 18 из них. Один из участников, не попавший в лавину, сумел отыскать в лавинных отложениях оставшуюся в живых студентку, оказать ей помощь и уйти за спасателями. В поисковых работах, продолжавшихся 10 дней, участвовало более 100 общественных (добровольных) спасателей. Путем зондирования и рытья траншей им удалось отыскать 16 человек, тело последнего из погибших вытаяло в июле месяце [3].

За последние двадцать пять зимних сезонов (с 1998 по 2023 год) только долину р. Большой Мамай (хребет Хамар-Дабан) ежегодное число рекреантов превысило 20000 человек. За этот период отмечены 22 случая попадания экстремалов в снежные лавины, из них погибли 6 человек – 2 снегоходчика и 4 горнолыжника, из которых три любителя фрирайда и хелиски были из Франции и Швейцарии.

Любители зимнего отдыха и спорта заметно реже посещают район Байкальского хребта, хотя транспортная составляющая имеет более высокий уровень развития – автомобильная дорога и Байкало-Амурская железнодорожная магистраль. С момента начала ее строительства до настоящего времени было отмечено 3 случая попадания экстремалов в лавины – в марте 1975 года погибли 2 горнолыжника и марте 2012 года в

лавины попал снегоходчик (был обнаружен и откопан живым участниками группы).

Для обеспечения безопасного проведения спортивно-массовых мероприятий и туристских путешествий в горах региона следует:

1) составить крупномасштабные карты распространения лавиноопасных участков для районов, наиболее часто посещаемых любителями зимних видов спорта и отдыха;

2) организовать обучение лиц, по тем или иным причинам посещающих горные районы в зимнее время, основам лавинной безопасности;

3) в периоды резкого усиления лавинной активности ограничивать посещение лавиноопасных районов для неподготовленных групп и населения;

4) выдвигать в районы проведения спортивно-массовых мероприятий группы спасателей для осуществления профилактических и оперативных поисково-спасательных работ;

5) подготовить кинологические расчеты и укомплектовать спасательные формирования лавинными зондами и лопатами, радиомаяками и другими техническими средствами для поиска людей в снегу;

6) определить порядок оперативной доставки спасательных групп в удаленные районы бедствия на вертолетах.

С появлением новых средств получения информации о лавинах, таких как беспилотные летательные аппараты, логгеры, автоматические онлайн метеостанции открывается широкий круг возможностей для изучения лавинной опасности и предотвращения ее негативного воздействия.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы (№ госрегистрации темы АААА-А21-121012190059-5)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулевич В.П. Основные итоги изучения снежного покрова Байкальского хребта для оценки лавинной опасности западного БАДЖ // БАМ. Изучение и охрана природ. среды. Экспресс-информация. 1987. – Вып. 1. – С.10-16.
2. Гулевич В.П., Карбаинов Ю.М. О повторяемости крупных лавин в Южном Прибайкалье // Растительность хребта Хамар-Дабан. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 43–47.
3. Гулевич В.П. Снежный покров и лавинная опасность Саяно-Байкальской горной системы: Автореф. дис... кандидата географ. наук, – Иркутск, 1990. – 21с.
4. Гулевич В.П. Возможности поиска и спасения погребенных в лавинах поисково-спасательными формированиями МЧС России // IV Международная конференция «Лавины и смежные вопросы»: Тезисы докладов ОАО «Апатит». Кировск.: Апатит-Медиа. – 2011. – С.45-46.

РЕКРЕАЦИОННО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗЕРА ХУБСУГУЛ (МОНГОЛИЯ)

Кобылкин Д.В.¹, Мядзелец А.В.¹, Куклина М.В.²,
Хадбаатар С.³, Труфанов А.И.²

¹Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

²Иркутский национальный исследовательский технический университет

³Монгольский государственный университет образования

agrembrandt@inbox.ru

Аннотация. Рекреационные ресурсы озера Хубсугул и его побережья в настоящее время активно осваиваются. Приграничное положение озера открывает широкие возможности для развития международного туризма. Активное строительство объектов туристической инфраструктуры требует пристального внимания со стороны исследования опасных геоморфологических процессов. Это обусловлено высокой геодинамической активностью территории. Рельеф сам по себе также является рекреационным объектом как с эстетической, так и рекреационной точки зрения. В данной работе сделана попытка провести рекреационно-геоморфологическое районирование побережья озера Хубсугул.

Ключевые слова: озеро Хубсугул, побережье, рекреационно-геоморфологический потенциал

RECREATIONAL-GEOMORPHOLOGICAL POTENTIAL OF THE COAST OF LAKE KHUBSUGUL (MONGOLIA)

Kobylkin D.V.¹, Miadzelets A.V.¹, Kuklina M.V.²,
Khadbaatar S.³, Trufanov A.I.²

¹V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS

²Irkutsk National Research Technical University

³Mongolian National University of Education

agrembrandt@inbox.ru

Summary. Recreational resources of Lake Khubsugul and its coast are currently being actively developed. The border position of the lake opens up wide opportunities for the development of international tourism. Active construction of tourist infrastructure facilities requires close attention from the study of dangerous geomorphological processes. This is due to the high geodynamic activity of the territory. The relief itself is also a recreational object both from an aesthetic and recreational point of view. In this paper, an attempt is made to conduct a recreational-geomorphological zoning of the coast of Lake Khubsugul.

Key words: Lake Khubsugul, coast, recreational and geomorphological potential.

Расположенное в центре Евразийского континента озеро Хубсугул обладает уникальными рекреационными ресурсами. Разнообразный рельеф, растительность, животный мир, образ жизни местного населения, во многом сохранившего традиционный уклад, позволяют туристу окунуться в незабываемый мир Азии. Число туристов постоянно растет. В 2012 г. Хубсугульский аймак посетили 6-7 тыс. иностранных туристов и более 20 тыс. монгольских (Выркин и др. 2012), а в 2021 г. национальный парк посетили 18475 иностранных и 107915 монгольских туристов, число туристических баз на побережье озера составило 98 (данные управления природопользования и туризма Хувсгел аймака). В целом ожидается рост посещаемости туристами. Согласно утвержденному генеральному плану развития сомона (поселения) Ханх на берегу озера Хубсугул предусмотрено развитие зоны экотуризма у монголо-российской границы. Неуклонный рост туристического потока приводит к прессингу на естественные природные экосистемы, в связи с этим озеро Хубсугул включили во всемирную сеть биосферных заповедников ЮНЕСКО.

В рамках данной работы мы рассматриваем рекреационно-геоморфологический потенциал в двух аспектах. Первый связан с геоморфологическими рисками для развития туристической инфраструктуры, второй подразумевает рельеф как собственно рекреационный ресурс.

Побережье озера в настоящее время становится предметом активного рекреационного освоения, в связи с этим массовое строительство турбаз, кемпингов, инфраструктуры развитие дорог требует значительного внимания с точки зрения опасных инженерно-геологических процессов. Расположенное на территории характеризующейся активной геодинамикой характеризующейся высочайшими показателями сейсмичности, интенсивностью и широким набором опасных экзогенных процессов. Активизация последних обусловлена и изменением климата, по оценке МГЭИК в горных районах Центральной Азии оно протекает более интенсивно чем на равнинах. Данная работа посвящена изучению влияния опасных экзогенных процессов на развитие инфраструктуры побережья оз. Хубсугул.

Сложное геоморфологическое строение побережья озера Хубсугул, большие перепады высот, наличие многолетней мерзлоты обуславливает широкий спектр опасных процессов при определенных условиях, приводящих к катастрофическим последствиям. Нахождение территории в пределах байкальской рифтовой зоны определяет высокую сейсмичность с энергетическим классом землетрясений до 13 и балльностью более 9 [1].

Наибольшие площади туристической застройки тяготеют к равнинным участкам побережья, характеризующимся опасностью затопления, подтопления, наледообразования, активизацией мерзлотных процессов плоскостной, линейной эрозией, абразией, дефляцией. Наиболее благоприятные условия для пастбищ сосредоточены в устьевых широких частях долин рек.

Западное побережье характеризуется высочайшей степенью селевой опасности при обильных летних осадках. В районах, сложенных

карбонатными породами развиты долины – сайры – по которым в многоводные годы сходят селевые потоки [2]. В 1971 г. по долине р. Ольхон-Сайр, в результате катастрофических ливней прошел мощный селевой поток, отложения которого в истоке р. Эгийн-Гол создали плотину. В результате уровень озера Хубсугул поднялся на 3,92 м над нулем графика гидропоста Хатгал, затопив низкие участки побережья [3].

Изменение уровня водоемов приводит к активизации абразионно-аккумулятивных процессов. А.А. Рогозин выделил 6 типов берегов оз. Хубсугул [4] – структурно-абразионные, денудационно-абразионные, абразионные, абразионные высокие, абразионно-аккумулятивные, аккумулятивные. Наибольшие по протяженности на северной половине озера абразионные берега, на южной – абразионно-аккумулятивные и аккумулятивные. При повышении уровня озера происходит перемещение активной волновой деятельности в глубь суши в результате чего нарушается устойчивость берегов, что в свою очередь приводит к отступлению бровки берегового уступа. На низких берегах в периоды с высоким уровнем в результате волновой деятельности возникает береговой вал. Повышение уровня приводит также к затоплению и разрушению пляжей.

Озеро Хубсугул находится в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты [4]. В этой связи прибрежная зона находится под влиянием мерзлотных процессов (солюфлюкция, пучение, термокарст), оказывающих важное значение для формирования ее рельефа. Учет особенностей развития криолитозоны – одна из приоритетных задач при планировании нового строительства.

Определенное место в структуре экзогенных процессов занимают эоловые [5]. Основное распространение связанных с ними форм (береговые дюны, котловины выдувания и др.) приурочено к восточному побережью в основном в устьевых частях относительно широких речных долин. Их активизация связана с чрезмерным выпасом скота, избыточной рекреационной нагрузкой и развитием стихийной автодорожной сети (многодорожие).

В основе паритета между рекреационным использованием и сохранением ландшафтов должна лежать комплексная объективная оценка потенциала рекреационного развития с учетом особенностей различных компонентов геосистем, востребованности посещения и ряда социально-экономических характеристик, учитывающих доступность и освоенность территории. Значительную роль здесь играет рельеф как потенциал и как ресурс, показывающий комплексную функциональную пригодность геоморфологического пространства для рекреационных целей [6], включая такие характеристики как эстетическая привлекательность, историко-культурная значимость, уникальность, и одновременно его функциональную значимость для устойчивости геосистем и их компонентов к воздействию антропогенного фактора.

В рамках данной работы было проведено районирование рекреационно-геоморфологического потенциала территории по разработанной методике [7]. В качестве основы послужила ранее составленная геоморфологическая карта [1].

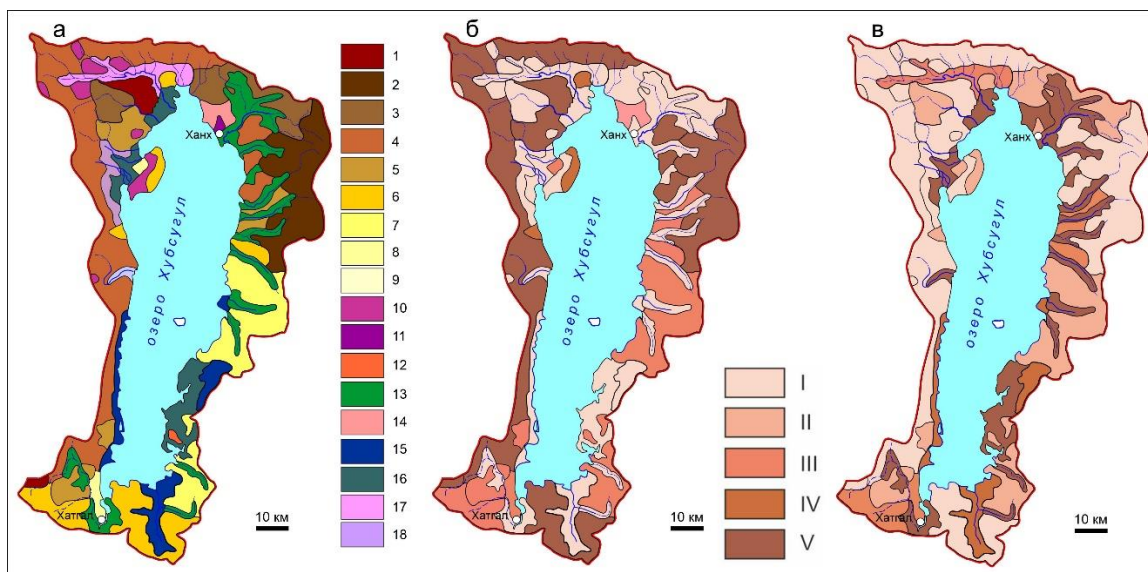


Рисунок 1. Рекреационно-геоморфологический потенциал побережья озера Хубсугул: а – геоморфологическая карта (*Высокогорье*: 1 - хребты альпинотипные, резкорасчлененные с крутыми склонами, 2 - хребты резкорасчлененные с фрагментами поверхностей выравнивания и следами древнего оледенения, 3 - хребты резкорасчлененные островершинные с крутыми склонами и следами древнего оледенения, 4 - Хребты резкорасчлененные островершинные с крутыми склонами. *Среднегорье*: 5 - хребты резкорасчлененные, островершинные с крутыми склонами, 6 - Хребты умереннорасчлененные, со склонами средней крутизны, 7 - хребты слаборасчлененные, со склонами средней крутизны. *Низкогорье*: 8 - хребты умеренно расчлененные со склонами средней крутизны 9 - хребты слабо расчлененные, с пологими склонами. *Вулканический рельеф*: 10 - плато лавовые водораздельные, 11 - плато лавовые долинные. *Эрозионно-денудационный рельеф*: 12 - низкогорье останцовое. *Денудационно-аккумулятивный рельеф*: 13 - аллювиальные равнины днищ и пойм долин, низких террас, 14 - делювиально-пролювиальные пологонаклонные равнины, 15 - озерно-аллювиально-пролювиальные наклонные равнины, 16 - озерно - аллювиально плоские равнины, 17 - ледниковые равнины, 17 - озерно-ледниковые плоские равнины и мелкие прогибы); рекреационно-геоморфологический потенциал для активного (а) и стационарного (б) туризма

Рекреационный потенциал рельефа учитывал и оценивался по балльной шкале в зависимости от потребностей рекреантов. Они учитывали виды туризма, освоенность территории, развитость рекреационной и сопутствующей инфраструктуры. Например, стационарные виды рекреационной деятельности требуют наличие развитой сети дорог с покрытием, благоустроенных домов отдыха, экскурсионных, визитно-информационных центров и т.д. В свою очередь, активным видам туризма достаточно наличия базовой инфраструктуры в виде основной дороги до места назначения, мест для палаточного кемпинга, относительной близости любого пункта со средствами связи для оказания первой помощи. Всё это дополняло предварительную матрицу по соответствию особенностей рельефа для активного и стационарного вида туризма. Баллы распределены от очень низкого (I) до очень высокого (V).

На основе выполненных оценок показано, что для рекреационных целей наиболее благоприятным с точки зрения развития активных видов отдыха являются территории с резкорасчлененной, с большими перепадами высот поверхностью. Контрастность рельефа при этом не зависит от абсолютной высоты – это уникальная особенность побережья озера, связанная с активным рифтогенезом и геологической обнаженностью территории. Наличие больших по протяженности обрывистых и скалистых берегов и останцов, карстовых пещер создают широкие возможности для развития альпинизма и спелеотуризма.

Стационарные виды рекреации закономерно тяготеют к районам с выположенным рельефом с низким эрозионным потенциалом. Наиболее благоприятна для развития данного вида рекреации береговая зона с песчано-галечниковыми пляжами и косами.

Таким образом проведенное исследование показало, что оценка рекреационно-геоморфологического потенциала территории должна лечь в основу создания специальной социальной рекреационной инфраструктуры и планирования познавательных и образовательных экскурсионных маршрутов. Рекреационно-геоморфологический потенциал является частью общего природного, экологического и культурно-исторического потенциала территории. Он может использоваться в различных целях для активного и стационарного (пассивного), экологического, образовательного, научного туризма.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научного проекта № 20-57-44002 «Междисциплинарная сетевая платформа моделирования социально-экономических и экологических процессов на трансграничных территориях РФ и Монголии с ограниченной транспортной доступностью»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выркин В. Б., Белозерцева И. А., Энхтайван Д. Ландшафты Прихубсугулья: современное состояние и рациональное использование / Отв. ред. В. М. Плюснин, Д. Доржготов. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН. – 2013. – 107 с.
2. Геоморфология Монгольской Народной Республики / Под ред. Н. А. Флоренсова, С. С. Коржуева. – М.: Наука. – 1982. – 259 с.
3. Атлас озера Хубсугул. Монгольская Народная Республика. – М.: ГУГК. – 1989. – 119 с.
4. Рогозин А. А. Береговая зона Байкала и Хубсугула: Морфология, динамика и история развития / Под ред. Л. Н. Ивановского. – Новосибирск: Наука. – 1993. – 168 с.
5. Vladimirov I.N., Vyrkin V.B., Kobylkin D.V., Sofronov A.P. Current dynamics of aeolian processes in the mountain-basin relief of Russia and Mongolia (Lake Baikal basin) // January 2021. – IOP Conference Series Earth and Environmental Science 629(1):012086 DOI:10.1088/1755-1315/629/1/012086.
6. Бредихин А.В. Рекреационно-геоморфологические системы. – Смоленск: Ойкумена, 2010. – 324 с.
7. Кобылкин Д.В., Мядзелец А.В. Рекреационно-геоморфологический потенциал западного побережья озера Байкал // География и природные ресурсы. – 2020. – Т. 41. – № S5 (164). – С. 79-84.

ПОВСЕДНЕВНЫЕ ПРАКТИКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СНЕГА И ЛЬДА

Куклина М.В.¹, Хадбаатар С.², Филиппова В.В.³, Саввинова А.Н.³,
Федорова А.С.³

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия,
Монгольский национальный педагогический университет,
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,

к

и

Аннотация. Холод - один из главных факторов, к которому приходится адаптироваться человеку, проживающему в холодных регионах. Баланс тепла и холода свидетельствует о проблемах устойчивости в социально-экологических системах на различных уровнях, таких как процессы изменения климата, устойчивое потребление, развитие инфраструктуры и справедливая экономика, намеченная Целями устойчивого развития ООН. Текущие глобальные процессы, от изменения климата до пандемии COVID-19, демонстрируют необходимость коллективных совместных усилий разных стран, регионов и людей. Целью данного исследования являлось сделать шаги к улучшению целостного понимания и представления прошлого, настоящего и будущего баланса тепла и холода в сообществах на территориях проживания коренных малочисленных народов Севера через повседневные практики использования снега и льда. Территориями исследования являлись: Тоджинский кожуун Республики Тыва, Оймяконский улус Республики Саха (Якутия), сомоны Ханх и Цагааннур (Хубсугульский аймак Монголии), Полевые исследования проводились в августе 2021, июле 2022 в Тоджинском кожууне, в июле 2022 в Оймяконском улусе, в апреле 2022 года в сомоне Ханх, в июне 2022 и в апреле 2023 в сомоне Цаганнуур, в феврале 2023 года в Тофаларии.

Ключевые слова: коренные малочисленные народы Севера, баланс тепла и холода, лед, снег.

DAILY PRACTICES USING SNOW AND ICE

Kuklina M.V.¹, Khadbaatar S.², Filippova V.V.³, Savvinova A.N.³,
Fedorova A.S.³

¹ National Research Technical University, Irkutsk, Russia

² Mongolian National University of Education

³ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk

kuklina-kmv@yandex.ru

Summary. Cold is one of the main factors that a person living in cold regions has to adapt to. The balance of heat and cold is indicative of sustainability issues in social-ecological systems at various levels, such as climate change processes, sustainable consumption, infrastructure

development, and a fair economy as outlined by the UN Sustainable Development Goals. Current global processes, from climate change to the COVID-19 pandemic, demonstrate the need for collective joint efforts of different countries, regions and people. The purpose of this study was to take steps towards improving a holistic understanding and representation of the past, present and future balance of heat and cold in communities in the territories inhabited by the indigenous peoples of the North through the daily practices of using snow and ice. The study areas were: Todzhinsky kozhuun of the Republic of Tyva, Oymyakonsky ulus of the Republic of Sakha (Yakutia), Khankh and Tsagaannur soums (Khubsugul aimag of Mongolia), Field studies were carried out in August 2021, July 2022 in Todzhinsky kozhuun, in July 2022 in Oymyakonsky ulus, in April 2022 years in Khankh somon, in June 2022 and in April 2023 in Tsagaannur somon, in February 2023 in Tofalaria.

Key words: indigenous peoples of the North, balance of heat and cold, ice, snow.

Баланс тепла и холода свидетельствует о многих процессах в социально-экологических системах разного масштаба. В глобальном масштабе на него влияют изменение климата с одновременным потеплением температуры поверхности Земли, сокращением холодного вещества и связанными с этим сложными и динамичными социальными и культурными проблемами [1]. В региональном и местном масштабах тепловое загрязнение, создаваемое развитием инфраструктуры и урбанизацией, усиливает выбросы парниковых газов и способствует возникновению городских тепловых островов [2]. Наконец, на бытовом и индивидуальном уровне каждый стремится к достижению и сохранению комфортного уровня тепла для жизни. Хотя каждый человек и не человек имеют свои собственные следы, способствующие изменению климата, масштабы воздействия различаются, и петля обратной связи может больше затронуть тех, кто оставляет меньше следов [3]. Все эти вопросы нацелены на цели устойчивого развития ООН, такие как цель 13 по борьбе с изменением климата, цель 11 по устойчивым городам и общинам и цель 9 по доступной и чистой энергии.

В настоящий момент ученые используют междисциплинарные методы для изучения изменения климата. Они также объединяют усилия для преобразований в области устойчивого развития, которые включают изменения существующих форм использования ресурсов, средств к существованию, культур и систем ценностей. В частности, климатическое искусство стало важной частью экологического движения, где наряду с художественной литературой об изменении климата может вдохновить больше художественных жанров [4]. Однако эти работы остаются в рамках антропоцентрической точки зрения, в то время как методологии и эпистемологии коренных народов недооцениваются [5].

Между тем, местные и коренные знания признаны основой устойчивого развития с учетом местных особенностей (ЮНЕСКО 2020). Адаптация к экстремальным климатическим условиям требовала, чтобы люди стали очень чувствительны к изменениям природы, что иногда

достигает уровня ощущения земной боли [6,7,8], и пробуждает в людях творчество и усилия [9]. Кроме того, неформальные сети, местные знания и практики взаимоотношений человека и природы образуют альтернативные площадки для пересмотра путей устойчивости для сохранения наследия [10], урбанизации [11], мобильности [12].

В нашем исследовании мы рассмотрели повседневные практики использования снега и льда на территориях проживания коренных малочисленных народов Севера: тофаларов (Нижнеудинский район Иркутской области), тувинцев-тоджинцев (Тоджинский кожуун Республики Тыва), эвенков (Оймяконский район Республики Саха), духа (цаатанов) (Хубсугульский аймак Монголии).

Нами были выявлены повседневные практики использования снега, льда и наледи на исследуемых территориях. Так духа (цаатаны) размещают свои палатки при переселении на зимнее стойбище там, где есть достаточное количество снега. То же самое делают и оленеводы тувинцы-тоджинцы. Поскольку зимой они используют талый снег для питья в отсутствие других источников воды. Лед используется для питья в весеннее время года на всех территориях исследования, когда вода в реках и водоёмах еще недостаточно чистая для употребления.

Охотники на исследуемых территориях оставляют туши добытых животных в наледи летом, чтобы они не испортились и через некоторое время возвращаются за ней.

В Монголии озеро Хубсугул считается священным. Перед перемещением по льду на автомобиле через озеро местные жители обязательно читают молитву и совершают обряд поклонения духам озера.

В Якутии в виду продолжительности зимнего периода важное значение имеют ледовые дороги, так называемые автозимники, которые прокладывают по замерзшим руслам рек.

Длительный зимний период, определяет также тип традиционного хозяйствования, бытовую культуру и мировоззрение этносов, проживающих в холодных регионах. В Оймяконском улусе, как и во многих районах Якутии лед хранится в специальных кладовых – булусах для его использования для питья в теплое время года. Условия ведения традиционных видов хозяйственной деятельности народов Якутии – скотоводство, коневодство, оленеводство, охота и рыболовство, практикуемые местным населением, были адаптированы к условиям суровой зимы, которая длится девять месяцев. Проживая в экстремальных природно-климатических условиях, якуты, вывели прекрасно адаптированную к местным холодным условиям якутскую породу скота и якутскую породу лошади. В повседневной жизни, когда формируется ледостав на озерах и реках практикуются зимние виды рыбалки, имеющие свои типичные особенности. Например, «мунха» - массовый зимний подледный вылов карася неводом, «куйуур» - необычная и

древнейшая ловля карася и гольяна из-под льда, которая нигде кроме Якутии не встречается.

На сегодня холод, снег и лед - это уже узнаваемый туристический бренд Республики Саха (Якутия). Большинство мероприятий, ассоциируемых со снегом, льдом и холодом связаны с Оймяконом, а бренд «Оймякон -Полюс Холода» имеет мировую известность. С 2001 года в с. Томтор ежегодно проводится фестиваль «Полюс Холода», а с 2011 г. в г. Якутске организуется фестиваль «Зима начинается с Якутии», где якутский властелин холода Чысхаан передает российскому Деду Морозу и Санта Клаусу символ холода. Также, холод используется в практике проведения экстремальных спортивных мероприятий – например, ежегодно с 2019 г. в с. Оймякон проводится международный экстремальный зимний марафонский пробег «Полюс Холода», который привлекает участников из многих стран и регионов РФ. Повышают интерес туристов к самому холодному обитаемому месту в мире также: традиционный ралли-рейд «Путешествие на Полюс Холода», международный проект под брендовым названием «Искатели холода», фестиваль альпинизма и туризма «Полюс Холода» и др.

Традиционная местная кухня также использует холод в качестве хранения и приготовления пищи [13], что позволяет туристам ознакомиться с культурой и образом жизни коренных народов Якутии через национальные блюда. Так, в республике в феврале 2023 г. открылся Арктический центр строганины, где в обработке и приготовлении пищи используются отрицательные температуры [14].

Здесь мы описали несколько повседневных практик использования снега и льда на исследуемых территориях. Необходимы более детальные изучения практик и поведения коренных жителей поскольку их опыт и наблюдения крайне важны при изучении современных изменений климата.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научного проекта № 20-57-44002 в части сбора информации в Тоджинском кожууне и Хубсугульском аймаке и за счет гранта Российского научного фонда РФ №21-17-00250 «Межрегиональные и внутрирегиональные коммуникации коренных малочисленных народов Севера в условиях глобальных вызовов: история и современность» в части сбора информации по Оймяконскому улусу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hulme, M. (2009). Why We Disagree about Climate Change: Understanding Controversy, Inaction and Opportunity. Cambridge University Press.
2. Laruelle, M., Esau, I., Miles, M., Miles, V., Kurchatova, A. N., Petrov, S. A., Soromotin, A., Varentsov, M., & Konstantinov, P. (2019). Arctic cities as an

anthropogenic object: A preliminary approach through urban heat islands. *The Polar Journal*, 9(2), 402–423

3. Feenberg, A. (2005). Critical Theory of Technology: An Overview. *Tailoring Biotechnologies*, 1(1), 47-64.

4. Joy, F. (2018). *Sámi Shamanism, Cosmology and Art as Systems of Embedded Knowledge*. Acta Universitatis Lapponiensis 367. Rovaniemi: University of Lapland.

5. Siragusa, L. (2017). *Promoting Heritage Language in Northwest Russia*. London and New York: Routledge.

6. Stammler-Gossmann, A. (2017). *World of cow: Human-animal adaptations to the Arctic environment* (documentary film, DVD)

7. Vinokurova, U.A., Stammler-Gossmann, A., Gotovtsev, S.P., Romanova, O.D. (2019). Lyudi na merzlotnykh landshaftakh (People of the permafrost land. Section: Impact of climatic changes on the natural systems). *Science and Technology in Yakutia*, 2 (37): 12-15

8. Винокурова, У.А. (2018). Экософия оюуна криолитозоны (Экософия Ойюна (шамана) на криолитозоне. Новосибирск: Наука.

9. Usenyuk, S., Huysalo, S., Whalen, J. (2016). Proximal Design: Users as Designers of Mobility in the Russian North. *Technology and Culture*, 57(4), 866-908.

10. Siragusa, L. (2017). *Promoting Heritage Language in Northwest Russia*. London and New York: Routledge.

11. Stammler, F., & Sidorova, L. (2014). Dachas on permafrost: the creation of nature among Arctic Russian city-dwellers. *Polar Record*, 51(06), 576–589.

12. Kuklina V. V., Filippova V. V. Transport Accessibility and the Way of Life of the Population in the North: A Case Study of the Sakha (Yakutia) Republic // *Geography and Natural Resources*. 2019. Vol. 40, № 2. P. 162–168

13. Сулейманов Александр Альбертович "ресурсы холода" в системе питания якутов: традиции и современность // *Научный диалог*. 2018. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/resursy-holoda-v-sisteme-pitaniya-yakutov-traditsii-i-sovremennost> (дата обращения: 17.05.2023).

14. <https://www.sakha.gov.ru/news/front/view/id/3336759>

ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ИРКУТСКОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ТЕХНИКУМА ПО НАПРАВЛЕНИЮ - ИССЛЕДОВАНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Быстрова Л.Б., Долбилина Н.С., Дикан Т.Г., Викулина В.Ю., Озолиня В.Л.

ГБПОУ ИО «Иркутский гидрометеорологический техникум», Иркутск, Россия

igmt@list.ru

Аннотация: представлен практический опыт организация учебно-исследовательской работы студентов по направлению – исследование снежного покрова и атмосферных осадков

Ключевые слова: учебно-исследовательская работа студентов, общие и профессиональные компетенции, атмосферные осадки, снежный покров

ORGANIZATION OF EDUCATIONAL AND RESEARCH WORK OF IRKUTSK HYDROMETEOROLOGICAL COLLEGE STUDENTS IN THE FIELD OF SNOW COVER AND PRECIPITATION RESEARCH

Bystrova L.B., Dolbilina N.S., Dikan T.G., Vikulina V.Yu., Ozolinya V.L.

GBPOU IO "Irkutsk Hydrometeorological College", Irkutsk, Russia

igmt@list.ru

Summary. the practical experience of the organization of educational and research work of students in the fields of the study of snow cover and precipitation is presented

Keywords: educational and research work of students, general and professional competencies, precipitation, snow cover

Иркутский гидрометеорологический техникум осуществляет подготовку специалистов для стратегической отрасли России – Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Специалисты гидрометеорологической службы проводят гидрологические и метеорологические наблюдения, экологический мониторинг окружающей природной среды, составляют прогнозы гидрометеорологических событий и, самое важное, обеспечивают органы власти, предприятия авиационного, железнодорожного транспорта, сельского хозяйства и другие отрасли актуальной фактической и прогностической информацией, которая лежит в основе принятия решений, в том числе для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

В основе профессиональной подготовки будущих специалистов метеорологов лежит практический характер обучения, среди важных компетенций – анализ гидрометеорологической информации на основе использования современных цифровых, информационных технологий и представление итогов потребителям в формате, нужном для принятия решений по вопросам гидрометеорологической безопасности.

Эффективность и качественный уровень сформированности общих и профессиональных компетенций во многом зависят от реалистичности практических задач и проектов, поставленных перед студентами. Именно поэтому, уже на протяжении нескольких лет студенты техникума, будущие метеорологи, выполняют учебно-исследовательские проекты по направлению - исследование снежного покрова и атмосферных осадков на фактическом материале, представленном различными управлениями гидрометеорологической службы, значительная доля исходных данных представлена ФГБУ «Иркутское управление гидрометеорологической службы» и ВНИИГМИ-МЦД. Актуальность тем, направленных на исследование снежного покрова и атмосферных осадков, носит прикладной характер, интерес к результатам проведенных исследований проявляют различные организации; традиционно подобные исследования проводятся специалистами Росгидромета по заявке и относятся к специализированным исследованиям, в открытом доступе публикации подобных исследований обычно не представлены.

Среди исследований, проведенных в рамках учебно-исследовательских проектов и работ студентов техникума по данному направлению: исследование распределение атмосферных осадков в различных районах Иркутской области, республика Тыва, республика Саха (Якутия), республика Бурятия, Забайкальский край, Заполярье, республика Таджикистан, исследование температурно-влажностного режима острова Ольхон, оценка влияния озера Байкал на температуру воздуха и атмосферные осадки; исследование снежного покрова в различных районах Иркутской области за различные периоды, продолжительностью до 90 лет, исследование атмосферных засух в степных зонах, влияние снежного покрова на температуру почвы на глубинах в различных районах и прибрежных зонах рек, исследование запасов воды в снежном покрове в Красноярском крае, исследование снежного покрова Богучанского водохранилища. Надо отметить, что для проведения полноценного анализа осуществляется выборка данных за многолетний период, в многих случаях выполнены сравнения количества осадков за n-летний период с климатическими нормами, рассчитанными Всемирной метеорологической организацией (например, периоды с 1961 по 1990 годы или с 1971 года по 2000 годы).

Во многих работах, с точки зрения полученных результатов, сделаны важные выводы, подтверждающих наличие значительных климатических

изменений: серьезные колебания атмосферных осадков в различных регионах страны, связь роста атмосферных осадков с повышением показателей температуры воздуха, рост числа опасных гидрометеорологических явлений, наступающих вследствие увеличения количества атмосферных осадков. изменения количественных характеристик и продолжительности снежного покрова.

Например, в результате исследования режима осадков на острове Диксон по данным за период с 2001 по 2010 годы, было выявлен рост числа атмосферных осадков, результаты показывают колебания суммы осадков за год от 272 до 488 мм, при среднем значении 400 мм, при этом среднемноголетнее значение количества осадков составляет 360 мм, также в работе сделан вывод о росте числа осадков за счет их увеличения в холодный период года. (Рисунок 1)

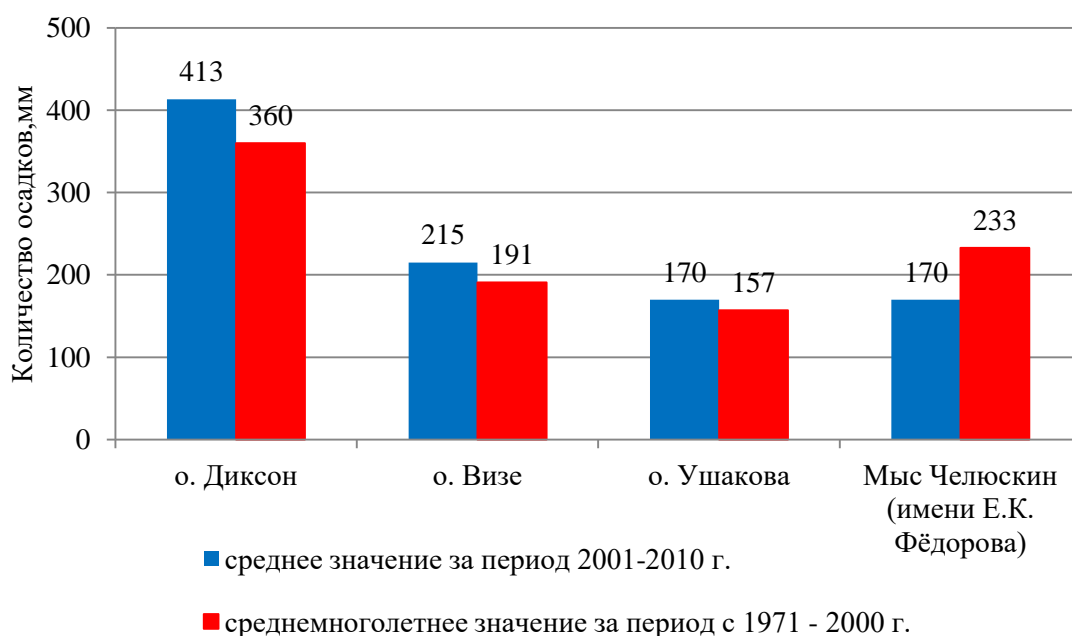


Рисунок 1. Суммы осадков

Результаты учебно-исследовательской работы, посвященной исследованию дат появления снежного покрова, образования и разрушения устойчивого снежного покрова, а также дат схода снежного покрова на территории Иркутской области (Таблица 1.) позволяют сделать следующие выводы: первый снег стал выпадать раньше, наблюдается более раннее установление устойчивого снежного покрова, при этом разрушение снежного покрова происходит также раньше, а в целом количество дней со снегом по региону уменьшилось по сравнению с нормами, в среднем на 20-30 дней.

Таблица 1. Даты, характеризующие снежный покров

Станции	Период	Дата появления снежного покрова	Дата образования устойчивого покрова	Дата разрушения устойчивого покрова	Дата схода снежного покрова
Наканно	1942-1980	01.Окт	11.окт	07.май	10.май
	2000-2020	12.Сен	11.окт	03.май	24.май
Киренск	1933-1980	10.окт	22.окт	25.апр	01.май
	2000-2020	12.сен	07.окт	23.апр	20.май
Червянка	1936-1980	9.окт	23.окт	19.апр	29.май
	2000-2020	27.сен	28.окт	13.апр	12.май
Орлинга	1944-1980	08.окт	24.окт	24.апр	04.май
	2000-2020	24.сен	25.окт	21.апр	16.май
Усть-Уда	1961-1980	15.окт	05.ноя	10.апр	30.апр
	2000-2020	25.сен	07.ноя	10.апр	10.май
Зима	1937-1980	10.окт	03.ноя	03.апр	28.апр
	2000-2020	25.сен	31.окт	31.мар	15.май
Бохан	1941-1980	09.окт	04.ноя	07.апр	29.апр
	2000-2020	30.сен	06.ноя	07.апр	06.май

Результаты всех проведенных учебных исследований по анализу атмосферных осадков и снежного покрова носят прикладной практический характер, в многих случаях у студентов есть возможность сопоставить полученные выводы с фактическими событиями, оценить роль аналитической работы в процессе оценки климатических изменений. Надо отметить, что проблемы глобальных климатических изменений, экологические проблемы широко представлены в современном информационном поле, но к сожалению, их представление и понимание носит поверхностный характер, поэтому организация учебно-исследовательских проектов, в том числе по запросам реальных организаций и заказчиков создает для студентов условия для формирования объективных представлений о проблемах изменений климата, а также дает возможность студентам получить опыт представления результатов проведённой работы. В техникуме сложилась активная практика публичных защит и выступлений на различных площадках, с лучшими и интересными проектами студенты участвуют в различных научно-практических конференциях: Всероссийский конкурс «Защити озоновый слой и климат Земли», Международный научно-промышленный форум «Великие реки», Всероссийская научно-практическая конференция «Современный тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России», Межрегиональная молодежная научно-практическая конференция «Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы» и многие другие.

Выполнение учебно-исследовательских проектов и работ, получение студентами опыта их представления и защиты, способствует развитию общих и профессиональных компетенций, приобретению смысловых личностных ценностей важности исследований и ответственности за результаты работы, а в целом способствуют формированию осознанного исследовательского и научного интереса молодежи к проблемам климатических изменений и экологических проблем.

***СЕКЦИЯ 7. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ИССЛЕДОВАНИЯХ СНЕЖНОГО ПОКРОВА,
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, АЭРОЗОЛЕЙ***

***SECTION 7. INFORMATION TECHNOLOGIES
IN RESEARCH OF THE SNOW COVER,
PRECIPITATIONS AND AEROSOLS***

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ВЛАГОЗАПАСОВ В СНЕГЕ НА МАКРОВОДОСБОРАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ ПО ДАННЫМ ПРОЕКТА GLOBSNOW

Тананаев Н.И.

Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия

tanni@s-vfu.ru

Аннотация. Максимальные зимние влагозапасы на макроводосборах Северной Евразии наблюдаются в марте (крупные речные бассейны рр. Обь, Енисей, Лена) или апреле (Лаптевоморская межбассейновая территория (МБВТ) и Северо-Восточный макробассейн), и составляют от 204 до 384 км³ (от 82 до 109 мм). Более раннее начало весны приводит к уменьшению майских влагозапасов или их более интенсивному таянию везде, кроме бассейна р. Обь. Резкое уменьшение майского влагозапаса, приуроченное к 2004-2006 гг., отмечено на водосборах рр. Енисей, Лена и Лаптевоморской МБВТ. В Северо-Восточном макробассейне майский влагозапас неизменен при его значимом росте во второй половине зимы, что также указывает на рост интенсивности снеготаяния.

Ключевые слова: влагозапас в снеге, Северная Евразия, климатические изменения

DISTRIBUTION AND TRENDS IN MONTHLY AVERAGE SNOW WATER EQUIVALENT ACROSS NORTHERN EURASIAN MACROWATERSHEDS

Tananaev N.I.

North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia
P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

tanni@s-vfu.ru

Summary. Maximum snow water equivalent (SWE) across the Northern Eurasian macrowatersheds is observed in March (the Ob, Yenisey, Lena River basins) or April (Laptev Sea intra-watershed area, IWA, North-Eastern macrobasin), and is estimated from 204 to 384 km³, or from 82 to 109 mm. Earlier spring and higher air temperatures drive a decrease in May SWE across the region, except in the Ob River basin. Step change in may SWE is observed in 2004-2006 in the Yenisey and Lena River basins; and Laptev Sea IWA. In the North-Eastern macrobasin, May SWE change is not observed, but along with significant SWE increase during the late winter, this also suggests higher snowmelt intensity over this region.

Key words: snow water equivalent, Northern Eurasia, climate change

Введение. Весенне-летнее половодье, питаемое талым стоком – наиболее многоводная фаза водного режима на большинстве равнинных и полугорных рек Северной Евразии. Именно к этой фазе приурочены опасные наводнения, наносящие ежегодно свыше 5 млрд р. ущерба [1]. Интенсивность подъёма волны половодья определяется дружностью весны, однако объём талого стока и опасность наводнений определяются влагозапасом в снежном покрове [2].

Высота снега и влагозапас в снежном покрове измеряются на метеостанциях и в снегомерных маршрутах, но экстраполяция точечных и маршрутных данных на значительные площади речных водосборов – нетривиальная задача. В этом отношении представляет интерес архив ESA CCI GlobSnow v. 3.0 [3], разработанный Европейским космическим агентством, ассимилирующий спутниковые данные и материалы синоптических наблюдений на метеостанциях. Точность этого покрытия сопоставима с данными наземных наблюдений на территории РФ, в частности, в субарктических речных бассейнах [4]. Пространственный масштаб покрытия GlobSnow – Северное полушарие с разрешением 25 км, временной интервал – с 1979 по 2018 гг., данные доступны в суточном, недельном и месячном осреднении.

Современные публикации указывают на резкое увеличение влагозапаса в снеге на Северо-Востоке России в предыдущую декаду [5], для других сибирских регионов такой оценки пока нет. Направленное увеличение влагозапаса способно в перспективе повысить риски наводнений, последствия которых, и-за удалённости территории, сложнее и дороже ликвидировать. В данной работе поставлена задача оценить суммарный влагозапас в снеге на макроводосборах Северной Евразии по данным GlobSnow и наблюдаемые тенденции его изменений.

Методика. Источник данных о влагозапасе в снежном покрове – покрытие ESA CCI GlobSnow v. 3.0. Нами использованы данные в месячном осреднении, они доступны для месяцев: февраль, март, апрель, май. Исходные данные представлены в формате NetCDF, для работы они были преобразованы в формат GeoTIFF с помощью функций пакетов ‘raster’ и ‘terra’ для языка R. Таким образом, в работе использовано 160 файлов GeoTIFF. Бассейновая структура территории и границы водосборов взяты из слоёв проекта HydroSHEDS [4]. Расчётные скрипты также написаны на языке R и выполнялись в среде RStudio, GUI-оболочке этого языка. Расчёт объёмного влагозапаса (км^3) выполнялся попиксельно, умножением площади пикселя на влагозапас в единицах слоя (мм) в нём, затем попиксельные данные суммировались. Рассчитывалась также доля площади водосбора, занятая снегом, и средний влагозапас в снеге на водосборе в единицах слоя.

Расчёты выполнены для пяти крупнейших макроводосборов Северной Евразии: бассейнов рр. Обь, Енисей, Лена, а также Лаптевоморской

межбассейновых водосборных территории (МБВТ), включающей водосборы рек между устьями Енисея и Лены (рр. Хатанга, Попигай, Анабар, Оленёк и другие более мелкие), и Северо-Восточного макробассейна (МБ), включающего всю территорию к востоку от бассейна Лены, в том числе Чукотку и Камчатку.

Результаты и их обсуждение. Максимальные влагозапасы в снеге в крупнейших речных бассейнах (Обь, Енисей, Лена) наблюдаются в марте, на более северных междуречных пространствах – в апреле (Табл. 1). Среднемаксимальный влагозапас составляет: в бассейне р. Обь – 384 км³ (105 мм в единицах слоя); в бассейне р. Енисей – 245 км³ (94 мм), в бассейне р. Лена – 204 км³ (82 мм); на Лаптевоморском водосборе – 126 км³ (107 мм); на водосборе Северо-Востока – 288 км³ (106 мм).

В бассейнах рр. Енисей и Лена, а также на Лаптевоморской МБВТ, установлено значимое ($p < 0.05$) уменьшение влагозапаса в мае, на 13.5 и 11.8 км³ за 10 лет, соответственно. Одновременно во всех трёх речных бассейнах (но не на МБВТ) в мае значимо, $p < 0.02$, сокращается площадь, занятая снегом – на 3.7, 4.5 и 4.4 процентных пункта, соответственно. Следовательно, в бассейне р. Обь более раннее начало весны и быстрое продвижение границы снеготаяния не затрагивают влагозапасов в северной части водосбора, к северу от р. Иртыш. В бассейнах рр. Енисей и Лена, соответственно, раннее начало весны приводит к повсеместному раннему и активному снеготаянию. На Лаптевоморской МБВТ май – календарное начало весны, площадь снежного покрова остаётся неизменной, однако снеготаяние начинает происходить интенсивнее.

В Северо-Восточном МБ, напротив, отмечается увеличение влагозапаса в феврале ($p < 0.1$), марте ($p < 0.05$) и апреле ($p < 0.01$), прирост составляет от 5 до 11 км³ (от 2 до 4 мм) в декаду. Майский влагозапас не показывает значимых изменений, что также говорит его более интенсивном таянии в этот месяц.

Значимость оценки линейных трендов тестом Манна-Кендалла может быть завышенной из-за влияния цикличности и нестационарности. Визуально, на хронологических графиках изменения влагозапаса, признаки цикличности отмечаются в бассейне р. Обь; в период с 1979 по 2018 гг. укладывается один полный цикл с периодом 25-30 лет, минимумы которого отмечены в начале 1980-х и начале 2010-х гг. В весенние месяцы (апрель-май) на всех водосборах влагозапас снижается относительно исторических средних, в 2008-2010 гг.

Таблица 1. Характеристики среднемесячного влагозапаса в снеге (ВС) на макроводосборах Северной Евразии и их направленных изменений, 1979-2018

Бассейны	Месяц	ВС, км ³	ВС, мм	<i>p</i> (МК)	ΔВС, км ³ /10 лет	ΔВС, мм/10 лет
Обь	2	338	93	0.17		
	3	384	105	0.09		
	4	280	77	0.92		
	5	140	38	0.23		
Енисей	2	221	85	0.23		
	3	245	94	0.14		
	4	228	87	0.39		
	5	147	56	0.04	-13.5	-5.2
Лена	2	174	70	0.54		
	3	204	82	0.51		
	4	193	78	0.74		
	5	98	39	0.02	-11.8	-4.8
ЛМ МБВТ	2	106	90	0.66		
	3	117	100	0.98		
	4	128	109	0.45		
	5	122	104	0.01	-7.4	-6.3
СВ МБ	2	224	82	0.07	+5.8	+2.1
	3	262	96	0.04	+7.3	+2.7
	4	297	109	< 0.01	+11.1	+4.1
	5	236	86	0.85		

Примечание: *p*(МК) – значение *p*-величины U-критерия Манна-Кендалла, ΔВС – изменение влагозапаса в снеге, определенное методом Тейла-Сена, ЛМ МБВТ – Лаптевоморская МБВТ, СВ МБ – Северо-Восточный макробассейн.

Нестационарность рядов и наличие изменения среднего оценивалась тестами Петтитта и Ланзанте. Тест Ланзанте указывает на значимые изменения средних значений практически во всех рядах, нередко на уровне значимости $p < 0.001$. На наш взгляд, это говорит о его неэффективности для анализа наших коротких рядов из-за его гиперчувствительности. Резкое смещение среднего установлено тестом Петтитта ($p < 0.05$) в рядах майских влагозапасов рр. Енисей и Лена, а также Лаптевоморской МБВТ. Таким образом, наблюдаемое на этих водосборах уменьшение влагозапасов – не следствие постепенных изменений, а результат быстрого, «разрывного» нарушения стационарности. На всех трёх водосборах сдвиг среднего приурочен к 2004-2006 гг.; нами было показано ранее, что на территории Якутии заметные климатические изменения в арктической зоне начинаются с этого времени [6].

Заключение. Наша работа использует данные покрытия GlobSnow для анализа влагозапаса в снеге и тенденций его изменения на

макроводосборах Северной Евразии. На большей части территории региона отмечается более раннее начало весны, что может не проявляться в более быстром смещении границы снеготаяния к северу, но проявляется в более интенсивном снеготаянии по всему водосбору. В бассейне р. Обь, напротив, занятая снегом площадь сокращается (на 3.5 п.п. в декаду), но влагозапасы северной части бассейна остаются интактными. На Северо-Востоке РФ влагозапас увеличивается на 7-11 км³ (2-4 мм) в декаду в течение второй половины зимы (февраль-апрель), и также более интенсивно стаивает в мае; резкое увеличение влагозапасов приурочено к периоду 2015-2018 гг.

Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект №22-27-00344.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов в 2020 году». – Москва: Росводресурсы, НИА-Планета, 2022. – 510 с.
2. Dominant flood generating mechanisms across the United States / W.R. Berghuijs, R.A. Woods, Hutton, C.J., M. Sivapalan // Geophysical Research Letters. – 2016. – V. 43. – P. 4382–4390.
3. GlobSnow v3.0 Northern Hemisphere snow water equivalent dataset / K. Luoju, J. Pulliainen, M. Takala, J. Lemmetyinen, C. Mortimer, C. Derksen, L. Mudryk, M. Moisander, M. Hiltunen, T. Smolander, J. Ikonen, J. Cohen, M. Salminen, J. Norberg, K. Veijola, P. Venäläinen // Scientific Data. – 2021. – V. 8. – Publ. No. 163.
4. Оценка точности глобальных данных по влагозапасам в снежном покрове на примере бассейна р. Северная Двина / М.В. Георгиевский, В.А. Хомякова, Т.В. Паршина // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. – 2020. – Т. 65. – Вып. 3. – С. 434–454.
5. Reasons for East Siberia winter snow water equivalent increase in the recent decades / Z. Wang, R. Wu, Z. Chen, G. Huang, X. Yang // Remote Sensing. – 2022. – V. 15. – P. 134.
6. Climate change impacts the state of winter roads connecting indigenous communities: Case study of Sakha (Yakutia) Republic / K. Kirillina, N. Tananaev, A. Savvinova, V. Lobanov, A. Fedorova, A. Borisov // Climate Services. – 2023. – V. 30. – Publ. No. 100356.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ СЕТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЕТРОТУРБИН, ОРОГРАФИИ МЕСТНОСТИ, ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ И УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА АТМОСФЕРНЫЙ ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ

**Ковальногов В.Н., Хахалев Ю.А., Корнилова М.И.,
Хахалева Л.В., Чукалин А.В., Демидов Д.А.**

Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия

kvn@ulstu.ru, ulstu-td-ua@mail.ru, masha.kornilova.1995@mail.ru,
larvall@mail.ru, chukalin.andrej@mail.ru, big-d-17@mail.ru

Аннотация. Представлен аналитический обзор российских и зарубежных источников по проблеме моделирования и численного исследования ветропарков. Авторами предложена математическая модель для учета влияния сети территориально распределенных ветротурбин, орографии местности, шероховатости подстилающей поверхности и других влияющих воздействий на атмосферный пограничный слой в окрестности Ульяновского ветропарка.

Ключевые слова: математическое моделирование, турбулентный атмосферный пограничный слой, ветротурбины, орография местности, шероховатость поверхности, воздействия

ACCOUNTING FOR THE INFLUENCE OF A NETWORK OF TERRITORIAALLY DISTRIBUTED WIND TURBINES, TERRAIN OROGRAPHY, SURFACE ROUGHNESS AND CONTROL INFLUENCES ON THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER

**Kovalnogov V.N., Khakhalev Yu.A., Kornilova M.I.,
Khakhaleva L.V., Chukalin A.V., Demidov D.A.**

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

kvn@ulstu.ru, ulstu-td-ua@mail.ru, masha.kornilova.1995@mail.ru,
larvall@mail.ru, chukalin.andrej@mail.ru, big-d-17@mail.ru

Summary. An analytical review of Russian and foreign sources on the problem of modeling and numerical research of wind farms is presented. The authors propose a mathematical model to take into account the influence of a network of geographically distributed wind turbines, terrain orography, underlying surface roughness, and other influencing effects on the atmospheric boundary layer in the vicinity of the Ulyanovsk wind farm.

Key words: mathematical modeling, turbulent atmospheric boundary layer, wind turbines, terrain orography, surface roughness, impacts

В последнее время можно отметить рост интереса к ветроэнергетике в общем и к исследованию аэродинамики ветроустановок в частности [1–3, 5]. При численном исследовании потока атмосферного пограничного слоя через ветротурбины использовался усредненный по Рейнольдсу подход Навье-Стокса (RANS) [3]. Вихререзрешающие модели (LES) используют отфильтрованные по частоте уравнения Навье-Стокса, для учета турбулентной вязкости в подсеточных масштабах используется модель Смагоринского (SGS) [1, 2]. Использование LES модели в подробном разрешении требует значительно больших вычислительных ресурсов.

Авторы использовали RANS подход с учетом влияния сети территориально распределенных ветротурбин, орографии местности, шероховатости подстилающей поверхности и других влияющих воздействий на атмосферный пограничный слой в окрестности Ульяновского ветропарка [3].

За исходную систему принимаются уравнения:

– движения

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right) - \frac{\partial(\rho \overline{u'_i u'_j})}{\partial x_j} + \rho g_i, \quad (1)$$

где ρ – плотность среды, кг/м³; x_i – координаты x, y, z, m ; u_i – компоненты осредненной скорости ветра $u, v, w, m/s$; P – давление, Па; u'_i – пульсационные составляющие скорости, м/с; μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с; g_i – компонент вектора гравитации в i -м направлении.

– энергии

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i h)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda + c_p \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i}, \quad (2)$$

где h – энтальпия, определяемая как

$$h = c_p T, \quad (3)$$

где c_p – удельная изобарная теплоемкость, кДж/кг; T – температура воздуха, К; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м К); μ_t – коэффициент турбулентной вязкости, Па·с; Pr_t – турбулентное число Прандтля,

– неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0. \quad (4)$$

– состояния

$$\rho = \frac{P}{RT}, \quad (5)$$

где R – газовая постоянная.

Для турбулентного замыкания используется k - ϵ модель турбулентности:

– уравнение турбулентной кинетической энергии

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \text{grad } k \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} + G_b - \rho \epsilon + S_k, \quad (6)$$

где k – турбулентная кинетическая энергия; E_{ij} – тензор напряжения, определяемый стандартными выражениями k - ε модели; S_k – источниковый член, определяемый как:

$$S_k = -\beta g_i^2 \frac{\mu_t}{c_p Pr_t}, \quad (7)$$

где G_b – генерация турбулентности, обусловленная температурной стратификацией, определяется из выражения

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i}, \quad (8)$$

где β – коэффициент термического расширения, 1/К.

Для идеальных газов уравнение (8) принимает вид

$$G_b = -g_i \frac{\mu_t}{\rho Pr_t} \frac{\partial p}{\partial x_i}, \quad (9)$$

– уравнение скорости диссипации кинетической энергии турбулентности

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) grad \varepsilon \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (2\mu_t E_{ij} E_{ij} + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon, \quad (10)$$

где ε – скорость диссипации кинетической энергии турбулентности; S_ε – источниковый член; $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, $C_{3\varepsilon}$ – эмпирические константы.

Константа $C_{3\varepsilon}$ зависит от Архимедовой силы и определяется

$$C_{3\varepsilon} = \tanh \left| \frac{v}{u} \right|, \quad (11)$$

где u , v – компоненты вектора скорости ветрового потока, перпендикулярный и параллельный вектору силы тяжести соответственно, м/с.

Турбулентная вязкость выражается как:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}. \quad (12)$$

Коэффициент турбулентной диффузии определяется зависимостью:

$$\Gamma_t = \frac{\mu_t}{Sc_t}. \quad (13)$$

Авторы предлагают определять коэффициент интенсивности турбулентного переноса α с помощью имплементированной в пакет Star CCM+AcademicPack оригинальной полуэмпирической модели, учитывающей такие влияющие факторы, как территориально распределенная сеть ветротурбин, орография местности, шероховатость подстилающей поверхности, метеорологические параметры [3, 4].

$$\frac{\alpha}{\alpha_0} = A \tanh(C \cdot Dim + D) + B, \quad (14)$$

где A , B , C , D – эмпирические коэффициенты, принимаемые в зависимости от влияющих факторов; Dim – фрактальная размерность турбулентных пульсаций давления потока воздуха; $\alpha_0 = 0,41$ – коэффициент интенсивности турбулентного переноса невозмущенного потока.

Граничные условия:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} = 0; \quad (15)$$

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} = 0; \quad C = 0.$$

Было проведено численное исследование обтекания ветровым потоком группы из 7 ветротурбин. Расчетная область составила 4000×4000 м в масштабе 1:100. Количество ячеек составило 2 миллиона 977 тысяч 990 ячеек. Результаты численного исследования представлены на рисунке 1. Результаты расчетов показывают вихревую структуру следов за ветротурбинами. Распределение магнитуды скорости в продольном вертикальном центральном сечении каждой турбины демонстрирует снижение скорости за ветротурбинами вплоть до 2000 м с постепенным восстановлением профиля скорости.

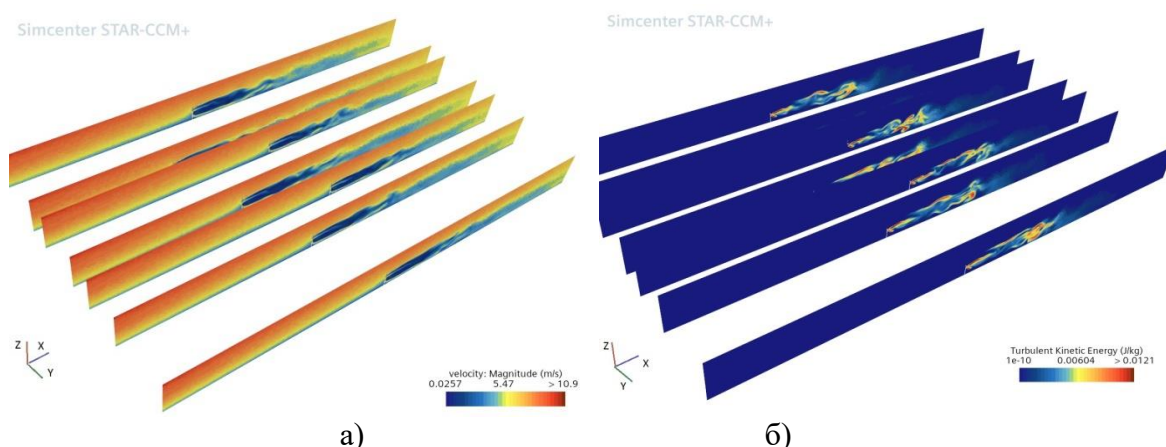


Рисунок 1. Распределение магнитуды скорости (а) и турбулентной кинетической энергии (б) в продольном вертикальном центральном сечении каждой турбины.

Распределение турбулентной кинетической энергии показывает возрастание уровня турбулентности на расстоянии 1000 м за ветротурбинами с постепенным снижением до состояния невозмущенного потока. Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с данными расчетов других исследователей и экспериментальными данными [5].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00030, <https://rscf.ru/project/22-19-00030/>.

Список литературы

1. Dara Vahidi and Fernando Porté-Agel A New Streamwise Scaling for Wind Turbine Wake Modeling in the Atmospheric Boundary Layer//Energies 2022, 15, 9477. <https://doi.org/10.3390/en15249477> дата обращения 5.03.2023
2. Hewitt S., Margetts L., Revell A. Building a Digital Wind Farm // Arch Computat Methods Eng., 2018. 25, pp. 879–899.
3. Ковальногов В.Н., Хахалев Ю.А., Хахалева Л.В., Цветова Е.В. Математическое моделирование и численное исследование Атмосферного пограничного слоя в окрестности ветропарков / Автоматизация процессов управления. 2021. № 3 (65). С. 33–40.
4. Ковальногов Н.Н. Прикладная механика жидкости и газа. – Ульяновск, 2010, 209 с.
5. Наумов И.В., Миккельсен Р.Ф., Окулов В.Л. Оценка дальности распространения следа и уровня его пульсаций за роторами ветрогенераторов Теплоэнергетика, 2016. № 3, с. 54–60.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЕТРОТУРБИН, ВНЕШНИХ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭВОЛЮЦИЮ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

**Ковальногов В.Н., Корнилова М.И., Федоров Р.В.,
Хахалева Л.В., Чукалин А.В., Петров А.В.**

Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия

kvn@ulstu.ru, masha.kornilova.1995@mail.ru, r.fedorov@ulstu.ru,
larvall@mail.ru, chukalin.andrej@mail.ru, lachik173@mail.ru

Аннотация. Представлен аналитический обзор российских и зарубежных источников по вопросам взаимодействия ветротурбин с атмосферным пограничным слоем (АПС). Авторами предложена математическая модель для учета влияния технологического режима ветротурбин и внешних управляющих воздействий на эволюцию АПС. Выполнено численное исследование АПС в окрестности Ульяновского ветропарка.

Ключевые слова: ветропарк, турбулентность, математическое моделирование, атмосферный пограничный слой, режим ветротурбин, управляющие воздействия

PATTERNS OF WIND TURBINES OPERATION MODES, EXTERNAL CONTROL ACTIONS INFLUENCE ON THE EVOLUTION OF THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER

**Kovalnogov V.N., Kornilova M.I., Fedorov R.V.,
Khakhaleva L.V., Chukalin A.V., Petrov A.V.**

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

kvn@ulstu.ru, masha.kornilova.1995@mail.ru, r.fedorov@ulstu.ru,
larvall@mail.ru, chukalin.andrej@mail.ru, lachik173@mail.ru

Summary. An analytical review of Russian and foreign sources on the interaction of wind turbines with the atmospheric boundary layer (ABL) is presented. The authors propose mathematical model to account for the influence of the operation mode of the wind turbine and external control of the atmospheric boundary layer. A numerical study of the ABL in the Ulyanovsk wind farm area was performed.

Key words: wind farm, turbulence, mathematical modeling, atmospheric boundary layer, wind turbine operation modes, control actions

Приоритетным направлением развития возобновляемой энергетики в России является использование ветровых энергоресурсов путем установки и запуска ветропарков. Основные проблемы ветроэнергетики связаны со

сложными метеоусловиями, характеризующимися нерегулярными ветрами, частыми осадками и непостоянным температурным режимом с переходами «через ноль». Следствиями этого являются длительные фазы работы ветропарков в неэффективных аэродинамических режимах.

Технологический режим ветротурбин, а также внешние метеоусловия оказывают определяющее воздействие на атмосферный пограничный слой. Практически важным типом вихревых течений, наблюдаемых в атмосферном пограничном слое в окрестности ветропарков, являются аэродинамические следы ветротурбин. Такие вихревые структуры восстанавливаются на расстояниях не менее 15 калибров от ветротурбин [1], этот факт накладывает жесткие ограничения по размещению ветротурбин для недопущения эффекта экранирования. Современные ветропарки интегрированы с электрической сетью энергосистемы, поэтому поддержание аэродинамически эффективных режимов работы ветропарков играет огромную роль в системе электроснабжения.

Для численного исследования закономерностей влияния режима ветротурбин и внешних управляющих воздействий на состояние атмосферного пограничного слоя (АПС) авторы использовали RANS-подход (от англ. Reynolds Averaged Numerical Simulation) для моделирования турбулентности - решение систем уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу [2].

- дифференциальное уравнение сплошности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

- уравнение движения

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial \tau} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial(\rho \overline{u'_i u'_j})}{\partial x_j} + \rho g_i + FM_i \quad (2)$$

здесь ρ – плотность среды, кг/м³; x_i – координаты x, y, z, m ; u_i – компоненты осредненной скорости ветра u, v, w , м/с. p – давление; μ – коэффициент динамической вязкости, Па*с; $\overline{u'_i u'_j}$ – тензор напряжений Рейнольдса; FM_i – функция, описывающая влияние ветротурбин на АПС.

- дифференциальное уравнение энергии:

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial \tau} + \frac{\partial(\rho u_i h)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda + c_p \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (3)$$

здесь h – энтальпия, Дж/кг, определяемая как $h = c_p T$; T – температура воздуха, К; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К); μ_t – коэффициент турбулентного переноса количества движения (тензор напряжений Рейнольдса), Па*с; Pr_t – турбулентное число Прандтля $Pr_t = 0,85$.

– уравнение состояния:

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (4)$$

здесь R – газовая постоянная, Дж/(кг*К), для воздуха принимается равной 287 Дж/кг*К.

Источниковый член FM_i в уравнении (2) можно записать в следующем виде:

$$FM_i = -\beta_1 \frac{\rho v_{rel}^2 \pi D^2}{2} \frac{\pi D^2}{4} an(C_L e + C_D e) \quad (5)$$

з
д
е
с
ь

β_1 – эмпирический коэффициент, зависящий от режима работы ветропарка, ветроносимости, два оборота в секунду, (rpm). Последнее значение параметра характеризует ветропарк C_L в среднем фазе действия под действием рабочего графика в течение суток в течение суток; ρ – плотность воздуха, кг/м³; P_{int} (Watt) – ВЭУ на территории ветропарка.

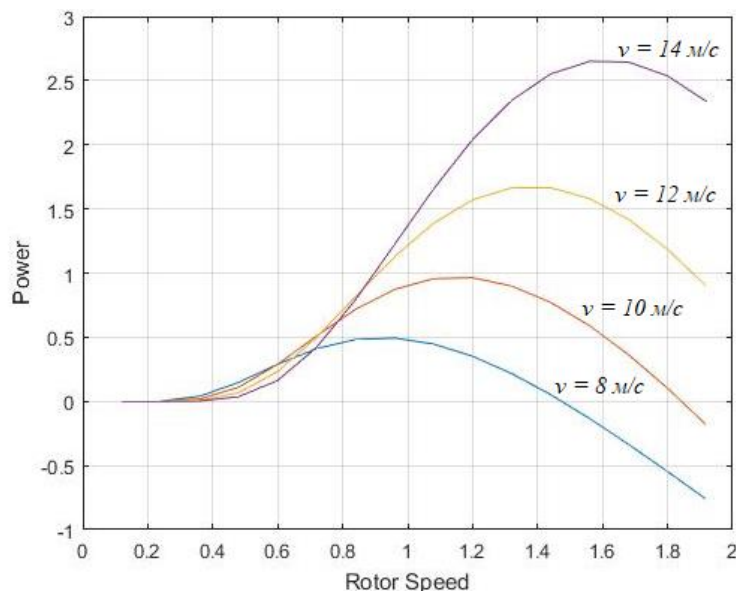


Рисунок 1. График рабочих режимов ВЭУ

Определяющим для режима работы ВЭУ фактором является скорость ветра. Высота современных ветроустановок достигает 100 метров, скорость на таких высотах будет больше, чем на поверхности, этот факт отражается степенной зависимостью [3]:

$$v = v_{\phi} \cdot \left(\frac{h}{h_{\phi}}\right)^m, \quad (6)$$

где v_{ϕ} – скорость, измеренная на высоте h_{ϕ} , м; h – высота оси ветроустановки, м; m – показатель степени, принят 0,24 для летнего сезона.

При малых скоростях ветра до 5 м/с ветрогенератор находится практически в бездействии, ожидая момент старта.

При номинальных скоростях ветра от 5 до 15 м/с ветрогенератор функционирует в рабочем режиме, вырабатывая полезную мощность.

При скоростях ветра, превышающих значение 15 м/с, работа ветрогенератора может быть опасна, так как генератор может выйти за пределы расчетных электрических и механических нагрузок, в данных условиях работа ВЭУ приостанавливается.

В системе MatLab построена модель ветрогенератора. На рисунке 3 показаны режимы работы ВЭУ при разных скоростях ветра.

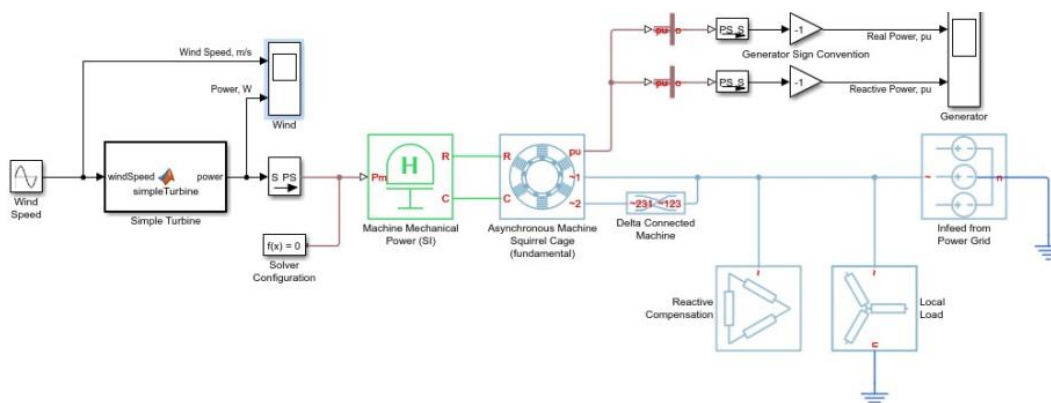


Рисунок 2. Модель ветрогенератора в системе MatLab

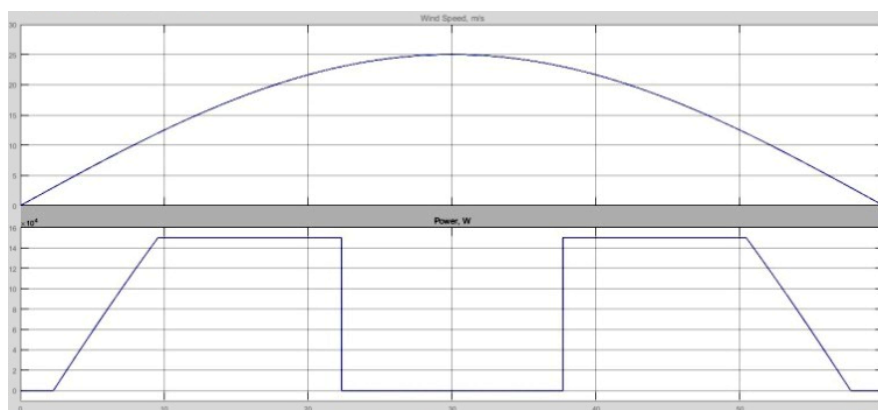


Рисунок 3. Мощность ветрогенератора при разных скоростях ветра

Современным инструментом исследования турбулентных течений в АПС в окрестности ветропарка выступают методы вычислительной гидродинамики, позволяющие моделировать аэродинамические процессы в контролируемых условиях. Авторы предлагают исследовать влияние ветропарка на эволюцию АПС с помощью CFD-пакета Star CCM+ Academic Pack. В работе выполнено моделирование семи ветротурбин в масштабе 1:100. Использовался RANS. Для замыкания системы выбрана модель турбулентности k-Epsilon. Режим работы всех ВЭУ задавался одинаковым: скорость вращения ветроколеса 12 об/мин. Профиль скорости задавался таблично по степенной зависимости (6) для летнего времени года с максимальным значением 9 м/с. Тип сетки - сетка с многогранными

ячейками, количество расчетных узлов составило 14,9 млн ячеек. Физическое время расчета составило 25 секунд. Для лучшей точности шаг по времени задавался 0,001 с. Результаты численного исследования полей скорости и турбулентности представлены на рисунке 4.

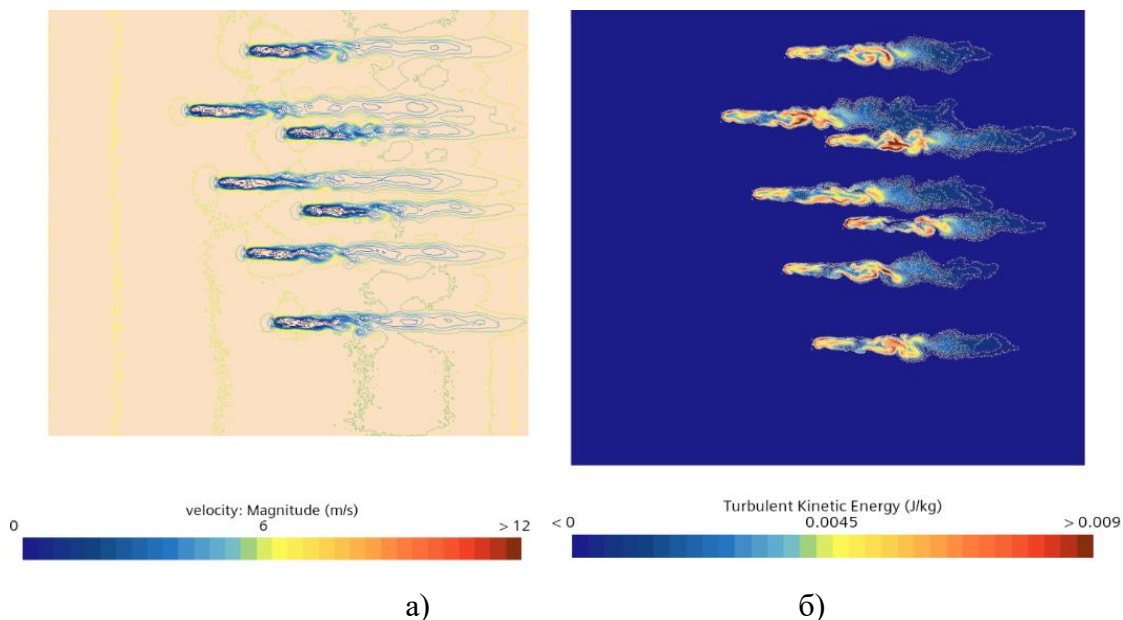


Рисунок 4. Распределение скорости (а) и турбулентной кинетической энергии (б) в горизонтальном сечении

На рисунке 4(а) показано распределение скоростей, ветротурбины изымают часть кинетической энергии движущихся воздушных масс, что приводит к снижению скорости их движения. На рисунке 4(б) показано распределение турбулентной кинетической энергии, за ветротурбинами наблюдается возрастание уровня турбулентности постепенным снижением до состояния невозмущенного потока.

Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с данными расчетов других исследователей и экспериментальными данными [1].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00030, <https://rscf.ru/project/22-19-00030/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mehta D., Van Zuijlen A.H., Koren B., Holierhoek J. G. Large Eddy Simulation of Wind Farm Aerodynamics: A review // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2014. Volume 133, pp. 1-17.
2. Ковальногов Н.Н. Прикладная механика жидкости и газа. – Ульяновск, 2010, 209 с.
3. Безруких П.П. Ветроэнергетика. Справочное и методическое пособие. – М.: ИД «Энергия», 2010, – 320с.

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ВИЗУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ СЕТЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ: ПРИМЕР ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Зеленков Д.В.¹, Труфанов А.И.²

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

¹zelen.draks@mail.ru, ²troufan@gmail.com

Аннотация. В статье описано разработанное средство визуальной поддержки сетевых исследований природных систем на примере землетрясений байкальской рифтовой зоны. Сформулированы требования к программному продукту, основываясь на особенности природных систем. Определены критерии обзора инструментов визуализации. Средство представляет собой web-приложение, разработанное при помощи платформы «deck.gl». Данные землетрясений декластеризованы на главные толчки с энергетическим классом $K \geq 12.5$ и их афтершоки и представлены в виде графов, с использованием модели стволовой сети. Предложены возможные варианты развития программного продукта.

Ключевые слова: стволовые сети, Байкальская рифтовая зона, сейсмичность, афтершоки, визуализация.

DEVELOPMENT OF VISUAL SUPPORT TOOLS FOR NETWORK STUDIES OF NATURAL SYSTEMS: AN EXAMPLE OF EARTHQUAKES IN THE BAIKAL RIFT ZONE

Zelenkov D.V.¹, Trufanov A.I.²

National Research Technical University, Irkutsk, Russia

¹zelen.draks@mail.ru, ²troufan@gmail.com

Summary. The article describes the developed tool for visual support of network studies of natural systems on the example of earthquakes of the Baikal rift zone. The requirements for the software product are formulated based on the features of natural systems. Criteria for the review of visualization tools are defined. The tool is a web application developed using the platform "deck.gl". Earthquake data are declustered into major shocks with energy class $K \geq 12.5$ and their aftershocks and are presented in the form of graphs using a stem network model. Possible options for the development of the software product are proposed.

Key words: stem networks, Baikal rift zone, seismicity, aftershocks, visualization.

Введение. Природная система, обычно, представляет собой пространственно ограниченную совокупность функционально

взаимосвязанных живых организмов и окружающей их среды, характеризующихся определенными закономерностями энергетического состояния, обмена, круговорота веществ [1]. Для анализа и отслеживания закономерностей в природных системах имеет смысл представлять системы сетевыми структурами и визуализировать последние с помощью графов.

Модель. Учитывая большое количество факторов, влияющих на природную систему [2], которые могут быть не связаны между собой, и отображение множественных данных на географической карте, было предложено упрощение визуализации данных с использованием модели стволовой сети [3].

Модель состоит из:

- стволов – вершин, имеющих несколько параметров и связей;
- клумб – совокупность стволов одной природы (см. рисунок 1);
- букетов – совокупность стволов разной природы, объединенные по определенному принципу (см. рисунок 2).

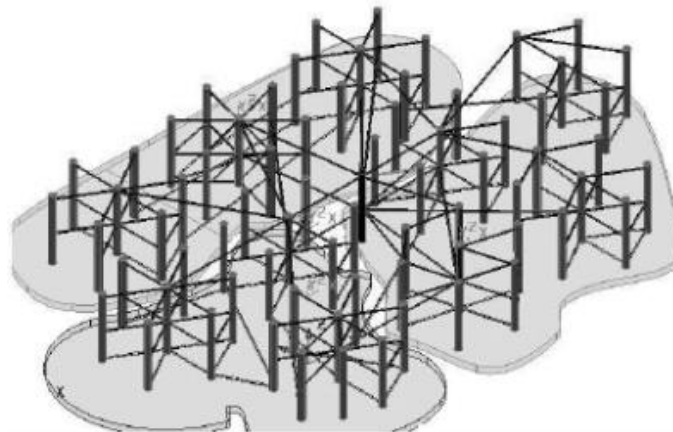


Рисунок 1. Клумба стволовой сети

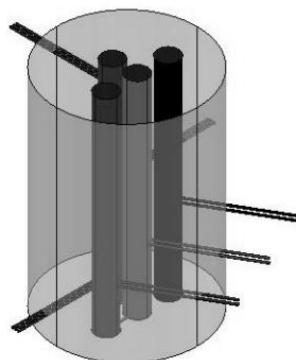


Рисунок 2. Букет стволовой сети

Основные результаты. Чтобы определить возможность визуализации графов в виде стволовых сетей был проведен обзор инструментов визуализации.

Исходя из требований были выделены следующие критерии оценки инструментов:

- визуализация мультиплексных систем;
- трехмерная визуализация;
- возможность расширения или доработки программного продукта.

В результате обзора было решено создать web-приложение при помощи платформы «deck.gl», который позволяет создавать трехмерные модели на географической карте, а также обрабатывать большие данные [4].

В качестве примера визуализации данных природных систем с помощью модели стволовой сети были взяты данные о землетрясениях Байкальской рифовой зоны, предоставленные Байкальским филиалом Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» за 2022 год [5].

Была произведена декластеризация данных на главные толчки с энергетическим классом $K \geq 12.5$ и их афтершоки [6]. Главные толчки связаны по времени, данная связь обозначена красным цветом, чем контрастнее цвет, тем позже произошло событие (см. рисунок 3).

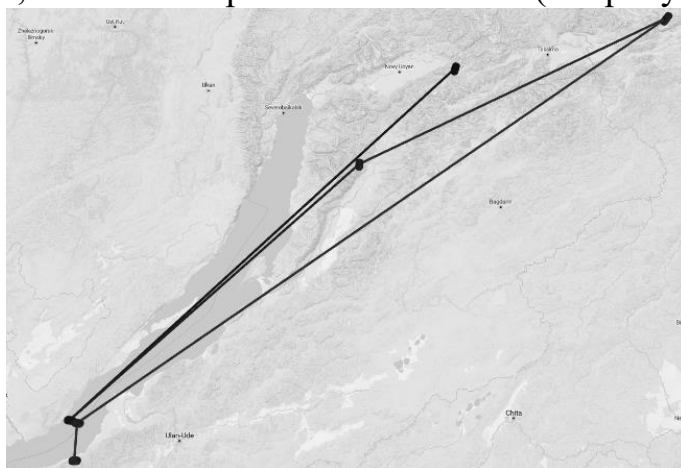


Рисунок 3. Толчки с энергетическим классом $K \geq 12.5$ за 2022 год.

При выборе определенного события раскрываются данные об афтершоках [7], отмеченных синим цветом (см. рисунок 4).



Рисунок 4. Афтершоки для события.

Заключение. Предложенная модель стволовой сети и разработанное средство визуализации позволяет наглядно отображать данные о природной системе, что упрощает анализ и отслеживание закономерностей. В дальнейшем программное средство будет дополняться функционалом, позволяющим отображать данные разного рода не связанные друг с другом в виде «букетов». А также объединять данные одной природы в «клумбы», например, рои землетрясений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научного проекта № 20-57-44002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Письмо Роскомзема от 18.01.1996 N 3-15/104 "О рассмотрении методического положения и руководства по составлению карт, оценке затопления и подтопления земель".
2. Сиротюк, Э.А., Гунина Г.Н. Общая экология: учебное пособие / Э.А. Сиротюк, Г.Н. Гунина; Изд-во МГТУ, 2019. – 163 с.
3. Z. Ashurova., S. Myeong S., A. Tikhomirov, A.Trufanov, N.Kinash, O.Berestneva, A.Rossodivita. «Comprehensive Mega Network(CMN) Platform: Korea MTS Governance for CIS Case Study». Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM 2016). Atlantis Press, 2 016, pp. 266 -269.
4. Home | deck.gl. URL: <https://deck.gl/> (дата обращения: 13.05.2023).
5. Землетрясения в Прибайкалье | Сайт Байкальского филиала Единой геофизической службы РАН. URL: <https://seis->

б

о

d

u

l

e

s

p

h

p

n

a

m

e

D

a

t

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ

Пупцев Р.И.

СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия

r.pupcev@bonch-ikt.ru

Аннотация: В области лавинного прогнозирования возможно внедрение инфокоммуникационных технологий, с их помощью возможно автоматизировать процессы сбора и обработки поступающих первичных данных, также возможно использовать специализированные приложения для более удобной работы лавинах прогнозистов. Программные решения могут брать на себя часть рутинных задач, предоставлять удобный интерфейс для работы, а также применять современные подходы к построению прогнозов лавинной опасности. Одним из примеров внедрения инфокоммуникационных технологий является технологии IoT, их использование позволит автоматизировать процесс сбора специфичной информации из труднодоступных участков горной местности, а также позволит собирать информацию в реальном времени. Еще одним примером являются алгоритмы машинного обучения и глубокого обучения, их применение позволяет получать неявные зависимости в больших массивах данных, что в свою очередь может существенно увеличить точность прогнозов и их оправданность.

Ключевые слова: лавинное прогнозирование, веб-приложения, специализированное программное обеспечение, машинное обучение, глубокое обучение, микросервисная архитектура, анализ данных, большие данные, технологии контейнеризации.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR USE IN THE FIELD OF AVALANCHE HAZARD FORECASTING

Pupcev R.I.

SPbSUT named after Prof. M.A. Bonch-Bruevich, St. Petersburg, Russia

r.pupcev@bonch-ikt.ru

Summary. In the field of avalanche forecasting, it is possible to introduce infocommunication technologies, with their help it is possible to automate the processes of collecting and processing incoming primary data, it is also possible to use specialized applications for more convenient work of avalanche forecasters. Software solutions can take on part of routine tasks, provide a user-friendly interface for work, as well as apply modern approaches to building avalanche hazard forecasts. One of the examples of the introduction of infocommunication technologies is IoT technologies, their use will automate the process of collecting specific information from hard-to-reach areas of mountainous terrain, and will also allow collecting information in real time. Another example is machine learning and deep learning algorithms, their application

allows you to obtain implicit dependencies in large data arrays, which in turn can significantly increase the accuracy of forecasts and their justification.

Keywords: avalanche forecasting, web applications, specialized software, machine learning, deep learning, microservice architecture, data analysis, big data, containerization technologies.

Использование специализированных программных комплексов хорошо зарекомендовало себя в большом количестве сфер, существует огромное количество систем разного назначения, системы складского учета, бухгалтерии, управления пользовательским опытом и т.д. Все подобные системы создаются для оптимизации работы конкретных сотрудников, увеличения их эффективности и скорости работы в целом. В области лавочного прогнозирования система может решать следующие задачи:

- Сбор и накопление данных необходимых для составления прогнозов лавинной опасности. Это могут быть метеоданные из открытых источников, данные от сети метеостанций, собранные данные наблюдений проводимых на местности, специальные данных от датчиков и устройств и т.д.
- Обработка и визуализация собранных данных. Первичная обработка данных и предоставление их в графическом виде позволят упростить и ускорить визуальный анализ данных лавинами прогнозистами, что позволят более быстро составлять прогнозы лавинной опасности.
- Анализ данных автоматизированными средствами. Реализация методов анализа данных программным кодом позволяет получать расчетные характеристики, важные для построения прогнозов лавинной опасности, в реальном времени, а специальные функции могут оповещать пользователя в случаи необходимости, например при резком изменении расчетного значения метилового переноса.
- Прогнозирование параметров устойчивости снежного покрова и уровня лавинной опасности математическими методами на основе собранных данных и данных поступающих в реальном времени. Специализированный программный код способен самостоятельно проводить расчеты большого количества параметров в реальном времени, при условии наличия исчерпывающего количества данных для расчетов и всего необходимого математического аппарата.
- Прогнозирование параметров устойчивости снежного покрова и уровня лавинной опасности алгоритмами машинного обучения и глубокого обучения. Данные подходы позволяют получать прогнозы основываясь только на собранных до этого и поступающих в реальном времени данных. Для их использования требуется большой и структурированный массив данных.

В общем виде система состоит из подсистемы сбора и хранения данных, подсистемы автоматизированного составления прогнозов и расчета

специальных параметров, важных для составления прогноза лавинной опасности, подсистемы визуализации данных и подсистема специального web-приложения и телеграмм-бота для рассылки информации.

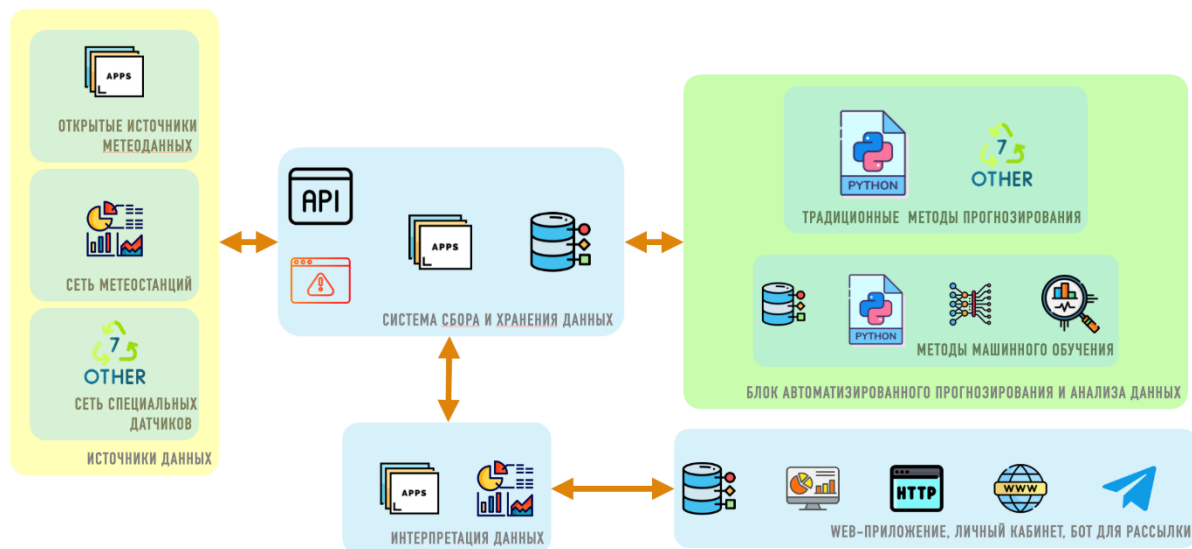


Рисунок 1. Архитектура системы

Каждая подсистема отвечает за определенные функции. Подсистема сбора и хранения информации необходима для работы с большим набором источников данных и позволяет в автоматизированном виде собирать и накапливать данные из открытых источников, включает в себя программные средства для работы с различными открытыми интересами, реляционную базу данных, специальные средства для взаимодействия с сетями метеостанций, данные средства разрабатываются отдельно для каждого типа станций или источников данной информации, кроме этого данная подсистема имеет возможности для реализации собственных открытых программных интерфейсов для подключения отдельных датчиков и сетей датчиков по сбору специализированной информации. Основной задачей подсистемы является сбор и накопление всевозможной информации, которая необходима для работы лавинного прогнозиста.

Подсистема автоматизированного анализа и составления прогнозов необходима для решения задачи составления прогноза автоматизированными средствами. Данная подсистема обращается к реляционной базе данных, от куда получает данные необходимые для расчета, проводит анализ данных традиционными методами или методами машинного обучения, в результате получает расчетные значения которые в дальнейшем передаются для хранения обратно в базу данных, где могут быть предоставлены пользователю.

Подсистема интерпретации данных выполняет функции по предоставлению данных в удобном графическом виде, не внося ни какие изменения в них. Также данная подсистема получает данные из web-приложения и передает их на хранение в специальные таблицы базы

данных. Данный функционал позволяет пользователю самостоятельно вносить специфичные данные собственных наблюдений за погодой или лавинной активностью, это позволяет избавиться от бумажных форм хранения наблюдений, вносить их непосредственно во время наблюдений и получать доступ к ним из любой точки мира где есть доступ в глобальную сеть Интернет.

Подсистема специального web-приложения и телеграмм-бота для рассылки позволяет создать удобный, гибкий интерфейс для пользователя. Web-приложение включает в себя личный кабинет с авторизацией, набор специальных форм для заполнения, которые могут быть разработаны под определенные задачи и по желанию пользователей могут быть адаптированы под конкретно их задачи. Также данное web-приложение включает в себя гибкую систему визуального представления данных пользователю, это могут быть различные графики, таблицы, счетчики и т.д. Телеграмм-бот, в данной подсистеме, выполняет функции рассылки метеоданных по расписанию, а также рассылка уведомлений пользователям, которые могут быть настроены отдельно.

Применение технологий IoT и самоорганизующихся сетей.

При нехватке точных метеорологических данных для составления прогноза лавинной опасности и необходимости увеличения точности прогнозирования в процессе сбора данных можно внедрить датчики с технологией IoT. Для организации системы датчиков по сбору данных необходимо разработать ряд требований к агенту, собирающему информацию, базовой станции, принимающей данные, к технологии передачи и самой системе.

Список требований к агенту и базовой станции:

1. Устойчивость к низким температурам. Так как агент будет работать в зимнее время в горных условиях.
2. Герметичность. Чтобы влага не проникала вовнутрь корпуса и не повредила микросхемы, проводку.
3. Устойчивость к срыву с места установки при воздействии лавины.
4. Низкая стоимость. Поскольку лавины имеют довольно сильный разрушающий эффект полную устойчивость обеспечить невозможно, и агенты могут быть утеряны

Список требований к технологии передачи:

1. Беспроводная. Из-за сложностей связанными с горным массивом и прокладкой проводов.
2. Дальнего радиуса действия. Так как площадь горного массива достаточно большая.
3. Открытое программное обеспечение. Чтобы обеспечить низкую стоимость агента.

4. Энергоэффективность. Так как добираться до устройства затруднительно и опасно, поэтому частая замена аккумулятора является проблематичной.

Список требований к системе:

1. Отказоустойчивость. Из-за опасности горной местности сложно и не быстро можно устранить неисправность.
2. Масштабируемость. Из-за большой площади горной местности необходимо учитывать возможность масштабирования системы.
3. Полносвязность. Из-за большой вероятности выхода из строя одного или нескольких узлов, главным преимуществом полносвязной топологии является наличие нескольких дополнительных соединений.
4. Самоорганизация. Из-за тех же сложностей в горной местности самоорганизующаяся сеть обезопасит и упростит процесс настройки соединения.

Переходя к подбору технологии передачи стоит упомянуть, что существует большое количество технологий беспроводной передачи данных. Исходя из требований к технологии передачи данных приводимых ранее можно сразу перейти к рассмотрению технологий категории WAN (Wide Area Network – глобальная компьютерная сеть). Из-за особенностей рельефа не везде могут проходить радиоволны, из-за этого горы являются труднодоступной местностью. Одним из решений передачи данных в труднодоступных местностях является спутниковый интернет. Его преимущество – доступ в любой точке. Но такое решение является дорогостоящим и сложно реализуемым. Рассматривая далее технологии WAN, можно отбросить вариант с GSM/LTE. Это и из-за дороговизны установки базовых станций, и большого потребления энергии.

Исходя из всех требований к создаваемой системе сбора данных наиболее подходящий вариант — это технологии энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия LPWAN (Low-Power Wide Area Network). Особенности LPWAN являются:

1. Низкая скорость передачи данных (от 100 бит/с до 1 Мбит/с).
2. Большой радиус действия (вплоть до и превышая 10 км).
3. Низкое энергопотребление (до 10 лет работы от батареи).

В LPWAN входят такие технологии как: несотовые LoRaWAN, Sigfox, Ingenu (RPMA), Weightless, а также лицензированные технологии от 3GPP: LTE-M, NB-IoT, которые также можно не рассматривать из-за сложностей реализации покрытия, как и в случае с GSM.

Анализируя не сотовые технологии можно отсеять Sigfox и RPMA из-за проприетарности. А сравнивая LoRaWAN и Weightless, LoRaWAN имеет преимущество по дальности (15-20 км против 3-5 км соответственно). Также LoRaWAN совместима с существующими сетями и технологиями беспроводной передачи данных (например Wi-Fi), обладает высокой помехоустойчивостью, способна обслуживать десятки и сотни тысяч

устройств. Исходя из всего вышесказанного можно заключить, что технология LoRaWAN наиболее подходит для задачи передачи собираемых данных в горах и исходя из этого, оптимальным решением выглядит именно ее выбор.

Реализация множества агентов и базовых станции позволяет разработать mesh-сеть. Концепция mesh-сети заключается в следующем: в горной местности будет развернуто несколько зон, в каждой из которой будут располагаться агенты, собирающие информацию и передающие эти данные на базовую станцию. Эти базовые станции из разных не имеют доступа в интернет и образуют mesh-сеть для передачи данных на «главную» базовую станцию, располагающуюся в населенном пункте и подключенную к интернету через Ethernet. Получив данные, «главная» базовая станция отправляет их по интернету на сервера сбора и хранения данных лавинных служб безопасности. Для построения mesh-сети необходим протокол маршрутизации, который организывает маршруты между узлами. Технология LoRaWAN не предназначена для построения mesh-сети, в ней используется топологию «Звезда», поэтому для реализации необходимо разработать и реализовать протокол. Для реализации протокола необходимо иметь некоторые компьютерные вычислительные мощности, поэтому mesh-сеть целесообразно строить на базовых станциях, которые реализуются на микрокомпьютерах. В случае выхода из строя одной или нескольких базовых станций на основе микрокомпьютера mesh-сеть позволяет использовать несколько способов для восстановления сети или альтернативного сбора данных. Например, восстановить сеть можно сбросив на место потерянной базовой станции новую с помощью БПЛА и за счет самоорганизации mesh-сетей она самостоятельно восстановится. Как альтернативные способы сбора данных можно использовать тот же БПЛА с установленной на него базовой станцией, которой пролетит над площадью с агентами и соберет с них данные.

Как было сказано ранее, один из способов получения более качественных данных это реализовать систему по сбору данных, состоящую из агентов и базовых станций. Для анализа работы протокола LoRa для передачи и приема данных с агента, на котором есть датчики метеорологических характеристик, был реализован экспериментальный агент.

Агент представляет собой стойку с установленными на ней датчиком измерения УФ-излучения, лазерного датчика высоты и трех датчиков температуры для измерения показателей в двух слоях снега и воздуха. Все они подключены к микроконтроллеру NodeMCU, который преобразует аналоговые данные в LoRaWAN пакеты с помощью программного кода. После этого полученные пакеты с помощью LoRaWAN передатчика и антенны передаются на базовую станцию, где такие же антенна и передатчик их принимают и передают на такой же микроконтроллер, где

полученные пакета обратно преобразуются в цифровой формат. Отправка данных происходит 1 раз в 30 минут. Основой базовой станции является микрокомпьютер Raspberry Pi 3, на котором с помощью специального программного обеспечения реализована процедура передачи данных в базу данных с помощью HTTP-запросов. Питание агента и базовой станции реализовано с помощью литий-ионных аккумуляторов.

Применение аппарат машинного обучения и глубоко обучения.

Для прогнозирования лавинной опасности лучше всего подходит алгоритмы из категории обучения с учителем. Обусловлено это в первую очередь наличием меток в конечном наборе данных, таких как уровень лавинной опасности, лавинные проблемы и сходы лавин. Именно за счёт наличия конечного результата, такого как уровень лавинной опасности или сход лавины, алгоритмы из категории обучения с учителем можно тонко настраивать, что позволяет производить прогноз высокой точности и минимизировать погрешность.

Обучение с учителем позволяет решить две глобальные задачи: классификации и регрессии. В рамках лавинного прогнозирования обе эти задачи актуальны, так как предсказание уровня лавинной опасности и типов лавинных проблем решаются как классификацией, так и регрессией, а предсказание схода лавины относится к регрессии. Обучение с учителем имеет большое количество алгоритмов обучения, среди которых нет единого алгоритма, который лучше всего подходит для всех задач анализа. Потому, для всестороннего анализа и подбора лучшего алгоритма для работы в области лавинного прогнозирования необходимо провести экспериментальное тестирование алгоритмов. Среди алгоритмов, подходящих для экспериментального тестирования, хочется выделить: деревья принятия решений, методы опорных векторов, Байесовский классификатор, линейный дискриминантный анализ, метод k ближайших соседей, линейная регрессия, логистическая регрессия, случайный лес, нейронные сети. Каждый из перечисленных алгоритмов имеет свой подход в работе с данными и достижению поставленной задачи, экспериментальное тестирование каждого алгоритма позволит наглядно увидеть, какой подход лучше и даст возможность продолжать работать в правильном направлении.

Выбрав подход к обучению, стоит перейти к рассмотрению организации обучающей выборки. Алгоритмы из категории обучения с учителем предполагают наличие меток, в случае лавинного прогнозирования метками могут быть: фоновые уровни лавинной опасности, лавинные проблемы, сходы лавин. Обозначенные метки являются конечным результатом, к которому приводит некий набор данных и на который будет опираться алгоритм при обучении, чтобы по завершению обучения самому предсказывать подобный результат. Данными, которые будут сопоставляться с метками, могут быть: различные

метеорологические характеристики, данные шурфов и показатели степени посещаемости лавиноопасной местности.

Данные для составления обучающей выборки и формирования прогноза могут поступать из множества различных источников различными способами. Так, архивные и актуальные метеорологические данные можно записывать вручную или же автоматически с использованием открытых программных интерфейсов, при наличии такового на стороне поставщика метеорологических данных. Так, в автоматическом режиме можно собирать расчетные метеорологические данные из WEB-приложений, таких как OpenWeather, tomorrow.io, OpenMeteo. Данные шурфирования также можно получать из WEB-приложения snowpilot в автоматическом режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пупцев Р.И. Разработка системы автоматизированного составления прогноза лавинной опасности, с применением современных икт и аппарата нейрокогнитивных архитектур. Гидросфера. Опасные процессы и явления, 4(3), 244–254. <https://doi.org/10.34753/HS.2022.4.3.244>
2. Жданов В.В. – Современная концепция развития прогнозов лавинной опасности – С. 83-84.
3. Соловьев А.Ю. Геоинформационные методы исследования лавинной опасности на примере хибинского горного массива – С. 96
4. Сферы применения IoT [Электронный ресурс] // Технологии связи – Путь доступа: <https://itechinfo.ru/content/сферы-применения-iot>.
5. Виды датчиков [Электронный ресурс] // WEB-портал для разработчиков электроники – Путь доступа: <https://spb.terraelectronica.ru/news/6173>.
6. Основные технологии реализации Интернета вещей [Электронный ресурс] // Технологии связи – Путь доступа: <https://itechinfo.ru/content/основные-технологии-реализации-интернета-вещей>.
7. Обзор технологий non-cellular LPWAN [Электронный ресурс] // Технологии связи – Путь доступа: <https://itechinfo.ru/content/обзор-технологий-non-cellular-lpwan#intro>.
8. Обзор технологий Cellular Network [Электронный ресурс] // Технологии связи – Путь доступа: <https://itechinfo.ru/content/обзор-технологий-cellular-network> (Дата обращения: 28.01.22).
9. Прогнозирование лавинной опасности [Электронный ресурс] // Snow Avalanche – Путь доступа: <http://snowavalanche.ru/uchebnik/prognozirovanie-lavinnoj-opasnosti/> (Дата обращения: 03.02.22).
10. Благовещенский В.П., Жданов В.В. Опыт оценки и прогноза лавинной опасности в Швейцарии // Гидрометеорология и экология. – 2019. – No 1. – С. 178-191.

11. Кондрашов И.В. Прогноз лавин и некоторых характеристик снежности в горах Казахстана. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 72 с.
12. Руководство по снеголавинным работам (временное). – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 600 с.
13. Сайт Швейцарского федерального института изучения снега и лавин [Электронный ресурс]. – Путь доступа: <https://www.slf.ch>.
14. Avalanche Bulletin Interpretation Guide WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF. 16th revised edition. WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF. 50 pages. [Электронный ресурс]. Jürg Schweizer. On using local avalanche danger level estimates for regional forecast verification / (Режим доступа). [Электронный ресурс]. – Путь доступа: <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.07.012> (Дата обращения: 25.02.22).
15. Акифьева К.В., Возовик Ю.И., Мягков С.М. и др. Изучение лавинного режима и роль лавин в склоновых процессах. В кн.: Склоновые процессы. М., 1974, с. 85 - 100.
16. Аккуратов В.Н. Метеорологические условия образования лавин в Хибинах. МГИ, 1966, №12, с. 132 - 138.
17. What is the LoRaWAN™ Specification? [Электронный ресурс] – Путь доступа: <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>.
18. LPWAN, LoRa, LoRaWAN and the Internet of Things. [Электронный ресурс] – Путь доступа: <https://medium.com/coinmonks/lpwan-lora-lorawan-and-the-internet-of-things-aed7d5975d5d/>.
19. LPWA network technologies and standards: LPWAN wireless IoT guide. [Электронный ресурс] – Путь доступа: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/lpwan/>.
20. С.С. Aggarwal. Neural Networks and Deep Learning. A Textbook. Springer International Publishing AG, 2018. DOI 10.1007/978-3-319-94463-0 ISBN 978-3-319-94462-3.
21. Андреас, Мюллер Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными / Мюллер Андреас. - М.: Альфа-книга, 2017. - 487 с.
22. Плас, Джейк Вандер Python для сложных задач. Наука о данных и машинное обучение. Руководство / Плас Джейк Вандер. - М.: Питер, 2018. - 759 с.
23. Себастьян, Рашка Python и машинное обучение / Рашка Себастьян. - М.: ДМК Пресс, 2017. - 614 с.

СЕКЦИЯ 8. ТРАНСПОРТНОЕ СНЕГОВЕДЕНИЕ

SECTION 8. TRANSPORT SNOW SCIENCE

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АГРАРНОЙ МЕСТНОСТИ НА ПАРАМЕТРЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Жуков С.С.¹, Макаров В.С.², Беляков В.В.²

¹ Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, г. Княгинино, Россия

² Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия

ser-9.02.94@yandex.ru

Аннотация. Прогнозирование подвижности транспортно-технологических машин должно происходить с учетом двух граничных условий дорожно-грунтового основания: переувлажненное опорное основание с потерей несущих свойств и снежное полотно. При изучении физико-механических параметров снежного полотна нужно оперировать среднестатистическими данными количества выпадения снежных осадков и ландшафта местности. Данные о количестве выпадения осадков прогнозируемы с 50 % вероятностью, а распределение снега с учетом рельефа и ландшафта местности представляет особый интерес, особенно для аграрной местности. Результаты исследований показывают, что при наличии лесов на местности, снег распределяется неравномерно при приближении к лесу. Данная работа посвящена исследованию высоты и плотности снежного покрова аграрной местности.

Ключевые слова: снег, снежный покров, подвижность, проходимость, высота снега

ANALYSIS OF INFLUENCE OF AGRICULTURAL TERRAIN CHARACTERISTICS ON SNOW COVER PARAMETERS

Zhukov S.S.¹, Makarov V.S.², Belyakov V.V.²

¹ Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics,
Knyaginino, Russia

² Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russia

ser-9.02.94@yandex.ru

Summary. Forecasting the mobility of transport and technological machines should take into account two boundary conditions of the road-soil base: a waterlogged supporting base with loss of bearing properties and snow cover. When studying the physical and mechanical parameters of the snow cover, it is necessary to operate with average statistical data on the amount of snowfall and the terrain. Precipitation data are predictable with a 50% probability, and the distribution of snow, taking into account the relief and landscape of the area, is of particular interest, especially for agricultural areas. The research results show that in the presence of

forests on the ground, the snow is distributed unevenly when approaching the forest. This work is devoted to the study of the height and density of snow cover in agricultural areas.

Key words: snow, snow cover, mobility, cross-country ability, snow height

Эффективное функционирование транспортно-технологических машин на местности во многом определяется свойством подвижности. Подвижность – это интегральное эксплуатационное свойство транспортно-технологических машин (ТТМ), определяющее способность ТТМ выполнять поставленную задачу с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и состоянию самой машины. Можно выделить потерю подвижности по живучести и мобильности. Живучесть (подвижность по живучести) – это отказная надежность транспортного средства (ТС). Мобильность (подвижность по мобильности) – эксплуатационная надежность ТС. При этом проходимость – это эксплуатационное свойство, определяющее возможность движения автомобиля в ухудшенных дорожных условиях, по бездорожью, которая относится к критическим условиям подвижности машины по мобильности [1,2].

Проходимость транспортных средств, в том числе сельскохозяйственных машин, имеет два граничных условия, при достижении которых данное свойство принимает нулевое значение: 1) потеря дорожно-грунтовым полотном несущих способностей и сцепных качеств при высокой влажности грунта; 2) потеря подвижности при движении по снежному покрову. Если первое граничное условие преимущественно зависит от типа грунта, то физико-механические параметры снега зависят от многих факторов, среди которых температура воздуха, направление ветра, растительность, влажность снега и т.п. Для оценки проходимости транспортных средств по снегу необходимо учитывать как конструкцию самой машины, так и характеристики опорного основания, то есть снежного полотна. Определяющими факторами при оценке проходимости по снегу являются высота и плотность снежного покрова. В работах [5,6] исследована подвижность на основании статистических характеристик снежного покрова, где основным параметром является время, то есть декада, для которой и высчитывается высота и плотность снега, исходя их статистических наблюдений. Однако, с точки зрения подвижности, нас интересует не количество выпавших осадков, а то, как они распределяются на местности с учетом особенностей ландшафта.

В 2021 году было проведено исследование высоты снежного покрова и плотности снега на аграрной местности с. Белка Княгининского района Нижегородской области, которая имеет различную высоту над уровнем моря и неоднородный ландшафт (рисунок 1). На карте обозначено пять участков, но исследование проводилось только по четырем, поскольку участок 5 имеет равнинный характер.



Рисунок 1. Карта местности исследования

В каждом участке замеры высоты снега происходили по 4-8 точкам, по которым подразумевается передвижение ТТМ. В данных точках производили углубление до грунтового основания и измеряли высоту шурфа. Так же отбирали пробы снега и измеряли его плотность. Участок №1 поле – производили измерение по 8 - ми точкам вдоль грунтовой дороги. Участок №2 – грунтовая дорога измерение в четырех точках, расположенных на разных высотах, например, последняя точка расположена в низине. Участок №3 – целина, с высокой растительностью. Участок №5 – часть грунтовой дороги, расположенная между лесопосадкой в низине. Красными контурами указаны точки проведения замеров. Критерием взятия точек являлось их неоднородное расположение с учетом особенностей ландшафта, например, лесопосадка.



а) Участок №1



б) Участок №2



в) Участок №3



г) Участок №5

Рисунок 2. Точки проведения замеров

Стоит заметить, что в каждый месяц наблюдалось различное количество осадков и различный температурный режим, ввиду чего на разных глубинах шурфа наблюдалось различное физико-механическое состояние снега, то есть чередование пористого снега и наста. Слоистость снежного полотна представляет дополнительные трудности при движении ТТМ по сравнению с пористым снегом. Таким образом, проектирование шасси сельскохозяйственных ТТМ должно учитывать данный факт. На рисунке 3,а представлена фотография целины с оставшейся растительностью, которая вносит определенные коррективы в физико-механические параметры снежного покрова. На рисунке 3, б приведена методика проведения замеров: линейка 1 м и рулетка.



а)



б)

Рисунок 3. Состояния снежного покрова на целине (а) и высота шурфа в декабре (б)

Результаты измерений высоты снега предложены на рисунке 4, так из него видны изменения снежного покрова в течении январь, февраль, март. Высота снежного покрова не исследовалась для декабря, поскольку высота снега была не значительная.

Результаты исследования показывают динамику изменений глубины снежного шурфа, как в поле, так и рядом с растительностью. Сравнивая полученные данные с картой распределения снега в 2021 г. видно, что наши данные более точные, поскольку ветер на местности вносит определенные коррективы. Значения плотности так же непостоянны по причине колебания температуры в течение трех месяцев (оттепель – заморозки).

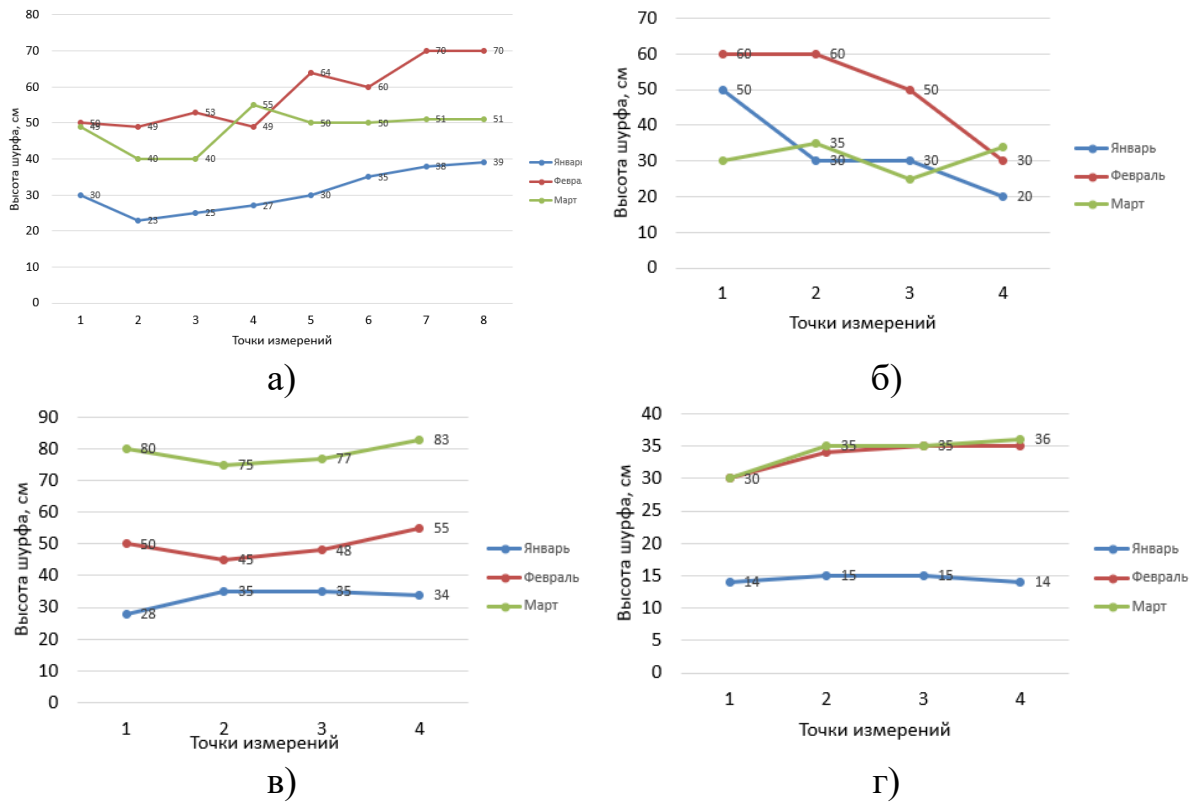


Рисунок 4. Значения высоты снежного покрова: а) участок №1; б) участок №2; в) участок №3; г) участок №5

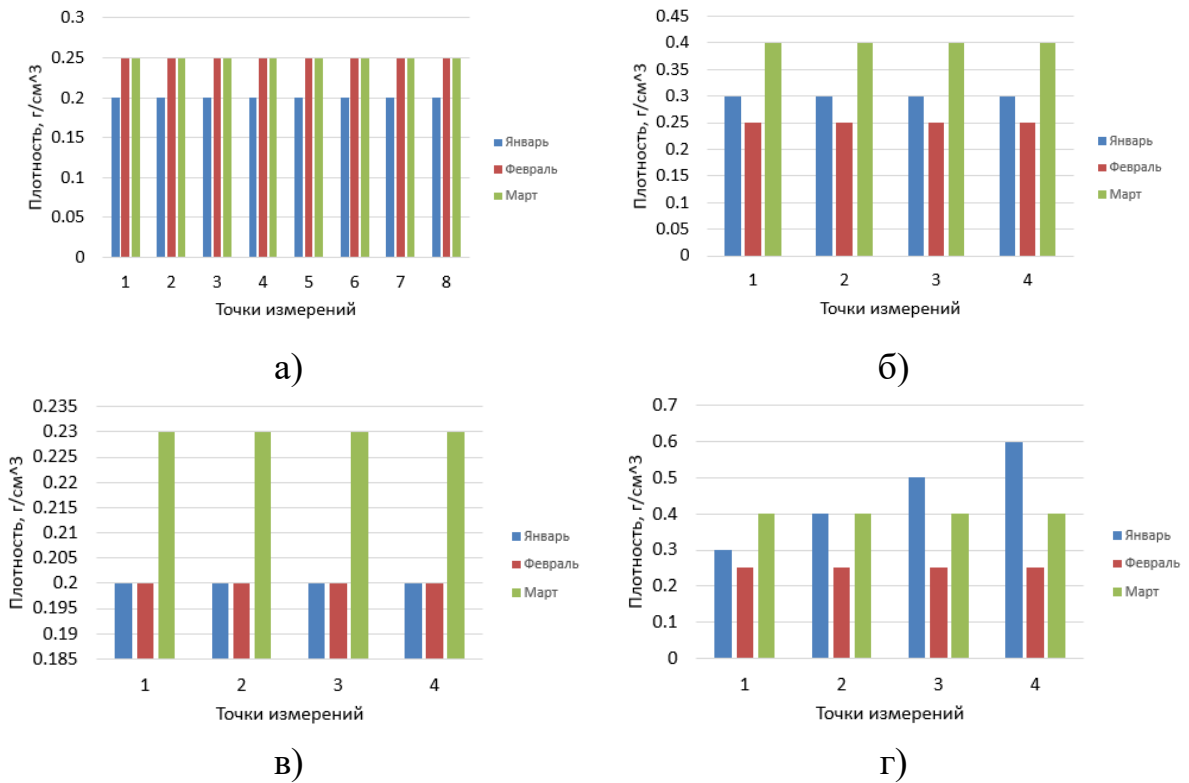


Рисунок 5. Значения плотности снежного покрова: а) участок №1; б) участок №2; в) участок №3; г) участок №5

Стоит обратить внимание, что на графиках кривые высот снежного покрова февраля и марта расположены выше январских значений: это объясняется тем, что в данные месяцы наблюдается большее количество осадков и сильные ветра в, особенно на открытом пространстве. Но более важно то, что рядом с лесополосами высота снежного покрова увеличивается, например, участок 1 и участок 2 (рисунок 6).

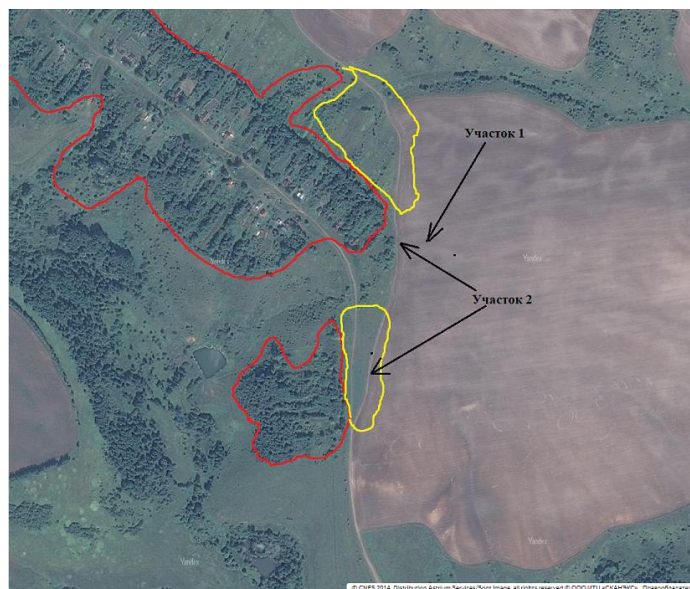


Рисунок 6. Зоны образования высоких снежных гуртов: красная зона – густые лесные насаждения; желтая зона – области накопления снежной массы

Таким образом, для прогнозирования подвижности на местности необходимо разработать математическую модель, которая учитывает особенности ландшафта. В источниках [4, 7] предлагается учитывать коэффициенты районирования: $H_{\text{действ}} = Hk_N^{\text{местн}}$, $\rho_{\text{действ}} = \rho k^{\text{местн}}$, где $H_{\text{действ}}$, $\rho_{\text{действ}}$ – высота и плотность снега с учетом особенностей ландшафта, $k_N^{\text{местн}}$, $k^{\text{местн}}$ – коэффициенты, учитывающие влияние ландшафта на высоту и плотность снега, которые определены на основании экспериментальных данных [11].

В работе [10] приводятся значения коэффициентов для оценки влияния ландшафта на высоту залегания снежного покрова (таблица 1).

Таблица 1. Коэффициенты, влияния ландшафта на высоту снега [10]

Тип ландшафта	Коэффициент
Целина	1
Открытая ледяная поверхность озер	0,4-0,5
Пашня	0,9
Холмистые районы	1,2
Крупные лесные массивы	1,3 – 1,4
Речные русла	3
Заросли камыша на озерах	3
Лесные колки шириной 100 – 200 м и лесные опушки	3,2 – 3,4

Так же в работе [3] приводятся следующие данные: плотность сухого снежного покрова под пологом леса, как правило, ниже, чем на открытых участках, это объясняется разностью скорости ветра и температурными режимами на открытых участках и в лесу. Зависимость плотности снега следующая: $\rho_{лес} = 0,87\rho_{поле}$. На основании исследований проведенных авторами работ [3, 8 – 10] можно выделить определенные характерные участки №1 и №3, на которых формирование снега происходит с учетом ветровых условий, предложенных зависимостей и поправочных коэффициентов (рисунок 7).

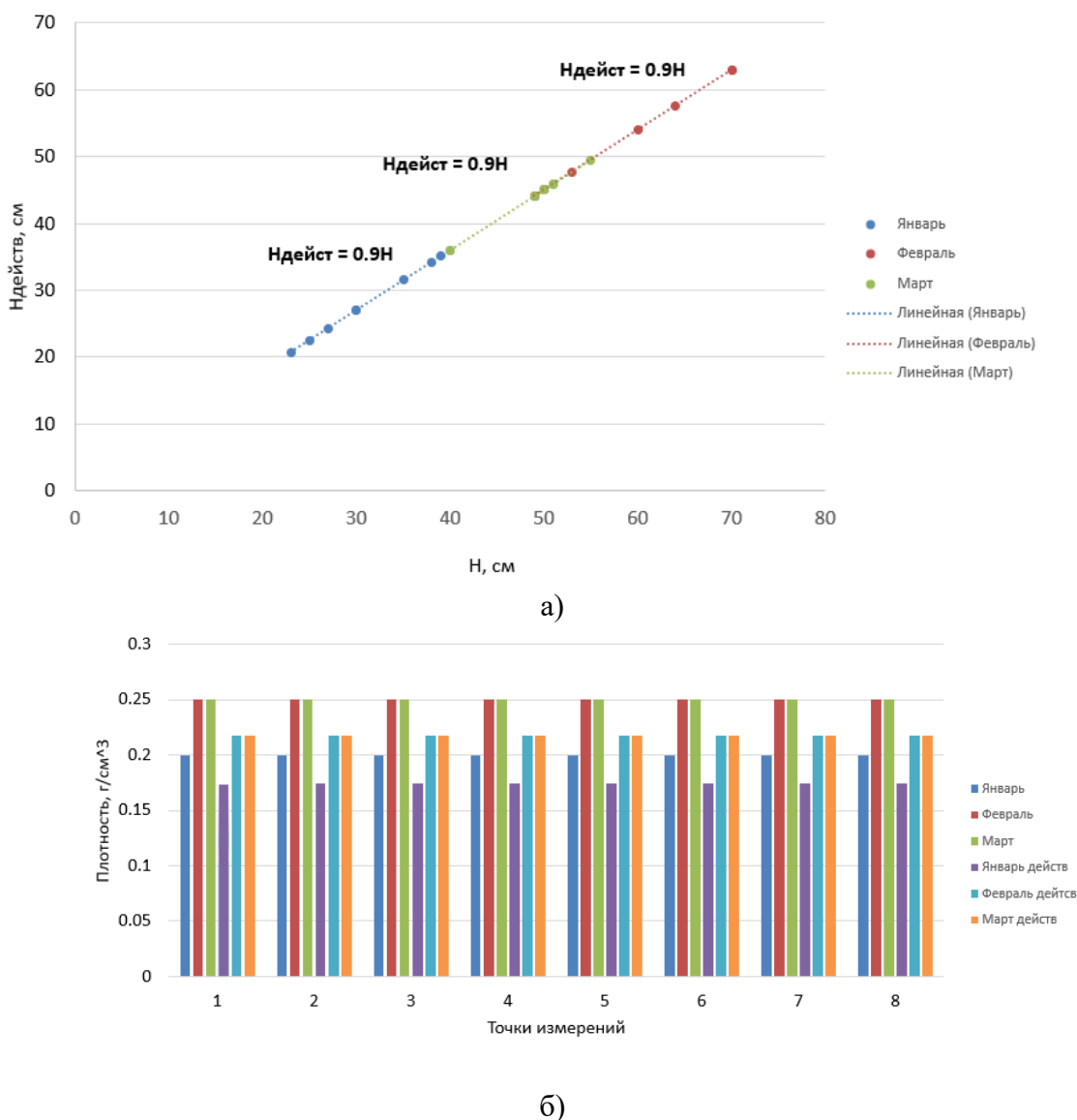


Рисунок 7. Соотношение фактической высоты снежного покрова (а) и плотности снега (б) с действительными значениями

Результаты показывают, что для местности исследования значения высоты и плотности снега имеют незначительные расхождения, если

учитывать ландшафт местности. Данная работа является одним из разделов исследования подвижности ТТМ по снежному покрову, в дальнейшем математическая модель будет дополнена, как в части формирования снежного покрова в аграрной местности, так и в части взаимодействия шасси аграрных машин со снегом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляков, В.В. Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №3. С. 145–174.
2. Беляков, В.В. Подвижность наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №4 С. 72-77.
3. Кузьмин П.П. Формирование снежного покрова и методы определения снеготпасов. – Л., Гидрометеиздат, 1960, 169 с.
4. Макаров В.С. Многоуровневая модель снега как полотна пути для транспортно-технологических машин на примере территории Российской Федерации / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 – С. 270-276
5. Макаров В.С. Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, К.О. Гончаров, А.В. Федоренко, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – №1 – С. 150-157.
6. Макаров В.С. Статистический анализ характеристик снежного покрова / Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8289> (дата обращения: 05.02.2013).
7. Макаров В.С. Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, А.В. Папунин // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. – 2013. – №1 – С. 155-160.
8. Малюгин Ю.Ф. Факторы формирования снежного покрова в районах со сложной орографией (на примере Южного Сихотэ-Алиня): дисс. ... канд. географических наук: 11.00.07. – М., 1985. – 168 с.
9. Официальный сайт ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ВНИИГМИ-МЦД). URL: <http://www.meteo.ru/>
10. Снег. Справочник. / Под ред. Д.М. Грея, Д.Х. Мэйла; Пер. с англ. под ред. В.М. Котлякова Л. Гидрометеиздат 1986. – 751 с.
11. Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Беляков В.В. Обзор исследований по влиянию местности на характеристики снежного покрова // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2014. №3 (105).

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНЫХ ТРАСС И ЗИМНИКОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ГЕОРАДАРОМ

Чернов Р.А., Муравьев А.Я.

Институт географии РАН. Москва, Старомонетный пер., 29, Россия

chernov@igras.ru

Аннотация. Методом радиозондирования проведены исследования толщины и плотности снежных трасс и зимника в окрестности г. Апатиты и г. Кировска (Хибины). Показано, что применение георадара с рабочей частотой 1600 МГц позволяет оперативно оценивать толщину снега на трассах с точностью сравнимой с традиционными методами. Определены наиболее вероятные значения диэлектрической проницаемости уплотненного сухого снега. Оценена средняя плотность снега на трассах, используя формулу Ковакса.

Ключевые слова: снежный покров, плотность, диэлектрическая проницаемость снега

FIELD INVESTIGATIONS OF CHARACTERISTICS OF SNOW ROUTES AND WINTER ROADS WITH HIGH-FREQUENCY GEORADAR

Chernov R.A., Muraviev A.Ya.

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

chernov@igras.ru

Summary. The radio sounding method was used to study the thickness and density of snow tracks and a winter road in the vicinity of Apatity and Kirovsk (Khibiny). It is shown that the use of a radar with an operating frequency of 1600 MHz makes it possible to quickly estimate the thickness of snow on the tracks with an accuracy comparable to traditional methods. The most probable values of the dielectric constant of compacted dry snow are determined. The average snow density on the tracks was estimated using the Kovacs formula.

Key words: snow cover, density, snow permittivity

Введение. Методы радиолокации широко используются для исследования ледников и снежного покрова [1; 2]. При этом опыт применения радиолокации снежного покрова показывает, что существуют определенные проблемы, связанные интерпретацией данных радиозондирования, обусловленные изменчивостью как физических характеристик снежного покрова [3], так и его пространственной изменчивостью [4; 5].

Район полевых исследований расположен в окрестности г. Апатиты и г. Кировска (Мурманская область). В г. Апатиты снежные трассы проложены среди лесного массива, в г. Кировск измерения проводились на трассах горнолыжного курорта. Ширина трасс от 2 до 4 м, на равнинных участках уклоны были небольшие в пределах 10 градусов, на горнолыжном склоне выбирался участок крутизной от 10 до 20 градусов. Зимние условия снегонакопления в районе исследований характеризуются продолжительной зимой с циклональным типом погоды. Устойчивый снежный покров образуется в конце октября – начале ноября и держится до начала мая. В отдельные годы сроки схода снега отмечены во второй половине мая. Продолжительность зимнего периода около 200 дней, толщина снежного покрова варьируется от 0,8 до 1,5 м.

В работе использованы результаты радарной снегомерной съёмки снежной толщи при использовании высокочастотного радара «Пикор-Лёд», ТУ 6683-002-092550026-2015, предприятие-изготовитель ООО ФПК ЭСТРА). Рабочая частота Пикор-Лёд равна 1600 МГц. Радар предназначен для зондирования пресного льда и сухого снега. По данным производителя, прибор позволяет определять толщину льда и снега до 300 см [6]. Измерения авторов на Северной земле показали возможность использования этого радара для плотного снега толщиной до 8 м [4]. Радар переносится в руках или крепится на пластиковые сани, питание прибора в ходе измерения идет от компьютера. Критерием выбора программных характеристик радара было совпадение толщины, измеренной щупом и георадаром на каждом профиле. Значения толщины регистрируемой георадаром отражаются в реальном времени на экране компьютера.

Работы были выполнены в середине марта 2020 и 2021 гг. в период максимального снегонакопления в ходе опытных испытаний и проведения ландшафтной снегомерной съёмки в Хибинах [2]. Тестовые замеры толщины снега на трассах проводились с помощью щупа, с точностью 1 см. Плотность снега измерялась в шурфах весовым способом. Пространственное положение всех профилей во время съёмки фиксировали с помощью GPS-навигатора. Статистическая обработка данных радарограмм и расчеты выполнены при использовании программы электронных таблиц Microsoft Excel.

Результаты исследования. Измерения снежных трасс было выполнено в окрестности г. Апатиты и г. Кировска в марте 2020 и 2021 гг. Трассы механически уплотняются по мере накопления снега с помощью ратрака или снегохода с плугом. На период измерений снежные трассы горнолыжного комплекса г. Кировска и лыжные трассы в лесной зоне г. Апатиты имели толщину снега около 0,5-0,8 м, максимально до 1 м. Плотность снега составляла около 0,3-0,4 г/см³, максимально 0,42 г/см³. Отдельные слои снега имели плотность около 0,45 г/см³. В непосредственной близости от исследуемых участков естественный

снежный покров на склонах имел плотность около 0,31-0,33, в лесной зоне 0,22-0,26 г/см³. Плотность снега на зимнике укатанного снегоходной техники изменялась от 0,42 до 0,45 г/см³ в верхних слоях и около 0,30 г/см³ в нижнем слое.

Всего на трассах было выполнено 60 радарных профилей протяженностью до 330 м. Предварительный анализ полученных радарограмм показал, что автоматическое определение границ кровли и подошвы снежного покрова в программе Пикор-Лёд имеет четкие границы и требует минимального вмешательства в процессе обработки результатов. Фактически, мы использовали снежные трассы для настройки параметров георадара. Важным условием для каждого профиля было совпадения толщины снега измеряемого радаром с толщиной измеренной щупом в точке старта. Основным варьируемым параметром было значение диэлектрической проницаемости (ДП), которое устанавливается в программе перед измерением.

Характерно, что пространственная изменчивость толщины снега на трассах невелика, разброс значений не превышает 10-15% средней величины. Погрешность измерения средней толщины снега на профиле методом радиолокации составляла около 3-5% [2]. Количество полученных замеров толщины снега радаром при скорости передвижения около 4 км/ч (шагом) приблизительно в 500 раз больше, чем при тестовом промере трассы щупом с шагом 5 м. Это позволяет получить подробную детализацию толщины снега и уверенно перейти к статистическим оценкам исследуемой величины даже на коротких участках длиной до 100 м.

Значительные трудности при снегомерных работах традиционно связаны с определением плотности снега. Измерения средней плотности снежного покрова в шурфах трудоемко и требует большого ресурса времени, особенно когда толщина снежного покрова превышает 50 см. Мы использовали традиционный метод шурфования на тестовых участках трасс. Плотность снега измерялась весовым способом, результаты сравнивались с расчетными значениями, используя эмпирическую взаимосвязь плотности и ДП. Для механически уплотненного снега формула Ковакса (Covacs) [1] дает наилучшее совпадение в диапазоне плотности снега от 0,38 до 0,42 г/см³ (таблица).

$$ДП = (1 + 0.845 \cdot \rho)^2, \quad [\text{безразмерный параметр}] \quad (1)$$

Для рыхлого снега плотностью менее 0,33 г/см³ ошибка при использовании формулы (1) становится велика. При этом мы отмечаем, что выбор ДП был сделан в пользу точности совпадения по толщине снега. Но чем более снежный покров рыхлый, тем меньше точность оценки по плотности. Более реалистичные оценки плотности снега на основе формулы Ковакса получаются, если значения ДП (заданные при радиозондировании) увеличить на 0,1. Мы предполагаем, что выявленные расхождения связаны с тем, что формула Ковакса получена для фирна, в нашем случае снежная

толща состоит из мелкозернистого снега в верхнем слое и перекристаллизованного снега в основании. По-видимому, диэлектрические свойства перекристаллизованного снега отличаются от фирнизованного снега, так как рассеяние сигнала меньше.

Таблица 1. Значения диэлектрической проницаемости при измерениях на трассах и фоновых участках, средней плотности снега и расчетные значения плотности снега по формуле Ковакса.

Диэлектрическая проницаемость (ДП)	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,8	2,0
Средняя плотность снега по шурфу, г/см ³	0,16	0,22	0,25	0,28	0,33	0,38	0,42
Расчетная плотность снега, используя формулу Ковакс, г/см ³	0,06	0,10	0,16	0,22	0,26	0,40	0,48
Относительная ошибка, %	-63	-55	-36	-21	-21	5	14

Повышение точности расчетных значений средней плотности снега при использовании радара требует дальнейшей разработки метода. При этом полученные результаты могут быть использованы для оценки прочности снега в условиях быстрого сдвига, что важно для эксплуатации зимников транспортом. Используя ручной метод определения прочности снега (стандартизованный в международной классификации для сезонно-выпадающего снега), мы сравнили значения прочности с расчетным значением (формула (2)). Формула получена на основе опытных данных авторов и данных литературы [7]. При известном значении плотности снега ρ возможно оценить его прочность T (или сопротивление быстрому сдвигу) по формуле:

$$T = 140 \cdot \exp(0.0138 \cdot \rho), \text{ [Па]} \quad (2)$$

Первые оценки показали удовлетворительное совпадение прямых измерений прочности и расчетных значений. Однако строение снежной толщи неоднородно. Опыты радиозондирования снежных трасс показали, что в ряде случаев слои глубинной изморози могут быть обнаружены георадаром, что крайне важно для оценки несущей способности трасс. На снежных трассах мы отмечали радарные отражения в толще уплотненного снега. Подобные отражения не были связаны со скачками плотности, но оказались слоем глубинной изморози. Это позволяет в дальнейшем рассмотреть возможность регистрации слоев глубинной под плотным снегом на лавинно-опасных склонах и зимниках.

Заключение. Измерения толщины уплотненного снега на снежных трассах георадаром «Пикор-Лёд» показали высокую эффективность метода, точность которого сопоставима с традиционными методами измерениями

щупом толщины снега и его плотности в шурфах. Радарограммы имеют четкие границы, соответствующие верхней и нижней поверхности снега, что значительно упрощает их обработку на этапе дешифрирования. Выбор значений диэлектрической проницаемости снега определялся совпадением фактической толщины снега и измеренной радаром с точностью 1-2 см. Для снежных трасс значения диэлектрической проницаемости задавались в диапазоне от 1,4 до 1,8, для зимника с плотным и укатанным снегом 2,0.

Используя эмпирическую зависимость Ковакс, оценена средняя плотность снега. Зависимость дает хорошие совпадения для плотности снега в диапазоне 0,38–0,42 г/см³, для рыхлого снега ошибка становится велика. Определение толщины и плотности снега снежных трасс радиозондированием позволяет перейти к расчетам прочности снега, что важно для задач проходимости техники. Следует отметить, что радиолокация снежных трасс и зимников позволяет оперативно оценивать характеристики снега при значительно меньших трудозатратах в сравнении с ручным методом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мачерет Ю.Я. Радиозондирование ледников. – М.: Научный мир, 2006. – 392 с.
2. Чернов Р.А., Муравьев А.Я. Опыт применения высокочастотного георадара для ландшафтной снегомерной съёмки в окрестностях городов Кировск (Хибины) и Апатиты // Лёд и Снег. – 2021. – Т. 61. – № 1. – С. 103–116.
3. Котляков В.М., Мачерет Ю.Я., Сосновский А.В., Глазовский А.Ф. Скорость распространения радиоволн в сухом и влажном снежном покрове // Лёд и Снег. – 2017. – Т.57. – № 1. – С.45–56.
4. Василевич И.И., Чернов Р.А. К оценке снегозапасов в русловых врезках методом георадиолокации на территории Арктического региона // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2018. – № 64 (1). – С.5–15.
5. Казаков Н.А., Генсировский Ю.В., Жируев С.П. Литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова // Криосфера Земли. – 2018. – Т. XXII. – № 1. – С. 72–93
6. Электронный ресурс: <https://uwbs.ru/products/izmeritel-tolschiny-lda-picor-ice/>
7. Войтковский К.Ф. Механические свойства снега. – М.: Наука, 1977. – 126 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СНЕГА ПО ВЫСОТЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

**Макаров В.С., Папунин А.В., Беляев А.М.,
Ключкин А.А., Беляков В.В.**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.
Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия

makvl2010@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований, проведенных в зимний период 2022-2023 годов, по распределению плотности по высоте снежного покрова. Дано описание методики проведения замеров. Приведены результаты экспериментальных данных. Полученные результаты позволят более точно прогнозировать подвижность и проходимость снегоходных машин.

Ключевые слова: снег, снежный покров, подвижность, проходимость, плотность

STUDY OF SNOW DENSITY DISTRIBUTION BY SNOW COVER HEIGHT

**Makarov V.S., Papunin A.V., Belyaev A.M.,
Klyushkin A.A., Belyakov V.V.**

Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russia

makvl2010@gmail.com

Summary. The article considers the results of experimental studies conducted in the winter period of 2022-2023 on the distribution of density along the height of the snow cover. The description of the measurement technique is given. The results of experimental data are presented. The results obtained will make it possible to more accurately predict the mobility and cross-country ability of snowmobiles.

Key words: snow, snow cover, mobility, passability, density

В «Нижегородской научно практической школе транспортного снеговедения» [1] принято, что достаточными параметрами для оценки и расчета подвижности и проходимости снегоходных машин (СМ) достаточно знать следующие параметры снежного покрова: высота, плотность, начальная жесткость, связность, угол внутреннего трения. Также последние три параметра могут быть эмпирически рассчитаны если известна

плотность снега. [2-6] При этом имеется ввиду интегральное (среднее) значение плотности по высоте снежного покрова. При оценке сил сопротивления и тяги легких и тяжелых СМ при движении по снегу с достаточно однородной плотностью, математические модели из [3-5] дают хорошую сходимость результатов. Также расчет по средней плотности снега уместен для СМ со значительной нагрузкой на движитель. Для большинства существующей техники данные модели дают хорошие результаты, что подтверждено многими исследователями. Однако, как показала практика эксплуатации легких машин на шинах низкого давления и снегоходов, мотособак (мотобуксировщиков, мототолкачей и пр.), имеющих низкие и сверхнизкие средние давления движителя на полотно пути, то при условии, что снег значительно неоднороден по плотности по высоте, и имеет как бы твердое основание и мягкий верхний слой, то машины рассматриваемого типа сминают именно верхнюю часть, не промяв твердую подложку. Поэтому необходимо это учитывать при расчетах. Далее рассмотрим результаты замеров изменения плотности снега по толщине снежного покрова, проведенные в зимний период 2022-2023 годов в Нижегородской области.

Обычно плотность снега на метеостанции измеряют ВС-43, но для наших исследований он не подходит. Им измерялись средние значения на исследуемом участке. Специально был изготовлен малый снегомер диаметров 50 мм, для возможности отбора проб в шурфе (см рис.1). Принципиальная схема проведения замеров приведена на рис. 2.



Рисунок 1. Шурф. Колея трактора. (29.01.23)

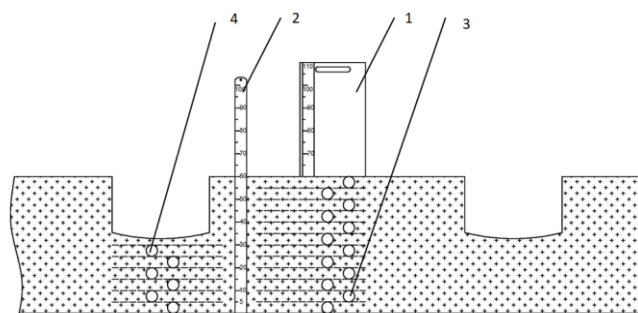


Рисунок 2. Принципиальная схема проведения замеров

На рисунке 1 цифрами показаны: (1) задняя упорная пластина, (2) мерная линейка, (3) места замеров в нетронутом снеге, (4) места замера в колее. Методика замеров следующая. Сначала отрывается шурф поперек колеи, вставляется упорная пластина (1) таким образом, чтобы между ней и краем шурфа было одинаковое расстояние, которое фиксируется. В предварительно размеченные места с помощью линейки (2) вставляется снегомер (5) (см. рис. 3) и взвешивается с помощью весов (6) (см. рис. 4). Для определения средней плотности производятся замеры ВС-43 (7) (см. рис. 5).

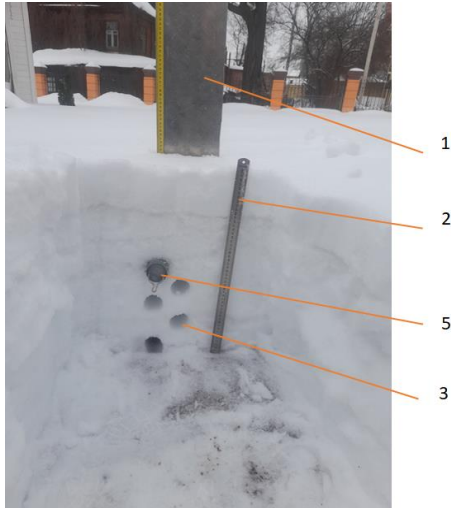


Рисунок 3. Фрагмент замера (17.02.23)



Рисунок 4. Фрагмент замера (29.01.23)

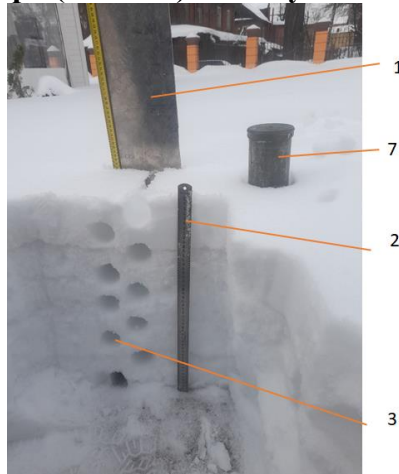


Рисунок 5. Фрагмент замера (17.02.23)

В результате были получены графики изменения плотности снега по высоте. На рис. 6 и 7 приведены графики.

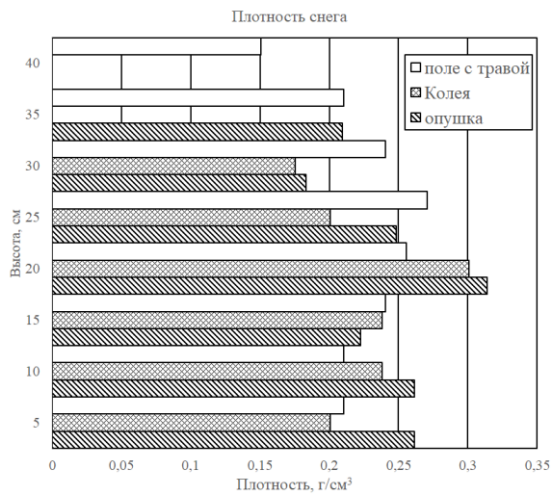


Рисунок 6. Результаты замера (29.01.23)

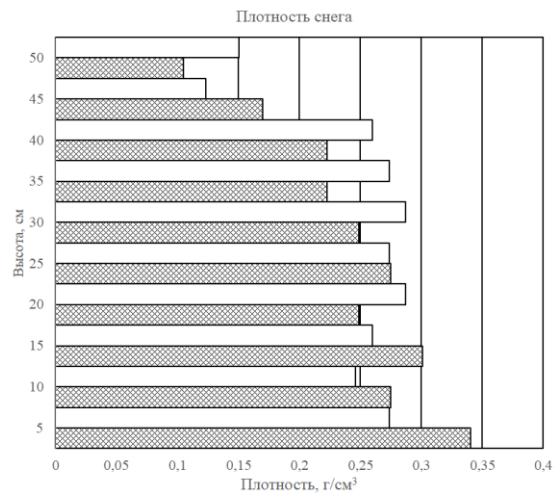


Рисунок 7. Результаты замера (17.02.23)

На рисунках 6 и 7 приведены данные замеров плотности по слоям в 5 см. На рис. 6 показаны характерные замеры на участках поля (открытая местность), опушка леса и поле с высокой травой. Несмотря на разные высоты снега, обусловленные особенностями ландшафта верхний слой снега в 10-15 см имеет плотность на 0,05-0,10 г/см³ меньше, чем нижние слои. Необходимо отметить, что время замера было выбрано после оттепели и с учетом того, что после этого выпал снег как раз в районе 10-15 см. Аналогичные явления наблюдаются при замерах, проведенных 17.02.23 на лабораторном участке НГТУ. Конечно в замерах присутствует некоторая неоднородность в связи с тем, что исследованных шурфах были и настовые и ледовые корки и это требует дальнейшего исследования. В принципе в последнее время структуру снега и характер распределения плотности, ледовых включений и слоистость описана в разных работах, например, в одной из последних [7]. Поэтому вопрос прогнозирования того, как меняется распределение плотности в зависимости от осадков, оттепелей и прочих метеорологических параметров далее рассматривать не будем.

Дальнейшие исследования связаны:

- с экспериментально-теоретическим определением областей касательно среднего (или максимального) давления движителей снегоходных машин при которых учет неравномерности распределения плотности снега по высоте залегания значительно влияет на подвижность и проходимость, а также не оказывает значительной разницы;
- с разработкой (доработкой, развитием) математических моделей по взаимодействию движителей СМ со снегом с учетом неравномерности распределения плотности;
- с экспериментальными исследованиями на специально подготовленном стенде;
- с экспериментальными исследованиями СМ для проверки предложенных нововведений.

Данная работа проведена как продолжение исследований, проводимых в «Нижегородской научно-практической школе транспортного снеговедения» и при финансовой поддержке грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых - кандидатов наук МК-336.2022.4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отраслевая научно-исследовательская лаборатория вездеходных (снегоходных) машин [Текст] : к 50-летию со дня основания (1962-2012 гг.) / под ред. В. В. Белякова ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Нижегородский гос. технический ун-т им. Р. Е. Алексеева". - Нижний Новгород : НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2012. - 271 с.

2. Снегоходные машины / Л.В. Барахтанов [и др.]. Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. 191 с.
3. Беляков В.В. Методика расчета и анализ путей повышения проходимости многоосных колесных машин по снегу: дис... канд. техн. наук: 05.05.03. Н.Новгород, 1992. 307 с.
4. Малыгин В.А. Исследование процесса деформации снега под воздействием гусеничного движителя и обоснование выбора размеров опорной поверхности гусениц снегоходных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03. Горький, 1971. 155 с.
5. Панов В.И. Взаимодействие со снежным покровом гусеничносаночных поездов и пути повышения тяговых качеств: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03. Горький, 1965. 212 с.
6. Makarov V. Prediction of all-terrain vehicles mobility in snowscape scenes / V. Makarov, D. Zeziulin, V. Belyakov 18th International Conference of the International Society for Terrain-Vehicle Systems, ISTVS 2014. Seoul, Korea, 2014.
7. Комаров, А.Ю. Пространственно-временная изменчивость снежного покрова в Московском регионе : дис. ... канд. геогр. наук : 1.6.8. (25.00.31) / ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова». - Москва, 2022. - 197 с.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОРНЫХ ОСНОВАНИЙ

Папунин А.В., Ключкин А.А., Макаров В.С.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия

normokontrol_sdm-2020@bk.ru

Аннотация. Разработана концепция стенда для определения физико-механических характеристик опорных оснований в автоматизированном режиме. С его помощью можно будет вычислить погружение движителя транспортных средств и определить сопротивление движению, а также получить зависимость касательного напряжения от перемещения. На основе этих данных можно оценить тягово-цепные свойства транспортных средств: зависимость тяговой силы от буксования, а также максимально возможную тяговую силу на заданном опорном основании, в том числе при движении по снежному покрову.

Ключевые слова: снег, опорное основание, подвижность, проходимость

DEVELOPMENT OF A DEVICE DESIGN FOR DETERMINING THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE SUPPORT BASES

Papunin A.V., Klushkin A.A., Makarov V.S.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

normokontrol_sdm-2020@bk.ru

Summary. The concept of a stand for determining the physical and mechanical characteristics of the support bases in an automated mode has been developed. With its help, it will be possible to calculate the immersion of the vehicle mover and determine the resistance to movement, as well as to obtain the dependence of the tangential stress on displacement. Based on these data, it is possible to estimate the traction properties of the vehicle: the dependence of the traction force on slipping, as well as the maximum possible traction force on a given support base, including snow cover.

Key words: snow, support base, mobility, cross-country ability

Снежная целина, а также дискретные снежные препятствия являются одними из самых сложных случаев движения транспортно-технологических машин (ТТМ). Опорное основание в виде снега очень изменчиво, выпавший

снег уже через небольшое время в корне меняет свои свойства, особое влияние на него оказывают окружающая температура, влажность, ветер и различные примеси. Однако передвигаться по нему все же необходимо для развития и снабжения территорий им покрытых. При этом, свойство, определяющее возможность движения автомобиля в ухудшенных дорожных условиях, по бездорожью, которая относится к критическим условиям подвижности машины по мобильности называется проходимость [1].

Расчет показателей проходимости ТТМ и возможности по преодолению ими различных препятствий, в том числе снежных, невозможен без данных о физико-механических характеристиках поверхности движения. Эта информация так же необходима для подтверждения разработанных теоретических зависимостей. Для получения этих данных в настоящее время используется пенетромтр грунтовый ПГ-1 и полевая лаборатория Литвинова ПЛЛ-9. Фрагменты замеров физико-механических характеристик грунта с помощью пенетромметра ПГ-1 и схема проведения замеров показаны на рисунке 1. [2]

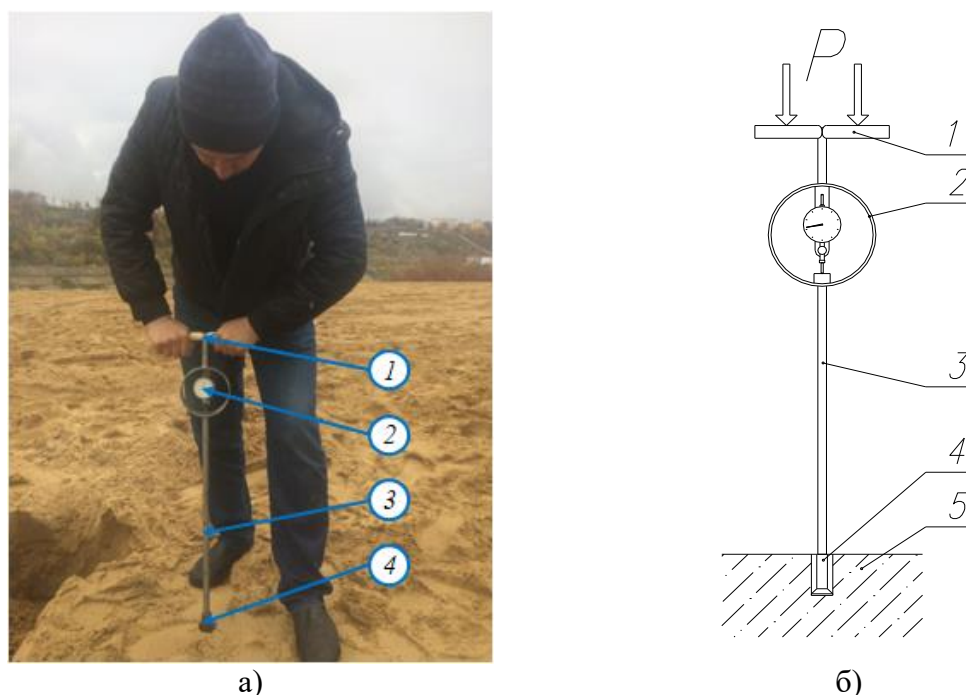


Рисунок 1. Замер физико-механических характеристик грунта с помощью пенетромметра грунтового ПГ-1: а) момент замера, б) схема. [2]

В ходе использования данного оборудования определялась величина пенетрации. И по формулам пересчета, в соответствии с паспортом оборудования, рассчитаны значения модуля упругости, угла внутреннего трения, удельного сцепления грунта. Плотность определялась путем взвешивания мерных проб грунта.

При замерах фиксируют показания индикатора пенетromетра (S , мм) при углублении наконечника на 8 см. Проводят расчет среднего значения по результатам 5-10 замеров в точках, расположенных друг от друга на расстоянии не менее 10 см.

Расчет параметров грунта проводят по номограммам пересчета в соответствии и паспортом ПГ-1 [3].

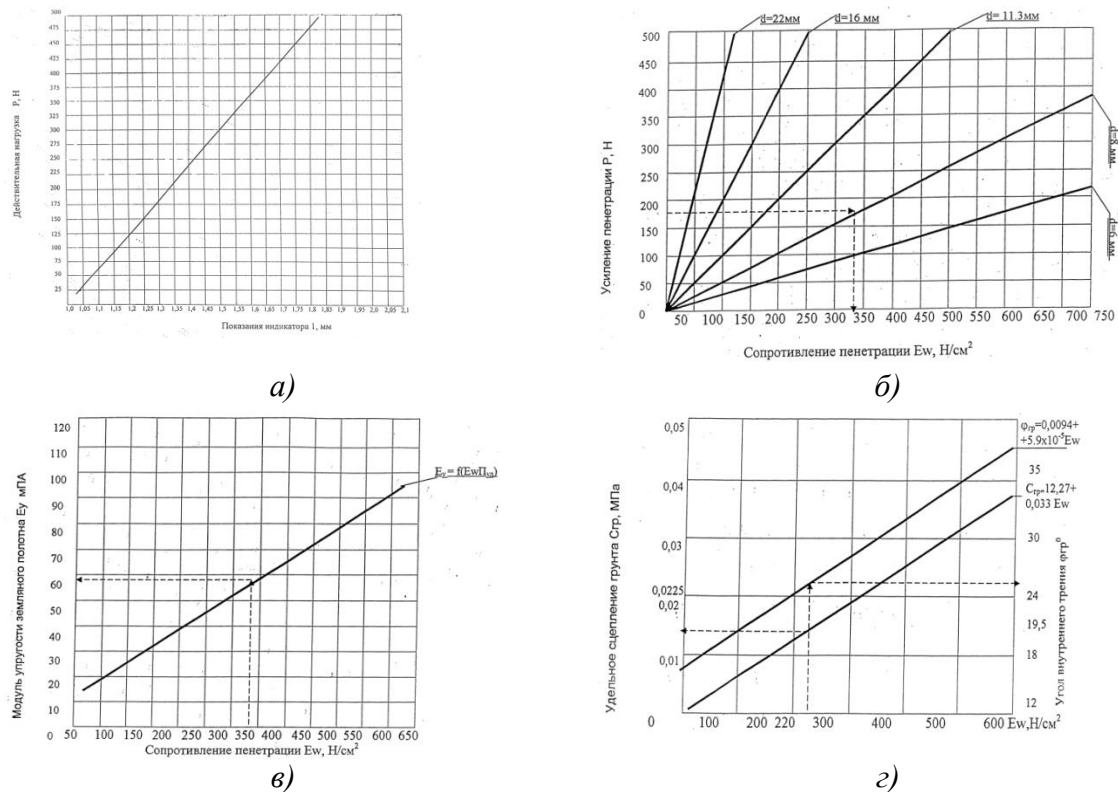


Рисунок 2. Номограммы для определения параметров грунта: а) градуировочный график пенетromетра статического действия, б) определение сопротивления пенетрации E_w при испытаниях пенетromетром статического действия с рабочими наконечниками различных диаметров, в) определение модуля упругости грунта E_y , определение угла внутреннего трения $\phi_{гр}$ и удельного сцепления $C_{гр}$. [3].

В ходе проведения экспериментов обработка данных является крайне трудоёмким процессом, значительно увеличивающим затраты времени. Для ускорения получения данных и повышения точности, появилась необходимость в автоматизации замеров и новом техническом устройстве для изучения опорных оснований. Помимо описанных классических устройств разными авторами в разное время были предприняты попытки создать альтернативные измерительные приборы [4, 5]. Все они действуют по одному и тому же принципу: в грунт погружается наконечник, который затем проворачивается. Вычисляются различные параметры: CI (конусный индекс), угол внутреннего трения, коэффициент трения металл–грунт, адгезия грунта, связность грунта, напряжения среза. Комплексный прибор

для одновременного измерения нормальных и касательных реакций грунта в свое время М.Г. Беккер назвал беваметром [8].

Вновь разрабатываемый прибор должен удовлетворять следующим критериям: мобильность, простота использования, удобство использования, возможность одновременного проведения измерения нормальных и касательных реакций грунта, автоматизация перевода измерений в искомые характеристики, возможность проводить измерения характеристик на всем многообразии опорных оснований, использование открытой платформы управления и вывод данных в общеизвестное и общедоступное программное обеспечение.

Рассмотрим необходимый элементный состав прибора исходя из требований, обозначенных выше.

Данный прибор предназначен для определения физико-механических характеристик грунта, для этого, как и в пенетрометрах, должен быть элемент, который непосредственно будет взаимодействовать с грунтом. Данный элемент будет внедряться в грунт для определения значений усилий. Целесообразно этот элемент выполнить в виде штампа круглой формы. Пример показан на рисунке 3а.

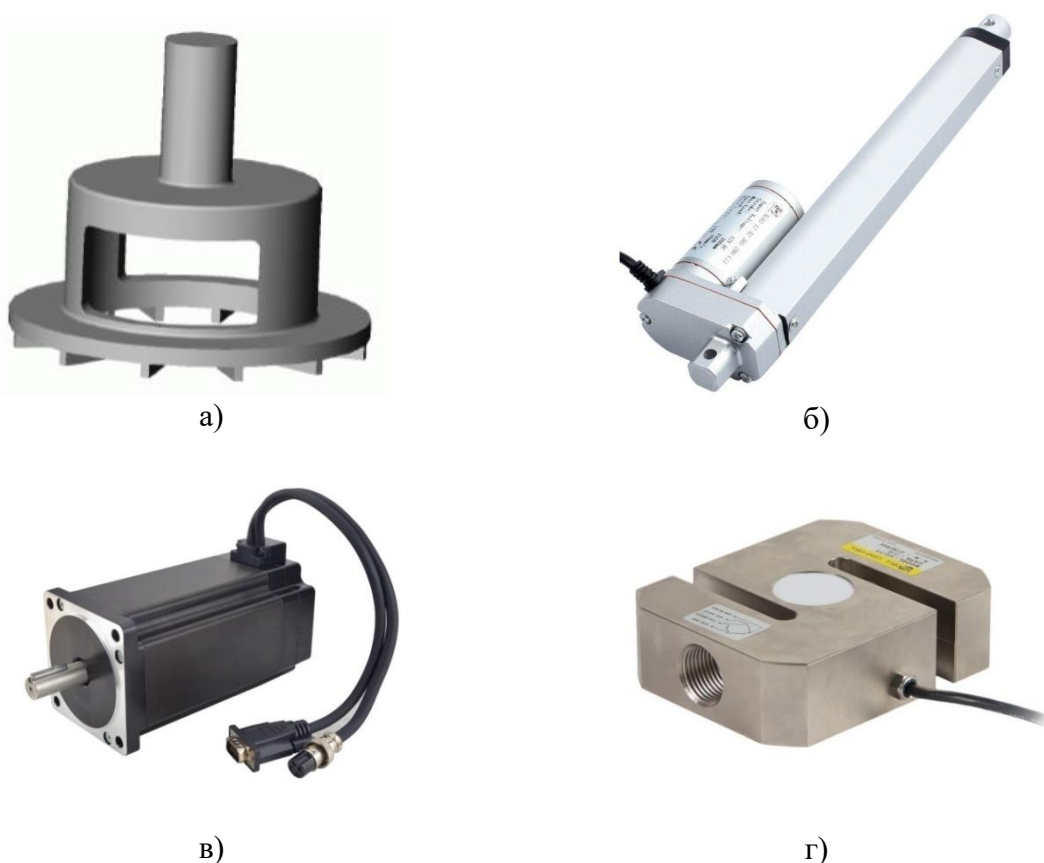


Рисунок 3. Основные исполнительные элементы прибора: а) пример внедряемого в грунт штампа, б) пример актуатора вертикального перемещения для использования в приборе, в) пример шагового двигателя для использования в приборе, г) пример тензометрического датчика

Внедрение этого штампа в грунт должно происходить в вертикальной плоскости. Для этого в составе прибора должны быть направляющие в вертикальном направлении, а также актуатор, который будет придавать штампу необходимое усилие. Пример актуатора показан на рисунке 3б.

Определение сдвиговых характеристик грунта связано с перемещением штампа в горизонтальной плоскости в объеме грунта. Целесообразнее всего перемещение штампа в горизонтальной плоскости обеспечить за счет использования шагового двигателя. Чтобы всегда иметь информацию о перемещении штампа в пространстве (вращении) шаговый двигатель должен быть оборудован датчиком угла поворота (энкодером). Пример шагового двигателя показан на рисунке 3в.

Измеряемой величиной данного прибора является усилие внедрения штампа определенной формы в грунт а так же усилий связанных с перемещением этого штампа в горизонтальной плоскости(вращения) в объеме грунта. Исходя из практики проведения различных видов испытаний, по определению тяговых усилий и усилий сопротивлению движения ТТМ на разных опорных основаниях, для этих целей общепринято использовать тензометрические датчики. Пример тензометрического датчика показан на рисунке 3г.

При проведении замеров физико-механических характеристик грунта, штамп внедряется в массив грунта, существует вероятность, что стенд начнет подниматься относительно опорного основания. Для установления данного факта на корпус устройства установлен лазерный дальномер.

Движения штампа в объеме грунта должны подчиняться определенным законам, т.е. должен чередоваться определенный порядок действий. Одновременно с этим должны сниматься показания с тензометрического датчика. Получается, что, для согласования элементов прибора в его составе необходим блок управления с заданной программой.

Работа современных устройств, таких как шаговый двигатель, тензометрический датчик, лазерный дальномер, блок управления и его драйверов невозможна без источника питания. В качестве источника питания может выступать как аккумуляторная батарея на 12/24v, так и блок питания запитанный с помощью генератора.

Получается, что для удовлетворения требований, обозначенных выше, вновь разрабатываемый прибор должен состоять из следующих групп элементов: штамп, тензодатчик, шаговый двигатель с энкодером, актуатор с потенциометром, драйвер управления тензодатчиком, драйвер управления шаговым двигателем, устройство(блок) управления, устройство управления актуатором, лазерный дальномер, рама(основание) и источник питания.

Учитывая вышеизложенное, предлагается следующая конструкция стенда. Для более детального рассмотрения покажем эскизный сборочный чертеж данного стенда, показано на рисунке 4.

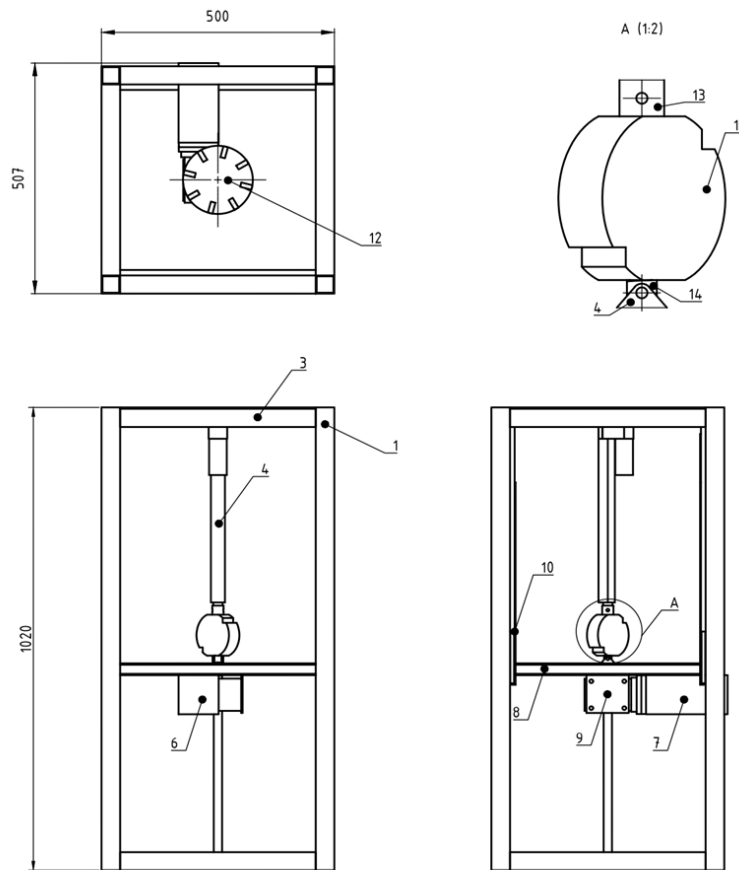


Рисунок 4. Схема стенда : 1- Ноги, изготовленные из профильной трубы , 2- Пластина верхней базы, 3- Балка жесткости, 4- Проушина, 5- Актуатор, 6- Редуктор червячный, 7- Шаговый двигатель, 8- Платформа двигателя и редуктора, 9-Кронштейн редуктора, 10-Направляющая, 11- Тензометрический датчик, 12- Насадка (штамп), 13- Переходник для актуатора на тензометрический датчик, 14- Переходник для платформы двигателя и редуктора на датчик.

Работа проведена при финансовой поддержке грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых - кандидатов наук МК-336.2022.4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляков, В.В. Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №3. С. 145–174.
2. Папунин, А. В. Методика расчета, выбора и оценка основных параметров движителя многоосной колесной машины при преодолении разрушаемых препятствий : диссертация ... канд.техн. наук: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. - Нижний Новгород, 2019. - 175 с.
3. Пенетромтр грунтовой ПГ-1. Паспорт и инструкция по эксплуатации. – 2016 г. - 8 с.
4. Макаров В.С. Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, К.О. Гончаров, А.В. Федоренко, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – №1 – С. 150-157
5. Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность-машина. - М.: Машиностроение, 1973. - 520 с

ПРИЛОЖЕНИЯ

APPLICATIONS

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Адилъбаева Т.Е.	140
Алексенко А.Н.	72, 131
Амиргалиев Н.А.	77
Анциферов Е.А.	32
Аршинов М.Ю.	54
Баранов А.Н.	41
Белан Б.Д.	54
Беляев А.М.	206
Беляков В.В.	193, 206
Берестнева О.Г.	136
Буренина Т.А.	84
Бучельников В.С.	54
Быстрова Л.Б.	160
Викулина В.Ю.	160
Гулевич В.П.	145
Данилова И.В.	88
Дашдорж З.	136
Демидов Д.А.	170
Демидова В.Р.	117
Дикан Т.Г.	160
Долбилина Н.С.	160
Дружинин С.В.	61
Ерохин С.А.	61
Жади А.О.	77
Жуков С.С.	193
Журба О.М.	72, 131
Зеленков Д.В.	179
Зубарева О.Н.	88
Ивлев Г.А.	54
Исмуханова Л.Т.	77
Калашникова Д.А.	125
Ким В.В.	125
Клюшкін А.А.	206, 211
Кобылкин Д.В.	145, 150
Ковальногов В.Н.	170, 174
Кондратьев И. И.	21
Корнилова М.И.	170, 174
Котова Е.И.	114
Куклина М.В.	136, 150, 155
Куликова М.А.	117
Лисецкая Л.Г.	68
Лонкина Е.С.	49
Лютюев В.П.	54
Мадибеков А.С.	77
Макаров В.Н.	36, 108, 120
Макаров В.С.	193, 206, 211
Маркова С. А.	108
Меринов А.В.	72, 131
Михайленко Н.О.	94

Adil'bayeva T.E.	140
Alekseenko A.N.	72, 131
Amirgaliev N.A.	77
Antsiferov E.A.	32
Arshinov M.Yu.	54
Baranov A.N.	41
Belan B.D.	54
Belyaev A.M.	206
Belyakov V.V.	193, 206
Berestneva O.G.	136
Buchelnikov V.S.	54
Burenina T.A.	84
Bystrova L.B.	160
Chernous P.A.	94
Chernov R.A.	201
Chukalin A.V.	170, 174
Danilova I.V.	88
Dashdorj Z.	136
Demidov D.A.	170
Demidova V.R.	117
Dikan T.G.	160
Dolbilina N.S.	160
Druzhinin S.V.	61
Erokhin S.A.	61
Fedorov R.V.	174
Fedorova A.S.	155
Filippova V.V.	155
Fofonov A.V.	54
Gulevich V.P.	145
Ianchenko N.I.	26, 32
Ismukhanova L.T.	77
Ivlev G.A.	54
Kalashnikova D.A.	125
Khadbaatar S.	150, 155
Khakhalev Yu.A.	170
Khakhaleva L.V.	170, 174
Kharitonova E.S.	102
Khristoforova N.K.	49
Kim V.V.	125
Klyushkin A.A.	206, 2011
Kobylkin D.V.	145, 150
Kondratyev I. I.	21
Kornilova M.I.	170, 174
Kotova E.I.	114
Kovalnogov V.N.	170, 174
Kuklina M.V.	136, 150, 155
Kulikova M.A.	117
Lisetskaya L.G.	68
Lonkina E.S.	49

Михайлов В.И.	54
Муравьев А.Я.	201
Мусакулкызы А.	77
Мусохранова А.В.	84
Мядзелец А.В.	150
Нецветаева О.П.	114
Озолия В.Л.	160
Онучин А.А.	84
Павлова М.Т.	102
Папунин А.В.	206, 211
Першина Н.А.	102
Пескова Т.А.	41
Петров А.В.	174
Пляшечник М.А.	88
Полищук А.И.	102
Прысов Д.А.	88
Пупцев Р.И.	183
Пучков А.В.	61
Ревуцкая И.Л.	49
Рябова С.А.	45
Саввинова А.Н.	155
Савченко Е.И.	41
Седельникова А.Л.	120
Симоненков Д.В.	54
Симонова Г.В.	125
Смолева И.В.	54
Соромотин А.В.	117
Султанбекова Б.М.	77
Таловская А.В.	140
Тананаев Н.И.	165
Тентюков М.П.	54
Титова К.В.	114
Тихомиров А.А.	136
Токарев И.В.	61
Труфанов А.И.	136, 150, 179
Тузова Т.В.	61
Федоров Р.В.	174
Федорова А.С.	155
Филиппова В.В.	155
Фофанов А.В.	54
Хадбаатар С.	150, 155
Харитонова Е.С.	102
Хахалев Ю.А.	170
Хахалева Л.В.	170, 174
Христофорова Н.К.	49
Чернов Р.А.	201
Черноус П.А.	94
Чукалин А.В.	170, 174
Шаяхметов С.Ф.	72, 131
Шукуров К.А.	54
Язиков Е.Г.	140
Яковлев Е.Ю.	61
Янченко Н.И.	26, 32

Lyutoev V.P.	54
Madibekov A.	77
Makarov V.N.	36, 108, 120
Makarov V.S.	193, 206, 211
Markova S. A.	108
Merinov A.V.	72, 131
Miadzelets A.V.	150
Mikhailenko N.O.	94
Mikhailov V.I.	54
Muraviev A.Ya.	201
Musakulkyzy A.	77
Musokhranova A.V.	84
Netsvetaeva O.P.	114
Onuchin A.A.	84
Ozolinya V.L.	160
Papunin A.V.	206, 211
Pavlova M.T.	102
Pershina N.A.	102
Peskova T.A.	41
Petrov A.V.	174
Plyashechnik M.A.	88
Polishchuk A.I.	102
Prysov D.A.	88
Puchkov A.V.	61
Pupcev R.I.	183
Revutskaya I.L.	49
Riabova S.A.	45
Savchenko E.I.	41
Savvinova A.N.	155
Sedelnikova A.L.	120
Shayakhmetov S.F.	72, 131
Shukurov K.A.	54
Simonenkov D.V.	54
Simonova G.V.	125
Smoleva I.V.	54
Soromotin A.V.	117
Sultanbekova B.	77
Talovskaya A.V.	140
Tananaev N.I.	165
Tentyukov M.P.	54
Tikhomirov A.A.	136
Titova K.V.	114
Tokarev I.V.	61
Trufanov A.I.	136, 150, 179
Tuzova T.V.	61
Vikulina V.Yu.	160
Yakovlev E.Yu.	61
Yazikov E.G.	140
Zelenkov D.V.	179
Zhadi A.O.	77
Zhukov S.S.	193
Zhurba O.M.	72, 131
Zubareva O.N.	88

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

РАБОЧАЯ ГРУППА ОРГКОМИТЕТА



Анциферов Е.А.,
канд. хим. наук, директор
Института высоких технологий
ФГБОУ ВО ИРНИТУ

Evgeniy Antsiferov
Ph.D., director of the institute of high
technologies INRTU, Irkutsk

Янченко Н.И.
д-р техн. наук, ФГБОУ ВО
ИРНИТУ, председатель
программного комитета,
г. Иркутск

Natalia Ianchenko
Dr. Sci., INRTU, Irkutsk



Огнёв И.А.
канд. техн. наук, ФГБОУ ВО
ИРНИТУ, г. Иркутск

Igor Ognev
Ph.D., INRTU, Irkutsk



Макаров В.С.
доктор технических наук,
профессор «НГТУ им.
Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород

Vladimir Makarov
Dr. Sci., NNSTU n.a. R.E. Alekseeva,
Nizhny Novgorod





Петрова О.В.
заведующий УК Технопарк
ИРНТУ, г. Иркутск

Olga Petrova
Head of Technopark INRTU, Irkutsk

Куклина М.В.
к.э.н., ФГБОУ ВО ИРНТУ,
г. Иркутск

Maria Kuklina
Ph.D., INRTU, Irkutsk



Аршинский В.Л.
канд. техн. наук, ФГБОУ ВО
ИРНТУ, г. Иркутск

Vadim Arshinsky
Ph.D., INRTU, Irkutsk



Подкорытов А.А.
ассистент ИРНТУ, г.Иркутск

Alexey Podkorytov
INRTU, Irkutsk



Баранов А. Н.
д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ
ВО ИРНТУ, г. Иркутск

Anatolii Baranov
Professor, Dr. Sci., INRTU, Irkutsk



ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ФОТОГРАФИИ С IV БАЙКАЛЬСКОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ - СТРАТЕГИЧЕСКОЙ СЕССИИ «СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ, АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ, АЭРОЗОЛИ»



Рисунок 1. Работа конференции

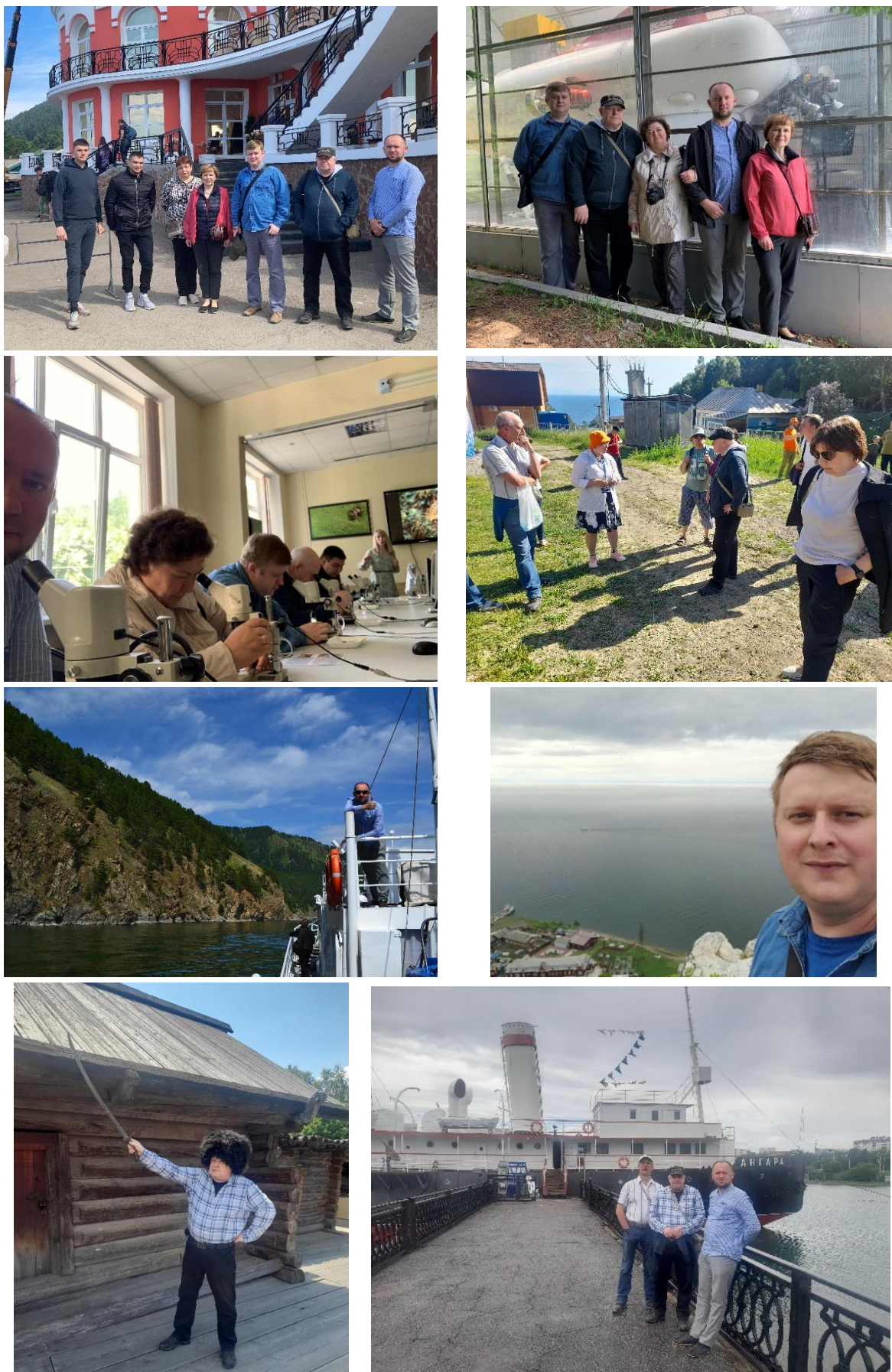


Рисунок 2. Фото участников конференции

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ, АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ, АЭРОЗОЛИ

МАТЕРИАЛЫ V Байкальской международной научной конференции – стратегической сессии (19 – 23 июня 2023 г.)

Дизайн обложки: Макаров В.С.
Верстка и составление макета: Макаров В.С.

Подписано в печать 05.06.2023.
Бумага оцветная. Печать цифровая. Усл. Печ. Л. 13.

Отпечатано в ООО «Глазковская типография»
Адрес: г. Иркутск, ул. Гоголя, 53,
Тел. 38-78-40, 70-78-40, ИНН 3846068526.
Тираж 100 экз. Заказ. 488.