



ISBN 978-5-6049201-9-0



9 785604 920190

МАТЕРИАЛЫ VII МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

2

Майкоп
15 – 19 мая 2023 г.



МАТЕРИАЛЫ
VII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ
ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Часть 2

РЕСПУБЛИКА АДЫГЕЯ, г. МАЙКОП
15-19 МАЯ 2023 г.

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Maykop State Technological University»
Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia
Institute of Atmospheric Physics of A.M. Obukhov of the Russian Academy of Sciences
Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Lomonosov Moscow State University »
Consortium «Sustainable Development» on the basis of the Private Educational Institution
«Witte Moscow State University»
Department for Environmental Protection and Natural Resources of the Republic of Adygea

FUNDAMENTAL AND APPLIED ASPECTS OF GEOLOGY, GEOPHYSICS AND GEOECOLOGY USING MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES

VII International Scientific and Practical Conference

Part 2

**Republic of Adygeya, Maykop
May 15-19, 2023**

УДК [551+550.83+574]:004:061.3(470.621)

ББК 20.1

Ф-94

Редакционная коллегия:

Куижева С.К. – д-р экон. наук, доцент

Овсянникова Т.А. – д-р филос. наук, профессор

Беданокон М.К. – д-р экон. наук, профессор

Дёмина Т.И. - канд. физ.-мат. наук, доцент

Шевякова О.П. - канд. физ.-мат. наук, доцент

Ф-94 ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. Материалы VII Международной научно-практической конференции. Часть 2. – Майкоп: Изд-во «ИП Кучеренко В.О.», 2023. – 322 с.

ISBN 978-5-907004-00-9

ISBN 978-5-6049201-9-0– Ч.2

В сборнике представлены материалы участников научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий», организованной на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Майкопский государственный технологический университет» совместно с Институтом экологии Академии наук Абхазии (ИЭ АНА, г. Сухум, Республика Абхазия), при поддержке ФГБУН Института физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА РАН, г. Москва, Россия), ФГБУН Геофизического центра Российской академии наук (ГЦ РАН, г. Москва, Россия), ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ, г. Москва, Россия) и Консорциума «Устойчивое развитие» на базе ЧОУ ВО «Московский университет им. С.Ю. Витте», при участии Управления по охране окружающей среды и природным ресурсам Республики Адыгея, проведённой в г. Майкопе 15 – 19 мая 2023 г.

ISBN 978-5-6049201-9-0



УДК [551+550.83+574]:004:061.3(470.621)

ББК 20.1

© ФГБОУ ВО «МГТУ», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Литвинская С.А. ТРАНСФОРМАЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ СУКЦЕССИЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	13
Ломя Р.Ф., Ахсалба А.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОН РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ.....	21
Лубков А.С., Воскресенская Е.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ФАЗ ЭЛЬ-НИНЬО – ЮЖНОГО КОЛЕБАНИЯ И ПРОГНОЗ ЭЛЬ-НИНЬО-2023.....	30
Лысеко В.И., Шик Н.В. ВЛИЯНИЕ ГЛУБИННЫХ ФЛЮИДОВ ХОЛОДНЫХ СИПОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И БИОЦЕНОЗ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮЖНЫЙ БЕРЕГ КРЫМА).....	34
Мазур В.В. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОТОКОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ НА ОСНОВАНИИ РАСЧЕТА СУММАРНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД.....	43
Маньковская Е.В., Морозов А.Н. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	46
Марандиди С.И., Ахсалба А.К. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ В ХХІ ВЕКЕ.....	52
Марченков А.Ю. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДОЛГОВРЕМЕННОГО МОНИТОРИНГА ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ МГУ В МОСКВЕ.....	61
Марчук Е.А., Репина И.А., Козлов И.Е., Осадчиев А.А., Степанова Н.Б. АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ КАРСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И ДАННЫХ ЭКСПЕДИЦИИ «ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ-2021».....	63
Меретуков М.А., Тороян Р.А., Беданок М.К., Кохужева Р.Б., Артамонов А.М. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОСТРОЕНИЯ ГЕОЛОГО-ФИЛЬТРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПЛАСТА НИЗОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ.....	66
Морозова С.В., Полянская Е.А., Алимпиева М.А. ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ВОЛН ТЕПЛА И ХОЛОДА В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ НА ФОНЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ.....	74

Нарижная А.И., Чечин Д.Г., Махотина И.А. ВЕРИФИКАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА И ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАЧНОСТИ НАДО ЛЬДОМ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АРКТИКЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ CERES И ДРЕЙФУЮЩИХ СТАНЦИЙ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС».....	80
Нефедова Л.В., Соловьев Д.А. ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА, КАК ОДИН ИЗ ИНСТРУМЕНТОВ ЭНЕРГОПЕРЕХОДА В ЕВРОПЕ: РЕАЛИИ И РИСКИ В СВЯЗИ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ.....	81
Онищенко С. В., Кузьмин К. А., Бычков Т.Ю. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.....	91
Пачулия Э.В., Экба Я.А. ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЬНЫХ ВЕТРОВ И ШКВАЛОВ В АБХАЗИИ.....	100
Попова Е.А., Акименко Ю.В. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТОКСИЧНОСТЬ ТЕТРАЦИКЛИНА ПО СТЕПЕНИ ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОСТИ КАТАЛАЗЫ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО.....	107
Постарнак Ю.А., Жаворонков С.В. ВИДОВОЙ СОСТАВ ДЕНДРОФЛОРЫ ГОРОДА ГЕЛЕНДЖИКА (ЧЕРНОМОРСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ РОССИИ).....	111
Ракитин В.С., Казаков А.В., Кириллова Н.С., Федорова Е.И., Еланский Н.Ф. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ИФА РАН TROROMI TOOLS ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ОРБИТАЛЬНЫХ ДАННЫХ О СОСТАВЕ И ПАРАМЕТРАХ АТМОСФЕРЫ.....	120
Ракитин В.С., Штабкин Ю.А., Кириллова Н.С., Федорова Е.И., Васильева А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕНДОВ СОСТАВА АТМОСФЕРЫ НАД ЕВРАЗИЕЙ И ИХ ОТКЛИКА НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОРБИТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ GEOS-СНЕМ.....	128
Ренева М.А. НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРИРОДНЫЕ ЛАНДШАФТЫ СОЧИНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА НА ПРИМЕРЕ ОПОЛЗНЯ «КЕСЯН» В СЕЛЕ СЕРГЕЙ-ПОЛЕ.....	137
Реутова Т.В., Дреева Ф.Р., Реутова Н.В. АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ В РАЙОНЕ ЭЛЬБРУССКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС...	145
Рябова С.А. ИОНОСФЕРНЫЕ АНОМАЛИИ В ПЕРИОД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ПРОВИНЦИИ БАДАХШАН (2023).....	155

Рябова С.А. ШЕСТНАДЦАТИДНЕВНАЯ ПЛАНЕТАРНАЯ ВОЛНА В ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЯХ ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИЙ «МОСКВА», «БОРОК» И «БЕЛЬСК».....	159
Сазонов А.Д. ОБ ИЗМЕНЧИВОСТИ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ СРЕДНИЙ ЕГОРЛЫК (БАССЕЙН РЕКИ ЗАПАДНЫЙ МАНЬЧ).....	164
Симанков В.С., Бучацкий П.Ю., Онищенко С.В., Теплоухов С.В. ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОСТУПЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ.....	167
Сиротюк Э.А., Шадже А.Е., Гунина Г.Н. РЕДКИЕ И ИСЧЕЗАЮЩИЕ РАСТЕНИЯ ХАДЖОХСКОГО РЕКРЕАЦИОННОГО РАЙОНА АДЫГЕИ.....	175
Скафарик А.И., Киселева С.В. ОПТИМАЛЬНАЯ ТАРИФИКАЦИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОКУПАЕМОСТИ СОЛНЕЧНОЙ МИКРОГЕНЕРАЦИИ В РЕГИОНАХ РОССИИ.....	178
Соловьёва О.В., Мирзоева Н.Ю., Тихонова Е.А., Дорошенко Ю.В., Бурдиян Н.В. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ СЕВЕРО-КРЫМСКОГО КАНАЛА ПОСЛЕ ЕГО НАПОЛНЕНИЯ ВЕСНОЙ 2022 ГОДА.....	187
Стецюк А.П., Малахова Т.В., Иванов М.В. КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ РТУТИ ВЗВЕШЕННЫМ ВЕЩЕСТВОМ И ДОННЫМИ ОСАДКАМИ В РАЙОНАХ МЕТАНОВЫХ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ СО ДНА ЧЕРНОГО МОРЯ.	192
Сушкова С.Н., Минкина Т.М., Дудникова Т.С. Шуваев Е.Г., Бакоева Г.М. ВЛИЯНИЕ БИОЧАРА И МИКРООРГАНИЗМОВ НА РЕМЕДИАЦИЮ ПОЧВ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ.....	199
Сычев В.И., Шилин М.Б. ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОСФЕРЫ НЕВСКОЙ ГУБЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	204
Терещенко Н. Н., Проскурнин В.Ю., Чужикова-Проскурнина О.Д., Нгуен Чонг Хиеп ХЕМОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ВОД В РЕКЕ ХАМЛУОНГ В ОТНОШЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОИДОВ (ДЕЛЬТА РЕКИ МЕКОНГ, ВЬЕТНАМ).....	214
Тихонова Е.А., Соловьёва О.В., Сидоров И.Г., Нгуен Чонг Хиеп РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В РЕЧНЫХ НАНОСАХ МАНГРОВЫХ УЧАСТКОВ БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА КАНЗЁ (ВЬЕТНАМ).....	222
Ткачева Я.С. РАСЧЕТ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВРЕДНЫМИ ВЫБРОСАМИ АВТОТРАНСПОРТОМ НА МАГИСТРАЛЬНОЙ УЛИЦЕ Г. МАЙКОПА.....	227

Третьяк И.Д., Лебедев С.А. МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ СЕВЕРО- ЗАПАДА РОССИИ.....	232
Фастова А.С., Акименко Ю.В. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ МИКРОБОЦЕНОЗА ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО К ЗАГРЯЗНЕНИЮ ОКСИТЕТРАЦИКЛИНОМ ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОЧАРА.....	237
Федоренко Г.М., Федоренко А.Г., Минкина Т.М., Невидомская Д.Г., Польшина Т.Н. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО –АНАТОМИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ РАСТЕНИЙ-МАКРОФИТОВ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОЧВЫ УГОЛЬНЫМИ ОТВАЛАМИ ДОНЕЦКОГО БАССЕЙНА.....	241
Федорова Е.И., Лапченко В.А., Еланский Н.Ф., Ракитин В.С., Скорород А.И., Васильева А.В. ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА В КАРАДАГСКОМ ПРИРОДНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ.....	244
Халиева А.А., Яицкая Н.А. ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ НА ОСНОВЕ ИСТОРИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ И ГИС- ТЕХНОЛОГИЙ.....	249
Хатко З.Н., Кудайнетова С.К., Белявцева Т.А., Бегеретова Д.М. СТРУКТУРА И БИОДЕГРАДИРУЕМОСТЬ ПЕКТИНОСОДЕРЖАЩИХ ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР.....	255
Хучунаев Б.М., Дахова О.О., Керефова З.М., Юрченко Н.В. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЬБРУССКОГО РАЙОНА КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ.....	260
Цешковская Е.А. РЕАБИЛИТАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, НАРУШЕННЫХ НАКОПИТЕЛЯМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ОТХОДОВ ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА).....	266
Цыганова М.В., Лемешко Е.М., Рябцев Ю.Н. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АПВЕЛЛИНГА С РЕЧНЫМ ПЛЮМОМ НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ.....	270
Черникова Н.П., Чаплыгин В.А., Сиромля Т.И., Манджиева С.С., Литвинов Ю.А., Лацынник Е.С., Яковленко А.Ю., Мальцева Т.А. ТОКСИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА НА ЛЕКАРСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ ИМПАКТНОЙ ЗОНЫ НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС.	276
Чернова Н.И., Киселева С.В., Чунжук Е.А., Власкин М.С., Григоренко А.В. ПОТЕНЦИАЛ УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА МИКРООВОДОРОСЛЯМИ.....	281
Чечин Д.Г., Артамонов А.Ю., Бодунков Н.Е., Калягин М.Ю., Шевченко А.М. ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОЙ И СРЕДНЕЙ СТРУКТУРЫ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ.....	291

Штабкин Ю.А., Моисеенко К.Б., Скороход А.И. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СУММАРНОГО БАЛАНСА ТРОПОСФЕРНОГО ОЗОНА В СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ.....	292
Экба Я.А., Ахсалба А.К., Хинтуба Л.В. ВЕРОЯТНОСТЬ ПОХОЛОДАНИЯ ПСВ В 21-М СТОЛЕТИИ В СЛЕДСТВИЕ СНИЖЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ ВУЛКАНОВ.....	300
Экба Я.А., Ахсалба А.К., Хинтуба Л.В., Касландзия Н.Д. РОЛЬ ВОДЯНОГО ПАРА, КАК ОСНОВНОГО ПАРНИКОВОГО ГАЗА, В ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА.....	312

CONTENTS

Litvinskaya S.A. ENVIRONMENTAL RISKS FOR NATURAL LANDSCAPES OF THE TAMAN PENINSULA OF THE WESTERN CAUCASUS.....	13
Lomia R.F., Akhsalba A.K. STUDY OF ZONES OF THE REPUBLIC OF ABKHAZIA PRONE TO WATER EROSION.....	21
Lubkov A.S., Voskresenskaya E.N. USING MACHINE LEARNING TO PREDICT THE EXTREME PHASES OF THE EL NIÑO - SOUTHERN OSCILLATION AND EL NIÑO-2023 FORECAST....	30
Lysenko V.I., Shic N.V. INFLUENCE OF DEEP FLUIDS OF COLD SEEPS ON ECOLOGICAL PROCESSES AND BIOCECENOSIS OF LASPI BAY (SOUTHERN COAST OF CRIMEA).....	34
Mazur V.V. ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF WATERCOURSES OF THE KOMI REPUBLIC BASED ON THE CALCULATION OF THE TOTAL INDICATOR OF CHEMICAL WATER POLLUTION.....	43
Mankovskaya E.V., Morozov A.N. CURRENT STATE AND CHARACTERISTICS OF THE BLACK SEA COLD INTERMEDIATE LAYER FROM CONTACT MEASUREMENTS.	46
Marandidi S.I., Akhsalba A.K. THE GREENHOUSE GASES CONCENTRATION RESEARCH IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF ABKHAZIA IN THE XXI CENTURY.....	52
Martchenkov A.Yu. SOME RESULTS OF LONG PERIOD VIBRATIONS CONTROL OF MSU HIGHT-RISE BUILDING.....	61
Marchuk E.A., Repina I.A., Kozlov I.E., Osadchiev A.A. ANALYSIS OF THE SURFACE TEMPERATURE OF THE KARA SEA BASED ON SATELLITE DATA AND MEASHURED DATA FROM "FLOATING UNIVERSITY-2021"	63
Meretukov M.A., Toroyan R.A., Bedanokov M.K., Kohuzheva R.B., Artamonov A.M. ASSESSMENT OF THE QUALITY OF CONSTRUCTION OF A GEOLOGICAL AND FILTRATION MODEL OF THE NIZOVSKY FIELD RESERVOIR IN THE SAMARA REGION.....	66
Morozova S.V., Polyanskaya E.A., Alimpieva M.A. PECULIARITIES OF MANIFESTATION OF HEAT AND COLD WAVES IN THE LOWER VOLGA REGION AGAINST THE BACKGROUND OF CLIMATIC VARIABILITY.....	74
Narizhnaya A.I., Chechin D.G., Makhotina I.A. VERIFICATION OF THE RADIATION BALANCE AND AND CHARACTERISTICS OF CLOUDS OVER ICE IN THE CENTRAL ARCTIC BASED ON CERES SATELLITE DATA AND «NORTH POLE» DRIFTING STATIONS.....	80

Nefedova L.V., Solovyev D.A. WIND ENERGY AS ONE OF THE INSTRUMENTS OF ENERGY TRANSITION IN EUROPE: REALITIES AND RISKS DUE TO CLIMATE CHANGE.....	81
Onishchenko S.V., Kuzmin K.A., Bychkov T.Yu. SOFTWARE TOOLS FOR MODELING RENEWABLE ENERGY SOURCES.....	91
Pachulia E.V., EkbaYa.A. PHYSICAL AND STATISTICAL METHODS FOR ESTIMATING THE PROBABILITY OF STRONG WINDS AND SQUALLS IN ABKHAZIA.....	100
Popova E.A., Akimenko Yu.V. EVALUATION OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE TOXICITY OF TETRACYCLINE BY THE DEGREE OF CHANGE IN THE ACTIVITY OF CATALASE IN ORDINARY CHERNOZEM.....	107
Postarnak Ju.A., Zhavoronkov S.V. SPECIES COMPOSITION OF THE DENDROFLORA OF THE CITY OF GELENDZHİK (RUSSIAN BLACK SEA COAST).....	111
Rakitin V.S., Kazakov A.V., Kirillova N.S., Fedorova E.I., Elansky N.F. MULTIFUNCTIONAL SOFTWARE OF THE OIAP RAS TROPOMI TOOLS FOR PROCESSING AND ANALYZING ORBITAL DATA ON THE COMPOSITION AND PARAMETERS OF THE ATMOSPHERE.....	120
Rakitin V.S., Shtabkin Yu.A., Kirillova N.S., Fedorova E.I., Vasileva A.V. STUDY OF ATMOSPHERIC COMPOSITION TRENDS OVER EURASIA AND THEIR RESPONSE ON GLOBAL CHANGES BASED ON ORBITAL INFORMATION AND GEOS-CHEM NUMERICAL MODELLING.....	128
Reneva M.A. THE NEGATIVE IMPACT OF DANGEROUS GEOLOGICAL PROCESSES AND ANTHROPOGENIC ACTIVITY ON NATURAL LANDSCAPES OF SOCHI NATIONAL PARK E.G. ANALYSIS OF KESYAN LANDSLIDE NEAR THE VILLAGE SERGEY POLYE.....	137
Reutova T.V., Dreeva F.R., Reutova N.V. SPATIAL ANALYSIS OF IMPURITIES IN NATURAL WATERS IN THE REGION OF ELBRUS VOLCANIC CENTER USING GIS.....	145
Riabova S.A. IONOSPHERIC ANOMALIES DURING THE EARTHQUAKE IN BADA KHSHAN PROVINCE (2023).....	155
Riabova S.A. SIXTEEN-DAY PLANETARY WAVE IN GEOMAGNETIC VARIATIONS ACCORDING TO THE DATA OF MOSCOW, BOROK AND BELSK OBSERVATORIES.....	159
Sazonov A.D. ON THE WATER QUALITY VARIABILITY OF THE SREDNYI YEGORLYK RIVER (WESTERN MANYCH RIVER BASIN).....	164
Simankov V.S., Buchatskiy P.Yu., Onishchenko S.V., Teploukhov S.V. OVERVIEW OF MODELS FOR ESTIMATING AND PREDICTING SOLAR ENERGY SUPPLY.....	167

Sirotyuk E.A., Shadge A.E, Gunina G.N. RARE AND ENDANGERED PLANTS OF THE KHADZHOKH RECREATIONAL AREA OF ADYGEA.....	175
Skafarik A.I., Kiseleva S.V. OPTIMAL PRICING TO ENSURE THE PAYBACK OF SOLAR MICROGENERATION IN THE REGIONS OF RUSSIA.....	178
Soloveva O.V., Mirzoeva N.Yu., Tikhonova E.A., Doroshenko J.V., Burdiyan N.V. ASSESSMENT OF THE WATER QUALITY OF THE NORTH CRIMEAN CANAL AFTER ITS FILLING IN THE SPRING OF 2022.....	187
Stetsiuk A.P., Malakhova T.V., Ivanov M.V. MERCURY CONCENTRATION IN SUSPENDED MATTER AND BOTTOM SEDIMENTS IN AREAS OF METHANE EMISSIONS FROM THE BOTTOM OF THE BLACK SEA.....	192
Sushkova S.N., Minkina T.M., Dudnikova T.S., Shuvaev E. G., Bakoeva G.M. BIOCHAR AND MICROORGANISMS' APPLICATION EFFECT ON THE REMEDIATION OF SOILS TECHNOGENICALLY POLLUTED WITH POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS.....	199
Sychev V.I., Shilin M.B. INVESTIGATIONS OF OBJECTS OF THE NEVA BAY TECHNOSPHERE USING SATELLITE TECHNOLOGIES.....	204
Tereshchenko N. N., Proskurnin V. Yu. Chuzhikova-Proskurnina O. D., Nguyen Chong Hiep CHEMOECOLOGICAL MONITORING OF THE STATE OF WATER IN THE HANGLUONG RIVER IN RELATION TO HEAVY METALS AND METALLOIDS (MEKONG DELTA, VIETNAM).....	214
Tikhonova E.A., Soloveva O.V., Sidorov I.G., Nguyen Trong Hiep DISTRIBUTION OF ORGANIC SUBSTANCES IN RIVER SEDIMENTS OF MANGROVE AREAS OF THE CAN GIO BIOSPHERE RESERVE (VIETNAM).....	222
Tkacheva Ya.S. CALCULATION OF THE LEVEL OF POLLUTION OF THE ENVIRONMENT BY HARMFUL EMISSIONS BY VEHICLES ON THE MAIN STREET OF THE CITY OF MAYKOP.....	227
Tretiak I.D., Lebedev S.A. INTERANNUAL VARIABILITY OF THE SOIL TEMPERATURE IN THE NORTH-WEST RUSSIA ARCTIC ZONE.....	232
Fastova A.S., Akimenko Yu.V. EVALUATION OF THE RESISTANCE OF MICROBIOCENOSIS OF ORDINARY CHERNOZEM TO CONTAMINATION WITH OXYTETRACYCLINE DURING THE INTRODUCTION OF BIOCHAR.....	237

Fedorenko G.M., Fedorenko A.G., Minkina T.M., Nevidomskaya D.G., Pol'shina T.N. FEATURES OF THE STRUCTURAL AND ANATOMICAL ORGANIZATION OF PLANTS-MACROPHITES UNDER CHEMICAL POLLUTION OF SOILS BY COAL DUMPS OF THE DONETSK BASIN.....	241
Fedorova E.I., Lapchenko V.A., Elansky N.F., Rakitin V.S., Skorokhod A.I., Vasilyeva A.V. NEAR-SURFACE OZONE VARIABILITY IN THE KARADAG NATURE RESERVE.....	244
Khalieva A.A., Yaitskaya N.A. DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ASSESSING THE DYNAMICS OF THE COASTLINE BASED ON HISTORICAL SATELLITE IMAGES AND GIS TECHNOLOGIES.....	249
Khatko Z.N., Kudainetova S.K., Belyavtseva T.A., Begeretova Ju.M. STRUCTURE AND BIODEGRADABILITY OF PECTIN-CONTAINING FILM STRUCTURES.....	255
Khuchunaev B.M., Dakhova O.O., Kerefova Z.M., Yurchenko N.V. GEOECOLOGICAL STATE OF THE ELBRUS REGION OF THE KABARDINO-BALKARIAN REPUBLIC.....	260
Tseshkovskaya Ye.A. REHABILITATION OF LANDS DISTURBED BY INDUSTRIAL WASTE DUMPS (BY THE EXAMPLE OF WASTE FROM PROCESSING PRODUCTION).....	266
Tsyganova M.V., Lemeshko E.M., Ryabtsev Yu.N. INFLUENCE OF UPWELLING ON RIVER PLUME DEVELOPMENT IN THE COASTAL ZONE OF THE NORTH-WESTERN BLACK SEA SHELF BASED ON NUMERICAL MODELLING.....	270
Chernikova N.P., Chaplygin V.A., Siromlya T.I., Mandzhieva S.S., Litvinov Yu.A., Latsynnik E.S., Yakovlenko A.Yu., Maltsev T.A. TOXIC LOAD ON MEDICINAL PLANTS IN THE IMPACT ZONE OF POWER STATION.....	276
Chernova N.I., Kiseleva S.V., Chunzhuk E.A., Vlaskin M.S., Grigorenko A.V. CARBON DIOXIDE UTILIZATION POTENTIAL OF MICROALGAE.....	281
Chechin D.G., Artamonov A.Yu., Bodunkov N.E., Kalyagin M.Yu., Shevchenko A.M. EXPERIENCE OF DEVELOPMENT AND APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES TO ATMOSPHERIC BOUNDARY-LAYER STUDIES.....	291
Shtabkin Yu.A., Moiseenko K.B., Skorokhod A.I. QUANTITATIVE ESTIMATES OF TROPOSPHERIC OZONE BALANCE IN THE NORTHERN EURASIA	292
EkbaYa.A., Akhsalba A.K., Khintuba L.V. THE PROBABILITY OF COOLING OF THE PSV IN THE 21ST CENTURY AS A RESULT OF A DECREASE IN SOLAR ACTIVITY AND THE IMPACT OF VOLCANOES.....	300

**EkbaYa.A., Akhsalba A.K., Khintuba L.V., Kaslandzia N.D. THE
ROLE OF WATER VAPOR AS THE MAIN GREENHOUSE GAS
IN CLIMATE WARMING..... 312**

ТРАНСФОРМАЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ СУКЦЕССИЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

^{1,2}С.А. Литвинская

Litvinsky@yandex.ru

¹Кубанский государственный университет, Россия, г. Краснодар

²Южный федеральный университет, Россия, г. Ростов-на-Дону

Аннотация. Рассматривается воздействие техногенных объектов на растительные сообщества Таманского полуострова. Техногенные преобразования приводят к дестабилизации равновесия в растительных сообществах и ландшафтах Таманского полуострова. Антропогенные сукцессии проявляются по-разному в различных типах экосистем. Скоростью и характером этих процессов обычно и определяют устойчивость отдельных популяций к действию новых для них экологических факторов. При уничтожении растительного покрова сукцессия будет направлена на формирование рудерального сообщества. В литоральной зоне при замене песчано-ракушечного субстрата на цементные блоки сукцессия пошла по формированию линейных синантропных сообществ.

Ключевые слова. Таманский полуостров, степные сообщества, литоральные сообщества, техногенное воздействие.

Эколого-ботанические и ландшафтные исследования в районе антропогенного воздействия проводятся с целью получения достоверной информации, адекватно отражающей современное состояние экосистем и влияние антропогенного прессинга на состояние растительного компонента экосистем и абиотической среды. Таманский полуостров – образование молодое. Изучение исторических документов показывает, что это была система островов с грязевыми вулканами, отмечается обилие водных протоков, проливов, озер, берега которых были покрыты лесными пойменными сообществами. Леса в виде «хмеречей» до настоящего времени сохранились на горе Дубовый Рынок, на холмах у станицы Голубицкой, хутора Ильича, южнее древнего городища Фанагории, вдоль старого русла Кубани, на холмах по берегу Витязевского лимана, у села Джигинка и др. [5].

Растительность Таманского полуострова доагрикультурного периода рассматривается как разнотравно-дерновинно-злаковая степь с перелесками из древесных пород, как разнотравно-злаковая степь и разнотравно-злаковая кустарниковая степь. В настоящее время степи Таманского полуострова относятся к особому провинциальному варианту подзоны азovo-причерноморских дерновинно-разнотравных кустарниковых степей с элементами средиземноморской флоры [2]. Устойчивые сообщества сохранились на некоторых балочных и береговых территориях. Степи Таманского полуострова испытали длительный антропогенный прессинг [4].

Основное историческое природопользование было связано с земледелием [3], виноградарством, пастбищным животноводством, что

способствовало уничтожению древесно-кустарникового возобновления. Постоянные военные действия и бытовые нужды требовали использование древесины. Все это постепенно приводило к смене климаксового сообщества кустарниковой степи разнотравно-дерновиннозлаковыми степями. Причем, из-за особенностей произрастания очень быстро дерновую основу формировали ковыли.

Объект исследования – растительный компонент. Исследованию подвергались степные (порт Тамань) и литоральные (Вербяная коса) растительные сообщества. Методы исследований: общепринятые геоботанические методы исследований: метод пробных площадей, ценотическое описание согласно геоботаническим бланкам для луговых сообществ, метод анализа, метод картирования сообществ.

Территория Таманского п-ова отличается повышенной экологической чувствительностью как территория, отмеченная протеканием опасных природных процессов и явлений. Из эндогенных опасных геологических процессов следует отметить повышенную сейсмичность района и грязевой вулканизм. В настоящее время на экосистемы Таманского п-ова усилилось техногенное воздействие, что сопровождается определенными экологическими рисками. Прежде всего это экологический риск нарушения среды обитания для биоты, что приводит к потере и деградации природных степных экосистем.

На территории окрестностей техногенного объекта «Порт Тамань» распространены разнотравно-дерновинные степные сообщества. Предположительно степные сообщества между мысами Панагия и Железный Рог являются вторичными, но длительно существующими, сформировавшие устойчивые более или менее стабильные биогеоценозы, соответствующие конкретным абиотическим условиям среды зоны Предкавказских степей [2]. Степная экосистема длительное время развивалась в относительно стабильных климатических и почвенных условиях, что привело к выработке устойчивости их структуры и насыщенности флористическими компонентами близкой экологии, к выработке стенобионтности у степных видов, включая и ассектаторов. Но характерно обилие степного разнотравья, присутствие видов разной экологии, в частности степно-луговых (*Medicago romanica* Prodan, *Filipendula vulgaris* Moench, *Fragaria viridis* Duch., *Inula culus-christi* L., *Achillea setacea* Waldst.et Kit., *Salvia tesquicola* Klok. et Pobed.и др.), недостаточно прочная дерновая основа, но они длительное время развивалась в относительно стабильных (рис. 1).

При техногенном воздействии Порта Тамань и возникновении неблагоприятного экологического фона (загрязнение воздушной среды, пылевые выбросы и др.) произойдет вмешательство в сформировавшуюся систему, что неминуемо вызовет нарушения сложившегося равновесия в степной экосистеме. Эти нарушения могут превысить восстановительную способность степной экосистемы. Если интенсивность воздействия выйдет за рамки этих возможностей, то первоначально устойчивое, богатое видами сообщество разнотравно-ковыльной степи постепенно деградирует.

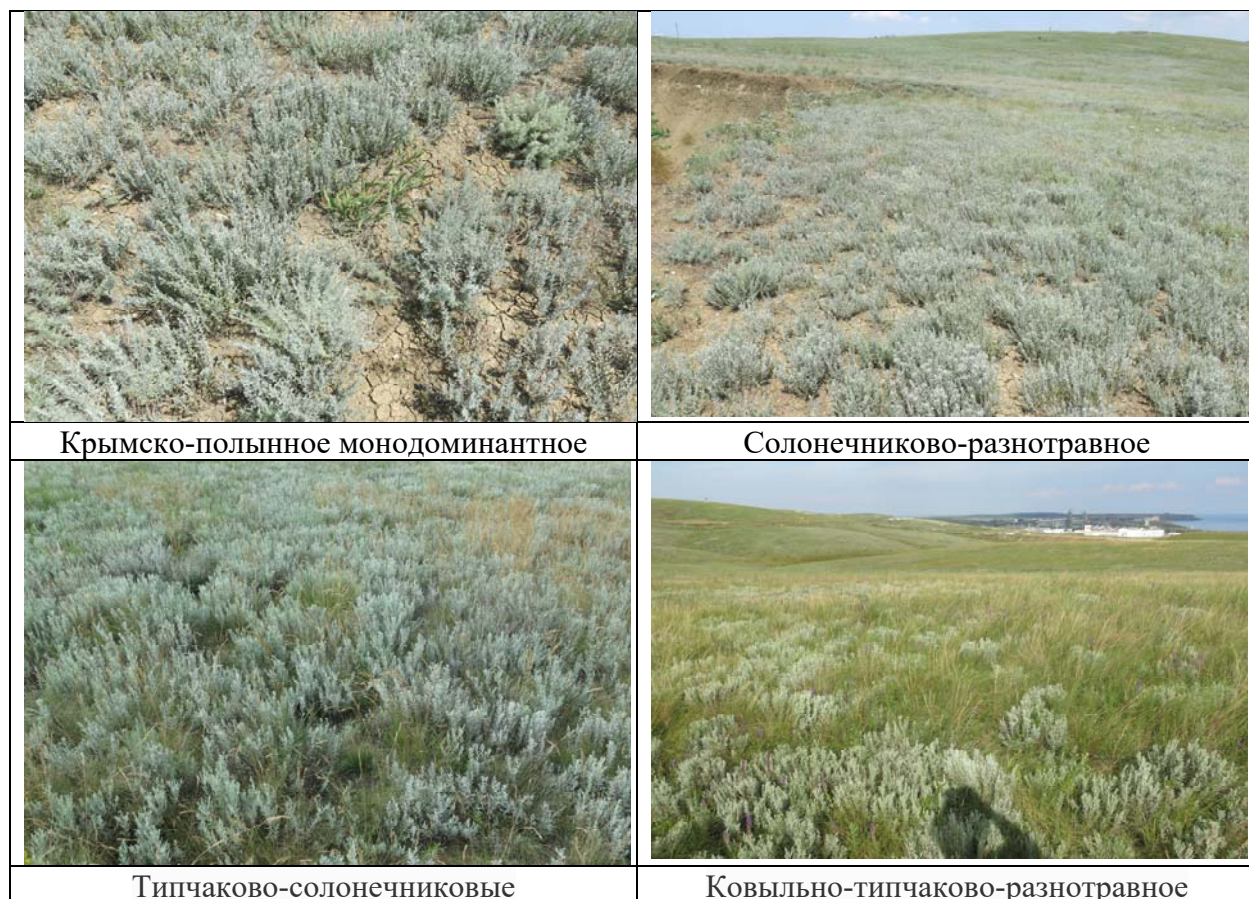


Рис. 1. Сформировавшиеся устойчивые степные экосистемы территории порта Тамань

Нарушение степной экосистемы приводит к нарушению нормальной жизнедеятельности многих организмов. Благодаря экологической индивидуальности наибольшей жизнестойкостью и толерантностью в экстремальных условиях обладают *Festuca sulcata* L. и *Artemisia taurica* Willd. Они могут пережить период неблагоприятных условий, давать семена, при благоприятных условиях эдификаторы постепенно, но медленно восстановятся, и сукцессия приведет постепенно к наполнению ценоза в количественном выражении. Сукцессионные смены сообществ будут стремиться к устойчивой экосистеме, но процесс этот длительный. Скорее всего восстановится крымско-полынное монодоминантное сообщество, обладающее более широкой областью толерантности.

Наименьший диапазон толерантности имеет ковыльно-типчаково-разнотравное сообщество. Для него характерна высокая флористическая насыщенность, сложная вертикальная структура, наличие редких видов, относящихся к стенобионтным организмам, существующих лишь при небольших отклонениях фактора от оптимального значения, что делает эти сообщества чувствительными к нарушению. Из ковылей более толерантен ковыль-волосатик. Ковыль перистый предпочитает хорошо дренированные, рыхлые, некислые почвы, что свидетельствует о достаточно низком разнообразии возможных местообитаний по фактору почвенного увлажнения.

Наиболее важными экологическими факторами для нормального функционирования являются свет, температура, вода. При техногенном воздействии происходит нарушение согласованности действия абиотических факторов, изменяются эдафотоп, режим водного и минерального питания, вносится загрязненность в среду. Прежде всего при строительстве объектов основной удар приходится на эдафический фактор и далее на растения. При нарушении почв становятся физиологически недоступными элементы питания. Наименее толерантные виды (эфемеры и эфемероиды, малолетники) выпадут из сообщества. При уничтожении растительного покрова сукцессия будет направлена на формирование рудерального сообщества. Первыми появятся виды, семена которых разносятся ветром, что-то попадет с движущимся транспортом (на колесах, в строительном материале). Характер развивающейся растительности будет зависеть от свойств субстрата, степени его нарушенности, удаленности территорий с которых берется грунт или строительный материал. Расширятся популяции *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Hordeum leporinum* Link, *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., виды рода *Amaranthus*, *Xanthium strumarium* L. и др. – синантропных видов более устойчивых к изменившейся среде. Некоторые растения расширят экологическую нишу и будут использовать малейшие возможности для прорастания в местах накопления грунта.

Сокращение видового богатства растений приведет к сокращению насекомых, у которых сократилась пищевая база. Жизнь насекомых будет происходить в нарушенной среде (рис. 2).



Рис. 2. Жизнь насекомых в нарушенной среде

Стации герпетофауны сократятся. Для ящериц, степной гадюки характерен принцип стациальной верности. При территориальном сокращении степной экосистемы среди герпетофауны может проявиться эффект скученности от перенаселенности. При перенаселении среды резко

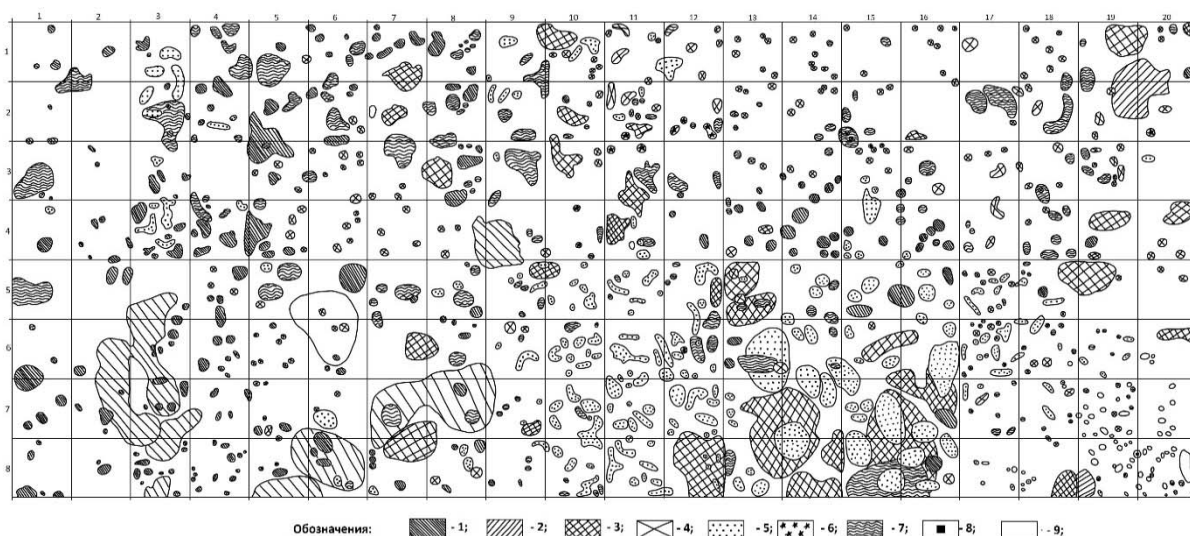
ухудшается её качество: накапливаются экскременты, продукты обмена, задерживаются рост, развитие организмов, сроки наступления половой зрелости, темпы размножения, может иметь место каннибализм. При наличии конкуренции ни одна из популяций не может достичь такой численности и плотности, которые были бы возможны в её отсутствии. Вследствие межвидовой конкуренции проявляются экологические сукцессии: смена менее конкурентноспособных видов, более конкурентноспособными, а также сужение экологической ниши вида. Так, полоз Палласа (*Elaphe sauromates*) предпочитают открытые степные ландшафты, часто придерживаются колоний мелких грызунов, чьи норы используют в качестве убежищ. Для вида характерна двухпиковая суточная активность. Вид редкий для степей Таманского полуострова и при антропогенном нарушении степной экосистемы вид не выдержит конкуренции степной гадюки.

Формируются новые ценозы, полностью отличные от первоначальных. При этом теряется значительная часть аборигенной флоры и фауны в связи со случайной или преднамеренной акклиматизацией новых видов растений и животных, патогенных, паразитов и хищников. В первые 1–2 года в субстрате могут оставаться семена, луковицы, корневища и аборигенные виды могут прорасти и даже проходить полные стадии вегетации при пониженной жизненности. Впоследствии они полностью покинут среду. Вторичная сукцессия не приведет к восстановлению естественного степного ценоза. Вместе с изменением растительности изменится и животный мир территории, подверженной сукцессии. Животное население в значительной степени меняет свой состав. В связи с тем, что все изменения связаны с деятельностью человека, мы имеем дело экологическими сукцессиями, которые протекают под влиянием деятельности человека. В данном случае – это постоянно действующий внешний фактор, и мы имеем дело с антропогенно измененным ландшафтом. Обычно аллогенные сукцессии проявляются в постепенном разрушении (дигрессии) экосистемы. В итоге на территории Порты Тамань сохранится какая-то группа эвритопных видов, максимально приспособленных к конкретным условиям. В этих условиях наиболее важным для оценки воздействия комплекса на природную среду является изучение жизненного состояния растений как структурных единиц ценопопуляций. При повторении техногенных нарушений дальнейшее развитие антропогенных сукцессий приостанавливается на неопределенно длительное время, формируются стадии относительно устойчивых мало компонентных вторичных «сообществ». Их сложно назвать сообществами, но это комплекс видов однообразного набора биоморф со структурой производного рудерального сообщества с незначительной флористической насыщенностью, ограниченным составом доминантов, меняющимся обилием, мозаичностью. При дальнейших необратимых изменениях условий среды источники семян перестают поставлять диаспоры, и сукцессия останавливается на стадии гибели сообщества. Причем основной «удар» наносится растительному компоненту, животные могут покинуть данное место обитания или перейти на более благоприятный биотоп. Тем не менее будет происходить фрагментация

мест обитания наземных особенно мелких животных, изменятся миграционные пути к кормовым ресурсам, местам спаривания и размножения, появятся новые антропогенные биотопы, что может привести к изменению состава и обилия видов животных. Особенно чувствительны редкие виды. В районе мыса Панагия, встречаются каменка-пleshанка, малая поганка, чекан черноголовый (впервые отмечен в 2003 [1]), гнездятся вороны, голубь сизый, хохлатый баклан.

Антропогенные сукцессии носят самый неожиданный характер, трудно предсказуемы и проявляются по-разному в различных типах экосистем. Скоростью и характером этих процессов обычно и определяют устойчивость отдельных популяций к действию новых неожиданных для них факторов.

При исследованиях Азовской прибрежной зоны были проведены исследования сукцессий при техногенном воздействии (строительстве площадки буровой станции) на литоральные сообщества. Растительные сообщества незатронутые антропогенными нарушениями отличались наличием характерных видов, более высоким проективным покрытием, выраженной структурой, доказательством чего является закартированный транссект (площадь 8 x 20 м) (рис. 3)



Условные обозначения: 1 – *Plantago maritima*; 2 – *Verdasum pinnatifidum*; 3 – *Tribulus terrestris*; 4 – *Plantago arenaria*; 5 – *Cynodon dactylon*; 6 – *Erodium cicutarium*; 7 – *Astragalus onobrychis*; 8 – *Leymus sabulosus*; 9 – *Carex colchica*

Рис. 3. Проективная проекция сообщества незатронутого антропогенными воздействиями

При строительстве техногенного объекта естественная растительность была полностью уничтожена, новый субстрат – зацементированные блоки. На первых стадиях произошло массовое размножение инвазивного вида *Cenchrus longispinus*, ранее не произраставшего в данных биотопах. *Cenchrus pauciflorus* – инвазивный однолетний вид семейства *Poaceae*, распространяется с помощью колючих соплодий, содержащих 1–3 колоска с плодами – зерновками. Соплодия легко прицепляются к шерсти и коже животных, одежде, обуви и коже людей, колесами автомашин и разносятся на большие расстояния от материнского растения. *Cenchrus pauciflorus* был занесен, по

всей видимости, при строительстве дороги с транспортом и быстро распространился. Его новая экологическая ниша – межплиточный биотоп с накоплением грунта. Чрезвычайно быстро в течение двух лет он образовывал монодоминантные сообщества. Через два года стали внедряться *Echinochloa crus-galli*. В сообществе с доминированием *Echinochloa crus-galli* было зарегистрировано 10 видов, из которых не было ни одного вида из естественных литоральных сообществ. Через пять лет цехрус только изредка встречался в производных ценозах буровой площадки, а появился новый инвазивный вид, ранее не произрастающий в пределах литорального участка Вербяной косы – *Euphorbia maculata* L., родина которого – Северная Америка. В итоге доминирование перешло к *Euphorbia maculata*.

За годы наблюдений отмечалось явное смещение сукцессии в сторону доминирования однолетних и сорных видов. Литоральные виды, имея в основном мощные корневые системы, не могли произрастать в условиях покрытого цементными блоками субстрата. В дальнейшем сукцессия пошла по более мощному зарастанию линейных экотопов. Количество видов увеличилось незначительно, но особи некоторых видов перешли из вегетативного состояния в фазу цветения и плодоношения (*Phalacrogloma septentrionale* (Fern. et Wiegand) Tzvelev, *Crepis rhoeadifolia* M. Bieb.). Антропогенная экологическая ниша была полностью заселена не только синантропными видами (*Hordeum geniculatum* All., *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Setaria pumila* (Poir.) Roem. et Schult., *Conyza canadensis* (L.) Cronquist, *Ambrosia artemisiifolia* L., *Anthemis ruthenica* M. Bieb.) (рис. 4), но в межплиточных субстратах произрастали и виды природных сообществ (*Medicago romanica*, *Cacile euxina*).



Рис. 4. Формирование линейных межплиточных сообществ на антропогенном субстрате

Таманский полуостров является одной из немногочисленных территорий, сосредоточивший в своих ландшафтах беспрецедентное число видов биогеоценотических комплексов, а также редких, исчезающих и охраняемых видов. Исследования показали, что техногенные преобразования приводят к

дестабилизации равновесия в растительных сообществах и ландшафтах Таманского полуострова. Воздействия относятся к категории – прямые, т. е. произойдет непосредственное уничтожение растительности в разных ландшафтах и сокращение численности редких видов. Строительство техногенных объектов влияет на весь комплекс природных ландшафтов. С точки зрения воздействия на геологическую среду воздействие связано с перепланировкой рельефа и террасированием крутых склонов, увеличением интенсивности развития процессов плоскостной и линейной эрозии. Процесс антропогенных изменений естественных природных комплексов сопровождается многими нежелательными последствиями: сокращением мест обитания ряда видов растений и животных, общим обеднением биоты, уменьшением генетического разнообразия отдельных видов и т. д. Наиболее уязвимыми элементами обычно оказываются охраняемые виды растений и степные экосистемы.

Список литературы

1. Белик В.П., Ветров В.В., Милобог Ю.В. Материалы к орнитофауне Таманского полуострова // Бранта: Сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. – 2009. – Вып. 12. – С. 7-26.
2. Литвинская С.А. Таманский степной рефугиум // Степи Северной Евразии: Материалы VIII международного симпозиума. – 2018. – С. 576-579.
3. Литвинская С.А., Бочко Т.Ф. Аграрное освоение как основная причина деградации Степного Биома Западного Предкавказья Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2019. – № 76. – 2019. – С. 116-123.
4. Литвинская С.А. XIX век – век начала социальных потрясений и трансформации степных ландшафтов Западного Предкавказья // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества. – Краснодар: изд-во Платонов, 2020. – Вып. 10. – 2020. – С. 274-281.
5. Литвинская С.А. Красная книга Кубанской степи. – Краснодар: Традиция, 2021. – 256 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОН РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ

¹Р.Ф. Ломия, ^{1,2}А.К. Ахсалба

renolomiya12@mail.ru, Asida_cen@mail.ru

¹Институт экологии Академии наук Абхазии, Абхазия, г. Сухум

²Абхазский государственный университет, Абхазия, г. Сухум,

***Аннотация:** Ландшафт Республики Абхазии подвержен эрозионным процессам. Основным фактором эрозии являются ливневые дожди, в меньшей степени смыв почвы от талых вод. Водная эрозия на исследуемой территории имеет широкое распространение и оказывает отрицательное влияние, как на ландшафт, так и на население страны. В работе представлена методика и промежуточные результаты исследований по определению наиболее вероятных и опасных природных рисков связанных с эрозией почв, существующих на территории Абхазии. Исследования проводились на основе сбора и анализа архивных данных и материалов спутниковой съёмки, а также доступных данных из открытых цифровых источников.*

***Ключевые слова.** Эрозия почв, оползни, сели, растительная фильтрующая полоса.*

Эрозия почв - одна из важнейших мировых экологических проблем, ведущих к потере почвенных ресурсов. Являясь наиболее распространенной из всех видов почвенной деградации, она приносит громадный экономический и экологический ущерб, так как угрожает самому существованию почвы как основному средству сельскохозяйственного производства и незаменимому компоненту биосферы. Согласно данным ФАО, общие мировые потери продуктивных земель от эрозии оцениваются примерно в 6,7 млн га, а потери плодородного слоя - в 24 млн т ежегодно [4].

Современная водная эрозия проявляется при сочетании природных и антропогенных факторов. Сочетание определенных природных факторов создает предпосылки для проявления ускоренной эрозии, а нерациональная хозяйственная деятельность является основной причиной ее развития.

Территория Абхазии в связи с её спецификами физико-географического положения и геоморфологическими условиями подвержена к многообразным видам естественных явлений, таким как землетрясения, наводнения, оползни, сели, камнепады, снежные лавины, лесные пожары, засухи и ураганы. Из опасных естественных явлений, важно отметить отдельные с более высокой частотой случаев, а также события с немалым масштабом охвата территорий. Данные явления в совокупности оказывают более высокий материальный ущерб для территории Абхазии. Исходя из вышеизложенного, была установлена главная цель исследования, которая содержалась в изучении мер по защите почв от эрозии для устранения множественных рисков опасных природных явлений в масштабе территории Абхазии [1, 2].

Материалы и методы

Для проведения исследования были взяты исторические данные, были проведены различного рода расчеты для проведения статистической обработки и с помощью ряда программ (ArcGIS 10.4 и т. п.) созданы карты, с отмеченными на них участками подверженным экзогенным и эндогенным процессам. С их помощью получены наглядные иллюстрации, которые отражают целостную картину процессов, представленных ниже в исследовании.

В качестве источника исторических данных предпочтительно применялись климатические справочники Союза ССР, при этом следует отметить недостаток исторических данных по Абхазии.

Были генерированы только карты подверженности (уязвимости) к рискам. Карты опасности показывают некоторую напряженность условий к опасным явлениям (к примеру: участки с наибольшей вероятностью к оползневым процессам или высоким уровням подъема вод) речь идет об оценке вероятности (подверженности) происхождения катастроф (рис. 1). Нужно отметить, что карты подверженности (уязвимости), указывают только на относительную вероятность возникновения опасных природных процессов (классифицированы относительными определениями - высокий, умеренный, низкий).

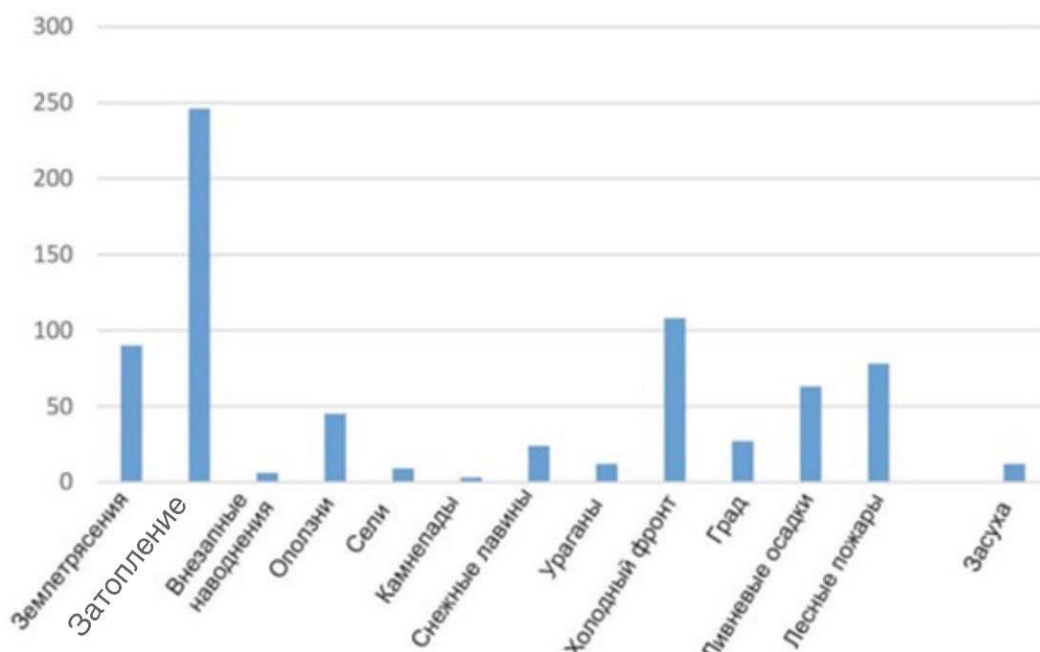


Рис. 1. Обзор количественной статистики опасных природных явлений на территории Абхазии, за период охвата с 1887 по 2008 год

По представленному графику на рисунке 1 видно, что потопа занимают первое место среди этих процессов. Но и экзогенные процессы имеют достаточно высокую вероятность и актуальность. Мы можем отметить высокую вероятность возникновения оползневых процессов и потенциальную селевую активность.

Оползни относятся к числу наиболее разрушительных и дорогостоящих стихийных бедствий, ежегодно уносящих сотни жизней в различных точках Земли. Ущерб от оползней исчисляется миллиардами долларов, поэтому изучение дестабилизации склонов является важным и актуальным направлением развития геоморфологии и геофизики. NASA ведет открытую инвентаризацию оползней по всему миру, в базе данных ежегодно фиксируются тысячи новых записей.

Одна из причин активизации оползня - резкое увеличение количества осадков [3]. Поэтому изучение этой взаимосвязи важно для понимания процесса оползня и для оценки влияния климата на разрушение склонов (рис. 2).

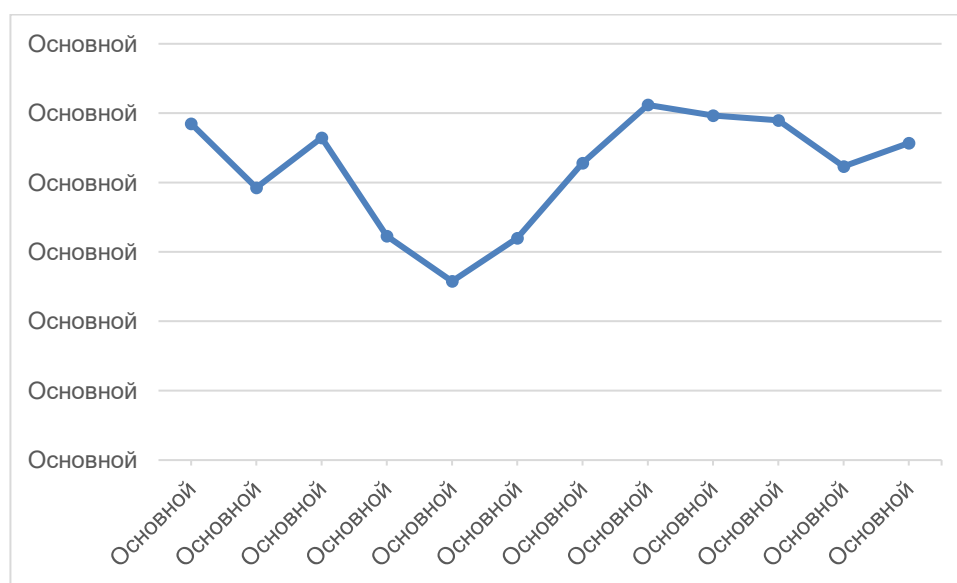


Рис. 2. Среднее количество осадков за каждый месяц с 2012 по 2021 г.

Видно, что резкий рост количества осадков наблюдается с мая месяца, следствием является рост количества оползней и схода твердого стока (сели) по рекам, которое связано с рельефной спецификой холмистых, предгорных и горных районов Абхазии.

Скорость движения селевых потоков - в среднем 2-4 м/с, иногда 4-6 /с, что обуславливает их большое разрушительное действие. На своем пути потоки прокладывают глубокие русла, которые в обычное время бывают сухими или содержат небольшие ручьи. Материал селей откладывается в предгорных равнинах. Сели характеризуются продвижением его лобовой части в форме вала из воды и наносов или чаще наличием ряда последовательно смещающихся валов. Прохождение селя сопровождается значительными переформированиями русла.

Почвенные данные были получены с разрешением 250 мм дифференцированы на 13 классов, на основе указанных материалов составлены карты структуры почв, типов почв и мощности почвенного слоя. Эти данные являются достаточно обобщёнными и требуют более детального изучения (рис 3).

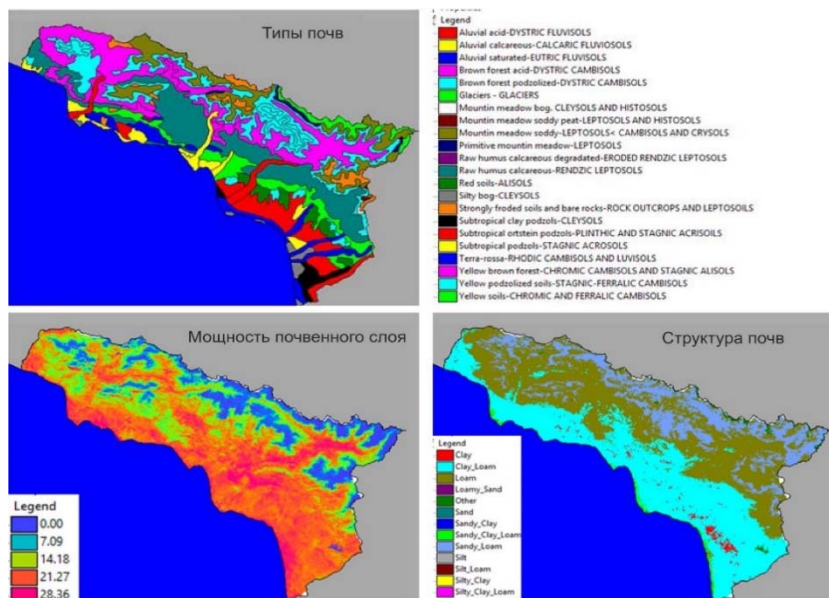


Рис. 3. Почвенные данные

Данные о растительном покрове взяты из Европейского космического агентства (ESA), затем, была проведена операция по распознаванию и классификации в программе ArcGIS, получены в общей сложности 13 классов объектов на карте. Тем не менее, эта карта содержала значительное количество ошибок и частичное отсутствие данных (рис. 4).

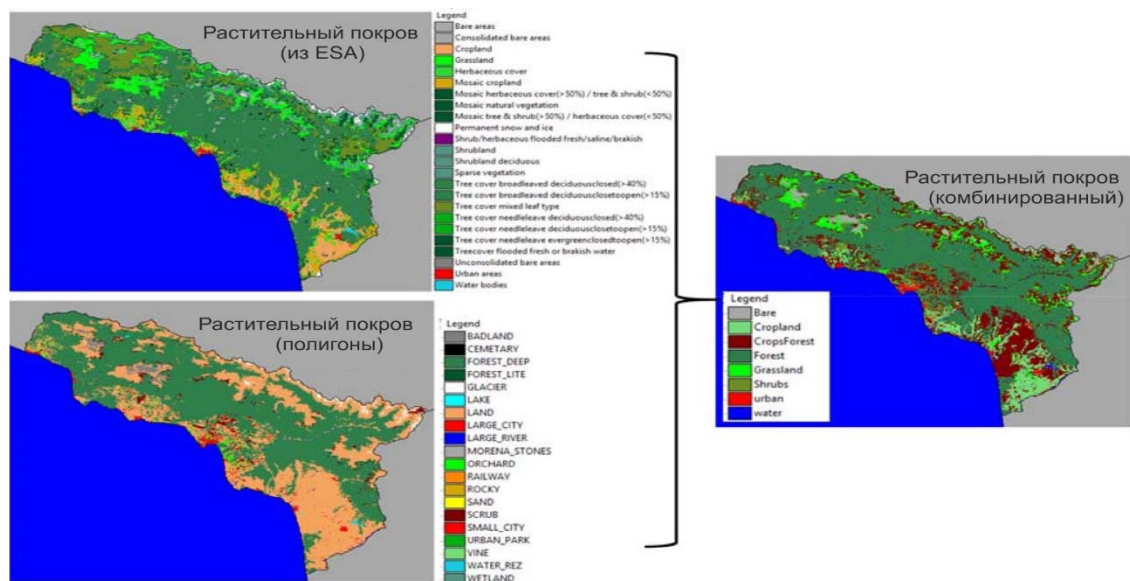


Рис. 4. Пример того как две карты, отображающие растительный покров из разных источников были объединены в одну карту с меньшим количеством классов пространственных объектов

Данные цифровой модели рельефа (ЦМР) были созданы с использованием спутниковых снимков SRTM с пространственным разрешением 12,5 м (AlosPalsar). На данном этапе обработки, карты отражали крутизну склонов, экспозицию склонов, высот, гряд (рис. 5).

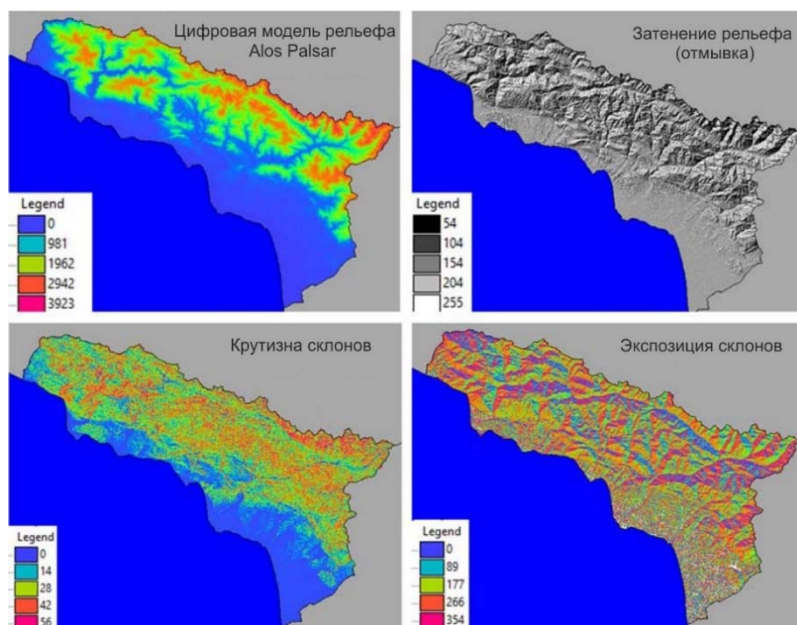


Рис. 5. Данные ЦМР получены из спутниковой системы AlosPalsar с пространственным разрешением 12,5 м

Источником данных является «Vertex: портал данных ASF», который является хранилищем базы данных, полученных в результате спутникового дистанционного зондирования земли (ДЗЗ). Эти данные ДЗЗ были обработаны в ГИС программе и из чего было получено несколько производных карт.

Прежде чем составить карту подверженности рискам или опасностям нами был произведен сбор исторической информации об оползневых процессах из различных источников. Исторические данные не содержали информацию о типе оползней или дате события. Поэтому, невозможно установить связь между оползнями и триггерами событий. Для увеличения количества оползневых точек в холмистой части и горных районах Абхазии, мы сделали интерпретацию исторических изображений GoogleEarth. Были оцифрованы оползни как отдельные точки, но без классификаций типа, и времени их возникновения. Таким образом, было оцифровано еще 1216 пунктов инициированных оползневых событий на территории Абхазии, которые показаны зелеными точками на рисунке 6.

Красные - точки, получены из исторических архивов. Зеленые – указывают на местоположения оползневых участков, которые взяты через интерпретацию изображений в разделе исторические снимки GoogleEarth.

Нами для прогноза модели развития эрозии и определения годовой эффективности удаления фосфора (MUSLE) на примере бассейна р. Басла Республики Абхазия была использована программа **R**.

R - язык программирования для статистической обработки данных и работы с графикой, а также свободная программная среда вычислений с открытым исходным кодом. Изначально R был разработан сотрудниками статистического факультета Оклендского университета Россом Айхэкой (англ. *Ross Ihaka*) и Робертом Джентлменом (англ. *Robert Gentleman*) (первая

буква их имён - R); язык и среда поддерживаются и развиваются организацией *R Foundation*.

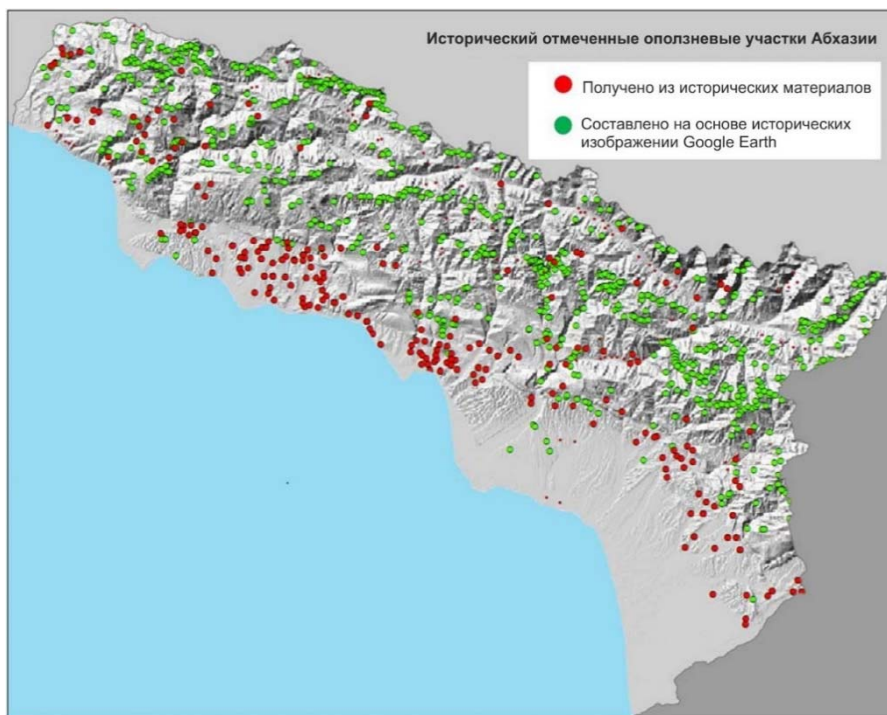


Рис. 6. Исторические данные о смещении грунтовых масс в Абхазии

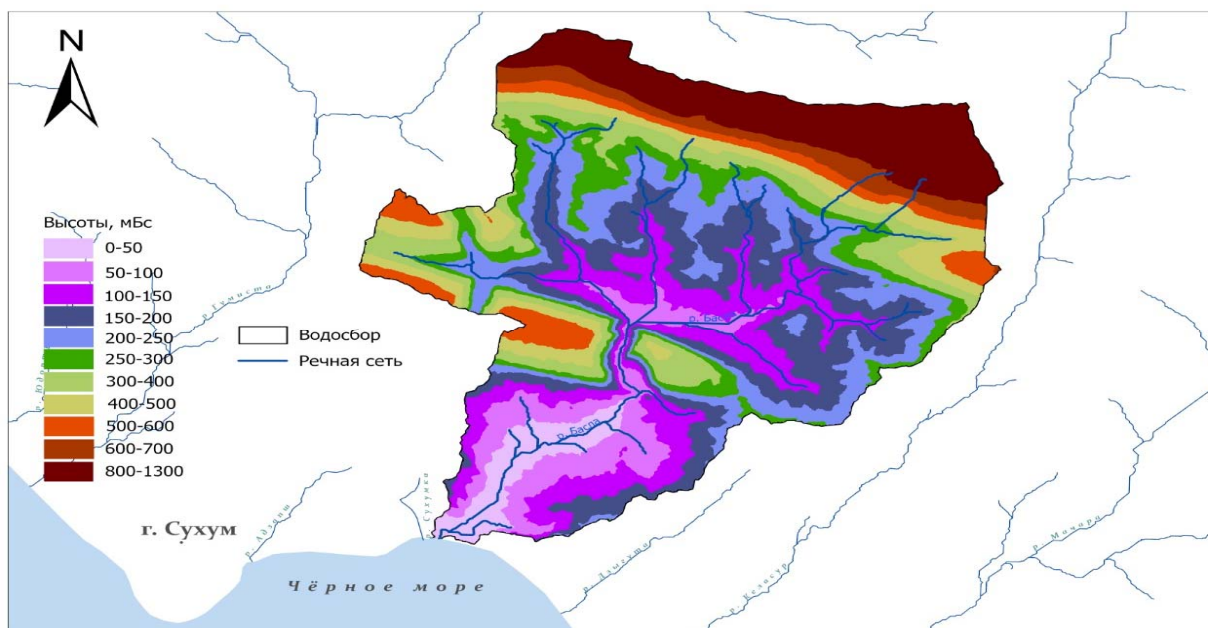


Рис. 7. Бассейн реки Басла

Разработана VFS модель бассейна реки Басла (рис. 7). Площадь р. Басла составляет 83.702 км² максимальная высота на водоразделе составляет 1283 м. Эмпирические модели стока, эрозии и потери фосфора в почве с учетом уклона, типа почвы, климата и растительность. Он также включает функции для получения климатических параметров из измерений ежедневных данных

о погоде и для моделирования осадков. Модели реализованы с помощью MUSLE и APLE.VFS (Растительные фильтрующие полосы) - это растительные поверхности, которые очищают ливневые стоки с прилегающих поверхностей. Фильтрующие полосы функционируют путем замедления скорости ливневых вод, фильтрации осадка и других загрязняющих веществ, а также обеспечивают некоторую инфильтрацию в нижележащие почвы.

Для определения эффективности удаления фосфора в почве, потерь почвы и прочих величин, водосбор был поделен на Северную часть и Южную из-за специфики рельефа.

Фосфор необходим для сельского хозяйства, однако этот важный питательный компонент для растений все чаще теряется из почвы во всем мире. Основной причиной является эрозия почвы, сообщает международная исследовательская группа под руководством Базельского университета. Исследование, проведенное в журнале Nature Communications, показывает, какие континенты и регионы подвергаются наибольшему воздействию. Важным выводом исследования является то, что более 50% мировых потерь фосфора в сельском хозяйстве связано с эрозией почв.

Проведение расчетов. С учетом специфики рельефа, бассейн реки был разделен на Северную – 66,25 км² и Южную 17,53 км². Для работы нижеуказанного скрипта были загружены метеоданные, а именно: ежедневное количество осадков, минимальные и максимальные температуры за 10 лет (рис. 8). Эти данные нужны в расчете влияния параметра погоды, с применением метода цепей Маркова, для построения VFS модели.

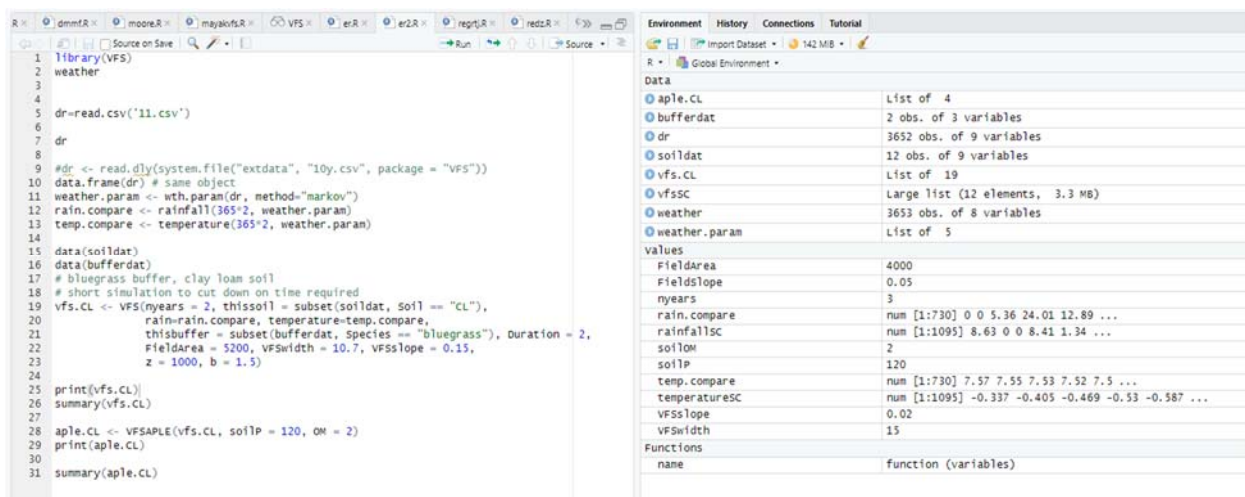


Рис. 8. Рабочее окно RStudio

Откуда были получены следующие значения:

- Северная: 66.25 км²
- SedIn Поступление осадочного материала на растительную фильтрующую полосу в год(кг).28.1718172
- SedLoss Потеря осадочного материала за год(кг).20.0901877
- ALR Годовое снижение нагрузки. 28.4767250

- MassInMUSLE Масса осадка из модели MUSLE, покидающая поле посевов за год(кг).73.5150132

- MassOutMUSLE Масса осадков из модели MUSLE, покидающая растительную фильтрующую полосу в конце события стока (м³/год): 50.9286486

- Южная: 17.53 км²

- SedIn Поступление осадочного материала на растительную фильтрующую полосу в год(кг). 6.335471

- SedLoss Потеря осадочного материала за год(кг). 4.283137

- ALR Годовое снижение нагрузки. 3.256896

- MassInMUSLE Масса осадка из модели MUSLE, покидающая поле посевов за год(кг).1.154776

- MassOutMUSLE Масса осадков из модели MUSLE, покидающая растительную фильтрующую полосу в конце события стока (кг): 7.50215

С применением вышеуказанного скрипта в R, мы смогли спрогнозировать модель развития эрозии на следующие два года, а именно была определена годовая эффективность удаления фосфора(MUSLE) на северном участке и на южном.

Фосфор необходим для сельского хозяйства, однако этот важный питательный компонент для растений все чаще теряется из почвы во всем мире. Основной причиной является эрозия почвы, сообщает международная исследовательская группа под руководством Базельского университета. Исследование, проведенное в журнале Nature Communications, показывает, какие континенты и регионы подвергаются наибольшему воздействию. Важным выводом исследования является то, что более 50% мировых потерь фосфора в сельском хозяйстве связано с эрозией почв.

- Модель VFS: 2 год

- Северная: 66.25 км²

- Среднегодовая нагрузка на растительную фильтрующую полосу (MUSLE): 63.38773

- Среднегодовая нагрузка внутри растительной фильтрующей полосы (MUSLE): 43.73699

- Среднегодовая эффективность удаления (MUSLE): 31.0609 %

- Ежегодная убыль фосфора из-за эрозии почвы за 10 лет:48.15863моль/дм

- Ежегодная убыль фосфора из-за эрозии прогноз:70.00005500моль/дм

- Южная: 17.53 км²

- Среднегодовая нагрузка на растительную фильтрующую полосу (MUSLE):

- 1.107962

- Среднегодовая нагрузка внутри растительной фильтрующей полосы (MUSLE):

- 0.723226

- Среднегодовая эффективность удаления (MUSLE): 34.78625%.
- Ежегодная убыль фосфора из-за эрозии за 10 лет: 1.4815602 моль/дм
- Ежегодная убыль фосфора из-за эрозии прогноз: 2.0287730 моль/дм

Таким образом, главным проблемой горного земледелия, наносящим огромный ущерб сельскому хозяйству, является водная эрозия почв, ежегодно выводящая из строя значительные площади пахотно - пригодных земель. Обычно водной эрозии подвергаются территории, где проводится массовая вырубка лесов, не применяются мелиоративные и почвозащитные мероприятия, где в течение длительного времени на одних и тех же участках возделываются пропашные культуры. Исследования показали, что в условиях на участках, поврежденных эрозией, наблюдается резкое снижение урожайности сельскохозяйственных культур, которое приводит к постепенному их забрасыванию. Для борьбы с эрозией применяются берегоукрепительные и дренажные сооружения, закрепления склонов сваями, насаждениями растительности. Для защиты склоновых земель от эрозии необходимо использовать комплекс мер, включающий как выбор подходящих культур, так и специальную технику для обработки земель.

Список литературы

1. Дбар Р.С., Строчан Т.П., Жиба Р.Ю. Оценка подверженности рискам опасных природных явлений территории Абхазии с использованием гис-технологий. Вестник, Академии наук Абхазии. Серия «Естественные науки». Сухум: Academia, 2020. №10. С. 208-229.
2. Пешков В.М. Галечные пляжи неприливных морей. (основные проблемы теории и практики) // Краснодар, 2005. 444 с.
3. Чеботаров А.И.: Чеботаров А.И. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1964. 221 с.
4. ЭкбаЯ. А., АхсалбаА.К. Физическая экология атмосферы. Сухум – 2018, 431с.
5. Allenbach K., Garonna I., Herold C., Monioudi I., Giuliani G., Lehmann A., Velegrakis A. (2015) Black Sea beaches vulnerability to sea level rise. Environmental Science and Policy 46. P.95-109.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ФАЗ ЭЛЬ-НИНЬО – ЮЖНОГО КОЛЕБАНИЯ И ПРОГНОЗ ЭЛЬ-НИНЬО-2023

А.С. Лубков, Е.Н. Воскресенская

andrey-ls2015@yandex.ru; elena_voskr@mail.ru

Институт природно-технических систем, Россия, г. Севастополь

Аннотация. Предложена новая модель прогнозирования фаз Эль-Ниньо – южного колебания (ЭНЮК), основанная на методах многослойной нейронной сети (МНС) и множественной линейной регрессии (МЛР). Основной особенностью модели является детальный отбор входных в модель предикторов и последующее моделирование с проверкой всевозможных комбинаций входного вектора. Предложенная модель достаточно хорошо воспроизводит события Эль-Ниньо и их тип даже заблаговременно за год. Вероятность верного определения условий, характерных для событий Эль-Ниньо практически не зависит от заблаговременности прогноза и варьируется от 76 до 83%. Вероятность верного определения явления Ла-Нинья с ростом заблаговременности уменьшается от 85 до 31%.

Ключевые слова. ЭНЮК, Эль-Ниньо, Ла-Нинья, машинное обучение, система океан-атмосфера, долгосрочный прогноз.

Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) – важнейший глобальный процесс межгодового масштаба в системе океан-атмосфера экваториальной зоны Тихого океана. ЭНЮК имеет две противоположные фазы существования – теплую (Эль-Ниньо) и холодную (Ла-Нинья). Фазы ЭНЮК находят погодно-климатический отклик не только в тропической зоне Тихого океана, но и во внетропических широтах посредством дальнедействующих связей системы океан-атмосфера [1] и обуславливают существенные негативные последствия на социально-экономическую сферу [2]. Прогноз этих событий и заблаговременное определение их типа – приоритетная задачей современных исследований.

Можно выделить два основных подхода к долгосрочному прогнозированию ЭНЮК: динамический и статистический. Динамический подход осуществляется на основе численного моделирования, включающего в себя в первую очередь атмосферную циркуляцию, процессы в океане и взаимодействие этих двух сред. Статистический подход подразумевает прогнозирование ЭНЮК на основе анализа исторических характеристик. В свою очередь статистические модели могут быть линейными и нелинейными. Линейная статистическая модель строится с использованием методов множественной линейной регрессии, канонической корреляции, цепей Маркова и т.д. Второй, нелинейный подход, основан на методах машинного обучения, таких как байесовские методы и искусственные нейронные сети [3]. На сегодняшний день существует по меньшей мере 18 динамических и 8 статистических моделей, представленных на сайте международного исследовательского института климата и общества

Колумбийского университета (IRI), которые применяются для прогнозирования ЭНЮК. Во многих работах (к примеру, в [4]) отмечено, что динамические модели справлялись с прогнозом ЭНЮК на порядок лучше, чем статистические.

Однако последние несколько лет стали предлагаться весьма продуктивные решения для прогнозирования ЭНЮК, в основе которых лежат методы машинного обучения (к примеру, [3, 5]), в частности, сверточные нейронные сети. Зачастую эти решения значительно лучше прогнозируют цикл ЭНЮК, в сравнении с динамическими и классическими статистическими моделями. При этом одним из главных недостатков современных методов машинного обучения является отсутствие возможности интерпретировать построенную модель с точки зрения физического анализа дальнедействующих связей системы океан-атмосфера [3].

В наших ранних работах мы предприняли попытки прогнозировать события ЭНЮК с использованием модели основанной на МНС. В работе [6] моделировался индекс Южного колебания (SOI) заблаговременностью прогноза до 5 месяцев. Тогда в качестве входных векторов модели использовались широко известные индексы дальнедействующие связи системы океан-атмосфера, описанные в [7], и был проведен анализ наиболее важных для модели индексов. Несколько позже нами в работе [8] была предпринята успешная попытка прогноза событий ЭНЮК с использованием аномалий температуры поверхности океана в районе Nino 3.4. Список предикторов тогда был расширен, а заблаговременность модели увеличилась до 9 месяцев.

В данном сообщении приведены результаты использования модели на основе МНС, описанной ранее в [8]. Модель была совмещена с методом МЛР по алгоритму, уточненному в [9]. При этом был использован более современный блок входных данных, также описанный в работе [9].

Результаты. На рис. 1 показана всесезонная способность прогнозирования трехмесячных (или сезонных) скользящих средних индексов Nino3.4, Nino3 и Nino4 с 2007 по 2017 год предложенной нами модели и динамических моделей проекта North American Multi-Model Ensemble (NMME), которые часто используются для прогноза фаз ЭНЮК. Сравнение проводилось на основе данных реконструкции COBESST с использованием корреляции Пирсона и среднеквадратичного отклонения модели относительно наблюдений (Root-Mean-Square-Error или просто RMSE). Большинство динамических моделей NMME превосходит предложенную модель с заблаговременностью до 6 месяцев, однако с заблаговременностью 8-11 месяцев навыки прогнозирования нашей модели превосходит динамические. Так, для предложенной модели коэффициент корреляции (и RMSE) с заблаговременностью прогноза 11 месяцев для индекса Nino 3.4 равен 0.64 (0.72°C), для индекса Nino 3 – 0.65 (0.69°C) и для Nino 4 – 0.78 (0.46°C). При этом навыки прогнозирования динамических моделей с такой же заблаговременностью равны 0.40-0.56 (0.77-0.90°C) 0.29-0.46 (0.80-0.91°C) и 0.46-0.61 (0.57-0.74°C) для индексов Nino 3.4, Nino 3 и Nino 4, соответственно.

Успехи предложенной модели с заблаговременностью прогноза более 7 месяцев являются следствием смягчения весеннего порога предсказуемости. При этом модель систематически показывает более низкий forecast skill для прогнозов с небольшой заблаговременностью, что особенно выражено для индекса Nino 3.4.

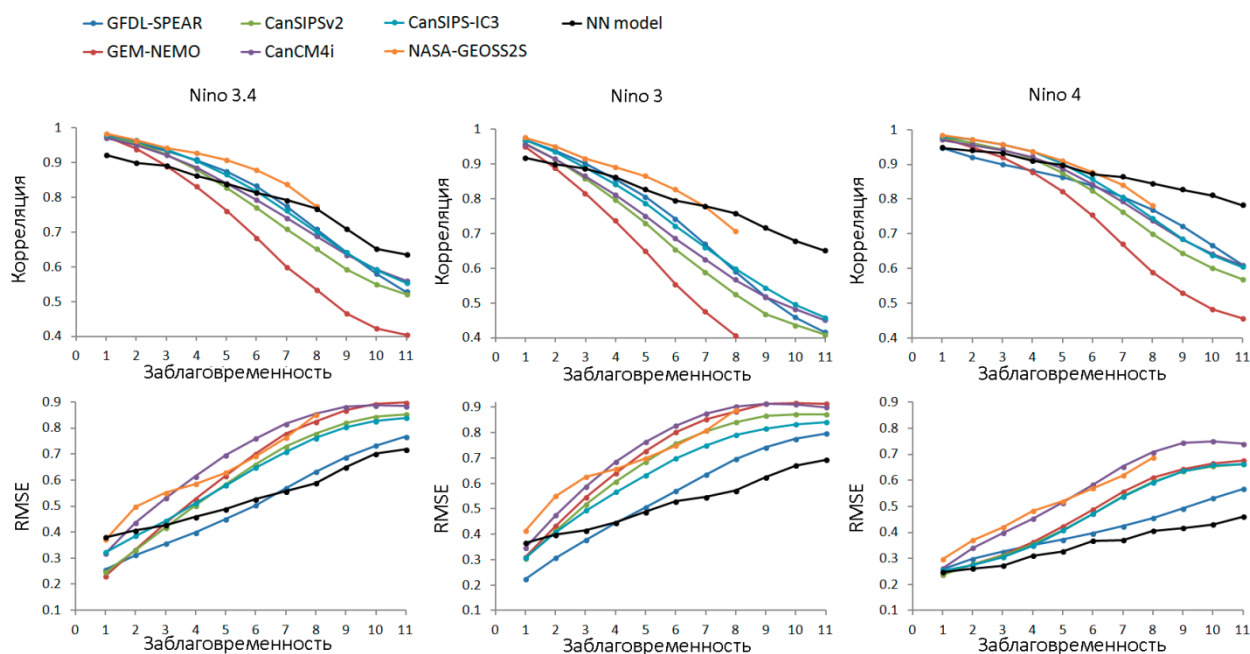


Рис. 1. Всесезонные навыки прогнозирования (корреляция и RMSE) трехмесячных скользящих средних индексов Nino3.4, Nino3 и Nino4 с 2007 по 2017 год для предложенной модели и моделей NMME

Прогноз индекса Nino 3.4 на 2023 год. На рис. 2 приведены результаты прогноза, опубликованные во второй половине ноября. По результатам, приведенным на сайте Колумбийского университета (iri.columbia.edu, обращение 03.12.2022) 18 динамических и статистических моделей, приведенных на рис. 1а показывают нейтральную фазу ЭНЮК, а 7 моделей превысили порог 0.5°C , однако в среднем модели показывают нейтральную фазу. По результатам центра климатических прогнозов США – NOAA (src.ncsr.noaa.gov, обращение 03.12.2022) в ноябре только 1 из 6 моделей прогнозирует начало Эль-Ниньо (рис 1б). Предложенная модель предполагала дальнейшее развитие Ла-Нинья до февраля 2023 года. В марте и апреле модель прогнозировала нейтральные условия ЭНЮК, а с мая 2023 года предположительно начнет развиваться Эль-Ниньо. В действительности условия Ла-Нинья сменились на нейтральные в феврале. В марте и апреле для ЭНЮК была характерна нейтральная фаза. По последним данным Бюро метеорологии Австралии (bom.gov.au, обращение 27.04.2023) в апреле условия для начала Эль-Ниньо восточного типа наблюдаются в области Nino 3, где индекс постепенно увеличивался с начала месяца от $+0.5$ до $+0.8^{\circ}\text{C}$ к середине месяца.

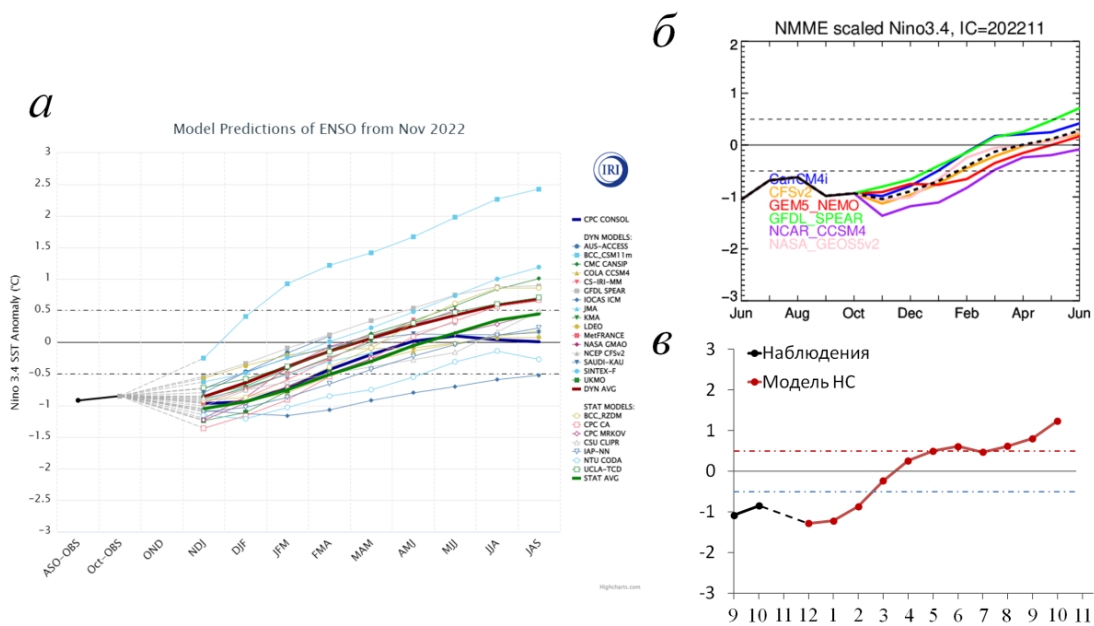


Рис. 2. Результаты ноябрьского прогноза индекса Nino 3.4, сглаженного 3-месячным средним скользящим: а – NOAA, б – IRI, в – модель НС, предложенная авторами сообщения

Работа выполнена в рамках государственного задания Института природно-технических систем (№ госрегистрации 121122300072-3).

Список литературы

1. Liu Z., Alexander M. Atmospheric bridge, oceanic tunnel, and global climatic teleconnections // *Reviews of Geophysics*. – 2007. – V. 45. – P. RG2005.
2. McPhaden M.J., Zebiak S.E., Glantz M.H. ENSO as an integrating concept in Earth science // *Science*. – 2006. – V. 314. – №. 5806. – P. 1740-1745.
3. Fang W., Sha Y., Sheng V.S. Survey on the Application of Artificial Intelligence in ENSO Forecasting // *Mathematics*. – 2022. – V. 10. – P. 3793.
4. Tang Y., Zhang R.H., Liu T., Duan W., Yang D., Zheng F., Ren H., Lian T., Gao C., Chen D., et al. Progress in ENSO prediction and predictability study // *Natl. Sci. Rev.* – 2018. – V. 5. – P. 826-839.
5. Ham Y.G., Kim J.H., Luo J.J. Deep learning for multi-year ENSO forecasts // *Nature*. – 2019. – V. 573. – P. 568-572.
6. Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В. Прогнозирование индекса Южного колебания // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о земле: СПбГУ*. – 2017. – №. 4. – Т. 62. – С. 370-388.
7. Barnston G., Livezey R.E. Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns // *Monthly Weather Rev.* – 1987. – V. 115. – №. 6. – P. 1083-1126.
8. Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В. Применение нейронных сетей для модельного прогноза Эль-Ниньо и Ла-Нинья, включая их типы // *Метеорология и гидрология*. – 2020. – №. 11. – С. 111-121.
9. Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Сухонос О.Ю. Прогноз выпадения осадков в районе Ай-Петри на основе модели искусственной нейронной сети // *Водные ресурсы*, 2022. № 49 (4). С. 517–526. DOI: 10.31857/S03210596220401

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИННЫХ ФЛЮИДОВ ХОЛОДНЫХ СИПОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И БИОЦЕНОЗ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮЖНЫЙ БЕРЕГ КРЫМА)

¹В.И. Лысенко, ²Н.В. Шик

Niagara_sev@mail.ru, shik.n@bk.ru

¹Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в Севастополе, Россия, г. Севастополь

²ГБОУ ДО «Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий», Россия, г. Севастополь

Аннотация. Примером холодных сипов являются выходы газов в подводной части пляжной зоны бухты Ласпи. Пузырьки флюидов имеют комплексный состав, который представлен CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_3H_6 , C_4H_{10} , C_5H_{12} , N_2 , O_2 , CO_2 , Ne и H_2S . Вокруг участков газовых струй формируются «карбонатные постройки» с оазисами жизни. Образование карбонатного цемента конгломератов в постройках связано с жизнедеятельностью прокариот. Бактериальные строения бухты Ласпи получили название метанолиты голоцена. Они являются уникальными геолого-биологическими объектами в зоне соприкосновения и взаимодействия литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы.

Ключевые слова. Сипы, метан, углеводороды, гелий, сероводород, *hydrocarbon seeps-carbonates*, биоценоз.

Главными проблемами в географической оболочке Земли являются изменения климата, таяния ледников и повышением уровня мирового океана. Между ними имеется взаимосвязь. Рост температур связан с парниковым эффектом, который объясняется увеличением поступления в атмосферу углекислого газа и метана [15, 24]. Изменение температур оказывает влияние на стабильность ледникового покрова, что приводит к повышению уровня мирового океана.

Долгое время было принято считать, что эти процессы связаны с промышленной и сельскохозяйственной деятельностью человечества. В последнее время появляется все больше фактов, что эти проблемы связаны с поступлением холодных и горячих флюидов из недр [24]. Это подтверждают данные изотопного состава углерода метана в атмосфере и увеличением его концентраций [27]. Сложно проследить поступления газовых флюидов на суше, но они хорошо картируются визуальными и геофизическими методами на дне морей и океанов [3]. Количество находок выходов пузырьков газа с каждым годом возрастает. В настоящее время они известны во всех морях и океанах от экватора до полярных зон [2, 3, 29]. Наиболее детально природа их дегазации изучена на дне Мексиканского и Персидского заливов, Северного, Балтийского, Охотского, Каспийского и Черного морей, а также в озере Байкал [1, 3, 5, 6, 17]. На Черном море прибрежной зоне Болгарии было обнаружено 19735 сипов, а на береговом склоне и шельфе стран СНГ - более 4380 [3, 27]. Разница связана с детальностью проведения поисковых работ на поверхности болгарского подводного берегового склона. Большинство выходов пузырьков

газа в Черном море располагаются глубже 100м [3]. В основном, они выявлены геофизическими методами, а выбросы газовых пузырьков с больших глубин не всегда доходят до поверхности [3, 18]. Значительная часть метана и других углеводородов растворяется в воде или переходит в газогидраты.

К настоящему времени имеются единичные описания сипов в береговой зоне на глубинах нескольких метров. Это связано с невозможностью применения геофизических методов на малых глубинах и маленькими размерами пузырьков газа [8, 27]. В прибрежной береговой зоне Крыма сипы были обнаружены около Тарханкутского и Керченского полуостровов, в Севастопольской, Ново - Казачий и Ласпинской бухтах [13, 14]. При их описании, исследователи уделяли в основном внимание картированию выходов поступления метана и биологии, а без особого внимания оставались вопросы изучения состава флюидов, экологических и геологических процессов, которые сопровождают сипы [14].

Наиболее доступным объектом для изучения процессов поступления флюидов из недр являются выходы пузырьков газа в бухте Ласпи (западная часть Южного берега Крыма) [9, 10]. Они находятся на абразионном подводном береговом склоне. Он представлен пологой наклоненной площадкой, которая находится на поверхности глинистых алевролитов и аргиллитов таврической свиты (Т₃- J₁) [11, 13]. Струйные выделения газа, приурочены к трем грядам пляжных бактериальных построек. Они расположены в зоне пересечения Ласпинского и Берегового разломов на глубине от одного до трех метров и расстоянии от 10 до 50 метров от береговой линии [11, 13].

Наблюдения за выходами газа проводились в летний период года с 2004 по 2022 г. [9]. За это время местоположение конкретных точек выходов пузырьков газа и их количество менялось, но сами участки дегазации оставались в тех же границах. В разные годы наблюдения в бухте Ласпи насчитывается от 12 до 20 точек струйных выходов газа. В периоды новолуний и полнолуний визуально наблюдалось увеличение размеров пузырьков и объемов выбросов газа [11]. В поступлении флюидов наблюдается некоторая периодичность. В начале происходит отрыв двух-пяти мелких пузырьков, затем рой (15-30) более крупных и наступает затишье на 15-60 секунд (рис. 1). После цикл повторяется. Пузырьки при поднятии к поверхности увеличиваются в диаметре, что связано с падением давления водной толщи от дна к поверхности [10]. С помощью мерного сосуда был определен объем струйного выделения газа из точек постоянной дегазации за единицу времени. Он колеблется от 8 до 23 мл/минуту (12 -33 л/сутки). Общий дебит всех сипов в бухте Ласпи равен 97 – 330 мл/мин (140 – 480 л/сутки). В ходе отбора проб было установлено, что выбросы крупных пузырьков газа из отдельных сипов происходят одновременно под руководством дирижера. Интенсивность и объем выделения газа резко менялись в течение года. Возможно, их объемы резко возрастут периоды сейсмической активности.



Рис. 1. Рой пузырьков флюидов с поверхности бактериальной постройки

Кроме струйного выделения газа, в песке около покмарок и в пляжных карбонатных бактериальных постройках присутствует диффузионный флюид [11, 14]. Его присутствие было установлено при отборе образцов из постройки и взятия проб газа. При нарушении сплошности бактериальных строений, с её поверхности непродолжительно выделялись пузырьки газа. Подобное выделение газа наблюдалось при разгребании песка вокруг выходов кратеров сипов. В пузырьках газа чувствовался резкий запах сероводорода. Можно предположить, что диффузионные флюиды в постройках являются основной пищей для сообществ бактерий и архей.

По результатам четырех анализов установлено, что флюиды бухты Ласпи имеют многокомпонентный газовый состав. Он по данным опробования непостоянный. В пробах преобладают концентрации углеводородных газов, которые представлены в основном метаном. Его концентрации изменяются от 55,7 до 60,4 %. Содержания этилена в анализах проб составляли от 0,96 до 1,03%, а пропана – от 0,002 до 0,039%. В углеводородах флюидов, также, присутствовали этан, пропилен, бутан и пентан. Их общая концентрация не превышает 0,004 %. Углерод в метане имеет изотопный состав - 35,22‰, чем отличается от биогенных углеводородов [6, 22].

Кроме углеводородных газов во флюидах присутствует кислород (4,76 - 8,96 %), азот (9,62 - 23,61 %), углекислый газ (0,23 до 0,34 %), гелий (0,43 - 1,19 %) и сероводород. Низкие содержания углекислого газа, возможно, связаны с его хорошей растворимостью в воде. Отбор проб осуществлялся в течение 10-15 минут, а за это время некоторая часть углекислого газа растворилось в водной толще. Присутствие сероводорода было установлено органолептическим методом. В анализах проценты не определенных газов

составили от 14.9 до 24.5. Предположительно, в этот остаток входят содержания сероводорода, аммиака, неона и аргона. У авторов отсутствовала возможность их определения. Из приведенных выше данных видно, что флюиды сипов бухты Ласпи характеризуются не постоянными объемами выбросов газов и их состава, что характерно для грязевых вулканов, глубоководных сипов морей и океанов и фумарольных источников вулканов [1, 3, 20, 24, 31].

Выходы струй пузырьков газа находятся на поверхности трех скальных валов, которые имеют куэстообразную форму. Они характеризуются пологонаклонными ($10 - 20^{\circ}$) поверхностями в сторону открытого моря и крутыми уступами (до 80°) со стороны берега [11]. Гряды имеют протяженность 15,0 м и ширину 5,0-8,0 м. Постройки возвышаются над абразионной поверхностью подводного берегового склона от 0,3 до 0,7 м. Длинной своей осью они ориентированы параллельно простиранию береговой линии, которая контролируется Береговым разломом [11].

Подводные гряды построек в отличие, от окружающих рыхлых отложений дна (мелкий гравий, песок), покрыты водорослями (рис. 1). При отборе геологических проб из разных участков гряд было установлено, что они сложены цементированным материалом гальки и гравия. Конгломераты гряд имеет слабовыраженную слоистость, повышенную пористость и содержат в своем составе створки раковин двухстворчатых моллюсков и трубок серпул [9, 11]. Цементом гравелитовой и конгломератовой смеси постройки является желтовато-белая карбонатная пленка мощностью от 0,5 мм до 5,0 мм, которая находится вокруг терригенного материала. Значительная часть пленочного цемента представлена волокнистыми и удлинёнными пластинчатыми лейстами белого арагонита. На поверхности гальки известняков и в пустотах цемента конгломератов встречаются звездчатые сростки его кристаллов (размером 0.1 – 2.0 мм) и новообразования прозрачного кальцита призматической формы до 1,0 мм [9]. Часто между галечным материалом и цементом встречаются сферолиты размером 1.0 мм, которые представлены сноповидным волосовидным агрегатом арагонита белого цвета. Центральное ядро у них приурочено к углублениям в цементирующей массе, из которой в виде лучей выходят тонкие волосовидные сростки [11]. Подобные сферолитовые образования наблюдаются в современных карбонатных постройках на дне морей и океанов [2, 4, 19, 21]. В иностранной литературе при характеристике современных и древних карбонатов просачивания углеводородов, они имеют название ботриоиды или узелковая масса [6, 21, 28, 29].

Результаты, анализов изотопного состава углерода карбонатов цемента построек, изменяются в узком интервале значений от -20.92 до $-20.8^{\circ}/_{\infty}$. Постройки Ласпи имеют более тяжелый состав углерода, чем известные аутигенные карбонатные постройки Черного моря [6, 7]. Изотопная разность между углеродом метана и карбонатом цемента построек составляет $-14,38^{\circ}/_{\infty}$ и она имеет сходство с данными опробования карбонатных бактериальных

строений Черного моря [6, 22]. Это подтверждает использование сообществом архей и бактерий метана различного генезиса.

На верхних поверхностях бактериальных построек бухты Ласпи находятся пятна, которые покрыты буровато-коричевой бактериальной слизью. Она слабо отличается от подобного обрастания глубоководных бактериальных построек Черного моря [18, 31]. Под бактериальными наростами отмечается пористая корочка игольчатого арагонита с шелковистым блеском на изломе. Для неё характерна микро полосчатая текстура и микро бугристое строение. Возможно, это сросшиеся между собой сферолиты [19].

В создании цементного карбонатного вещества построек бухты Ласпи активное участие принимали сообщества бактерий и архей. Они были обнаружены учеными в 2016г. В песчаных осадках найдены различные роды *Methanogenium*, а также археи группы ANME-2a/b [14]. В карбонатных постройках содержится диффузионный сероводород, поэтому в них встречаются анаэробные метанотрофы ANME-2a/b. Их относительная численность составляла почти 24% [14].

Накоплению и цементации гравия и галек в зоне активного волнового воздействия вблизи сипов сопутствуют процессы их «мгновенного» диагенеза, т.е. превращения в «пляжные» бактериальные постройки. На высокую скорость цементации указывают многочисленные находки в их центральной части крупных кристаллов арагонита и кальцита, хорошей сохранности створок раковин моллюсков и серпул [9]. В наше время возможность таких высоких скоростей образования карбоната подтверждаются экспериментами, проведенными в институте микробиологии РАН. Всего несколько часов требуется для того, чтобы чехлы нитей бактерий окаменели [16].

Гряды бухты Ласпи являются «пляжными» бактериальными карбонатными постройками, сложенными гравелитами и галечником, которые цементированы материалом хемогенного синтеза сообщества прокариот. Они являются аналогами аутигенных бактериальных карбонатных построек, которые были обнаружены в местах выходов газовых флюидов в Черном и других морях океанов [2, 6, 18, 29, 30].

С грядами «пляжных» бактериальных построек в бухте Ласпи связан местный «оазис жизни» (рис. 1). Его богатство и разнообразие животного и растительного мира резко отличается от почти безжизненного окружения рыхлых пляжных отложений [9]. В состав биоценоза входят заросли бурой водоросли цистозире (*Cystoseira barbata*), плотные колонии моллюска митилястера (*Mytilaster lineatus*), корки мшанок мембранипора, карбонатные трубки червей семейств серпулид (*Serpulidae*) и спирорбис (*Spirorbidae*) [11]. Большая часть поверхности построек покрыта зарослями бурых водорослей и колониями мшанок. Они дополнительно цементируют на поверхности гальку и гравий постройки. Водорослевой покров и колонии мшанок являются дополнительной защитой «карбонатной постройки» от поверхностного волнового разрушения. В большом количестве на поверхности постройки встречаются карбонатные трубки полихет. Это червеобразные закрученные

раковины серпулид и спиральные кольца спирорбусов. Их карбонатные трубки характеризуются довольно крупными размерами, массивной скульптурой, а в их центральной части часто отмечаются налеты органики черного цвета [11]. Этот черный налёт является следами симбиоза крупной фауны с метанотрофными и метаногенными микроорганизмами, которые производят сложные биоуглеводородные соединения [9]. Подобные следы активной жизни эукариот в симбиозе с прокариотами исследователи наблюдают при изучении древних и современных аутигенных карбонатных строений на морском дне [7, 21, 25, 26, 28, 30].

Интересные результаты были получены сотрудниками ИБЮМ г. Севастополя в 2019 г при исследовании осадочных отложений бухты Ласпи на наличие мелких водных организмов. На станциях, которые находились в зонах дегазации, отмечаются значительные разнообразия мейобентоса. Его численность по сравнению с другими точками опробования в бухте была выше в тысячу раз [32]. Это указывает на существование симбиоза прокариот по переработке метана с мейобентосом [28, 32].

Сегодня существует большой объём научных публикаций по результатам исследования бактериальных карбонатных образований около зон дегазации метана на дне морей и океанов, которые имеют некоторое сходство с бактериальными постройками бухты Ласпи [1]. Впервые они были обнаружены исследователями в северо-восточной части Тихого океана около выходов углеводородных газовых струй [30]. Позднее, подобные карбонатные образования были найдены во многих морях всех океанов [6, 17, 21, 25, 26]. Имеются описания карбонатных плитчатых находок на дне пресноводного озера Байкал [5]. В научных работах эти образования приводятся под разными названиями: «карбонаты просачивания углеводородов» (hydrocarbon seeps-carbonates); «метановые морские карбонаты» (methane-derived marine carbonates); «аутигенные карбонаты» (authigenic carbonates); «арагонитовые тротуары» (aragonite sidewalks); «аутигенные карбонатные конкреции» (authigenic carbonate nodules); «конкреции»; «карбонатные новообразования»; «литофикаты» и «аутигенные карбонатные постройки» [2, 4, 6, 17, 21, 25, 26, 30]. В англоязычных литературных источниках чаще всего используется название hydrocarbon seeps carbonates, а в русской - аутигенные карбонатные постройки (образования) [6, 21]. Сообщества прокариот могут использовать углеводороды различного генезиса, поэтому в результате получают карбонатные постройки различной формы и с разным изотопным составом углерода. Несмотря на различную внешнюю форму аутигенных карбонатных строений, в их создании активное участие принимали прокариоты, поэтому более правильно их необходимо отнести к микробиолитам [23]. Множество названий бактериальных карбонатных образований в научной литературе не указывают на генезис и материал для их формирования. Поэтому, авторы предлагают их называть метанолитами с добавкой возраста образования [12]. Холмообразные бактериальные постройки бухты Ласпи являются метанолитами голоцена. По внешнему виду и условиям образования они

слабо отличаются от подобных мелкобугристых гряд у выходов газа в северной части Каспийского моря [1].

Метанолиты голоцена подводного берегового склона бухты Ласпи являются уникальными геолого-биологическими объектами в зоне соприкосновения и взаимодействия литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы. Их формирование происходило за счёт переработки углеводородных флюидов прокариотами. На участие архей и бактерий в образовании построек указывают следующие признаки: присутствие буровато-коричневых бактериальных матов; результаты изотопного состава углерода цемента; наличие биогенного углеродистого вещества; существование симбиоза с мейобентосом, крупной фауной и флорой; сферолиты арагонита и формы кальцита в цементе; повышенные содержания фосфора. Эти характерные особенности являются подтверждением их генетического родства с hydrocarbon seeps-carbonates. Различный внешний вид карбонатных строений связан с характером среды и физико-географическими условиями их формирования.

В настоящее время поступление метана в бухте Ласпи носит спокойный характер. Сообщества архей и бактерий защищают атмосферу от его поступления. Такой биологический фильтр по переработке метана действует с момента зарождения жизни до сегодняшних дней.

Бактериальные постройки (метанолиты голоцена) и газовые струи в подводной части пляжной зоны бухты Ласпи являются уникальными эколого-геологическими объектами и требуют постоянного мониторинга за ними.

Список литературы

1. Безродных Ю. П., Делия С. В., Лаврушин В. Ю. и др. Газовые сипы на акватории северного Каспия // Литология и полезные ископаемые. 2013. №5. С. 415 – 425.
2. Геворкьян В. Х., Бураков В. И., Исагулова Ю. К. и др. Газовыделяющие постройки на дне северо-западной части Черного моря // Докл. АН УССР. 1991. №4. С. 80 – 85.
3. Егоров В. Н., Артемов С.Б., Гулин С. Б. Метановые сипы в Чёрном море: средообразующая и экологическая роль. Севастополь.: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. - 345с.
4. Иванов М.В., Поликарпов Г.Г., Лейн А.Ю. и др. Биогеохимия цикла углерода в районе метановых газовыделений Черного моря // ДАН СССР. 1991. Т.3. № 5. С. 1235-1240.
5. Крылов А.А. Хлыстов О. М., Земская Т. И. и др. Формирование аутигенных карбонатов в грязевых вулканах озера Байкал // Геохимия. 2008. №10. С. 1051-1062.
6. Лейн А.Ю. Аутигенное карбонатообразование в океане // Литология и полезные ископаемые. 2004, № 1. С. 3-35.
7. Лейн А.Ю., Русанов И.И., Кравчишина М.Д., Иванов М.В. О генезисе органического и карбонатного углерода в осадках Северного и Среднего Каспия (по изотопным данным) // Литология и полез. ископаемые. 2012. № 4. С. 319–332.
8. Луцик А.В, Морозов В.И, Палин В.П. и др. Особенности формирования подземных вод в западной части Равнинного Крыма (на примере района бухты Очеретай) Геол. журн. – 1985. Т. 45 № 3. С. 101-107.
9. Лысенко В.И., Шик Н.В. Современные процессы образования карбонатов, связанные с углеводородной дегазацией в бухте Ласпи (Южный берег Крыма) // Пространство и Время. 2013. № 2 (12). С. 151–158.

10. Лысенко В.И., Шик Н.В. Дегазация и "карбонатные постройки" в бухте Ласпи (ЮБК) // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2014. № 1. С. – 110-122.
11. Лысенко В.И., Шик Н.В. Состав флюидов современной дегазации и процессы карбонатной цементации в пляжной зоне бухты Ласпи (Южный берег Крыма) // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2015. Т. 90, вып. 1. С. 81–89.
12. Лысенко В.И., Садыков С.А. Азовскова О.Б, Михайличенко Т.В. Условия образования микробиолитов миоцена по результатам изучения геохимии и изотопного состава гераклитов. // Ученые записки КФУ им. В.И. Вернадского. География. Геология. 2019. Том 5. № 1. С. 204-216.
13. Михайловский С.Н. Некоторые сведения о геологическом строении Ласпи. «Крым». М.: 1927. №1. С. 14-45.
14. Пименов Н.В., Меркель А.Ю., Гарновецкий И.Ю. и др. Структура микробных матов в прибрежных районах Мраморной бухты // Микробиология. 2018. Т. 87. № 5. С. 561–572.
15. Пронин А.П. Газовое дыхание Земли и его глобальные экологические последствия// Чистая вода: проблемы и решения. 2009. №1. С. 37- 40.
16. Розанов А.Ю. Ископаемые бактерии и новый взгляд на процессы осадкообразования // Соревский образовательный журнал. 1999. № 10. С.63 -67.
17. Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Кутний В.А. Необычные карбонатные постройки – вероятное следствие дегазации недр // Литология и полезные ископаемые Мирового океана. 1995. № 5. С. 451- 461.
18. Шнюков Е. Ф., Лейн А. Ю., Егоров В. Н. и др. Обнаружение в Черном море глубоководных карбонатных построек биогенного происхождения // ДАН Украины. 2004. № 1. С. 118 - 122.
19. Шнюков Е. Ф., Кутний В. А., Масоаков Н. А., Шнюкова Е. Е. К минералогии карбонатных образований газовых источников Черного моря // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2006. № 2. С. 69-81.
20. Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков Н.А. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона. Краснодар.: ООО «ГлавМедиа», 2005. 176 с.
21. Aharon P. Geology and biology of modern and ancient submarine Hydrocarbon seeps and vents: an introduction//Geo-Marine Letters, 1994. V. 14 (2). P. 69-73.
22. Alperin M.J., Reeburgh W.S., Whiticar M.J. Carbon and hydrogen isotope fractionation resulting from anaerobic methane oxidation // Global Biogeochemical Cycles. 1988. V. 2 (3). P. 279-288.
23. Burne R.V., Moore L.S. Mikrobiolites: Organosedimentary Deposits of Bentic Microbial Communities. Palaios, 1987. V.3, P. 241-254.
24. Amouroux D., Roberts G., Rapsomanikis S., Andreae M. O. Biogenic gas (CFL, N₂O, DMS) emission to the atmosphere from nearshore and shelf waters of the north-western Black Sea // Estuar. Coast. Shelf SCI. 2002. V. 54. P. 575-587.
25. Campbell, K.A, Hydrocarbon seep and hydrothermal vent paleoenvironments and paleontology: Past developments and future research directions. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2006. V. 232, P. 362–407.
26. Chen Z, Yan W, Cheng M, et al. Discovery of seep carbonate nodules as new evidence for gas venting on the northern continental slope of South China Sea. Chin Sci Bull, 2006. V.51. P.1228–1237.
27. Dimitrov L., Contribution to atmospheric methane by natural gas seepages on the Bulgarian continental shelf. Continental Shelf Researches. 2002. V. 22, P. 2429-2442.
28. Dubilier N., Bergin C., Lott C. Symbiotic diversity in marine animals: the art of harnessing chemosynthesis. Nature Reviews: Microbiology. 2008. V. 6. P. 725–740.
29. Feng, D., Chen, D.F., Peckmann, J., Bohrmann, G., Authigenic carbonates from methane seeps of the northern Congo fan: microbial formation mechanism. Mar. Pet. Geol. 2010. V. 27. P. 748–756.

30. Hathaway J.C., Degens E.I. Methane derived marine carbonate of pleistocene age // Science. 1968. V. 165. P. 690–692.
31. Knittel, K., Lösekann, T., Boetius, A., Kort, R., Amann, R., Diversity and distribution of methanotrophic archaea at cold seeps. Appl. Environ. Microbiol. 2005. V. 71. P. 467–479.
32. Sergeeva N.G., Revkova T.N., Ürkmez D. Meiobenthic Assemblages of the Laspi Bay (Crimea, Black Sea): Taxonomic Diversity and Quantitative Development//Acta Aquatica Turcica. 2022. V.18(0). P. 1-14.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОТОКОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ НА ОСНОВАНИИ РАСЧЕТА СУММАРНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД

В.В. Мазур

vvmazur@list.ru

*Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина,
Россия, г. Сыктывкар*

***Аннотация.** Была проведена оценка экологического состояния р. Човью, протекающей вблизи техногенных территорий, р. Печоры, в районе устья и в верхнем течении, где располагается Печоро-Илычский биосферный заповедник и р. Б. Шайтановки (правый приток р. Печоры), на всем протяжении протекающей по территории вышеуказанного заповедника, на основании расчета суммарного показателя химического загрязнения вод. Показано, что экологическое состояние р. Печоры в районе устья и в верховьях, р. Б. Шайтановки можно охарактеризовать как «относительно удовлетворительное», а состояние р. Човью как «чрезвычайное».*

***Ключевые слова.** Оценка экологического состояния, суммарный показатель химического загрязнения вод, Республика Коми.*

Важным показателем экологического состояния водосборного бассейна является химический состав воды. Знание концентраций тяжелых металлов и других поллютантов в воде рек позволяет судить о текущем состоянии водотока.

В течение последних лет в Республике Коми отмечается рост числа антропогенных источников загрязнения поверхностных вод. На территории Республики Коми действует свыше 1200 источников хозяйственно-бытового и промышленного загрязнения, в том числе более 60 крупных объектов. Из них около 100 источников относятся к третьей категории опасности, что является серьезной проблемой для региона.

В связи с чем, целью настоящей работы была оценка экологического состояния водотоков, расположенных как вблизи техногенных территорий, так и расположенных на территории особо-охраняемых природных территорий, на основании расчета суммарного показателя химического загрязнения вод.

Для исследования были выбраны: р. Печора, в районе устья и в верхнем течении, где располагается Печоро-Илычский биосферный заповедник, р. Б. Шайтановка (правый приток р. Печоры), на всем протяжении протекающая по территории вышеуказанного заповедника, и р. Човью, протекающая вблизи г. Сыктывкара.

Устье р. Печоры подвергается интенсивному антропогенному загрязнению, в частности за счет расположения объектов нефтегазодобывающей промышленности и т. п. Именно поэтому вода из устья реки имеют превышение предельно-допустимых концентраций (ПДК) по цветности, перманганатной окисляемости и содержанию ионов Fe и Mn. Среди

металлов, содержащихся в водах верхнего течения р. Печоры следует выделить Fe и Cu (в сравнении ПДК для рыбохозяйственных водоемов) [1].

В водах р. Печоры и Б. Шайтановки повышено содержание Fe (суммарно), Zn²⁺, Cu³⁺ по сравнению с ПДК для рыбохозяйственных водоемов [2]. Попадание Zn²⁺ и Cu²⁺ в воды р. Печоры связано с размыванием материнских пород в период ливневых стоков в теплый период.

Воды р. Човью характеризуются повышенным содержанием Fe и Mn (табл. 1). В воде р. Човью обнаружены ионы аммония, нитриты, нитраты и органика, а также металлы - Pb²⁺ и Zn²⁺ [3]. Р. Човью, протекающая вблизи г. Сыктывкара в значительной степени подвержена техногенным нагрузкам. Источником поступления поллютантов являются талые и дождевые воды с автотрассы, расположенной неподалеку. Вода из р. Човью не соответствуют нормативам по цветности, окисляемости, концентрации Fe, Mn, Pb, нефтепродуктов; рыбохозяйственным нормативам по концентрации Fe (превышение в 40 раз), NH₄, Mn, Zn, Pb, Cu, фенолам и нефтепродуктам.

Таблица 1

Уровни содержания загрязняющих веществ в воде р. Печоры, р. Б. Шайтановки и р. Човью в теплое время года по собственным (2009-2010) и опубликованным данным [1], [3]

Показатели качества воды	Класс опасности	ПДК для рыбохозяйственных водоемов [2]	Реки					
			Печора				Б. Шайтановка	Човью
			Р-н пос. Якша	1 км выше пос. Якша	Р-н устья р. Гаревка	Устье р. Печоры		
Fe, мг/л (суммарно)	4	0,1	0,1	0,22	0,31	0,496	0,15	0,4
NH ₄ ⁺ , л	4	0,05	0,35	0,18	0,48	0,073	0,25	0,67
PO ₄ ³⁻ , мг/л	3	3,5	0,036	0,04	0,04	0,017	0,012	-
Mn, мг/л (сумм.)	3	0,01	-	-	0,0087	0,15	0,0087	0,29
Zn ²⁺ , мг/л	3	0,01	0,025	0,025	0,024	0,0026	0,024	0,021
Pb ²⁺ , мг/л	2	0,006	-	-	0,0008	0,0002	0,0008	0,017
Cd ²⁺ , мг/л	2	0,005	-	-	0,0002	0,0001	0,0002	0,001
Cu ²⁺ , мг/л	3	0,001	0,035	0,035	0,0026	0,0005	0,0026	0,003
Фенолы, мг/л	3	0,001	0,013	0,028	0,02	-	0,03	0,0024
Нефтепродукты, мг/л	3	0,05	-	-	-	0,125	-	-

В связи с тем, что содержание некоторых загрязняющих веществ в водах исследуемых водотоков превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов, был проведен расчет суммарного показателя химического загрязнения вод (ПХЗ–10), который производится на основании значений концентраций 10 соединений, максимально превышающих ПДК по следующей формуле:

$$ПХЗ-10 = (C1/ПДК1 + C2/ПДК2 + \dots + C10/ПДК10),$$

где C_i – концентрация химического вещества в воде; ПДК $_i$ – рыбохозяйственные нормативы. При отсутствии отдельных соединений в исследуемом водотоке, значения $C_i / \text{ПДК}_i$ условно принимаются равными 1 [4].

Результаты расчетов показали, что несмотря на наличие в водах рек, протекающих вдали от техногенных объектов некоторых токсикантов, имеющих природное происхождение (например, р. Печора в районе р. Гаревки) используемая методика позволила отнести их к категории водотоков, характеризующихся относительно удовлетворительным состоянием (рис.1).

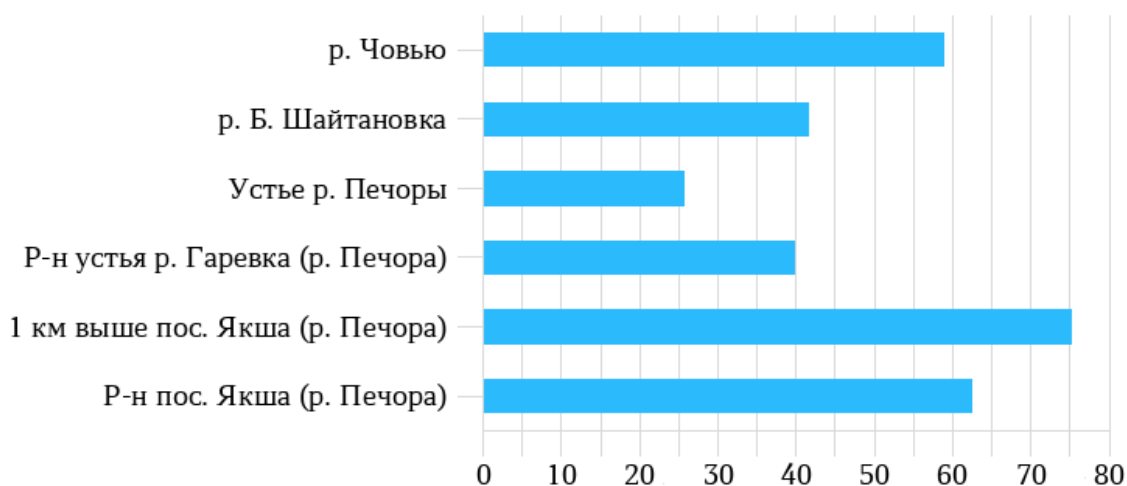


Рис. 1. Сравнение суммарного показателя химического загрязнения вод (ПХЗ–10) р. Печоры, р. Б. Шайтановки и р. Човью

Однако, для р. Човью ПХЗ-10 равен 58,9, что при наличии соединений 1–2 класса опасности в концентрациях, превышающих ПДК, к которым относятся свинец и кадмий, свидетельствует о чрезвычайной экологической ситуации.

Таким образом, использование суммарного показателя химического загрязнения вод (ПХЗ–10) для оценки экологического состояния рек позволяет выявить водотоки, подвергаемые интенсивной техногенной нагрузке. На основании расчета суммарного показателя химического загрязнения вод (ПХЗ–10) показано, что экологическое состояние р. Печоры в районе устья и в верховьях, р. Б. Шайтановки можно охарактеризовать как «относительно удовлетворительное», а состояние р. Човью как «чрезвычайное».

Список литературы

1. Лукин А.А., Даувальтер В.А., Новоселов А.П. Экосистема реки Печоры в современных условиях. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. 192 с.
2. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды, водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение от 28 апреля 1999 года, Москва № 96. М.: Изд-во ВНИРО, 1999. 304 с.
3. Лапицкая В.Ф. Мониторинг поверхностных вод // Экологический мониторинг. Сыктывкар: Сыктывкар. ун-т, 2002. С. 38–49.
4. РД 52.24.309-92. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Росгидромета.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Е.В. Маньковская, А.Н. Морозов

emankovskaya@mhi-ras.ru; anmorozov@mhi-ras.ru

Морской гидрофизический институт РАН, Россия, г. Севастополь

***Аннотация.** В работе представлены и обсуждаются осредненные характеристики холодного промежуточного слоя, полученные на основе анализа материалов двенадцати экспедиций Морского гидрофизического института РАН, выполненных в северном – северо-восточном районах Черного моря в 2016–2019 гг. на НИС «Профессор Водяницкий».*

***Ключевые слова.** Холодный промежуточный слой, Черное море, температура.*

Холодный промежуточный слой (ХПС) является одной из наиболее известных характерных черт термохалинной структуры вод Черного моря. Это слой с минимальной температурой воды, находящийся между сезонным и постоянным пикноклином. Традиционным критерием определения границ слоя является изотерма $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1]. Изменчивость температуры ХПС является индикатором региональных изменений климата.

ХПС формируется или обновляется в холодные (январь – март) месяцы года в результате взаимодействия поверхностных вод с холодным воздухом. Охлаждение поверхностных вод приводит к их уплотнению и возникновению гидростатической неустойчивости, что способствует развитию конвекции в верхнем перемешанном слое моря и сезонному увеличению его толщины. Формирование и обновление вод ХПС обеспечивает такие важные гидрологические процессы как насыщение вод кислородом и обогащение их биогенными элементами за счет подъема глубоководных вод. Это, в свою очередь, обеспечивает развитие первичной биологической продукции.

Начиная с 1992 г., отмечается значительное потепление ядра ХПС [2 – 6], в настоящее время воды с температурами ниже $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ встречаются все реже. В работе [7] на основе данных профилирующих буев Argo показано, что содержание холодной воды в ХПС уменьшилось, его нижняя граница сместилась вверх, а сам слой стремится к состоянию исчезновения. Одной из причин этого являются климатические изменения температуры воздуха (ее повышение) в холодный период года, с чем непосредственно связано зимнее конвективно-турбулентное перемешивание и обновление вод ХПС. Значительное потепление ядра ХПС приводит к необходимости выбора новых критериев границ слоя как, например, $8.35\text{ }^{\circ}\text{C}$ в работе [4] и $8.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ в [7].

В Морском гидрофизическом институте РАН (МГИ) за последние годы собраны большие наборы натуральных данных о гидрофизических параметрах вод Черного моря. В настоящей работе на основе анализа материалов 12-ти экспедиций МГИ (табл. 1), выполненных в северном – северо-восточном районах Черного моря в 2016–2019 гг. рассчитываются осредненные

характеристики ХПС. Используются данные измерений CTD-зонда *SeaBird SBE9+* и погружаемого акустического доплеровского профилометра течений (*LADCP*).

Наиболее простой параметр, характеризующий ХПС в отдельно взятом профиле, – это минимум температуры воды (T_{\min}). Осредненное по всему набору станций отдельной экспедиции значение минимальной температуры воды ($\langle T_{\min} \rangle$) определяет среднее для полигона значение температуры в ядре ХПС за время проведения измерений. На рис. 1, *a* приведена температура воздуха, зарегистрированная на метеостанции г. Керчи (данные сайта <http://www.pogodaiklimat.ru>), серая линия – среднесуточные значения температуры, черная – среднемесячные ее значения. На рис. 1, *b* кружочками представлена средняя температура ядра ХПС (левая шкала), числа – номера экспедиций. Серые линии – среднемесячные значения температуры воздуха (правая шкала).

Таблица 1

Экспедиции НИС «Профессор Водяницкий» 2016 – 2019 гг.

№ п/п	№ экспедиции	Даты проведения измерений	Год экспедиции
1.	87	01.07 – 18.07	2016
2.	89	30.09 – 19.10	
3.	91	16.11 – 02.12	
4.	94	22.04 – 06.05	2017
5.	95	14.06 – 03.07	
6.	98	15.11 – 27.11	
7.	101	14.12 – 26.12	
8.	102	09.06 – 30.06	2018
9.	103	24.08 – 18.09	
10.	105	18.11 – 09.12	2019
11.	106	20.04 – 10.05	
12.	108	12.07 – 03.08	

Из рис. 1, *b* видно, что зима 2016–2017 гг. была наиболее холодной и среднемесячная температура воздуха опускалась на 3–4 °С ниже, чем в другие рассматриваемые годы. В результате холодной зимы произошло обновление вод ХПС, которое вызвало понижение температуры в его ядре на ~ 1 °С (разность температур между 3-й и 4-й экспедициями). В районе проведения измерений наблюдалось появление вод ХПС с температурой ниже 8 °С (то есть ХПС в его «классическом» представлении). После 2017 г. наблюдаются умеренные зимы, в ядре ХПС повышение температуры происходит почти по экспоненциальному закону со временем релаксации один год: аппроксимирующая функция $\langle T_{\min} \rangle(t) = 7 + 1.4 (1 - \exp(-(t - 2017)))$, t – время в годах (черная штриховая линия на рис. 1, *b*). Таким образом, приведенный материал показывает, что классическая граница ХПС (изотерма 8 °С), наблюдается только в экспедициях 2017 г.

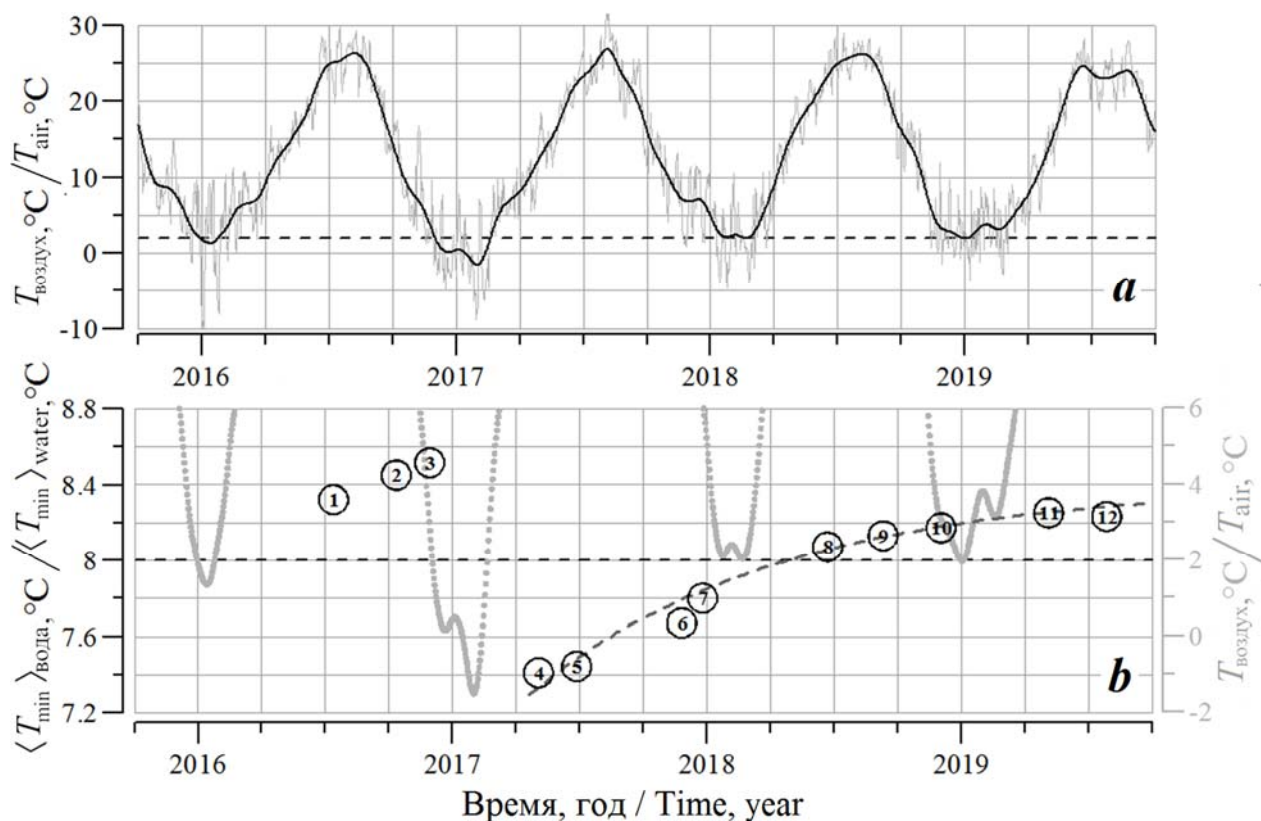


Рис. 1. Среднесуточная (серая линия) и среднемесячная (черная линия) температура воздуха в г. Керчи (а), осредненные значения минимальной температуры воды в профилях на станциях (числа в кружочках – номера экспедиций) для каждой экспедиции и среднемесячная температура воздуха в Керчи (серая линия, правая шкала) (б)

Для получения осредненных характеристик вертикальной термохалинной структуры вод при обработке данных применялось изопикническое осреднение по ансамблям профилей. Такое осреднение более информативно, чем осреднение по горизонтам из-за куполообразной формы изопикнических поверхностей в Черном море, вызванной циклоническим характером крупномасштабной циркуляции [8].

На рис. 2 представлены изопикнически осредненные профили температуры, разбитые по годам: *a* – 2016 г., *b* – 2017 г., *c* – 2018 г., *d* – 2019 г. На каждом графике приведены среднеквадратические отклонения минимальных температур от их среднего по экспедиции значения. Если принять в качестве границы ХПС значение температуры 8.6 °C, то можно отметить, что ежегодно нижняя граница слоя поднимается на ~ 10 м.

Образовавшийся в марте 2017 г. обновленный ХПС сохраняется до конца года. Общий циклонический характер циркуляции черноморских вод приводит к тому, что воды ХПС перераспределяются между центром и прибрежной зоной моря. Это приводит к тому, что минимальная температура ХПС наблюдается на периферии моря [2], а по мере приближения к берегу толщина слоя возрастает по сравнению с глубоководной областью [3]. Такая ситуация наблюдается в июне-июле 2017 г., через ~ 4 месяца после зимнего выхолаживания температуры поверхности моря в результате атмосферного воздействия и обновления вод ХПС. По данным 5-й экспедиции в этот период

ядро ХПС наблюдается на изопикнической поверхности в окрестности потенциальной плотности $\sigma_\theta = 14,6 \text{ кг/м}^3$. Рис. 3 отражает горизонтальное распределение температуры воды в ядре ХПС на глубине залегания данной изопикны. Хорошо выражено перераспределение вод ХПС между центром и прибрежной зоной моря, а также наличие фронтальной зоны (сгущение изолиний) между изотермами 7,4 и 8,0 °С. Основная масса ХПС по данным измерений идентифицируется в стрежне Основного черноморского течения и его правой части со стороны берега. Изолинии потенциальной плотности $\sigma_\theta = 15,0 \text{ кг/м}^3$ и $\sigma_\theta = 14,3 \text{ кг/м}^3$ ограничивают слой холодных вод по изотерме 8 °С. Максимальная толщина ХПС составляет около 60 метров. Положение ХПС по вертикали соответствует диапазону глубин 40 – 100 метров.

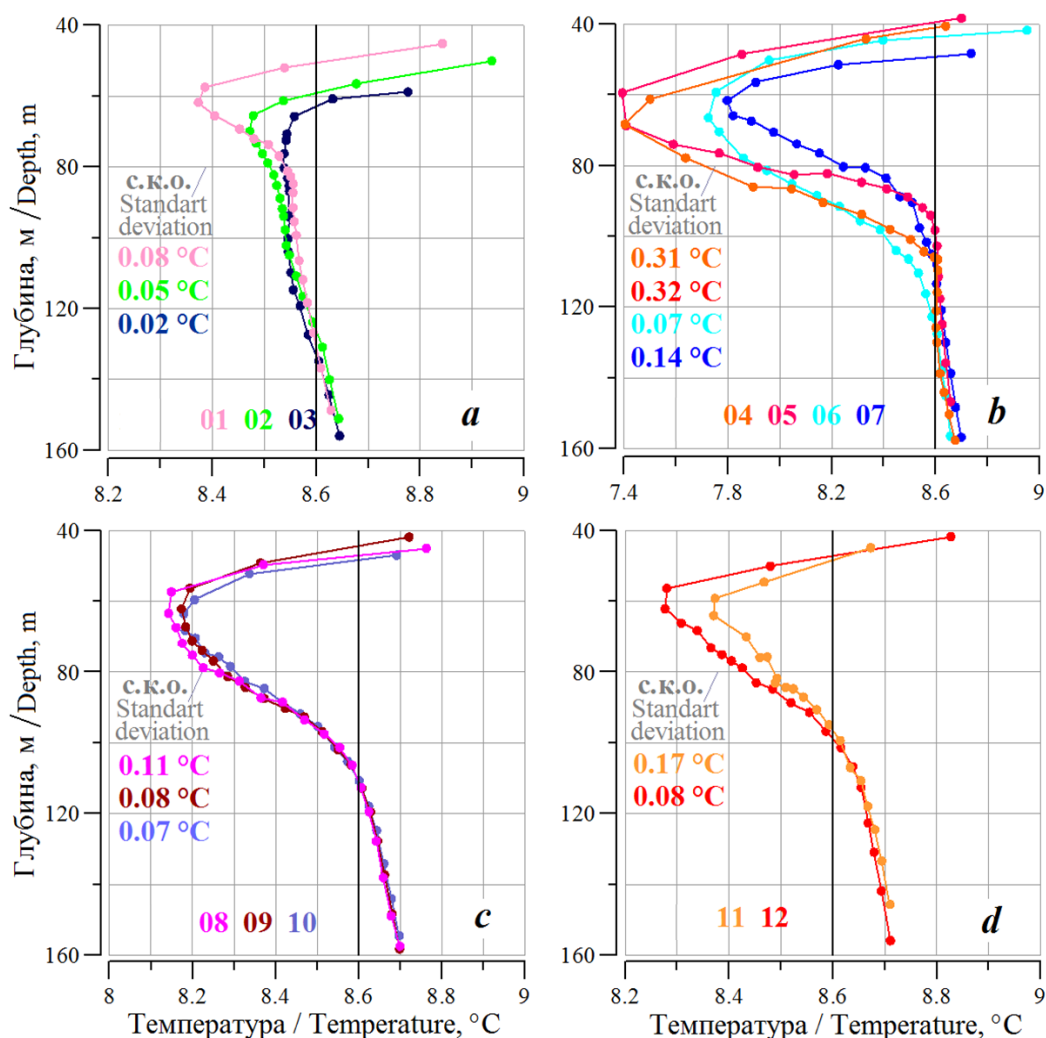


Рис. 2. Изопикнически осредненные профили температуры воды для экспедиций 2016 (а), 2017 (б), 2018 (с) и 2019 гг. (д). Цвет графика соответствует номеру экспедиции, приведенному в нижней части рисунка. Цветные цифры слева – среднеквадратическое отклонение (с.к.о.) минимальных температур от их среднего значения для каждой экспедиции

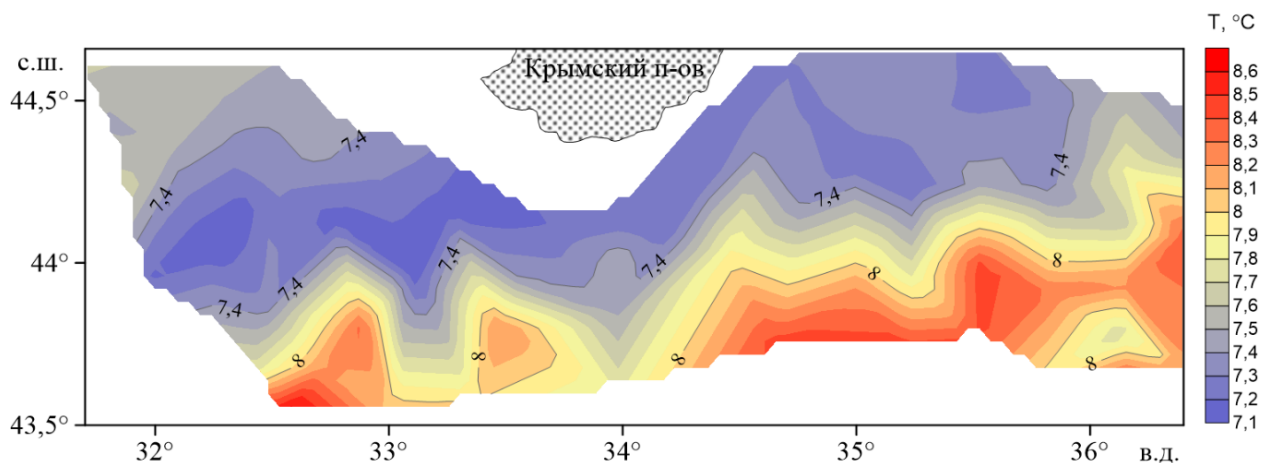


Рис. 3. Распределение температуры воды в ядре ХПС на глубине залегания изоциклы $\sigma_\theta = 14,6 \text{ кг/м}^3$

Заключение. Приведенный материал подтверждает тенденцию потепления ядра ХПС и сокращение числа событий формирования вод ХПС в его «классическом» представлении (с температурой $< 8 \text{ }^\circ\text{C}$). По натурным данным 12-ти экспедиций классическая граница ХПС наблюдается в 2017 г., в котором произошло обновление вод ХПС. После холодной зимы 2016–2017 гг. повышение температуры в ядре ХПС происходит почти по экспоненциальному закону со временем релаксации один год. Если принять в качестве границы ХПС значение температуры $8,6 \text{ }^\circ\text{C}$, то можно отметить, что ежегодно нижняя граница слоя поднимается на $\sim 10 \text{ м}$.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № FNNN-2021-0003 «Оперативная океанология», № FNNN-2021-0005 «Прибрежные исследования», данные получены в 87, 89, 91, 94, 95, 98, 101, 102, 103, 105, 106 и 108 рейсах НИС «Профессор Водяницкий» (Центр коллективного пользования «НИС Профессор Водяницкий» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»).

Список литературы

1. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря / А. С. Блатов [и др.]. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 240 с.
2. Belokopytov V. N. Interannual variations of the renewal of waters of the cold intermediate layer in the Black Sea for the last decades // Physical Oceanography. 2010. Vol. 20, iss. 5. P. 347–355. <https://doi.org/10.1007/s11110-011-9090-x>
3. Пиотух В.Б., Зацепин А.Г., Казьмин А.С., Якубенко В.Г. Реакция термохалинных характеристик деятельного слоя Черного моря на зимнее выхолаживание // Океанология. 2011. Т. 51, № 2. С. 232–241.
4. Capet A., Troupin C., Carstensen J., Grégoire M., Beckers J.-M. Untangling spatial and temporal trends in the variability of the Black Sea Cold Intermediate Layer and mixed Layer Depth using the DIVA detrending procedure // Ocean Dynamics. 2014. Vol. 64, iss. 3. P. 315–324. <https://doi.org/10.1007/s10236-013-0683-4>
5. Новикова А. М., Полонский А. Б. Междесятилетняя изменчивость температуры поверхности и холодного промежуточного слоя в Черном море // Системы контроля

окружающей среды. 2018. Вып. 34. С. 110–115. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2018-4-110-115>

6. Miladinova S., Stips A., Garcia-Gorriz E., Macias Moy D. Black Sea thermohaline properties: Long-term trends and variations // *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2017, 122, 5624–5644. <https://doi.org/10.1002/2016JC012644>

7. Stanev E. V., Peneva E., Chtirkova B. Climate change and regional ocean water mass disappearance: case of the Black Sea // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2019. Vol. 124, iss. 7. P. 4803–4819. <https://doi.org/10.1029/2019JC015076>

8. Суворов А.М., Шокурова И.Г. Годовая и межгодовая изменчивость доступной потенциальной энергии в Черном море // *Морской гидрофизический журнал*. 2004. №2. С. 29–41.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ В XXI ВЕКЕ

¹С.И. Марандиди, ^{1,2}А.К. Ахсалба

sofa-291088@mail.ru; asida_cen@mail.ru

¹Институт экологии АНА, Абхазия, г. Сухум

²Абхазский государственный университет, Абхазия, г. Сухум

Аннотация. Одной из современных научных задач является достоверное установление пространственного (трехмерного) распределения содержания газовых компонентов на высотах от поверхности Земли до 70-80 км, особенно в связи со значительными изменениями состояния атмосферы в тропосфере и верхней атмосфере, наблюдаемыми в последние десятилетия. Атмосферные аэрозоли оказывают существенное влияние на климат Земли как прямым, так и косвенным образом. В статье приведены данные спутниковых наблюдений над некоторыми парниковыми газами. Основное внимание уделяется анализу сезонной и межгодовой изменчивости содержания парниковых газов на территории Республики Абхазия.

Ключевые слова. NDVI, парниковые газы, Республика Абхазия, дистанционное зондирование, сезонная изменчивость, углекислый газ, метан, кислород, оксид углерода.

Необходимость упорядочения наблюдений за составом атмосферы ведет к созданию глобальной системы наблюдений. Важной ее составной частью является глобальная космическая система наблюдений, бурное развитие которой наблюдается последние два-три десятилетия. Спутниковые методы измерений интенсивно используются для изучения характеристик газового состава атмосферы и, прежде всего, для исследований пространственно-временных вариаций и трендов в содержании газовых компонентов атмосферы.

Объекты и методы исследований. Непрерывные контактные измерения концентрации CO₂ и O₂ на метеостанции «Маяк» г. Сухум были начаты в 2011 г., измерения проводились с помощью газоанализатора ПГА-7 (рис.1).



Рис.1. Фото газоанализатора ПГА-7

С 2017 года и по настоящее время измерения проводятся с помощью газоанализатора МАГ-6П (рис2). Прибор предназначен для измерений

объемной доли кислорода, диоксида углерода, метана, массовой концентрации оксида углерода, аммиака, сероводорода, диоксида серы, диоксида азота в воздухе рабочей зоны (любые 4 компонента из 8 на одном приборе).



Рис.2. Фото газоанализатора МАГ-6П

Экспериментальные данные обрабатывались методами корреляционного анализа в редакторе Excel.

В современный период весьма актуальны, исследования дистанционных методов наблюдений, так как современной научной задачей является достоверное установление пространственного (трехмерного) распределения содержания газовых компонентов на высотах от поверхности Земли до 70-80 км, особенно в связи со значительными изменениями состояния атмосферы в тропосфере и верхней атмосфере, наблюдаемыми в последние десятилетия. Атмосферные аэрозоли оказывают существенное влияние на климат Земли как прямым, так и косвенным образом. Необходимость упорядочения наблюдений за составом атмосферы ведет к созданию глобальной системы наблюдений. Важной ее составной частью является глобальная космическая система наблюдений, бурное развитие которой наблюдается последние два-три десятилетия. Спутниковые методы измерений интенсивно используются для изучения характеристик газового состава атмосферы и, прежде всего, для исследований пространственно-временных вариаций и трендов в содержании газовых компонентов атмосферы.

Изменение температуры проявляется по-разному в различных деталях механизма газопереноса, но изменение менее чем на 5°C представляется мало существенным [2].

По данным Я.А. Экба и Р.С. Дбар [4] многолетняя изменчивость среднегодовой температуры морской воды в акватории г. Сухум находится в пределах 15,2–17,6°C. При общем положительном тренде температуры верхнего горизонта моря, составляющем 0,4–0,5 °/100 лет, с начала XX века и до 90-х гг. она понижалась. Начиная с 1994 г. температура воды стала повышаться синхронно с повышением температуры воздуха [1], и за последние десятилетия температура верхнего горизонта сухумской акватории

повысилась на 1,1 °С. Наименьшая средняя месячная температура поверхностного слоя воды в прибрежной зоне наблюдается в феврале, что в целом согласуется с общим ходом теплового баланса. В то же время соотношение теплотерь моря и значений температуры воды не всегда согласуются, что связано с поступлением более теплых вод, приносимых основным черноморским течением (ОЧТ) и особенностями морфометрии прибрежных районов. Наибольшая среднемесячная температура наблюдается в августе. Годовые колебания температуры охватывают поверхностный слой в 150 м, а глубже температура остается почти неизменной и в течение всего года составляет 8–9°С, что соответственно и оказывает влияние на газообмен сред: вода–воздух.

С учетом сезонных колебаний содержания углекислого газа в воздухе и температуры рассчитаны среднемесячные потоки CO₂. В годовом ходе концентрация углекислого газа сильно варьировала от минимальных значений 0,003 % в мае месяце при минимальной скорости ветра 4,5 м/с до максимальных 0,18 % в декабре месяце при максимальной скорости ветра 10,1 м/с (рис. 3). Максимальные концентрации углекислого газа в атмосферном воздухе характерны для осенне-зимнего периода.

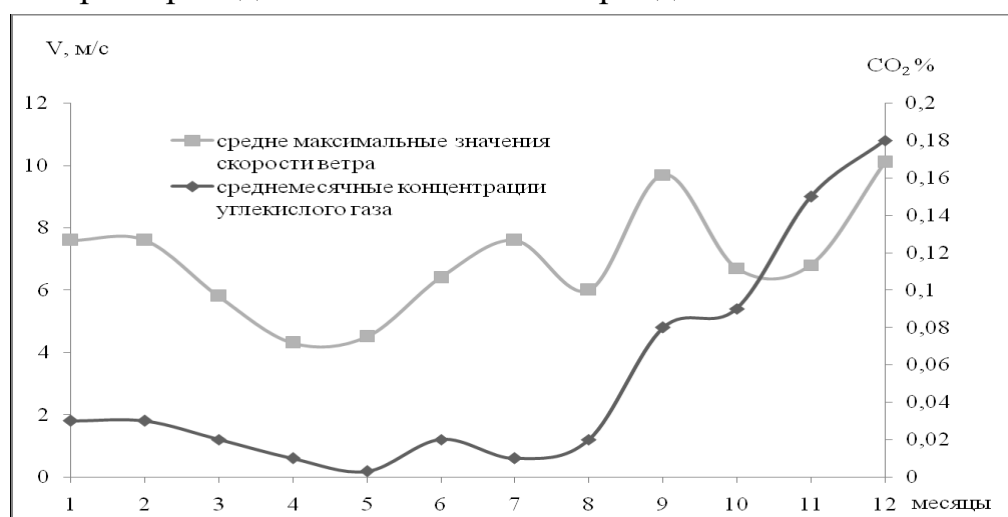


Рис. 3. Годовой ход концентрации углекислого газа в прибрежной зоне г. Сухум

На рисунке 4 представлена динамика сезонного хода концентрации кислорода, видно, что насыщение воздуха кислородом наблюдается в зимний и весенний периоды. Зимой происходит интенсивное поглощение кислорода (инвазия) поверхностью моря, летом, наоборот, его выделение в атмосферу. Однако средние за зиму и за лето потоки далеко не уравнивают друг друга, поскольку в летний период велико влияние бризовых ветров, высокой влажности воздуха и фотосинтеза растительности суши, которые могут существенно влиять на концентрацию кислорода в атмосферном воздухе прибрежной зоны.

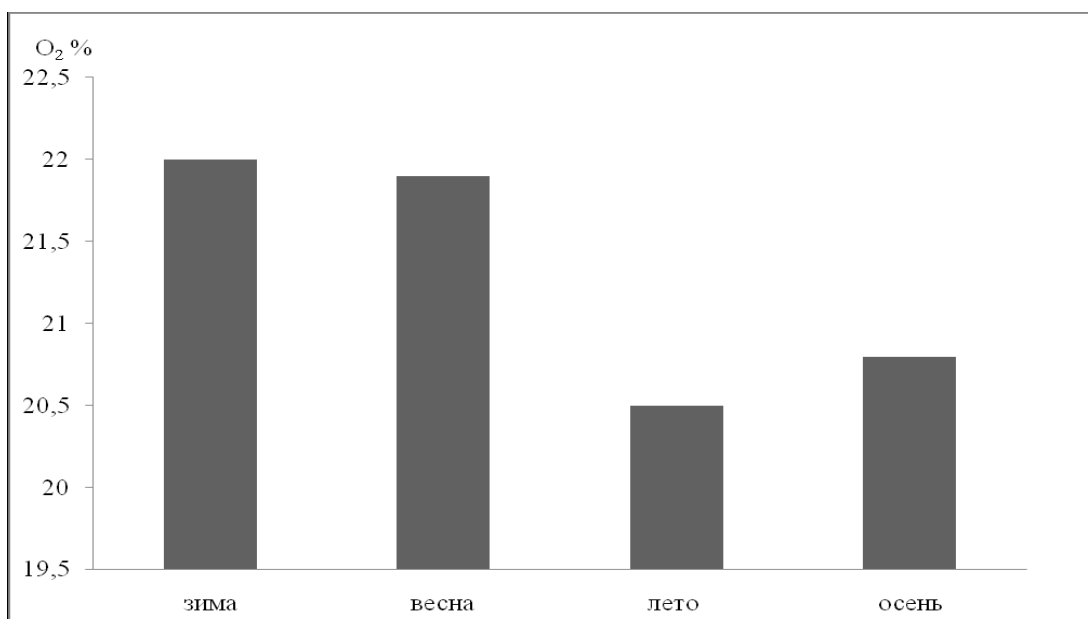


Рис. 4. Сезонный ход концентрации кислорода в прибрежной зоне г. Сухум

В годовом ходе для кислорода минимальные и максимальные концентрации больше коррелируют (обратная зависимость) с температурой воды: 20,2 % в августе месяце при температуре воды 28,9 °С и максимальное 22,7 % в марте при температуре воды 8,2 °С (рис.5).

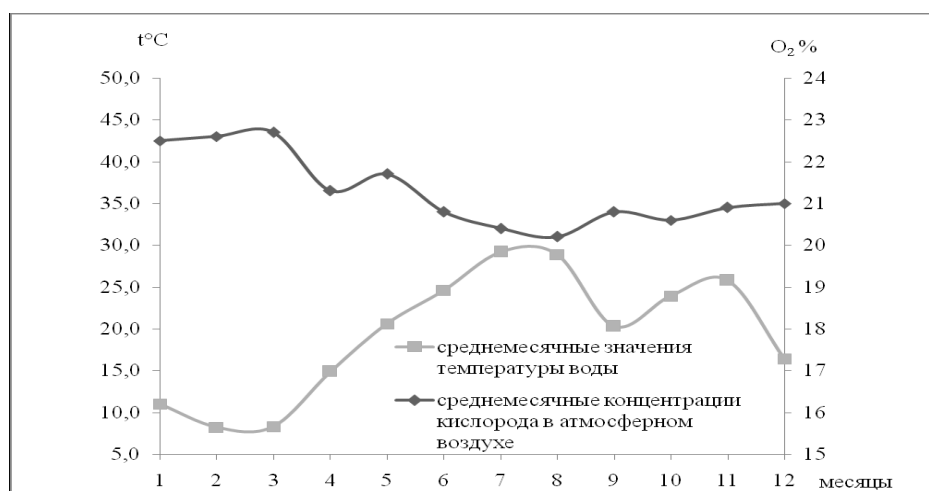


Рис. 5. Годовой ход концентрации кислорода и среднемесячные значения температуры морской воды в прибрежной зоне г. Сухум

Спутниковые исследования дают возможность обобщать данные на огромные пространства и даже на весь земной шар. Используя чувствительные приборы - спутниковые спектрофотометры, удастся измерять концентрацию атмосферных газов, в том числе вызывающих парниковый эффект [5-10]. Джованни (Giovanni NASA) - это инструмент, который отображает данные науки о Земле со спутников НАСА непосредственно в Интернете, без трудностей традиционных методов сбора и анализа данных. Джованни - это аббревиатура от Центра данных и информационных услуг Goddard Earth

Sciences или GES DISC, интерактивной онлайн-инфраструктуры визуализации и анализа [11-12]. С помощью нескольких щелчков мыши данные с различных приборов на спутниках НАСА могут отображаться в различных форматах, включая графики площадей, временные ряды, средние меридиональные, средние зональные и вертикальные профили, среди прочих (рис. 6).

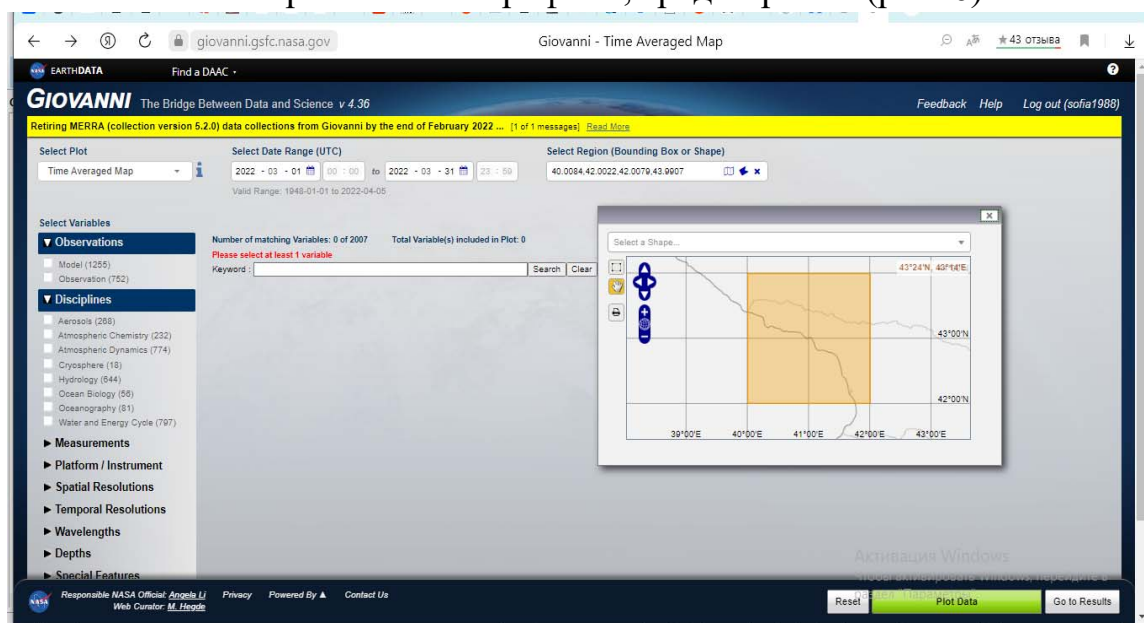


Рис.6. Рабочее окно Джiovанни (Giovanni NASA) (на фото выделена территория Абхазии).

Доступ к данным и их отображение осуществляется через набор интерфейсов, каждый из которых позволяет строить графики параметров одного или нескольких спутниковых приборов. Осадки, температура, влажность и концентрация газов - это лишь некоторые из предоставленных параметров.

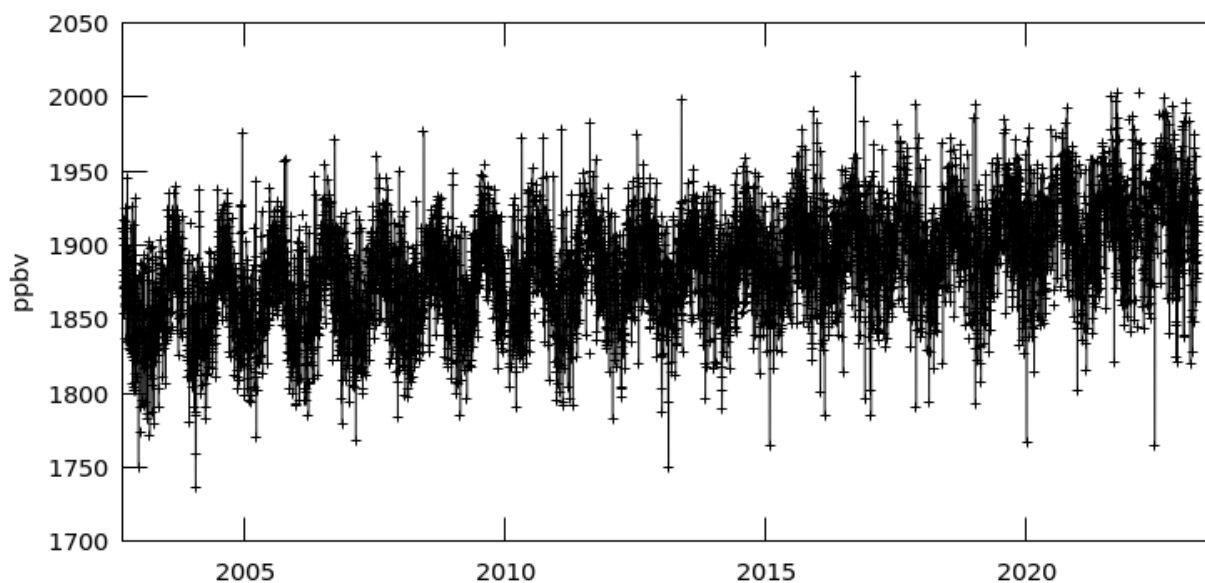


Рис. 7. Временные ряды, усредненные по площади метана (мольная доля в воздухе), август 2022 - апрель 2023 гг., регион 40 E.42N.42 E.43 N (Абхазия)

На рисунке 7 представлен график временных рядов метана, полученный с помощью Giovanni NASA, для черноморской акватории Абхазии за 2022 — 2023 гг.

На рисунке 8 представлен график временных рядов метана для черноморской акватории Абхазии за январь - апрель 2023 гг.

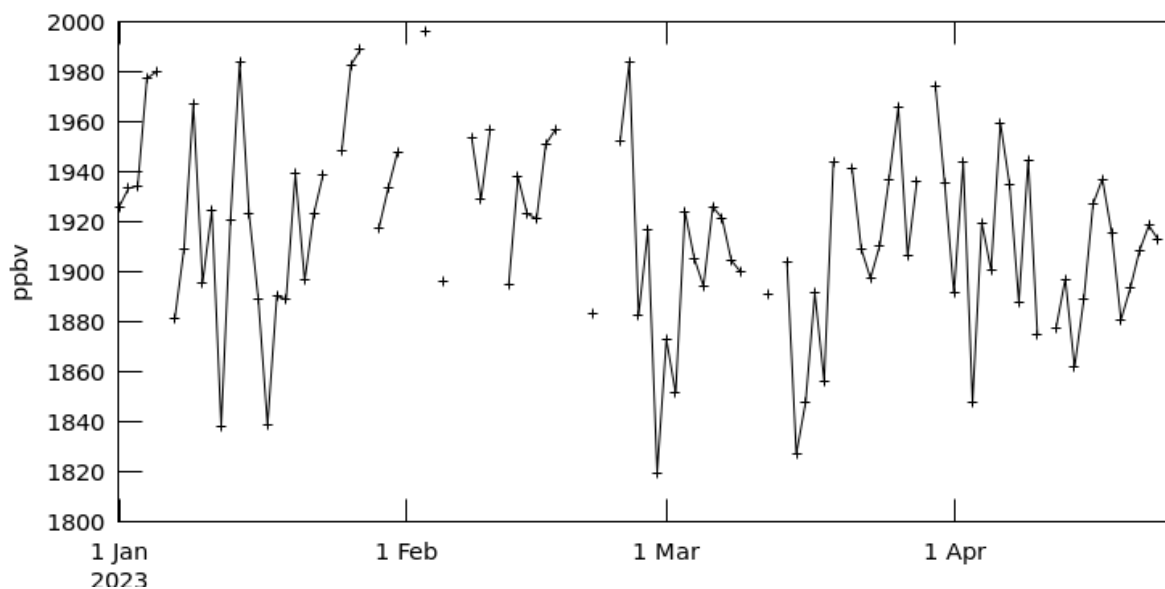


Рис.8. Временные ряды, усредненные по площади метана (мольная доля в воздухе), август 2022 - апрель 2023 гг., регион 40 E.42N.42 E.43 N (Абхазия)

На рисунке 9 представлен график временных рядов метана для черноморской акватории Абхазии за январь - апрель 2023 гг.

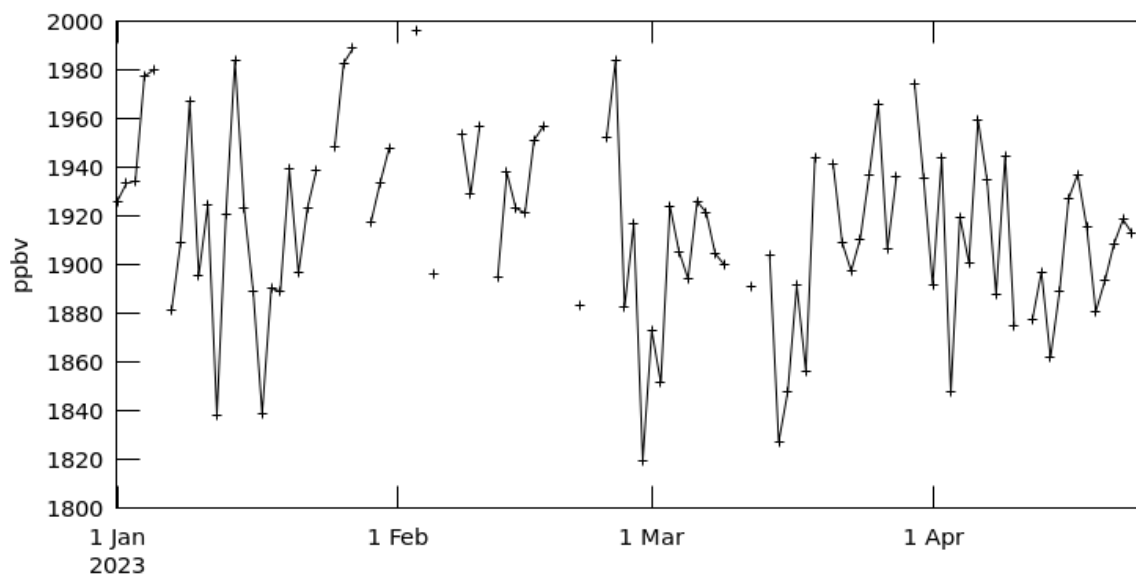


Рис. 9. Временные ряды, усредненные по площади метана (мольная доля в воздухе), август 2022 — апрель 2023 гг., регион 40 E.42N.42 E.43 N (Абхазия)

На рисунке 10 представлен график временных рядов углекислого газа CO_2 для черноморской акватории Абхазии за сентябрь 2002 - февраль 2012 гг.

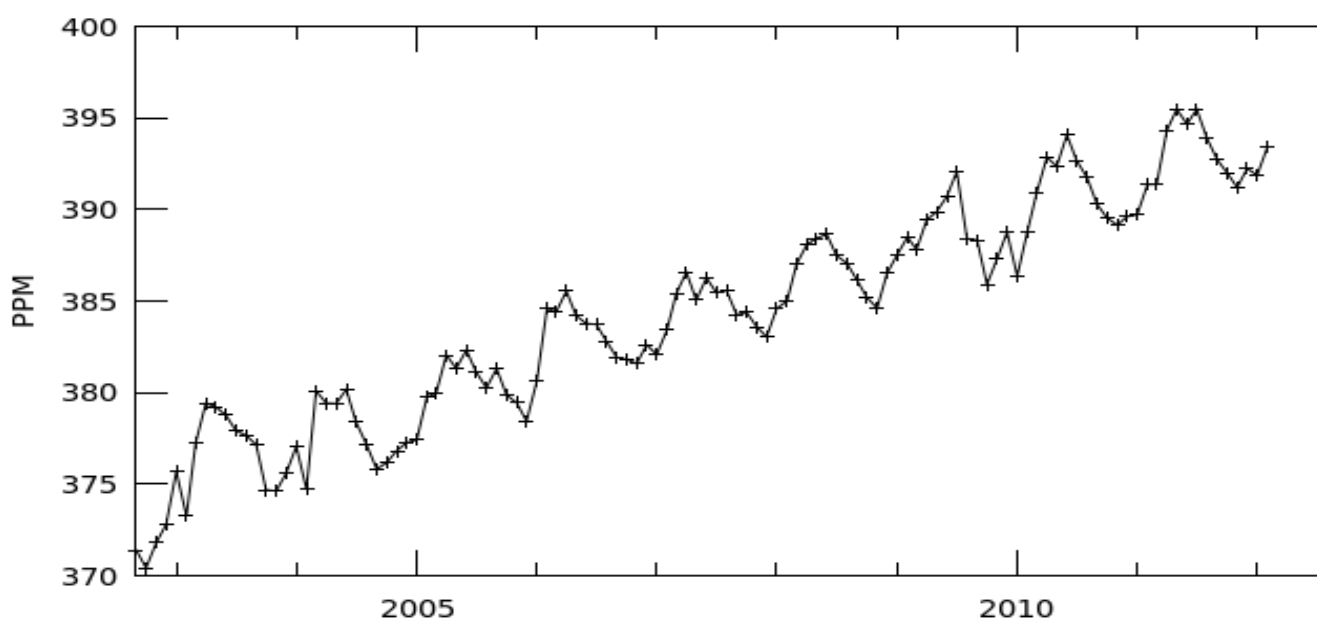


Рис. 10. Временные ряды, усредненные по площади метана (мольная доля в воздухе), углекислого газа CO_2 (мольная доля в воздухе) в свободной тропосфере, усредненных по площади, для черноморской акватории Абхазии, сентябрь 2002 - февраль 2012 гг., регион 40 E.42N.42 E.43 N (Абхазия)

На рисунке 11 представлен график временных рядов углекислого газа CO_2 для черноморской акватории Абхазии за 2015 - 2022 гг.

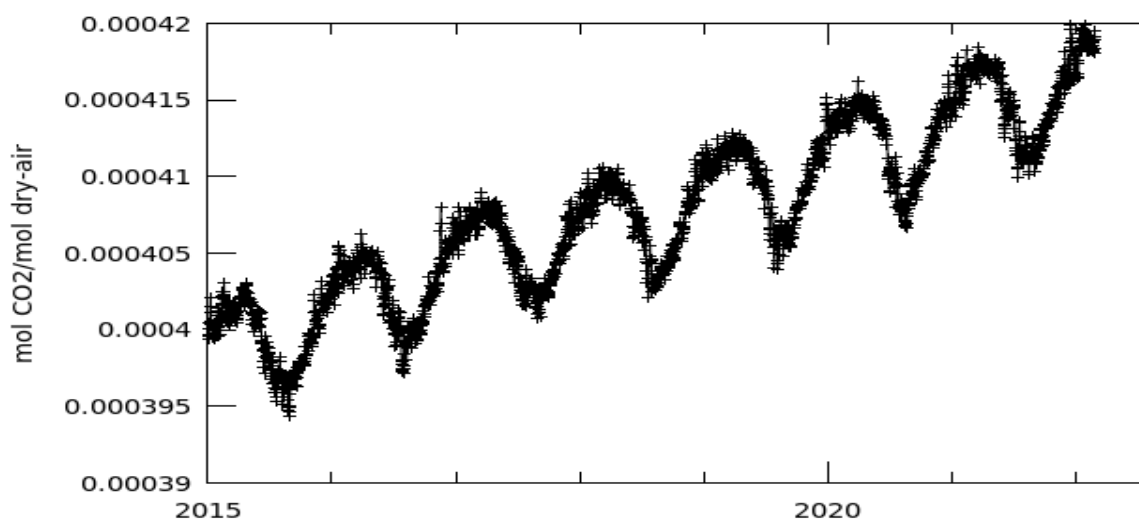


Рис.11. Временные ряды, усредненные по площади для диоксида углерода CO_2 , среднесуточный столб ассимилированного сухого воздуха 0,5 x 0,625 град. [GEOS-CHEM OCO_2 _GEOS_L3 CO_2 _DAY v10r] моль CO_2 / моль сухого воздуха за 2015-01-01 12Z - 2022-03-01 11Z, регион 40 E.42N.42 E.43 N (Абхазия), 1°, 1000 гПа (750 мм рт.ст.)

На рисунке 12 представлен график временных рядов оксида углерода CO для черноморской акватории Абхазии за 2002 - 2023 гг.

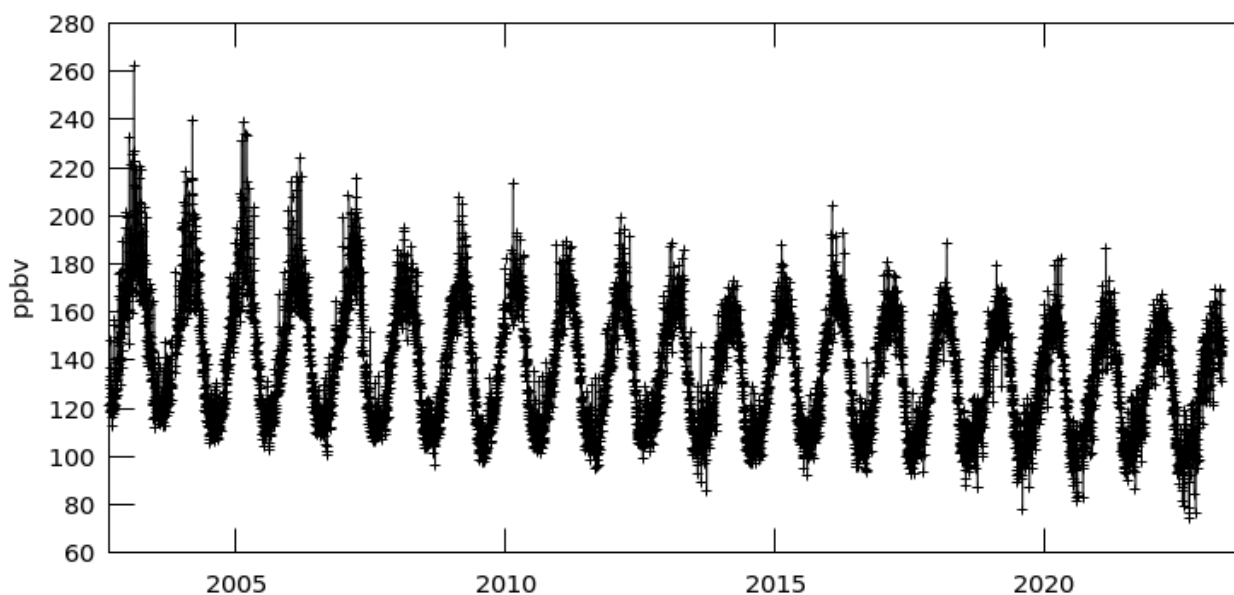


Рис. 12. Временные ряды, усредненные по площади для оксида углерода CO (мольная доля в воздухе) в свободной тропосфере для черноморской акватории Абхазии, 2002 - 2023 гг., регион 40 E.42N.42 E.43 N (Абхазия)

Видно, что концентрация оксида углерода уменьшается за рассматриваемый период.

Таким образом, анализируя данные дистанционных методов исследований для приморской зоны Абхазии, следует отметить, что максимальные концентрации, к примеру, метана наблюдаются в весенний и осенний периоды. Максимальные концентрации оксида углерода характерны для зимне-весеннего периода, а минимальные концентрации наблюдаются в летние месяцы.

Следует отметить, что преобладающим для территории Абхазии и близлежащей морской акватории является углекислый газ. За период 2015 — 2022 гг. концентрация углекислого газа повысилась. Касательно сезонных изменений можно отметить повышение концентрации углекислого газа в зимний и весенний периоды. Минимальные концентрации наблюдаются в летний период.

Список литературы

1. Ахсалба А.К. Многолетние изменения температуры воздуха и атмосферных осадков на территории Абхазии // Известия вузов Северо-Кавказского региона. – 2007. – № 5. – С. 10-17.
2. Бортковский Р.С. К оценке среднего обмена кислородом и CO [2] между океаном и атмосферой в ключевых районах океана // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2006. – Т. 42, № 2. – С. 250-257.
3. Гицба Я.В., Дбар Р.С., Экба Я.А. Окислительно-восстановительные реакции в черноморской акватории Абхазии // Труды третьей региональной конференции «Биоразнообразии Кавказа». – Нальчик, 2004. – С. 34-37.
4. Экба Я.А., Дбар Р.С. Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии. – Сочи, 2007. – 324 с.

5. Science writer's guide to Terra: Technical report. NASA's Earth Science Enterprise. NASA Headquarters. Washington, DC 20546: Earth observing system project science office, 1999.
6. Savtchenko A., Ouzounov D., Ahmad S. et al. Terra and Aqua MODIS products available from NASA GES DAAC // *Adv. Space Res.* 2004. Vol. 34, N 4. P. 710–714.
7. Salomonson V.V., Barnes W.L., Maymon P.W. et al. MODIS: Advanced facility instrument for studies of the earth as a system // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 1989. Vol. 27, N 2. P. 145–153.
8. Aumann H.H., Chahine M.T., Gautier C. et al. AIRS/AMSU/HSB on the Aqua mission: design, science objectives, data products, and processing systems // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2003. Vol. 41, N 2. P. 253–264.
9. Parkinson C.L. Aqua: an earth-observing satellite mission to examine water and other climate variables // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2003. Vol. 41, N 2. P. 173–183.
10. Kawanishi T., Sezai T., Ito Y. et al. The Advanced Microwave Scanning Radiometer for the Earth Observing System (AMSR-E), NASDA's contribution to the EOS for global energy and water cycle studies // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2003. Vol. 41, N 2. P. 184–194.
11. <http://www.scanex.ru/ru/site/stations/default.asp?submenu=eoscan&id=index>
12. <http://www.ict.nsc.ru/jct/getfile.php?id=981>

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДОЛГОВРЕМЕННОГО МОНИТОРИНГА ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ МГУ В МОСКВЕ

А.Ю. Марченков

martchenkov@list.ru

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
физический факультет, Россия, г. Москва*

***Аннотация.** Более десяти лет в высотном здании МГУ имени М.В. Ломоносова и на территории МГУ проводятся мониторинговые наблюдения низкочастотных колебаний методами и оборудованием, аналогичными применяемым при сейсмологических исследованиях. За счёт большого объёма данных стало возможным провести простейшую и, тем самым, надёжную статистическую обработку величин основных параметров упомянутых колебаний, таких как частота и амплитуда. Выявлены зависимости частоты и амплитуды первой моды собственных колебаний здания от времени, в том числе сезонные, зависимость этой частоты от амплитуды динамических нагрузок, как ветровых, так и сейсмических. Продолжительные наблюдения, во время проведения которых изменялся уровень антропогенного вибровоздействия, позволил получить характеристики сигнала, генерируемого поездами метрополитена, и построить алгоритмы выделения его на фоне прочих городских шумов с целью анализа возможности использования этих постоянно проходящих через геологическую среду и, как оказалось, весьма стабильных колебаний в целях геолого-геофизических исследований площадок в городе. Так же проводятся работы по созданию упрощённой цифровой модели здания, верифицируемой экспериментальными данными, и рассматриваются возможности использования такой модели для анализа состояния конструкций здания.*

***Ключевые слова.** Мониторинг, собственные колебания здания, сезонная изменчивость, антропогенная вибрация.*

Мониторинг состояния конструкций ответственных объектов строительства, хотя и медленно, но входит в практику эксплуатации этих объектов. Основным методом получения объективной инструментальной информации в постоянном режиме можно считать контроль параметров колебаний, в первую очередь частоты основных мод собственных колебаний (СК) объекта. Неоднократно показано, что величина частоты СК достаточно чувствительна к изменениям в конструкции здания, а современные подходы, сводящие информацию о сооружении в т.н. BIM базу данных могут, в перспективе, с применением численных методов, на входе которых модель BIM (или иная расчётная модель здания) и экспериментальные данные, полученные с системы мониторинга, на ранних этапах выявлять опасные процессы в здании и с минимальными затратами устранять их или, напротив, уверенно продолжать эксплуатацию объекта.

В качестве примера работоспособности такого подхода приведём результат анализа параметров колебаний высотного здания МГУ (ГЗ МГУ) по данным, накопленным за 2011-2022 года.

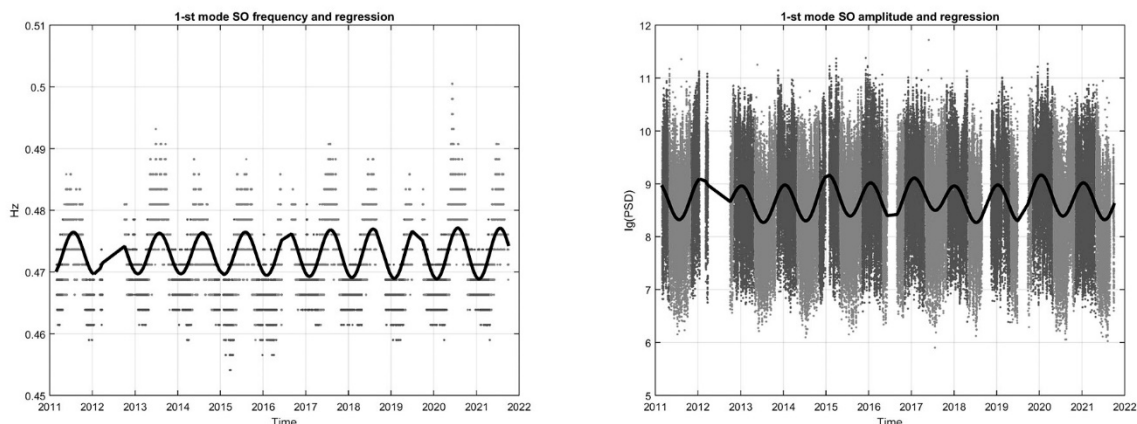


Рис. 1. Частота (слева) и спектральная амплитуда (справа) для первой моды СК высотного здания МГУ

На рис.1. приведены экспериментальные данные (точками) по частотам и амплитудам первой моды СК ГЗ МГУ за 11 лет. Более тёмным серым отмечены данные для зимнего сезона, более светлым – для летнего. Данные осреднены в окне 410 секунд. Сплошная линия – регрессия ряда функцией вида $F(t) = a_1 * \sin(b_1 * t + c_1) + a_2 * \sin(b_2 * t + c_2)$ для частоты и несколько более сложной для амплитуды. Наиболее мощная гармоника для частоты имеет период 365.089 дня, для амплитуды - 364.348 дня, что составляет фактически 1 год, таким образом, налицо сезонная изменчивость этих параметров. Чувствительность мониторинговой системы позволяет сделать неочевидные, в общем, выводы: существует устойчивая сезонность в изменении частоты СК; существует сезонность амплитуды колебаний на этой частоте; в зимний период частота ниже, чем в летний; наблюдается обратная корреляция в сезонных изменениях амплитуды и частоты [2].

Анализ динамических воздействий на экспериментальном материале показал, что при повышении амплитуды колебаний (при повышении интенсивности воздействия) частота СК понижается, что согласуется с приведённым выше результатом [1].

Численное моделирование на простейшей модели приводит к тому, что при изменении связей конструктивных элементов здания частота СК меняется относительно больше, чем форма этих колебаний, в планах – расчёт изменений амплитуд как таковых.

Список литературы

1. Марченков А.Ю., Капустян Н.К., Смирнов В.Б. Опыт регистрации сейсмического воздействия на высотное здание МГУ // Геофизические исследования. – 2015. – Т. 16. – №. 3. – С. 31-42.
2. Марченков А.Ю., Смирнов В.Б. Изменение частот первой моды колебаний Главного здания МГУ с 2011г. По настоящее время // Доклад на конференции «Ломоносовские чтения» – М., МГУ, 20 апреля 2022 г.

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ КАРСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И ДАННЫХ ЭКСПЕДИЦИИ «ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ-2021»

¹Е.А. Марчук, ¹И.А.Репина, ²И.Е. Козлов, ³А.А. Осадчиев,
³Н.Б. Степанова

murchuk-ekaterin@mail.ru

¹ *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Россия, г. Москва*

² *Морской гидрофизический институт РАН, Россия, г. Севастополь*

³ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия, г. Москва*

Аннотация. В статье рассказывается об эксперименте по сбору подспутниковой информации, проведённом в рамках экспедиции Института океанологии им. П.П. Ширшова «Плавучий Университете - 2021», и дальнейший анализ данных с использованием спутниковых данных.

Ключевые слова. Температура поверхности океана (ТПО), спутниковые данные, мезомасштабные вихри.

В августе 2021 года в рамках Плавучего университета Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН был организован рейс в Карское море. В ходе экспедиции, помимо основных работ, производился дистанционный мониторинг температуры поверхности океана (ТПО) ИК-радиометром, установленным на борту судна. Использование ИК-датчиков температуры для идентификации процессов внутри океана даёт возможность получить информацию с относительно больших акваторий с малыми затратами времени. Подобные данные помогают в исследовании волн и вихрей, а также служат материалом для дальнейшей верификации спутниковой ТПО. Таким образом, подобные комплексные измерения показывают полную картину явлений и позволяют количественно связать процессы в толще и на поверхности.

Результаты

Наблюдения за состоянием морской поверхности проводились круглосуточно. В результате чего, в течение всей экспедиции было получено 26 суток непрерывной записи ТПО с частотой 1 секунда и 26 суток непрерывной фото записи состояния морской поверхности.

Помимо непосредственных измерений ТПО, одной из задач экспедиции было изучение мезомасштабных вихрей, которые проявляются на поверхности океана. Под воздействием океанической циркуляции и атмосферных явлений в Карском море имеет места целый спектр мезомасштабных явлений, к которым относятся вихри. Мезомасштабные вихри в теплое время года наблюдаются на всей территории Карского моря. В работе [1] с помощью спутниковых РСА изображений была посчитана статистика вихрей за теплый период 2007 года. Наибольшее количество вихрей наблюдалось в августе (480 вихрей). 90% вихрей были циклонами. Средний диаметр всех вихрей (циклоны + антициклоны) составлял 2.7 км. Наибольший диаметр составляет 40 км.

Помимо спутниковых данных, субмезомасштабные вихри хорошо отражаются в данных ТПО, что неоднократно доказывалось в литературе [2,3]. Большая удача экспедиции состояла в том, что 13 августа наш корабль прошёл через мезомасштабный вихрь, который был одновременно зафиксирован на РСА снимке спутника Santinel - 1А и в данных бортового ИК-радиометра. В результате наложения ТПО на трек судна за 13 августа, была получена следующая картина. В центре снимка отчётливо виден грибовидный вихрь, выделяемый из-за наличия на поверхности моря плёнки ПАВ (поверхностно-активных веществ). Вероятнее всего вихрь образовался в результате огибания течением, направленным из Баренцева моря в Карское море, препятствие в виде северной оконечности острова Вайгач или подводного рельефа [4,5]. Средний диаметр вихря составляет 30 км. Данный случай требует дальнейшего анализа.

Помимо анализа субмезомасштабного вихря, одной из основных задач, поставленных в рамках экспедиции Плавучий университет, была валидация данных измеренной ТПО по спутникам.

В качестве спутниковых данных был, в первую очередь, рассмотрен массив данных ТПО с высоким разрешением (GHRSSST) уровня 4. Данные ежедневные, предоставляемые оперативно Австралийским бюро метеорологии (BoM) с использованием оптимальной интерполяции (OI) на глобальной сетке с шагом 0,25 градуса.

Сравнение измеренного ТПО со спутниками показало (график не представлен), что в центральной части Карского моря разница температур за выбранный период варьируется от -2 до 2 °С. В среднем она составляет 0 °С. Тогда как в северной части Карского моря различия между спутниковыми и измеренными данными варьируются более широко. Разница составляет от -4 до 5.8 °С. В среднем около 2-х °С.

Визуальные наблюдения за состояние морской поверхности также проводились в точности с описанной выше методикой. На фотографиях запечатлено большое количество сликов разной природы. В дальнейшем планируется более детальная обработка фотографий и привязка их к колебаниям температуры протоки и ТПО.

Список литературы

1. Атаджанова, О.А. Наблюдение малых вихрей в Белом, Баренцевом и Карском морях по данным спутниковых радиолокационных измерений/ О. А. Атаджанова, А. В. Зимин, Д. А. Романенков, И. Е. Козлов // Морской гидрофизический журнал. – 2017в. – №2. – С. 80–90.
2. Приповерхностный слой океана. Физические процессы и дистанционное зондирование / под ред. В.И. Таланова и Е.Н. Пелиновского. Т. 2. Н. Новгород, 1999.
3. Степанюк И.А. Методы измерений характеристик морских внутренних волн. СПб: изд-во РГГМУ, 2002.
4. Гинзбург А.И., Федоров К.Н. Некоторые закономерности развития грибовидных течений в океане, выявленные путем анализа спутниковых изображений // Исследование Земли из космоса. 1984. № 6. С. 3–13.
5. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Сабинин К.Д., Серебряный А.Н. Изучение гидродинамических процессов в шельфовой зоне на основе спутниковой информации и

данных подспутниковых измерений Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Т. 12. № 5. С. 98-129 (год публикации – 2015).

6. Johannessen, J. A., R. A. Shuchman, G. Digranes, D. R. Lyzenga, C. Wackerman, O. M. Johannessen, and P. W. Vachon (1996), Coastal ocean fronts and eddies imaged with ERS 1 synthetic aperture radar, *J. Geophys. Res.*, 101, 6651–6668.

7. Marmorino, G. O., Holt B., Molemaker M.J., DiGiacomo P.M. and Sletten M.A. (2010), Airborne synthetic aperture radar observations of ‘spiral eddy’ slick in the Southern California Bight, *J. Geophys. Res.*, 115, C05010

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОСТРОЕНИЯ ГЕОЛОГО-
ФИЛЬТРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПЛАСТА НИЗОВСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ**
**М.А. Меретуков, Р.А. Гороян, М.К. Беданок, Р.Б. Кохужева,
А.М. Артамонов**

*mera4444@mail.ru; rubenet@mail.ru; bedan64@mail.ru;
rimma_21_09@mail.ru; an.art.988@mail.ru*

*Майкопский государственный технологический университет,
Россия, г. Майкоп*

***Аннотация.** В статье представлены результаты моделирования трехмерной цифровой геолого-фильтрационной модели. Дано обоснование объемных сеток модели, проведен анализ распределения фильтрационно-емкостных свойств пластов и моделей насыщения пластов флюидами, на основании построенной трехмерной модели Низовского месторождения подтверждена достоверность определения запасов углеводородов на месторождении.*

***Ключевые слова.** Цифровая трехмерная геологическая модель, фильтрационно-емкостные свойства, коэффициент пористости, толщина пласта, геофизическое исследование скважин (ГИС).*

Низовское нефтяное месторождение расположено в Кинельском районе Самарской области, в 5 км к востоку от с. Домашка, в пределах Низовского лицензионного участка. В тектоническом плане месторождение приурочено к юго-западному борту Бузулукской впадины – структуре I порядка, в зоне постепенного ее перехода в Жигулевский свод - структуре I порядка.

Промышленная нефтеносность месторождения установлена в четырех продуктивных пластах: А-4 башкирского яруса среднего карбона (С2b), Б-2 бобриковского горизонта визейского яруса (С1v), В-1 турнейского яруса (С1t) нижнего карбона, Д-Г' пашийского горизонта франского яруса верхнего девона, содержащего четыре залежи нефти.

По величине начальных извлекаемых запасов углеводородов месторождение относится к мелким, по сложности геологического строения – к сложным.

Залежь пласта А-4 башкирского яруса (С2b) массивная, сводовая. Размеры залежи составляют 1,7х1,1 км, высота 14,7 м. Пласт представлен 6-10 проницаемыми плотными прослоями карбонатов толщиной 0,4-0,6 м, разделенных плотными прослоями, толщиной 0,4-0,11 м. Водонефтяной контакт (ВНК) принят на а.о. 1564,2 м.

Пласт С1v визейского яруса – залежь пластовая, сводовая. Размеры залежи составляют 1,6х1,2 км, высота 38 м. Водонефтяной контакт (ВНК) принят на а.о. – 2143,3 м.

С1t турнейские, пласт В-1. Залежь массивная, сводовая. Размеры залежи составляют 1,3х0,8 км, высота 32,5 м. Условно подсчетный уровень (УПУ) залежи принят на а.о. – 2168,2 м по подошве нефтенасыщенного пропластка.

D3f франские, пласт Д-I'. Залежь пластовая сводовая, литологически ограничена с севера. Размеры 2,0x2,3 км, высота – 34,3 м. Уровень ВНК принят условно на а.о. – 3038,8 м по подошве нефтенасыщенного пласта [7, 9].

Технико-экономические преимущества создания и эксплуатация трехмерных геолого-технологических моделей, в том числе действующих эксплуатационных объектов газонефтяных месторождений, неоспоримы. Эффективность состоит в увеличении коэффициента нефтеизвлечения до 10% из низкопродуктивных залежей, понижение добычи попутной воды. Таким образом, создание и использование геолого-технических моделей нефтегазовых и нефтяных залежей, а также постоянно действующих эксплуатационных сооружений, дает возможность решать актуальные вопросы текущего и перспективного планирования добычи углеводородов [1].

Объектами геологического моделирования Низовского месторождения являются пласты А-4 башкирского яруса, Б-2 бобриковского горизонта, В-1 турнейского яруса нижнего карбона и пласт Д-I' пашийского горизонта верхнего девона. Обоснование геологической модели заключается в построении модели в виде объемной сетки [6], в которой каждая ячейка представлена шестигранником с четырехугольными гранями, привязанная в пространстве с помощью системы координат. Количество ячеек сетки обычно от нескольких миллионов до порядка миллиарда.

Для создания трехмерной цифровой модели пластов рассматриваемого месторождения, использовалась сетка с геометрией угловой точки (Corner point) [2], с размерами ячейки по горизонтали 25x25 м [4]. Шаг сетки по вертикали варьируется в интервале:

- 0,04-0,34 м с оценкой среднего 0,19 м для отложений пласта А-4 башкирского яруса;
- 0,03-0,38 м с оценкой среднего 0,16 м для отложений пласта Б-2 бобриковского горизонта;
- 0,04-0,35 м с оценкой среднего 0,21 м для отложений пласта В-1 турнейского яруса;
- 0,04-0,34 м с оценкой среднего 0,14 м для отложений пласта Д-1 пашийского горизонта.

Выбранная схема сетки учитывает вертикальную (внутреннюю) и латеральную неоднородность залежей Низовского месторождения [3].

Размер сеточных объектов следующий:

160x160x149=3814400 ячеек (модель пласта А-4);

160x160x118=3020800 ячеек (модель пласта Б-2);

160x160x113=2892800 ячеек (модель пласта В-1);

160x152x75=1824000 ячеек (модель пласта Д-I').

Пространственное распределение коллекторов Низовского месторождения выполнено с использованием детерминистской модели Geomod комплекса IRAP RMS [8]. Технология детерминистского моделирования включает в себя 3-мерную стратиграфическую интерполяцию с учетом априорно задаваемого 2-мерного распределения песчаности.

Итогом построения куба литологии продуктивных пластов Низовского

месторождения является пространственное распределение коллекторов, описывающее их геологическую неоднородность по разрезу и по площади.

Построенная литологическая модель удовлетворительно согласуется с концепцией строения залежей, на уровне карт эффективных и начальных нефтенасыщенных толщин. На основе построенных литологических моделей по всем продуктивным пластам проведена оценка объемов нефтенасыщенных пород. При оценке объемов нефтенасыщенных пород литологическая модель не превышает 5 % по данным залежам, что косвенно подтверждает обоснованность оценок объемов этих пород по подсчетным объектам.

Доля коллекторов моделируемых объектов по скважинам и по пласту в целом приведены на гистограммах 1 - 4.

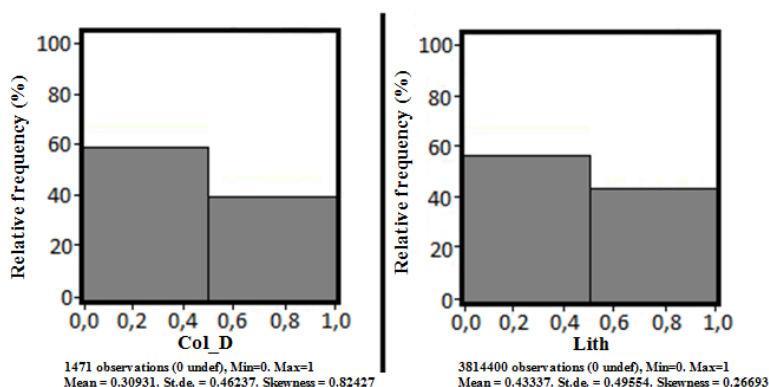


Рис. 1. Сопоставление доли коллектора и не коллектора пласта А-4 в скважинах (слева) и по пласту в целом (справа)

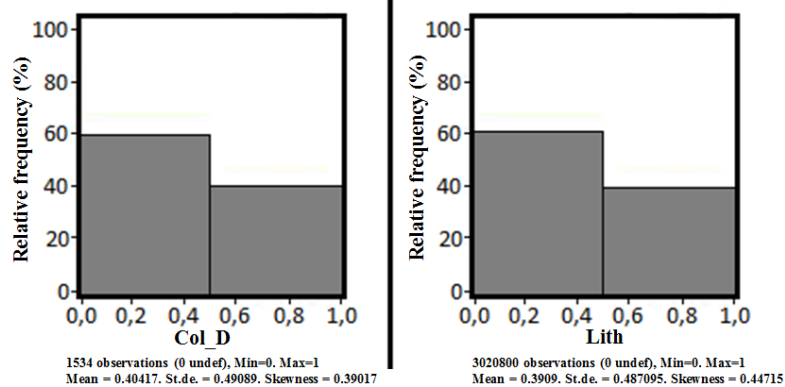


Рис. 2. Сопоставление доли коллектора и не коллектора пласта Б-2 в скважинах (слева) и по пласту в целом (справа)

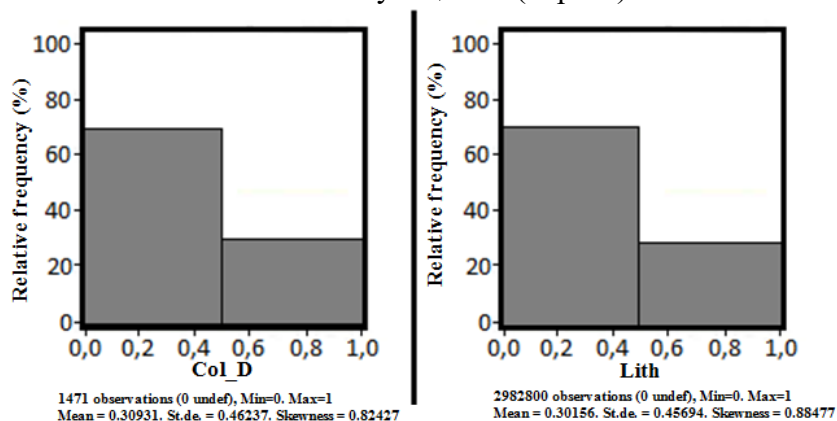


Рис. 3. Сопоставление доли коллектора и не коллектора В-1 в скважинах (слева) и по пласту в целом (справа)

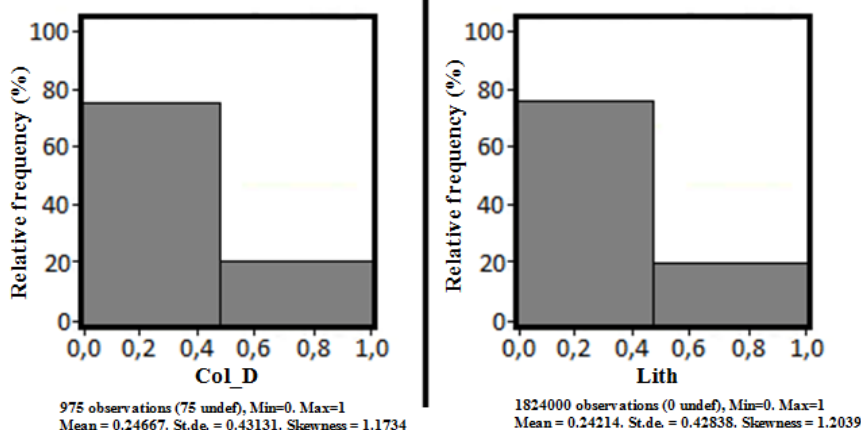


Рис. 4. Сопоставление доли коллектора и не коллектора Д-Г' в скважинах (слева) и по пласту в целом (справа)

Куб пористости для всех продуктивных пластов построен путем интерполяции значения коэффициента пористости, рассчитанного по результатам ГИС вдоль ствола скважин. Распределение значений пористости в коллекторе продуктивных пластов по исходным данным и по пласту в целом приведены на гистограммах 5-8.

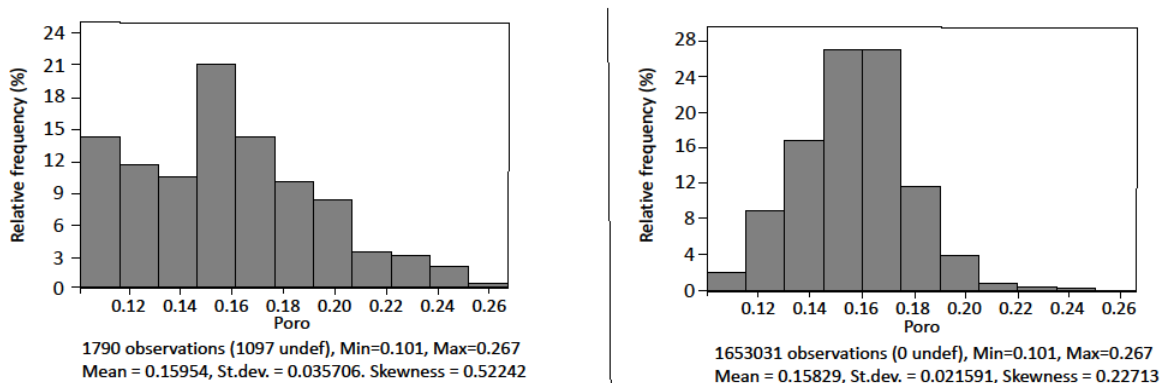


Рис. 5. Распределение пористости пласта А-4 в скважинах (слева) и по пласту в целом (справа)

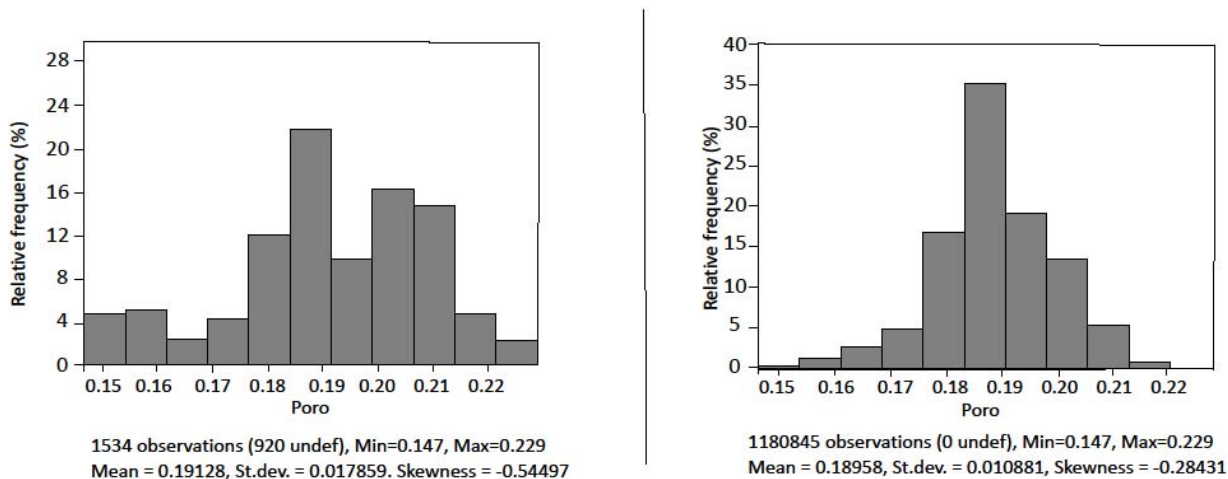


Рис. 6. Распределение пористости пласта Б-2 в скважинах (слева) и по пласту в целом (справа)

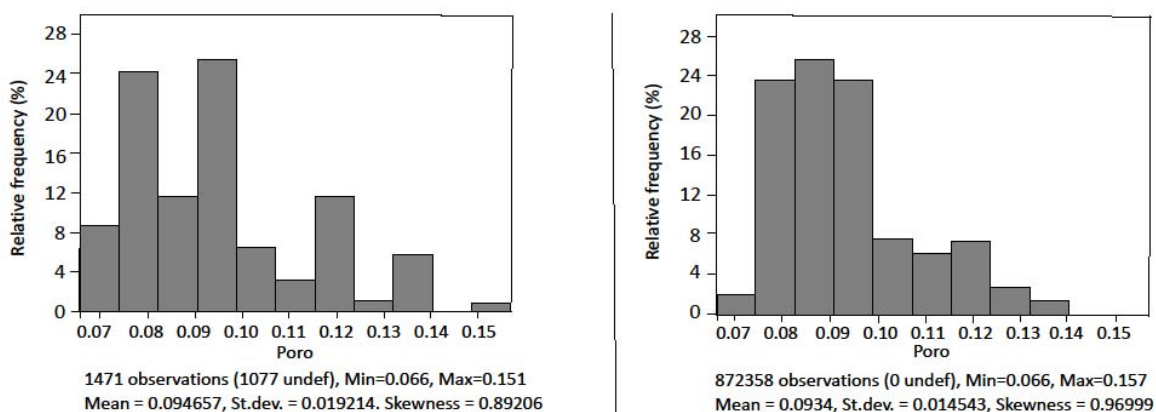


Рис. 7. Распределение пористости пласта В-1 в скважинах (слева) и по пласту в целом (справа)

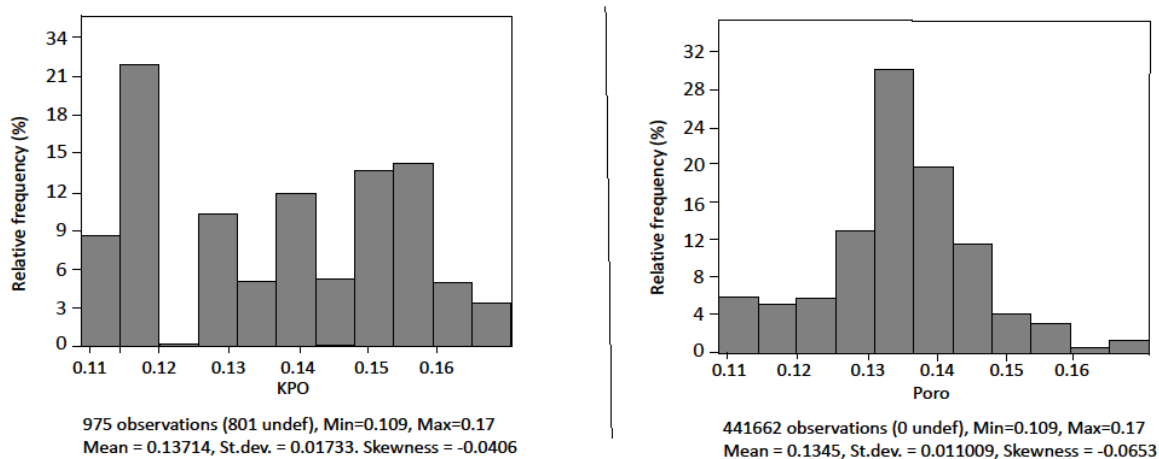


Рис. 8. Распределение пористости пласта Д-І' в скважинах (слева) и по пласту в целом (справа)

Средние оценки пористости в модели по всем залежам с точностью от 0% до 3,1% согласуются с предлагаемыми значениями рассматриваемого параметра.

Для восстановления полей проницаемостей привлекалась информация о фильтрационно-емкостных свойствах керна в виде корреляционных зависимостей между пористостью и проницаемостью параллельно напластованию $K_n - K_{np}$, приведенных ниже. Кубы проницаемости выполнены пересчетом 3D распределения K_n согласно корреляционным зависимостям $K_n - K_{np}$.

$$K_{np} = 9225.7 \times K_n - 6.3951 \text{ – для пласта А-4;}$$

$$K_{np} = 101794 \times K_n - 7.2317 \text{ – для пласта Б-2;}$$

$$\lg K_{np} = 29.301 \times K_n - 5.5686 \text{ – для пласта В-1;}$$

$$K_{np} = 5754.4 \times K_n - 5.783 \text{ – для пласта Д-І'.$$

Распределение значений нефтенасыщенности в коллекторе продуктивных пластов по исходным и по пластам в целом приведены на гистограммах 9-11.

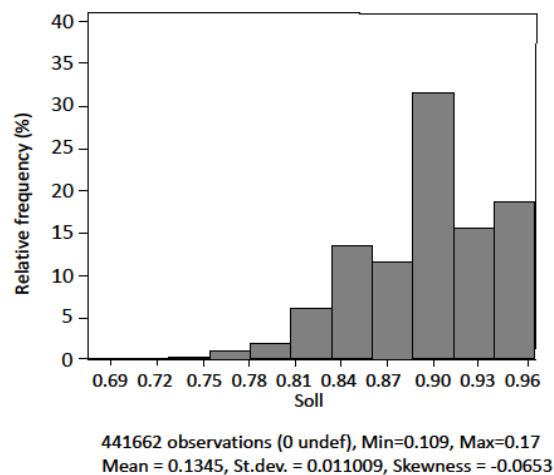
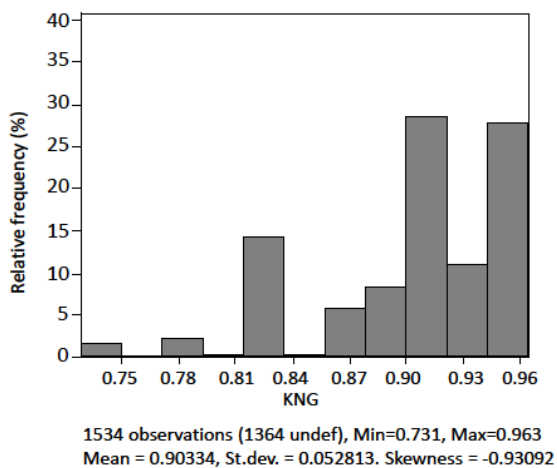


Рис. 9. Распределение нефтенасыщенности пласта Б-2 в скважинах (слева) и по пласту в целом (справа)

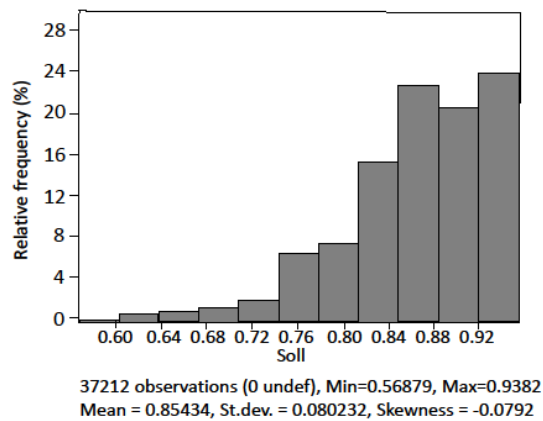
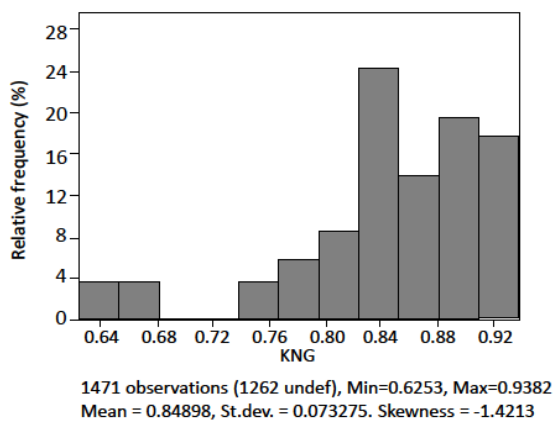


Рис. 10. Распределение нефтенасыщенности пласта В-1 в скважинах (слева) и по пласту в целом (справа)

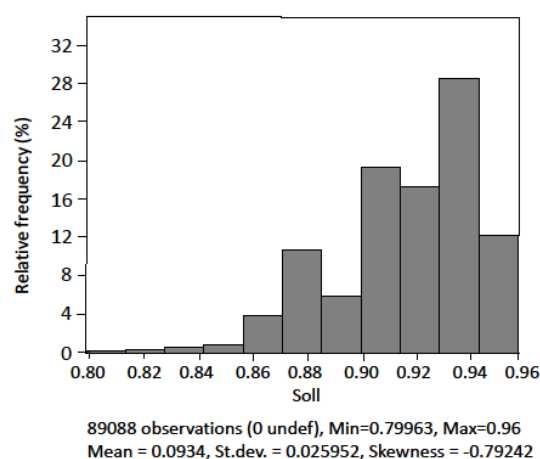
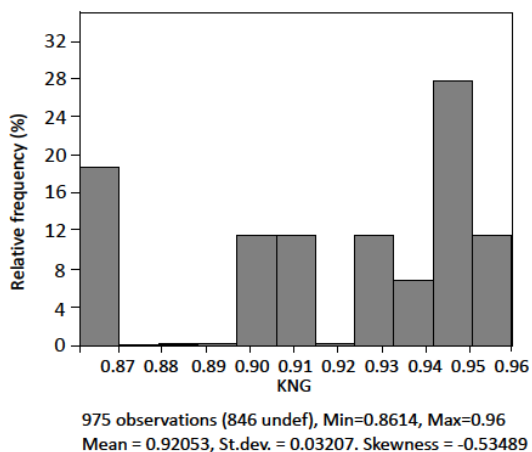


Рис. 11. Распределение нефтенасыщенности пласта Д-І в скважинах (слева) и по пласту в целом (справа)

На основании построенной трехмерной геологической модели Низовского месторождения были получены результаты геологического запасов углеводородов [7].

Оценка достоверности созданной геологической модели путем

сравнения начальных геологических запасов УВС, объема нефтенасыщенных пород, площади нефтеносности, средней эффективной толщины, среднего коэффициента пористости, среднего коэффициента начальной нефтенасыщенности приводится в таблице 1.

Таблица 1

Сопоставление подсчетных параметров и запасов нефти, числящихся на госбалансе с подсчитанными в геологической модели

Пласт	Площадь нефтеносности	Средняя нефтенасыщенная толщина	Объем нефтенасыщенных пород	Коэффициенты			Плотность нефти	Начальные геологические запасы нефти
				Открытой пористости	Нефтенасыщенности	Пересчетный		
А-4	тыс. м ²	м	тыс. м ³	д.ед.	д.ед.	д.ед.	г/см ³	тыс.т
Госбаланс	1395	3,8	5347	0,16	0,77	0,926	0,839	512
Геомодель	1414	3,9	54,51	0,165	0,764			533,5
% расхождения	1,4	1,5	1,9	3,1	-0,8			4,2
Б-2								
Госбаланс	1246	5,9	7352	0,19	0,9	0,937	0,843	993
Геомодель	1249	6,1	7568,8	0,1903	0,899			1022,9
% расхождения	0,2	2,7	2,9	0,2	-0,1			3,0
В-1								
Госбаланс	788	7,8	6158	0,1	0,86	0,942	0,827	413
Геомодель	799	7,8	6208,5	0,1	0,862			417,8
% расхождения	1,4	-0,4	0,8	0,0	0,2			1,3
Д-Г'								
Госбаланс	2806	2,6	7398	0,14	0,92	0,81	0,849	655
Геомодель	2818	2,7	7518,8	0,14	0,92			667,8
% расхождения	0,4	2,6	1,6	0,0	0,0			1,9

Исходя из утверждения авторов [5] терригенные пласты с повышенной пористостью и имеющие различия по литологическому строению с легкостью позволяют выделить такие пласты в сейсмическом поле.

На Низовском месторождении терригенных пластов меньше, они неоднородны по своему составу и часто замещаются. Выделение таких пластов очень сложно.

При выделении карбонатных пластов и менее мощных пластов любого состава возникают схожие осложнения, как и при карбонатных пластах. Это объясняется тем, что пласты имеют большую расчлененность и находятся в толще таких же карбонатных пород с одинаковыми свойствами, что приводит к затруднению их прогноза.

Таким образом, построены геологические модели по всем объектам подсчета, числящимся на государственном балансе. Отклонение запасов не превышает 5%, что соответствует требованиям. Отклонения расчетных параметров от утвержденных также находятся в рамках регламента. Геологические модели могут служить основой для прогноза технологических показателей разработки на данной стадии изученности месторождения.

Список литературы

1. Батури́н А. Ю. Геолого-технологическое обоснование проектирования разработки нефтяных и газонефтяных месторождений: диссертация... кандидата технических наук: 25.00.17 / А. Ю. Батури́н; Место защиты: Тюмен. гос. нефтегаз. ун-т.-Тюмень, 2007. - 122 с.: ил. РГБ ОД, 61 07-5/4206.

2. Гайсина Г.Ф. Геологическое моделирование нефтяной залежи Малышевского месторождения с использованием норвежской программы RMS 9.0.7 // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2010. - Т.5. - №1. - http://www.ngtp.ru/rub/3/2_2010.pdf.

3. Гладков Е.А., Гладкова Е.Е. Методология создания трехмерной геолого-технологической модели на месторождениях с историей разработки более 50 лет / Е.А. Гладков, Е.Е. Гладкова // Бурение и нефть. 2011. № 1. С. 32-35.

4. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование учеб. пособие / К.Е. Закревский. – М.: ООО «ИПЦ Маска», 2009. – 376 с.

5. Плигин А.М. Оценка точности динамического анализа нефтегазоносного комплекса самарской области / А.М. Плигин, М.А. Истомова, А.А. Давыдов [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. - 2017. - №8 (62). - URL: <https://research-journal.org/archive/8-62-2017-august/ocenka-tochnosti-dinamicheskogo-analiza-nefte-gazonosnogo-kompleksa-samarskoj-oblasti> (дата обращения: 23.04.2023). - doi: 10.23670/IRJ.2017.62.077.

6. Распопов, А. В. Проектирование разработки нефтяных и газовых месторождений: учеб. пособие / А. В. Распопов, В. А. Мордвинов. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 87 с.

7. Технологический проект разработки Низовского нефтяного месторождения Самарской области. Пользователь недр АО «Самаранефтегаз», подготовленное экспертной комиссией Волго-Уральского филиала ФБУ ГКЗ

8. Тихомирова Е.А. Методы моделирования нефтенасыщенности нефтяного пласта и их реализация в среде моделирования IRAP RMS / Е.А. Тихомирова // Вестник ТвГУ. Серия «География и геоэкология». 2020. № 1(29). С. 69-78.

9. Тороян Р.А., Меретуков М.А. Анализ характера поглощения при бурении скважин Низовского месторождения Самарской области / Р.А. Тороян, М.А. Меретуков // Наука и Техника в газовой промышленности. – 2023. – №1 (98). – С. 22 – 29.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ВОЛН ТЕПЛА И ХОЛОДА В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ НА ФОНЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

С.В. Морозова, Е.А. Полянская, М.А. Алимпиева

swetwl@yandex.ru; kafmeteo.mail.ru; alimpiewa@rambler.ru

*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского,
Россия, г. Саратов*

Аннотация. *Рассматриваются климатические изменения температуры воздуха в Нижнем Поволжье и проводится сравнение региональных тенденций изменения температуры воздуха с тенденциями ее изменения на полушарии. Отмечается, что в регионе период стабилизации и вторая волна глобального потепления наступили на десятилетие позже, чем на Северном полушарии. Оценены скорости роста температуры воздуха в естественные климатические периоды. На основании учета теплых и холодных вторжений показана роль циркуляционного фактора в формировании изменчивости климатического режима.*

Ключевые слова. *Климатическая изменчивость, период стабилизации, вторая волна глобального потепления, региональный климат, волны тепла и холода.*

Введение. Настоящие климатические изменения, проявляющиеся глобально, безусловно, проявляются и в конкретных регионах. Наблюдаемые климатические изменения, а именно рост приповерхностной температуры земного шара, происходит не монотонно, а с определенной цикличностью. В литературе сложились устойчивые названия для климатических промежутков, в которые температура воздуха имеет одинаковую тенденцию изменения – малый ледниковый период в Европе, первая и вторая волна глобального потепления, период стабилизации [7, 8, 10, 11]. С.В. Морозова предложила называть эти интервалы естественными климатическими периодами состояния земной климатической системы. Ею с помощью статистических методов определены границы этих интервалов [4, 5, 12]:

- 1) малый ледниковый период в Европе – 1850 – 1907 гг.;
- 2) первая волна глобального потепления – 1908 – 1943 гг.;
- 3) период стабилизации – 1944 – 1974 гг.;
- 4) вторая волна глобального потепления - 1975 – 2022 гг.

В настоящем исследовании предполагается рассмотреть, как глобальные климатические тенденции проявляются на юго-востоке Русской равнины, и связь этих изменений с такими явлениями погоды как волны тепла и холода.

Материалы и методы. Исходными материалами для проведения исследования послужили данные о приземных температурах воздуха по метеостанциям, расположенным на юго-востоке Русской равнины были взяты с сайта ВНИИГМИ-МЦД: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/>. Для исследования привлечены наиболее длиннорядные метеорологические станции, расположенные в Саратовской области – Балашов, Октябрьский Городок и

Саратов. Наблюдения на этих станциях проводятся с 1910 года. Рассчитанные корреляционные зависимости между средними годовыми температурами за период 1910 – 2022 гг. показало очень высокую степень связи – все коэффициенты корреляции оказались выше 0,96. Поэтому для анализа взяты данные по одной конкретной метеостанции – г. Саратов, м/с Юго-Восток.

В связи с имеющимися материалами исследование климатических изменений возможно выполнить только для трех естественных климатических периодов – первой волны глобального потепления, периода стабилизации и второй волны глобального потепления. К анализу временных рядов применялись стандартные статистические процедуры [1, 2, 8].

Для выделения годов, в которых произошло нарушение однородности, использовались два метода – метод ступенчатого тренда и метод интегрально-разностных кривых [1, 6]. Метод ступенчатого тренда позволяет выявить конкретный год, в котором произошло нарушение однородности во временном ряду. Однако, при анализе временных рядов данным методом, не всегда он показывает удовлетворительную чувствительность [3].

Поэтому в дополнение к методу ступенчатого тренда «Излом» временного ряда определялся с помощью расчета интегральных разностей. Метод позволяет выделять долгопериодные колебания и участки с преобладанием аномалий одного знака [1].

Анализ результатов. С помощью метода ступенчатого тренда было получено, что нарушение однородности во временном ряду произошло в 1937, 1956 и 1986 годах. Посмотрим, как выделенные статистическим методом границы однородных участков согласуются с фактическими изменениями температуры воздуха. Фактическую цикличность хорошо отражает график интегральных разностей (рис. 1).

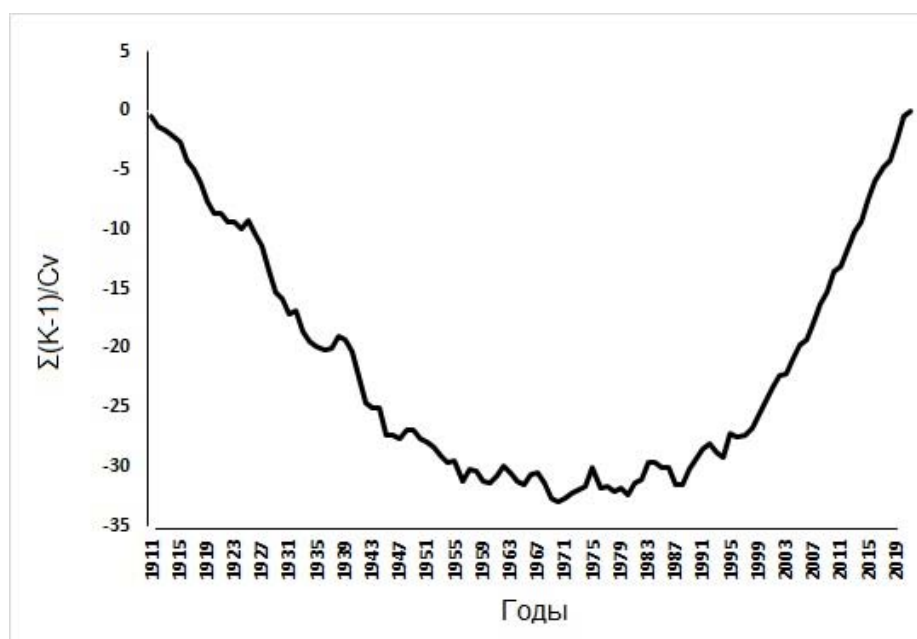


Рис. 1. Изменение средней годовой температуры воздуха (по данным м/с Саратов Юго-Восток) -интегрально-разностная кривая

На рис. 1 хорошо видна цикличность изменения средней годовой температуры. Выделяются три временных отрезка: первый - с начала ряда до начала 60-х годов, в котором преобладали отрицательные отклонения от среднего значения; второй период – шестидесятые – восьмидесятые годы, когда число положительных аномалий примерно равнялось количеству отрицательных аномалий; и третий период, в который преобладали положительные отклонения от средней по ряду.

Таким образом, можно заключить, что 1937 год, полученный как год нарушения однородности, не согласуется с фактической климатической изменчивостью. Два других года – 1956 и 1986 можно принять за границы однородных участков.

В связи с этим в настоящем исследовании датировка естественных климатических периодов для региона получилась следующей:

- первая волна глобального потепления – 1910 – 1955 гг.;
- период стабилизации – 1956 – 1985 гг.;
- вторая волна глобального потепления – 1986 – 2022 гг.

В соответствии с принятым разбиением на рис 2 представлено изменение средних годовых температур по естественным климатическим периодам.

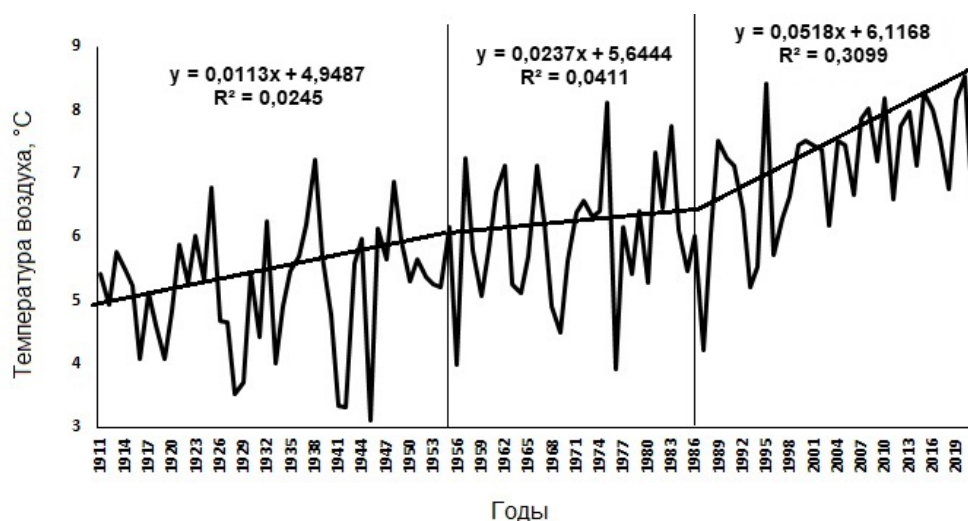


Рис. 2. Характер изменения средних годовых температур воздуха по метеостанции Саратов Юго-Восток с разбиением на естественные климатические периоды

На графике (рис. 2) можно увидеть тенденции изменения температуры, проявляющиеся глобально, и выявить особенности, характерные для изучаемого региона.

В регионе, как и в целом по полушарию, выделяются идентичные естественные климатические периоды – первая и вторая волны глобального потепления и период стабилизации. Однако наступление аналогичных климатических периодов в регионе происходит позже. В среднем по полушарию период стабилизации начался с середины 40-х годов [4, 9], то в Нижнем Поволжье примерно на десять лет позже. Вторая волна глобального потепления стала развиваться тоже с запаздыванием на десятилетие. На

Северном полушарии вторая волна глобального потепления началась с середины семидесятых годов [4, 9].

В Нижнем Поволжье, как и на полушарии, рост температур во вторую волну глобального потепления был сильнее, чем в первую. Однако, в период стабилизации, когда приповерхностная температура воздуха устойчиво снижалась, в Нижнем Поволжье она росла, причем даже несколько быстрее, чем в первую волну глобального потепления.

Действительно, первая волна глобального потепления известна как потепление Арктики, она практически не затронула континентальные районы, что проявилось и в Нижнем Поволжье.

В табл. 1 приведены некоторые статистические характеристики изменения температуры в Нижнем Поволжье в естественные климатические периоды.

Таблица 1

Статистические характеристики температуры воздуха в различные интервалы климатической изменчивости (по м/с Саратов Юго-Восток)

Естественный климатический период	Статистические характеристики		
	\bar{x}	α	σ^2
Первая волна глобального потепления	5,209	0,011	0,900
Период стабилизации	6,011	0,024	1,056
Вторая волна глобального потепления	7,075	0,052	0,960

Как видно из табл. 1, в Нижнем Поволжье температура воздуха росла от одного естественного климатического периода к другому, причем скорость ее роста от одного периода к другому увеличивалась. Наибольшая изменчивость температур отмечалась в период стабилизации. Оценка изменчивости температур от одного естественного климатического периода к другому с помощью критерия Фишера не показала статистической значимости.

Возможно, региональное своеобразие проявления глобального потепления связано с режимом циркуляции. Рассмотрим особенности циркуляционного режима путем подсчета теплых и холодных вторжений в регион. Отметим, что теплые и холодные вторжения очень удобно представлять волнами тепла и холода.

В табл. 2 представлена абсолютная частота среднего годового количества волн тепла и холода в различные климатические периоды. Рассматривались только интенсивные волны, при которых происходил перепад температур на 10 °С и более продолжительностью не менее двух суток. Перепад в сторону более высоких значений считался волной тепла, в сторону более низких – волной холода.

Как видно из табл. 2, в регионе количество холодных вторжений несколько превышает число теплых. Меньше всего интенсивных волн отмечается в период стабилизации. А в периоды потеплений число волн примерно одинаково. Если рассмотреть отдельно теплые и холодные

вторжения, то можно заключить, что в первые два естественных климатических периода (первая волна потепления и стабилизация) волны холода преобладали над волнами тепла, во вторую волну глобального потепления, наоборот, теплые волны преобладают над холодными. Волн холода в период стабилизации отмечается меньше, чем в первую волну потепления, что согласуется с особенностями климатического хода температуры в регионе (скорость роста температур в период стабилизации больше, чем в предыдущий период – первую волну потепления).

Таблица 2

Абсолютная частота волн тепла и холода в различные естественные климатические периоды состояния ЗКС (по м/с Саратов Юго-Восток)

Естественный климатический период	Волны тепла	Волны холода	Среднее
Первая волна глобального потепления	7,1	7,8	7,5
Период стабилизации	6,8	7,1	7,0
Вторая волна глобального потепления	7,5	7,3	7,4
Среднее	7,1	7,4	7,3

Таким образом, можно отметить, что на региональном уровне, в частности, в Нижнем Поволжье, очевидна роль адвективного (циркуляционного фактора) в климатических изменениях

Выводы. В заключение можно сделать следующие выводы.

1. Климатические изменения на уровне регионов не всегда идентичны глобальным климатическим тенденциям, а имеют свои особенности.

2. На уровне регионов отчетливо проявляется влияние циркуляционного фактора в формировании изменчивости климатического режима территории.

Список литературы

1. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Высшая школа, 1972. - 368 с.
2. Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. - СПб.: РГГМУ. 2007. - 407 с.
3. Морозова С. В., Диянова Ел. С., Диянова Ек. С., Котова Ю.Ю., Никишова В.Д., Попкова Е.Ю. Оценка статистической значимости изменений температуры воздуха Северного полушария статистическими методами // Изв. Саратов ун-та. Серия Науки о Земле. - Вып. 2. - 2023.- С.
4. Морозова С. В. Роль планетарных объектов циркуляции в глобальных климатических процессах. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. 2019. - 132 с.
5. Морозова С. В., Полянская Е. А., Алимпиева М. А. Особенности проявления глобальных климатических тенденций на юго-востоке Русской равнины // Гидрометеорология и образование. - 2021. - № 4. - С. 20-30.
6. Наумова Л. П. О выделении детерминированных составляющих случайного процесса // Труды ГГО. - 1977. - № 390. - С.83-85.
7. Переведенцев Ю. П. Теория Климата. - Казань: Казанский государственный университет, 209. - 504 с.
8. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. - СПб.: РГГМУ. 2007. - 279 с.

9. Шерстюков Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. - Обнинск: Изд-во ВНИИГМИ-МЦД, 2008. - 246 с.
10. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. - М.: Росгидромет, 2022. - 676 с.
11. IPCC 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 3056 p. doi: 10.1017/9781009325844
12. Mohorji A. M., Şen Z. and Almazroui M. Trend Analyses Revision and Global Monthly Temperature Innovative Multi-Duration Analysis // Springer. 2017. P. 1-13.
13. Morozova S. V., Polyanskaya E. A., Kononova N. K. et al. Peculiarities of the global climate tendencies in the south-east Russian plains // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Сер. «International Scientific and Practical Conference in Commemoration of Corr. Mem., RAS, A.N. Antipov «Geographical Foundations and Ecological Principles of the Regional Policy of Nature Management»». С. 012064. doi:10.1088/1755-1315/381/1/012064.

ВЕРИФИКАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА И ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАЧНОСТИ НАДО ЛЬДОМ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АРКТИКЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ CERES И ДРЕЙФУЮЩИХ СТАНЦИЙ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС»

¹А.И. Нарижная, ¹Д.Г. Чечин, ²И.А. Махотина

alex.narizhnaya@ifaran.ru

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Россия, г. Москва

²ФГБУ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Россия, г. Санкт-Петербург

Ключевые слова. Арктика, радиационные потоки, облачно-радиационные характеристики, экспедиционные данные, спутниковые данные.

Арктика переживает наиболее стремительное и ощутимое изменение климатических условий относительно планеты в целом. Облачность в Арктике играет одну из ключевых ролей, оказывая влияние на региональный энергетический баланс и участвуя в ряде важных климатических обратных связей. Облака в Арктике чувствительны к различным климатическим факторам, таким как площадь морского льда и индексы атмосферной циркуляции. Климатические модели, включая региональные, не способны корректно воспроизводить ряд облачных характеристик в Арктике. Сопоставления с наблюдаемыми характеристиками облаков, полученными, в частности, по стационарным данным и данным спутникового зондирования, необходимо для верификации и развития численных моделей погоды и климата. Однако количество метеостанций в Арктике мало, их распределение весьма неравномерно, а в высокоширотной Арктике измерения доступны, в основном, лишь во время экспедиционных кампаний на судах или измерений с воздуха. Поэтому данные, полученные надо льдом и открытой водой с дрейфующих станций ‘Северный Полюс’ -37, 39 и 40 крайне важны для выявления реальных величин радиационных и облачных характеристик в Центральной Арктике.

В данной работе представлен анализ данных наблюдений, полученных по трём дрейфующим станциям “Северный Полюс”: СП-37 (2009–2010), СП-39 (2011–2012) и СП-40 (2012–2013), в сопоставлении с данными спутникового зондирования CERES в Центральной Арктике. Рассматриваются такие характеристики, как составляющие радиационного баланса, балл и тип облачности разного уровня, микро-физические параметры (водность, ледность, облачная фаза). Главное внимание уделяется оценке радиационного баланса на поверхности, а также влиянию облачности на радиационные потоки в морских акваториях Арктики: приведен анализ облачно-радиационных эффектов на поверхности по стационарным и спутниковым данным в зависимости от облачных характеристик. Проанализирована согласованность стационарных и спутниковых данных в зависимости от различных внешних параметров (сплоченность морского льда, высота Солнца, характеристики облаков).

Исследование выполнено при поддержке РФФ № 18-77-10072.

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА, КАК ОДИН ИЗ ИНСТРУМЕНТОВ ЭНЕРГОПЕРЕХОДА В ЕВРОПЕ: РЕАЛИИ И РИСКИ В СВЯЗИ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ

¹Л.В. Нефедова,^{2,3}Д.А.Соловьев

nefludmila@mail.ru; solovev@ocean.ru

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Россия, г. Москва

²Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Россия, г. Москва

³Объединенный институт высоких температур РАН, Россия, г. Москва

***Аннотация.** В статье рассматривается проблема использования ветроэнергетики как одного из инструментов энергоперехода к низкоуглеродной экономике в условиях мирового энергокризиса, вызванного ограничением поставок природного газа из России в страны ЕС. Анализируются реалии современного состояния этой отрасли в странах Европы и возможные риски ее использования. Рассмотрены вопросы неравномерности выработки электроэнергии на ВЭС Европы. Особое внимание уделено аномально низкой интенсивности ветра в Европе в 2021 году и ее влиянию на ветроэлектрогенерацию, а также прогнозам в сфере использования энергии ветра на ближайшие годы с учетом возможных климатических изменений. Показано, что ветроэнергетика не может быть единственным средством энергоперехода и преодоления кризиса в Европе из-за нестабильности ресурсов ветра и значительных технологических проблемам, связанных с накоплением и передачей данного вида "зеленой" энергии.*

***Ключевые слова.** ветроэнергетика, климат, ВИЭ, климатические вызовы, низкоуглеродная экономика, энергокризис, энергопереход*

Энергия ветра является практически безуглеродным и экологически чистым источником электроэнергии, глобальные ветровые ресурсы значительно превышают спрос на электроэнергию. В связи с этим именно развитие ветроэнергетики рассматривается в европейских странах, как один из основных путей энергоперехода в регионе к низкоуглеродной экономике. Обязательства стран по снижению выбросов парниковых газов определены Парижским соглашением, регулирующем меры по снижению углекислого газа в атмосфере с 2020 года. Европейский союз планирует достичь углеродной нейтральности к углероду к 2050 г. на основе расширения использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и первую очередь – развития ветроэнергетики, а также на ее базе - за счёт реализации стратегии развития водородной экономики. При этом согласно программе 2021г. по борьбе с изменением климата – заявлено сокращение к 2030 году выбросов CO₂ в Евросоюзе не менее чем на 55% в сравнении с уровнем 1990-х гг. , к 2030 году ветровые станции должны вырабатывать до 35% всей электроэнергии, заняв до половины от доли выработки всех ВИЭ. а к 2050г. выработку на ветровых электростанциях (ВЭС) планируется производить около 50% всей

электроэнергии в Европе [1]. Значение ветроэнергетики особенно возрастает с 2022г. в связи с политическим кризисом и резким снижением, вплоть до прекращения, поставок российского газа в ряд европейских стран. Рассмотрим современное состояние ветроэнергетики Европы и возможные перспективы ее роли в декарбонизации Европы. В среднем в регионе с 2008г. суммарная установленная мощность ВЭС росла ежегодно более чем на 20 % и достигла к 2023г. - 255 ГВт (225 ГВт наземных и 30 ГВт офшорных ВЭС). 64% всех ветроэнергетических мощностей в Европе распределено по пяти странам: Германия (64 ГВт), Испания (28 ГВт), Великобритания (27 ГВт), Франции (19 ГВт) и Швеции (12 ГВт). Затем следуют Италия, Турция и Нидерланды (11 ГВт, 11 ГВт и 8 ГВт соответственно). Энергия ВЭС удовлетворила в 17% спроса на электроэнергию в целом в странах ЕС-27+Великобритания, что на 2% больше, чем в 2021 году. Ветровые условия, особенно в северной Европе, были значительно лучше и в сочетании с мощными установками, в частности, в Швеции и Финляндии, генерация в ЕС-27 + Великобритания выросли более чем на 9% по среды сравнению с 2021 г. [9]. На рис. 1 представлен уровень энергообеспечения за счет электроэнергии (ЭЭ), выработанной ВЭС в странах Европы.

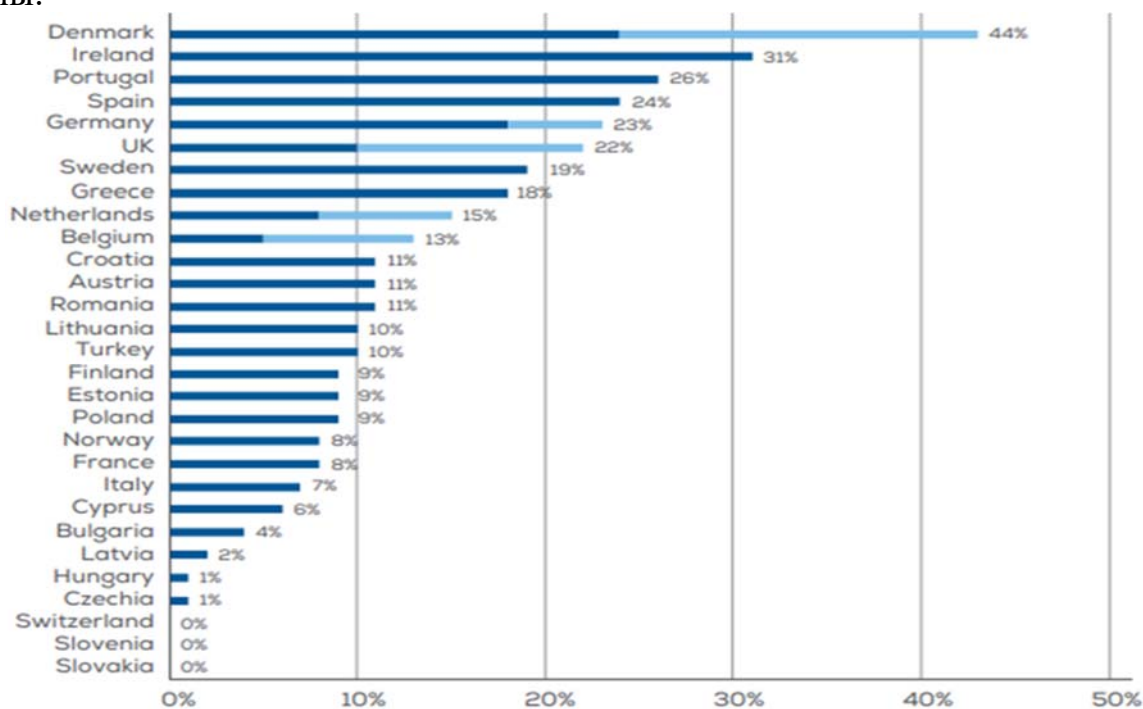


Рис.1. Доля электроэнергии ВЭС в энергообеспечении стран Европы в 2021г. [8]

При современной среднегодовой довольно высокой доле ВЭС в энергообеспечении как отдельных стран, так и в целом Европы, ветроэнергетические условия в регионе характеризуются крайне высокой изменчивостью, что приводит к тому, что суточные значения доли ВЭС изменяются в широком диапазоне. Так в целом для Европы данный диапазон составлял в 2022г. от 5,2 % до 37,8%. В табл.1 представлены суточные данные для стран Европы на максимальных и минимальных значениях доли в энергообеспечении для Европы в текущем 2023 году. Как видно из рис. 2.

Таблица 1

Суточные значения выработки ВЭС и их доля в энергообеспечении ряда стран Европы при экстремально благоприятных (25.03.23г.) и неблагоприятных (22.02.2023 г.) ветровых условиях

Страны	Доля ВЭС в энергопотреблении страны	Выработано на ВЭС за сутки, ГВт·ч	Доля ВЭС в энергопотреблении страны		Выработано на ВЭС за сутки, ГВт·ч	
			Данные за 25.03.2023г.	Данные за 22.02.2023	Данные за 25.03.2023г.	Данные за 22.02.2023
Германия	68,1%	799,8	11%	147,6		
Дания	64,8%	62,5	42,5%	43,2		
Бельгия	41,7%	90,8	4,2%	9,7		
Австрия	33,7%	47,5	5,1%	9		
Испания	29,9%	165,3	9,3%	63,1		
Нидерланды	27,4%	54,5	1,6%	5,1		
Португалия	24,9%	31,2	16,0%	23,5		
Литва	23,8%	6,7	4,1%	1,5		
Франция	23,1%	247,6	4,3%	55,8		
Швеция	18,2%	67,3	22,4%	100,8		
Греция	8,8%	5,3	3,9%	4,9		
Италия	18,6%	118,7	0,9%	8		
Польша	18,7%	78,3	22,4%	100,8		
Среднее по Европе	28,3%		7,7%			

Составлено авторами по данным [7].

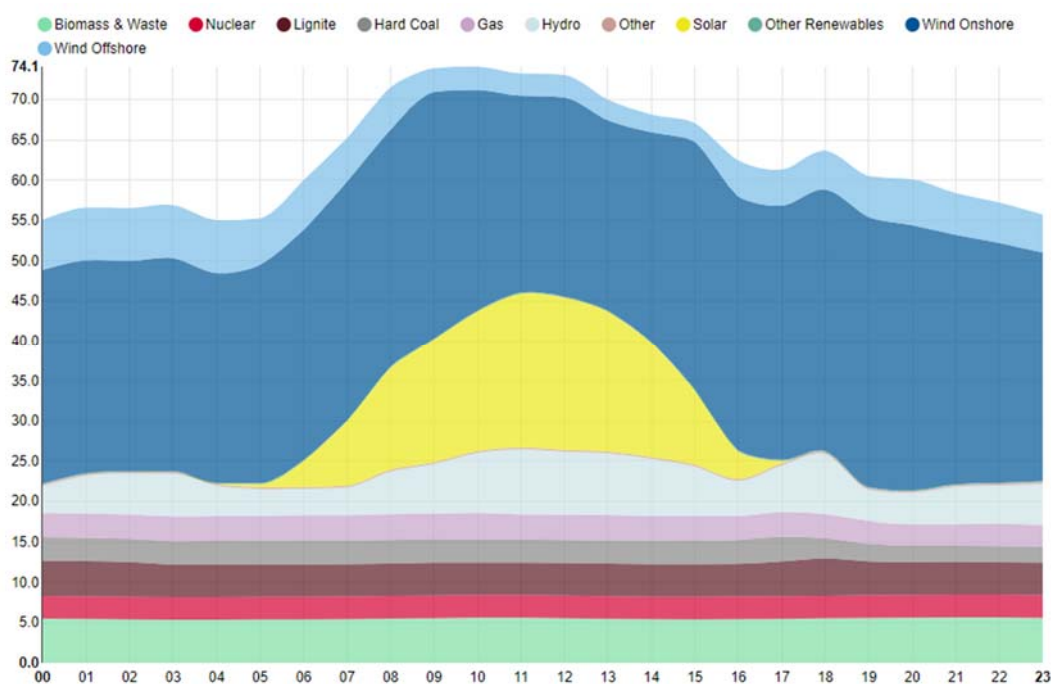


Рис. 2. Генерации электроэнергии (ГВт) в Германии в течении суток 25.03.2023 г. по видам энергоисточников [7]

В 2022 г. в Европе было введено в строй 19,2 ГВт (16,7 ГВт на суше и 2,5 ГВт на море). Несмотря на сложную экономическую ситуацию и трудности с цепочками поставок, этот год стал рекордным для Европы: рост установок ВЭС составил 4% по сравнению с предыдущим годом. Однако, это на 12% ниже, чем требуется для достижения целей ЕС в области климата и энергетики

к 2030 году [9]. В 2022г. для преодоления энергетического кризиса и ускорения энергоперехода рядом европейских стран (ФРГ, Бельгия, Нидерланды и Дания) был принято решение об активизации строительства в море новых 65 ГВт ветроэнергетических мощностей к 2030г. Великобритания дополнительно планирует построить ВЭС мощностью еще 50 ГВт.

Как видно из приведенных выше материалов, ветровые ресурсы, а соответственно и выработка на ВЭС Европы, характеризуются высокой изменчивостью в зависимости от местоположения и времени года, что приводит к нестабильной генерации электроэнергии, как, например, при низких значениях скоростей ветра в 2021г. Также в настоящее время отрасль ветроэнергетики подвержена высоким рискам, связанным с технологическими моментами, такими как неадекватное обслуживание, недостаточное инвестирование в технологическое оборудование и управление эксплуатацией системы. Негативные последствия пандемии COVID-19 и рост геополитической напряженности в мире также оказали влияние на ветроэнергетику Европейском союзе. Некоторые страны ЕС были вынуждены временно остановить производство ветроэнергетических установок из-за снижения спроса на электроэнергию во время карантина. Имеются также работы посвященные надежности Европейской ветроэнергетики в перспективе и ее способности обеспечивать непрерывную генерацию на фоне глобальных климатических изменений, которые могут повлечь за собой перераспределение ветровых ресурсов на планете [4].

Цель данной работы состоит в том, чтобы показать насколько уникальным явлением являются события с аномально низкой скоростью ветра и каким образом это может отразиться на работе ветровых электростанций в регионе Западной Европы в кризисных условиях. Анализ проводится по данным реанализа для скоростей ветра на высоте 10 м, что позволяет в целом проследить тенденции изменений ветроэнергетических условий в Европе на значительном временном интервале в 25 лет и более.

На рис. 3 и 4 показана динамика изменения средней месячной скорости ветра и ее аномалий (отклонение от среднемесячной за период 1979-2023 гг.) на высоте 10 м от поверхности Земли в регионе Западной Европы. На рис.4 видно, что в последние годы прослеживается устойчивая тенденция снижения интенсивности средней скорости ветра на всей территории Западной Европы, минимальные значения которой пришлись на июнь-июль 2018, июнь-август 2019, апрель-август 2020. При этом в 2021 году среднемесячная скорость ветра была наименьшей за три предыдущих года. В начале 2022 года ситуация несколько улучшилась, однако в летние месяцы снова повторились периоды затяжных штилей [14]. Начало 2023 года можно охарактеризовать как период достаточно резких ежемесячных колебаний среднемесячной скорости ветра, что нельзя считать благоприятными условиями для устойчивой работы ВЭУ. Скорость ветра в Европе в феврале 2023 г. находилась в аномально низкой зоне, достигнув своего минимума за рассматриваемый период времени. Работа ВЭС стран Европы в этот период отражена в табл.1 (данные за 22.02.2023).

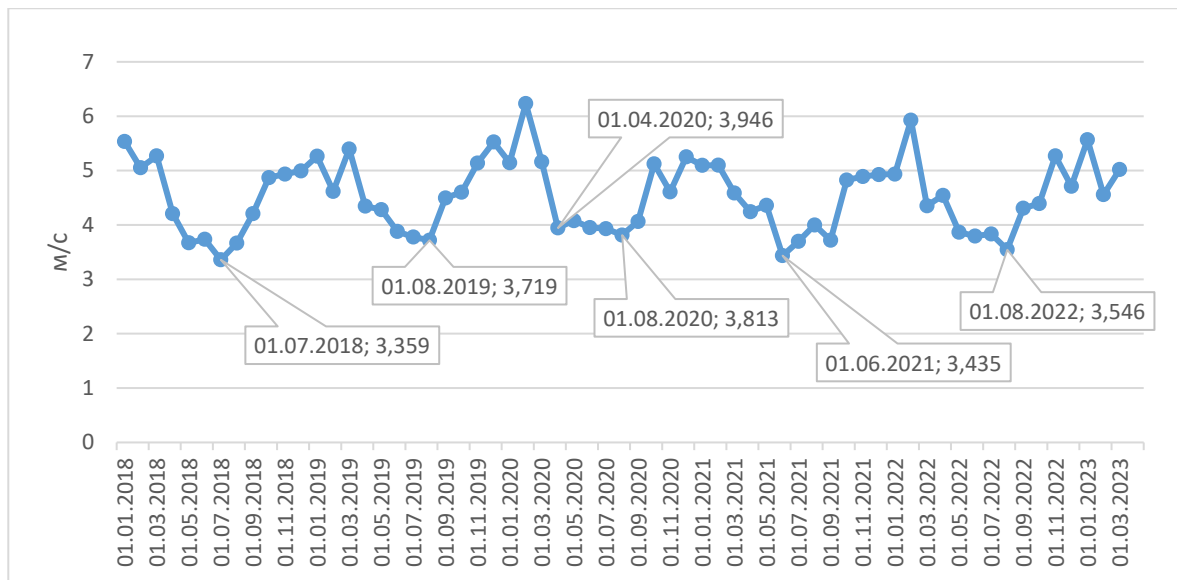


Рис. 3. Среднемесячная скорость ветра (м/с) на высоте 10 м от поверхности Земли в регионе Западной Европы (40°N-58°N, 5°W-15°E). Источник: [3]

В 2021 году европейские ВЭС производили недостаточно электроэнергии, приходилось использовать газ и другие источники генерации, включая экологически «грязный» уголь, который в ЕС снова пришлось использовать для компенсации выпадающих энергетических мощностей ВИЭ [12].

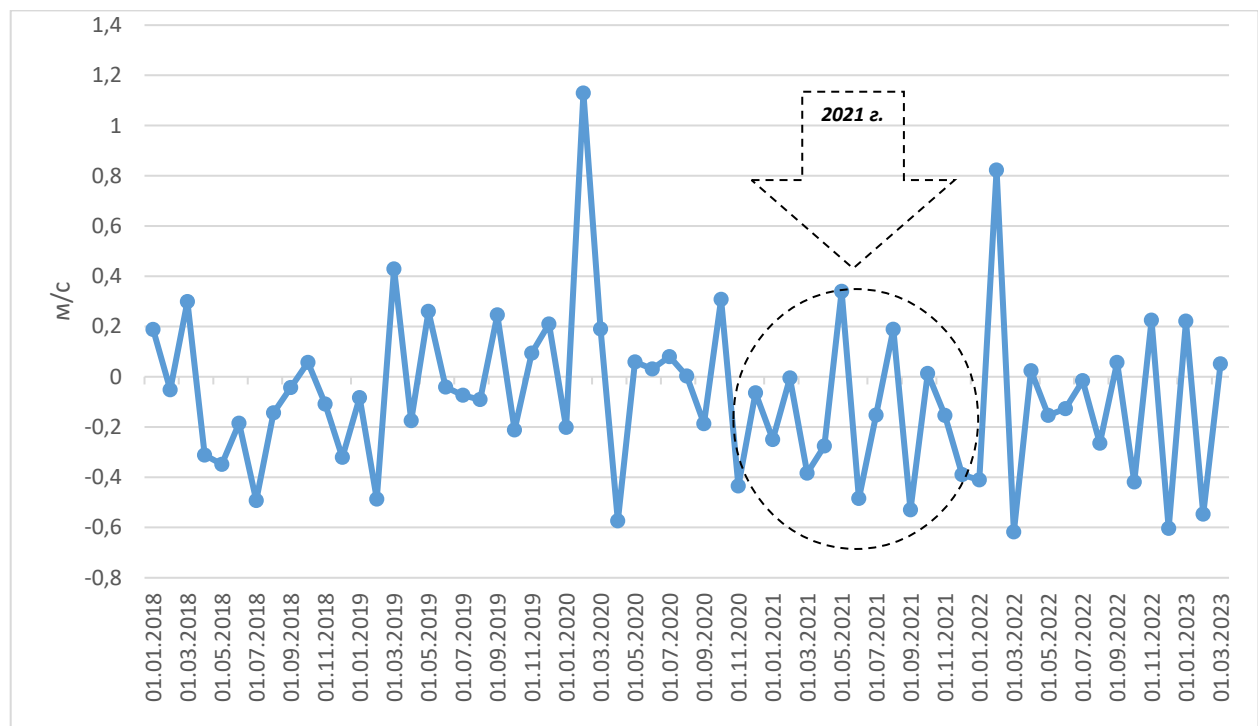


Рис. 4. Аномальные значения среднемесячной скорости ветра (м/с) на высоте 10 м от поверхности Земли в регионе Западной Европы (40°N-58°N, 5°W-15°E). Источник: [3]

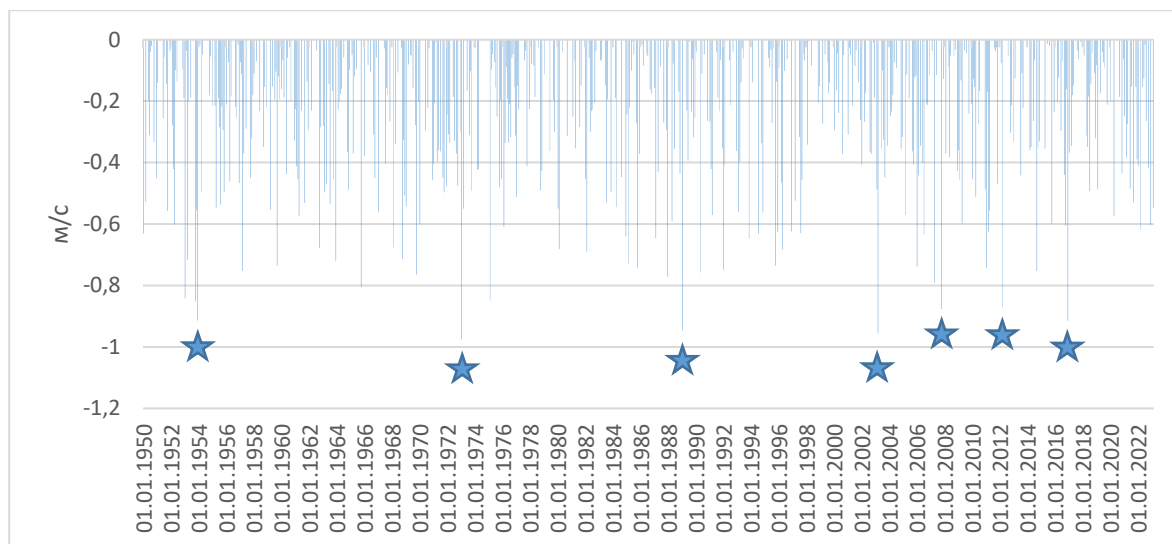


Рис. 5. Выборка периодов с наиболее низкой скоростью ветра (отрицательные значения аномальных отклонений от среднемесячной скорости ветра (м/с)) на высоте 10 м от поверхности Земли (1950-2022) в регионе Западной Европы (40°N-58°N, 5°W-15°E). Источник: [3]

Следует отметить, что ситуация, когда в странах ЕС имела место аномально низкая скорость ветра не является уникальным явлением. Выборка дат с наиболее низкой скоростью ветра за период 1950-2022гг., представленная на рис.5 показывает, что на протяжении многих лет такие события происходили достаточно часто. Продолжительность штилевых условий может составлять от нескольких часов до нескольких дней и даже месяцев. Прогноз характеристик ветра представляет собой весьма сложную и неоднозначную задачу, особенно на длительных временных масштабах. А с повышением доли генерации электроэнергии за счет ветра эта проблема выходит на первый план. Ретроспективный анализ изменения аномалий средней скорости ветра регионе Западной Европы позволяет в первом приближении понять какова повторяемость периодов низкой интенсивности ветра. Исходя из визуальной оценки представленного на рис.3 ретроспективного ряда данных с 1950г. были определены периоды с повторяющимися аномально низкими среднемесячными значениями скоростей ветра (значение отрицательного отклонения превышает 0.8 м/с). В том числе в последние 20 лет такие события имели место в 2003, 2007, 2012 и 2016 годах. Однако, природный феномен, связанный с необычно длительным отсутствием сильного ветра, практически на протяжении всего 2021 года, уникален и наблюдается впервые. Особенно низкие значения скорости ветра в 2021 г. были отмечены в период с июня по сентябрь. В условиях штиля от полного краха ветровую энергетику спасают лишь временами набегающие штормовые фронты, но и они длятся лишь несколько дней. Таким образом, в 2021г., среднемесячные значения коэффициента использования установленной мощности ВЭС в ЕС снизилась до минимальных показателей в 21%.

Начало 2022 г. внушало определенный оптимизм достижением февральского максимума скорости ветра, однако согласно данным мониторинга аномалий скорости ветра в марте, как и в январе - отклонение от

средней скорости ветра снова ушло в отрицательную зону, достигнув уровня ниже $-0,6$ м/с, повторив рекорд 2020 г. (рис.4). Однако во второй половине года ситуация улучшилась, позволив выйти среднемесячной скорости ветра на свои характерные сезонные показатели.

Согласно данным климатического аналитического центра «Ember» в 2022 году в Европе впервые солнечная и ветряная энергия стали лидерами по объемам выработки, обойдя все другие источники. Рекордный прирост новых ветровых и солнечных мощностей в 2022 году помог Европе пережить «тройной кризис», вызванный ограничениями на поставки российского газа, спадом гидроэнергетики из-за засухи и неожиданными отключениями в атомной энергетике. Совокупно энергия ветра и солнца обеспечила рекордную пятую часть электроэнергии в ЕС (22,3 %), превзойдя как атомную (21,9 %), так и газовую генерацию (19,9 %) [9].

Согласно выводам опубликованных докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (ipcc.ch), потепление, не имеющее себе равных по продолжительности и интенсивности, началось с 1989 года резким повышением температуры зимой и продолжается в настоящее время [6]. Анализируя представленную на рис.3. выборку дат с наиболее низкой скоростью ветра, начиная с минимума 1989 года, можно предположить, что и в дальнейшем с интервалом 4-5 лет энергосистема ЕС будет, вероятно, сталкиваться с ветроэнергетическими кризисами, обусловленными снижением интенсивности ветра.

Одной из гипотез, которая позволяет объяснить феномен снижения скоростей ветра, является связь ветра с общим потеплением климата Земли [5,16]. Поскольку в разных местах планеты ее поверхность нагрета по-разному, воздушные массы имеют различную температуру, что приводит к формированию градиентов плотности воздуха и давления. Следствием данных процессов является формирование движения воздушных масс –ветровых потоков. Наблюдаемое сейчас глобальное потепление, особенно в полярных областях, способствует общему снижению градиента атмосферного давления и температур, что влечет за собой ослабление ветровых потоков вдоль поверхности Земли в средних широтах.

Для ВЭС низкие значения скорости ветра приводят к снижению электрогенерации и даже полной ее остановке при достижении минимальных пороговых значений, допускающих работу оборудования ВЭС. Экстремально высокие значения скорости ветра также приводят к прекращению выработки электроэнергии и остановке ВЭС. Особенно опасны резкие перепады скорости ветра в течение короткого времени. Существует предел скорости движения воздуха, при котором работа ветроустановок все еще возможна, однако если его лимит превышен, включается защита: срабатывает автоматическая система, которая поворачивают по своей оси каждую из лопастей ветрогенератора, что приводит к его полной остановке. При срабатывании эта автоматическая система стремится замедлить вращение ветрогенератора, чтобы вывести его из критических режимов работы. Пороговые, оптимальные и предельные значения скорости зависят от модели ВЭС и являются ее

рабочими характеристиками. При ураганном ветре, скорость которого может превышать 30-40 м/с, а именно такая сила ветра была зафиксирована в феврале 2022 г. на юго-западе Англии и в Южном Уэльсе, ветростанции работать не смогут и будут находиться в режиме простоя.

Длительные периоды стабильно высоких скоростей ветра имеют и отрицательные последствия, поскольку выработка электроэнергии оказывается больше необходимой изолированному потребителю [11]. В таком случае ВЭС, которые ставят частные домовладельцы, обычно заряжают аккумуляторы, но их емкость ограничена, а также они постепенно разряжаются. Промышленные ВЭС, как правило, направляют всю вырабатываемую энергию сразу в сети. Сетевые компании в случае необходимости снижают отбор энергии у других поставщиков, которые могут быстро и без ущерба для себя снизить генерацию. С ростом установленной мощности ВЭС эта проблема будет становиться все более актуальной. Но уже есть технические решения, которые позволят сохранять большую часть вырабатываемой ветром электроэнергии. Это могут быть решения с водородными накопителями [10, 13]. Водород, который может служить накопителем электроэнергии, получают путем электролиза за счет избыточной энергии на ВЭС. Также возможен и экспорт излишков электроэнергии в умные сети крупных мегаполисов (Smartgrid), способные в автоматическом режиме распределить ее по потребителям [2]. Широкий спектр источников получения водорода и развитие управления энергосистемами позволяет предположить, что дальнейшие разработки для обеспечения энергетической независимости стран ЕС будут направлены в этом направлении. Указанные проблемы нельзя считать непреодолимыми, но они создают определенные трудности в реализации планов зеленого энергоперехода с полным отказом от российского газа, что декларируется европейскими странами.

Европейские ветровые электростанции продолжают успешно работать и в течение текущего мирового энергетического кризиса несмотря на то, что выработка ветрогенерации в ЕС не имеет стабильных показателей [15]. Глобальный энергокризис привел к росту интереса к строительству новых ВЭС и планам по ускорению ввода строящихся. По нашим оценкам снижение производительности ВЭС в целом по ЕС в связи со снижением интенсивности ветра может нарушить планы достижения цели в 40% электрогенерации за счет ветроэнергетики к 2030 году. Из-за высокой нестабильности ресурсов ветра на территории ЕС, усиливающейся в последние годы в связи с глобальными климатическими изменениями и не до конца решенных проблем с накоплением и передачей «зеленой» энергии, ветроэлектрогенерация не может рассматриваться в качестве основного инструмента энергоперехода и средства преодоления энергокризиса в Европе как в текущем, так и в последующие ближайшие годы. Однако новые технологические решения меняют чувствительность ветровой энергетики к климатической нестабильности и, таким образом, ставят новые задачи и возможности для инновационных исследований. Совершенствование моделирования климата

для все большего учета мезомасштабных процессов обеспечивает улучшение прогнозов как ветровых ресурсов, так и условий эксплуатации ветряных турбин и будет способствовать дальнейшему повышению роли ветроэнергетики в Европе и в мире.

Работа выполнена в рамках Госзадания № 121051400082-4 и при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание № 075-01129-23-00, FMWE-2021-0003)

Список литературы

1. A New Industrial Strategy for Europe //The European economic and social committee and the committee of the regions, Brussels, 10.3.2021.
2. Bushuev, V.V. The introduction of Smart grid concept in Russia (on the Processing (DISP'19). – Oxford : St Hugh's College, Oxford University, 2019. – P. 1-8.
3. Climate Reanalyzer. – Mode of access: https://climatereanalyzer.example.org/reanalysis/monthly_tseries/ (date of access: 08.04.2022). – [Electronic resource].
4. Iskandarova, M. Who finances renewable energy in Europe? Examining temporality, authority and contestation in solar and wind subsidies in Poland, the Netherlands and the United Kingdom / M. Iskandarova, A. Dembek, M. Fraaije et al. // Energy Strategy Reviews. – 2021. – Vol. 38. – P. 100730. DOI: 10.1016/j.esr.2021.100730.
5. Russo MA, Carvalho D, Martins N, Monteiro A (2022) Forecasting the inevitable: A review on the impacts of climate change on renewable energy resources// Sustainable Energy Technol. Assess. – 2022 – Vol. 52. – P.102283. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102283>
6. Schlomer, S. Annex III: Technology-specific cost and performance parameters / S. Schlomer, T. Bruckner, L. Fulton et al. // Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – 2014. – P. 1329-1356. DOI: http://report.mitigation2014.org/report/ipcc_wg3_ar5_annex-ii.pdf.
7. WIND EUROPE. – Mode of access: <https://windeurope.org/about-wind/daily-wind/> (date of access: 25.04.2023). – [Electronic resource].
8. Wind energy in Europe. 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026. Brussels, Belgium; 2022, pp. 40.
9. Wind and solar were EU's top electricity source in 2022 for first time ever - Carbon Brief. – Mode of access: <https://www.carbonbrief.org/wind-and-solar-were-eus-top-electricity-source-in-2022-for-first-time-ever/> (date of access: 25.04.2023). – [Electronic resource].
10. Бушуев, В.В. Инфраструктурные накопители в энергетике / В.В. Бушуев, Н.Л. Новиков // Энергетическая политика. – 2020. – № 10(152). – P. 74-89. DOI: 10.46920/2409-5516_2020_10152_74.
11. Дегтярев, К.С. К вопросу об экономике возобновляемых источников энергии / К.С. Дегтярев, А.М. Залиханов, А.А. Соловьев, Д.А. Соловьев // Энергия, экономика, техника, экология. – 2016. – № 10. – P. 10-20.
12. Дегтярев, К.С. Проблемы и перспективы развития возобновляемой энергетики России в новых условиях / К.С. Дегтярев, Д.А. Соловьев // Энергетическая политика. – 2022. – № 6(172). – P. 56-69. DOI: 10.46920/2409-5516_2022_6172_56.
13. Жук, А.З. Водородные и алюмоводородные накопители в электроэнергетике / А.З. Жук, А.Н. Новиков, Н.Л. Новиков, В.Д. Фролов // Энергетическая политика. – 2021. – № 5. – P. 64-79. DOI: 10.46920/2409-5516_2021_5159_64.
14. Соловьев, Д.А. Скорость ветра в Европе в начале 2022 г остается в аномально низкой зоне - Энергетическая политика (новости). – Mode of access: <https://energypolicy.ru/skorost-vetra-v-evrope-v-nachale-2022-g-ostaetsya-v-anomalno-nizkoj-zone/novosti/2022/20/17/> (date of access: 20.09.2022). – [Electronic resource].

15. Соловьев, Д.А. Перспективы использования европейской ветроэнергетики для преодоления энергетического кризиса / Д.А. Соловьев, Л.В. Нефедова // Окружающая среда и энерговедение. – 2022. – № 4. – Р. 50-58.

16. Шерстюков, Б.Г. Изменения климата: причины и прогноз / Б.Г. Шерстюков // Земля и Вселенная. – 2017. – № 3. – Р. 30-44.

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

С.В. Онищенко, К.А. Кузьмин, Т.Ю. Бычков

osv@adygnet.ru; ka4okyza@ya.ru; bychkov.timof@gmail.com

Адыгейский государственный университет, Россия, г. Майкоп

Аннотация. В данной работе проведен обзор существующих программных средств, предназначенных для оценки и моделирования возобновляемых источников энергии, которые позволяют определить различные аспекты, такие как: количество поступающей энергии для конкретного участка местности, экономическую целесообразность вовлечения альтернативного источника, влияние на экологию. Рассмотрены программы, предназначенные для оценки солнечной и ветровой энергии, а также решения позволяющие производить комплексную оценку нескольких видов возобновляемых источников энергии

Ключевые слова. Возобновляемые источники энергии, оценка количества ВИЭ, программное обеспечение

Введение. В настоящее время во всем мире все более широко развиваются технологии преобразования энергии, на основе возобновляемых источников. В некоторых развитых странах, таких как Германия, Норвегия, Швеция, Новая Зеландия доли выработки от ВИЭ составляют порядка 50% от общего количества производимой энергии (рисунок 1) [1].



Рис. 1. Доля возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии в различных странах [1]

Использование энергетических систем на основе ВИЭ позволяет обеспечить высокую энергетическую безопасность и независимость общей энергосистемы и в значительной степени снизить количество вредных

выбросов в атмосферу, возникающих при использовании традиционных углеродных ресурсов [2].

При этом, для эффективного вовлечения ВИЭ в существующую энергосистему или для создания автономной системы на основе «зеленой» энергии необходимо определить теоретические значения количества вырабатываемой энергии и валовый потенциал источников энергии в области, где планируется размещение энергетической системы [3, 4].

Существует большое количество различных математических моделей, позволяющих произвести расчеты потенциала приходящей энергии, однако их использование является весьма затруднительным, особенно при наличии большого количества исходных данных и множества точек, в которых необходимо выполнить моделирование и прогноз. По этой причине производят разработку автоматизированных средств, которые позволяют осуществлять подобный анализ пользователю в упрощенном режиме, некоторые из которых позволяют производить комплексную оценку эффективности использования ВИЭ, а не только расчет валовых значений поступающей энергии.

В связи с этим, в данной работе предлагается провести анализ существующих программных средств, предназначенных для оценки и моделирования количества получаемой энергии и определить, какие функциональные возможности они могут предоставить пользователю.

Материалы и методы. При реализации проектов по проектированию и возведению энергетических систем с вовлечением ВИЭ ключевое значение имеет предварительная оценка потенциала энергетического ресурса конкретной области [5,6], для чего в настоящее время используются различные программные продукты. Поскольку подобных программных продуктов существует большое количество, в данной работе предлагается провести анализ существующего программного обеспечения, предназначенного для оценки возобновляемых источников энергии.

На основе этого анализа необходимо определить какой функционал предлагают различные технические решения, и то, какие из существующих решений них имеют наиболее универсальное применение.

Так в таблице 1 представлены различные программные продукты, предназначенные для оценки энергетического потенциала солнечной энергии и проектирования солнечных систем электроснабжения для частного потребителя.

Как можно заметить, большинство из рассмотренных систем являются платными с возможностью предоставления пробного доступа к продукту для ознакомления с возможностями его функционала. Некоторые из программных продуктов обладают обширными возможностями. Например, система Augora [7], является универсальным инструментом для оценки и проведения анализа по эффективности внедрения энергетической системы на основе использования солнечной энергии (рисунок 2).

Таблица 1

Программные средства оценки солнечной энергии

Название программного обеспечения	Свободно распространяемо (+,-)	Основные функции	ОС
Aurora [7]	–	Оценка потенциала солнечной энергии; Экономический анализ; Генерация отчётов; Визуализация данных; Проектирование солнечных систем для индивидуального потребителя.	Web
BlueSol [8]	– Доступна пробная версия	Экономический анализ; Моделирование систем; Составление документации; Проектирование фотоэлектрической системы	Windows
Helioscope [9]	– Доступна пробная версия	Оценка потенциала возобновляемых источников; Оценка технического потенциала; Моделирование систем; Генерация отчётов; Визуализация данных	Web
PV Sol Free & Premium [10]	Доступна пробная версия	Моделирование систем; Визуализация данных	Windows
PVGIS [11]	+	Оценка потенциала возобновляемых источников; Оценка технического потенциала; Экономический анализ; Оценка экологического воздействия; Поддержка автономных, сетевых систем; Визуализация данных	Web
PVsyst [12]	–	Оценка технического потенциала; Экономический анализ; Моделирование систем; Оптимизация систем; Визуализация данных	Windows
Pylon Solar Design & CRM Software [13]	– Доступна пробная версия	Экономический анализ; Моделирование систем; Управление отношениями с клиентами	Web

Данная система позволяет не только произвести оценку прихода и выработки энергии, но и осуществить экономический анализ проектируемой системы и выбрать наиболее подходящий состав подобной системы, и осуществить полное проектирование реализуемой системы для конкретного потребителя. К недостатку данной платформы можно отнести лишь то, что проектирование системы может быть осуществлено только для частных потребителей, являющихся непромышленными потребителями энергии.

Интересным решением является платформа PVGIS [11], которая обладает открытым исходным кодом, что позволяет интегрировать данное

решение в некоторую более универсальную систему оценки потенциала ВИЭ. Данная платформа позволяет произвести оценку теоретического и технического потенциала, оценить экономические аспекты, и в отличие от других рассмотренных продуктов позволяет учитывать и факторы экологического взаимодействия, что представлено на рисунке 3.

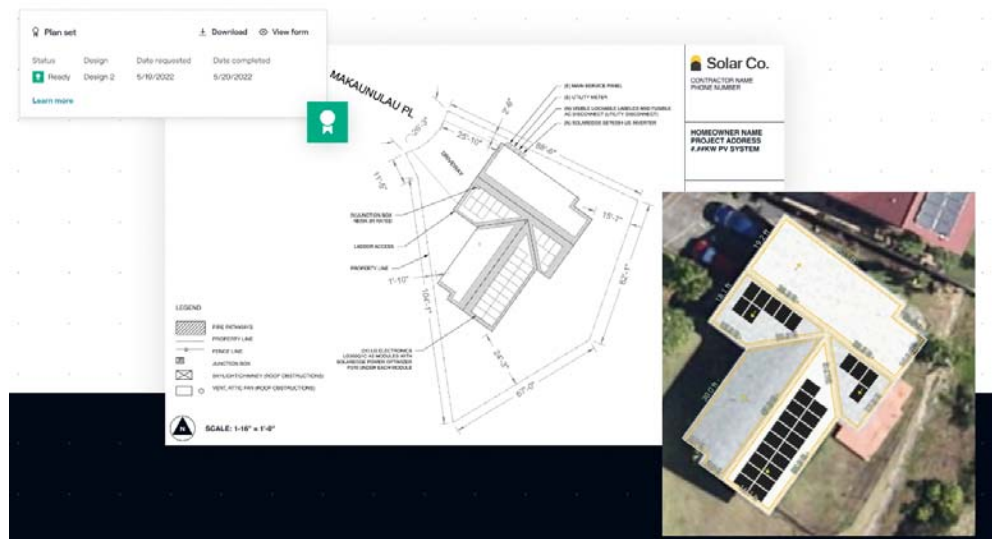


Рис. 2. Функция проектирования СЭС в приложении Aurora

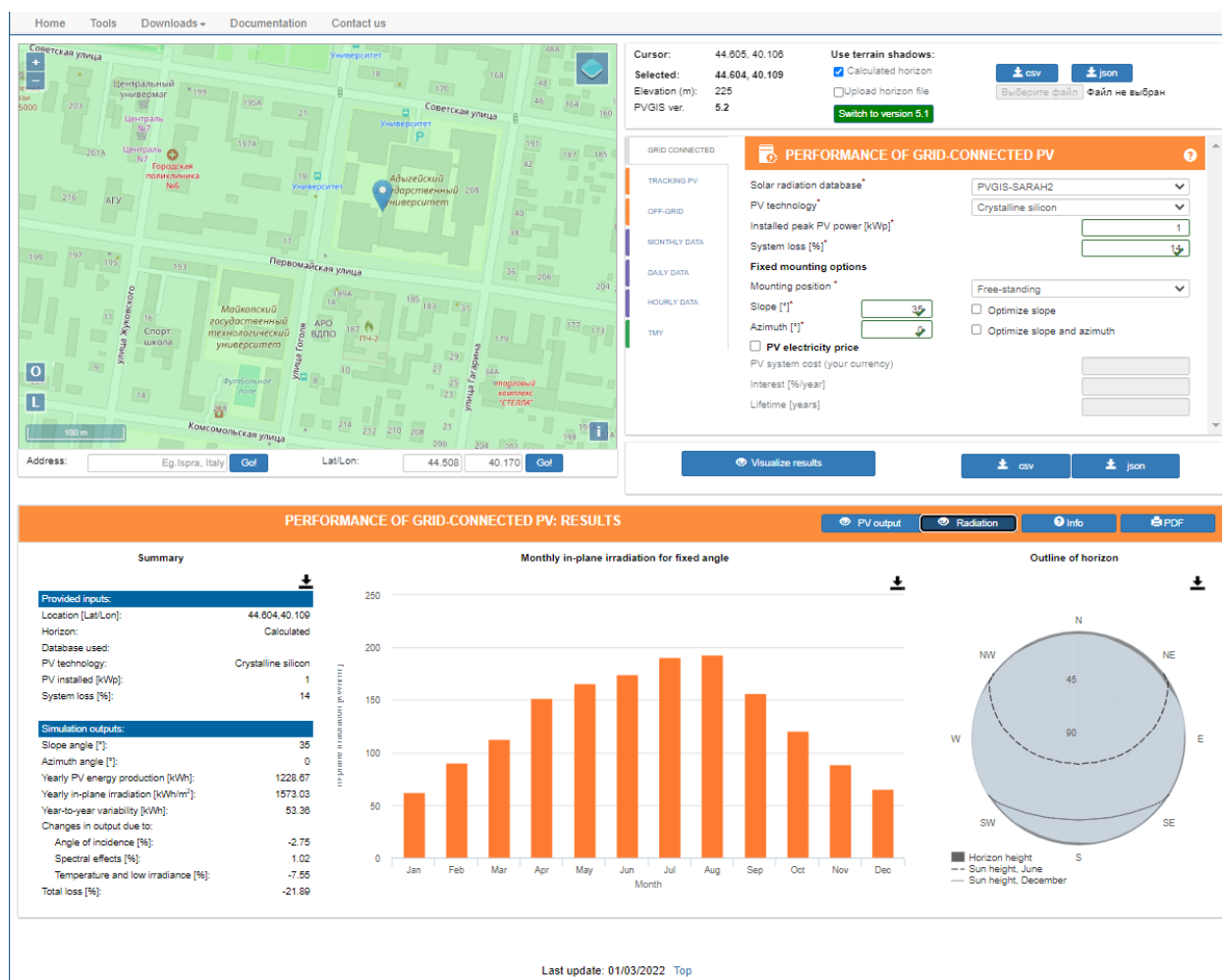


Рис. 3. Функциональные возможности приложения PVGIS

Оба этих решения позволяют производить качественную оценку количества солнечной энергии, и осуществить экономический анализ, однако комплекс Aurora, позволяет выполнять еще и проектирование системы для индивидуального потребителя. Похожим решением на комплекс PVGIS является продукт PVsyst [12], обладающий схожими функциональными возможностями, однако он является коммерческим и его нельзя получить в свободном доступе. Прочие программные продукты такие как BlueSol [8], Helioscope [9], PV Sol Free & Premium [10] обладают лишь некоторыми из функций, присущих средствам AURORA и PVGIS.

Теперь рассмотрим некоторые из существующих решения для оценки и моделирования ветровой энергии. В таблице 2 представлен перечень программных продуктов для оценки ветровой энергии, с описанием основных функциональных возможностей.

Таблица 2

Программные средства для оценки ветровой энергии

Название программного обеспечения	Свободно распространяемо (+,-)	Основные функции	ОС
Openwind [14]	– Только под заказ	Оценка потенциала возобновляемых источников; Оценка технического потенциала; Экономический анализ; Моделирование систем; Оптимизация систем	Web
Small Wind Economic Model Microsoft Excel [15]	+	Оценка технического потенциала; Экономический анализ	Кроссплатформенно
AQUA [16]	+	Оценка энергетического потенциала; Генерация отчётов;	Windows; Linux; MacOS
WAsP [17]	+	Оценка технического потенциала; Экономический анализ; Оптимизация систем	Windows; Linux; MacOS
WindPRO [18]	– Доступна пробная версия	Оценка потенциала возобновляемых источников; Оценка технического потенциала; Экономический анализ; Оптимизация систем; Оценка экологического воздействия; Визуализация данных	Кроссплатформенно
WInDS [19]	+	Визуализация данных; Симуляция динамики, вызванной волной; Моделирование морской плавучей ветряной турбины	

Аналогично и программным решениям для оценки солнечной энергии, некоторые из представленных не доступны для свободного использования. При этом, из коммерческих решений стоит отметить систему WindPRO [18], которая позволяет производить комплексную оценку эффективности внедрения ветроэнергетических станций (рисунок 4).

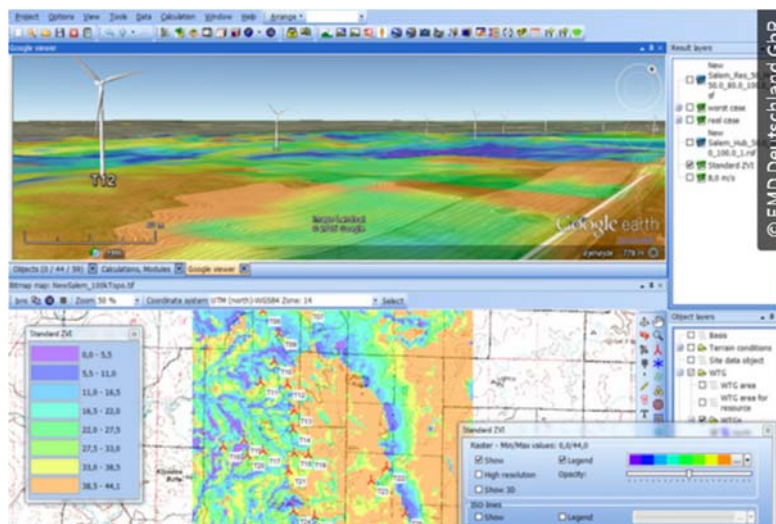


Рис. 4. Картирование ветроресурсов в программе WindPRO

Наличие большого количества модулей в данном решении позволяет реализовать следующий функционал:

- анализ данных о ветре;
- картирование расположения ветровых ресурсов;
- оценка производства энергии;
- разработка проекта энергетической станции и его оптимизация;
- расчет воздействий на окружающую среду;
- визуализация результатов;
- реализация расчетов электротехнических и экономических показателей.

Главной отличительной особенностью от комплексных решений, направленных на оценку потенциала энергии, является возможность оценки эффективности внедрения энергетической станции не только на уровне индивидуального пользователя, но и на уровне районов и региональных субъектов.

При этом, свободно распространяемые решения для оценки ветровой энергии не являются комплексными, и как правило направлены на оценку одного показателя: определение энергетического потенциала [16], экономический анализ [15], симуляция динамики волн [19].

Рассмотрим комплексные решения, позволяющие производить оценку сразу нескольких видов ВИЭ, в таблице представленные в таблице 3.

Таблица 3

Программные средства оценки потенциала нескольких видов энергоресурсов

Название программного обеспечения	Свободно распространяемо (+,-)	Основные функции	ОС	Вид энергетического ресурса
EnergyPLAN [20]	+	Оценка технического потенциала; Экономический анализ; Оптимизация систем; Моделирование систем	Web; PC	Гидроресурсы; Нефтяное топливо; Геотермальная энергия; Солнечная энергия
Global Atlas IRENA [21]	+	Оценка потенциала возобновляемых источников; Прогнозирование спроса; Визуализация данных	Web	Основные виды ВИЭ; Традиционные энергоресурсы
HOMER Energy [22]	- Доступна пробная версия	Оценка технического потенциала; Экономический анализ; Моделирование систем; Поддержка гибридных систем; Оптимизация систем; Визуализация данных	Windows; Web	Гидроэнергия; Биомасса; Традиционные источники энергии
RETscreen [23]	- Доступна пробная версия	Оценка технического потенциала; Экономический анализ; Моделирование систем; Бенчмаркинг; Визуализация данных	Windows	Основные виды ВИЭ
TRNSYS [24]	-	Визуализация данных; Моделирование переходных систем	Windows	Биомасса; Солнечная энергия; Водородная энергетика

В третьей таблице представлены решения, отличительной особенностью которых является возможность работы с несколькими видами энергетических ресурсов. Наиболее интересным является решение HOMER Energy [22], состоящее из трех больших модулей: оптимизатора распределенных сетей, проектировщика энергетической системы и модуля для экономического

анализа. Данный продукт позволяет проектировать не только энергетическую систему на основе ВИЭ, но и организовывать гибридные энергетические системы, сочетающие традиционные и альтернативные источники энергии.

Отличительной особенностью подобных решений является их ориентация на проектирование систем и оптимизацию существующих энергетических комплексов, в отличие от программных средств, направленных на оценку определенного энергетического ресурса.

Заключение. В данной работе был проведен обзор некоторых программных средств, предназначенных для оценки и моделирования возобновляемых источников энергии. Были рассмотрены как коммерческие решения, так и свободно распространяемые продукты, предназначенные для оценки ветровой и солнечной энергии, а также программное обеспечение, позволяющее исследовать несколько видов энергетических ресурсов.

При этом было выяснено, что нет комплексных средств для оценки основных видов возобновляемых источников энергии, которые бы позволили не только произвести оценку теоретического потенциала энергии, но и определить экономическую эффективность внедрения ВИЭ в энергетическую систему и выполнить проектирование оптимальной энергетической системы, поскольку каждый из продуктов выполняет только часть подобных функций для определенных видов энергии.

Так же было определено, что существует некоторое количество решений с открытым исходным кодом, что позволяет интегрировать подобные решения при создании более универсальной системы оценки возобновляемых источников энергии.

Список литературы

1. Доля возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии в 2021 году. URL: <https://energystats.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>
2. Котеленко Светлана Владимировна, Рябов Артем Сергеевич Преимущества и недостатки нетрадиционной энергетики // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. №12.
3. Buchatskiy, P. Y. Software and hardware complex for evaluating the potential of wind and solar energy / P. Y. Buchatskiy, S. V. Teploukhov, S. V. Onishchenko // Proceedings - 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020, Sochi, 18–22 мая 2020 года. – Sochi: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. – P. 9112028. – DOI 10.1109/ICIEAM48468.2020.9112028. – EDN XSDIFH.
4. Реализация программно-аппаратного комплекса для оценки энергетического потенциала возобновляемых источников энергии / П. Ю. Бучацкий, С. В. Теплоухов, С. В. Онищенко [и др.] // – 2019. – № 4(251). – С. 103-108. – EDN YNTUFG.
5. Симанков, В. С. Методологические основы оценки эффективности вовлечения возобновляемой энергии в региональный энергобаланс / В. С. Симанков, П. Ю. Бучацкий // Пром-Инжиниринг: труды V Всероссийской научно-технической конференции, Москва-Челябинск-Новочеркасск-Волгоград-Сочи, 25–29 марта 2019 года. – Москва-Челябинск-Новочеркасск-Волгоград-Сочи: Издательский центр ЮУрГУ, 2019. – С. 272-276.
6. Бучацкий, П. Ю. Разработка программно-аппаратного комплекса измерения скорости ветра на платформе Arduino / П. Ю. Бучацкий, С. В. Онищенко, А. С. Платонов // Дистанционные образовательные технологии: Материалы IV Всероссийской научно-

практической конференции (с международным участием), Посвящается 75-летию ГПА, Ялта, 16–21 сентября 2019 года / Ответственный редактор В.Н. Таран. – Ялта: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2019. – С. 250-257.

7. Aurora. [Электронный ресурс] URL: <http://www.aurorasolar.com/> (Дата обращения: 02.04.2023).

8. BlueSol. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bluesolpv.com/> (Дата обращения: 02.04.2023).

9. Helioscope. [Электронный ресурс] URL: <https://www.helioscope.com/> (Дата обращения: 02.04.2023).

10. PV Sol Free & Premium. [Электронный ресурс] URL: <https://pvsol.software/en/> (Дата обращения: 02.04.2023).

11. PVGIS. [Электронный ресурс] URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool_en (Дата обращения: 02.04.2023).

12. PVsyst. [Электронный ресурс] URL: <https://www.pvsyst.com/> (Дата обращения: 02.04.2023).

13. Pylon Solar Design & CRM Software. [Электронный ресурс] URL: <https://getpylon.com> (Дата обращения: 02.04.2023).

14. Openwind. [Электронный ресурс] URL: <https://www.ul.com/services/openwind-wind-farm-modeling-and-layout-design-software> (Дата обращения: 02.04.2023).

15. Small Wind Economic Model Microsoft Excel. [Электронный ресурс] URL: https://windexchange.energy.gov/files/docs/small_wind_economic_model.xls (Дата обращения: 09.04.2023).

16. AQUA. [Электронный ресурс] URL: <https://www.umass.edu/windenergy/research/software> (Дата обращения: 09.04.2023).

17. WAsP. [Электронный ресурс] URL: <https://www.epa.gov/ceam/wasp-model-tutorials> (Дата обращения: 09.04.2023).

18. WindPRO. [Электронный ресурс] URL: <https://www.emd-international.com/windpro/> (Дата обращения: 09.04.2023).

19. WInDS. [Электронный ресурс] URL: <https://www.umass.edu/windenergy/research/software> (Дата обращения: 12.04.2023).

20. EnergyPLAN. [Электронный ресурс] URL: <https://www.energyplan.eu/> (Дата обращения: 12.04.2023).

21. Global Atlas IRENA. [Электронный ресурс] URL: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Project-Facilitation/Renewable-potential-sassessment/Global-Atlas> (Дата обращения: 12.04.2023).

22. HOMER Energy. [Электронный ресурс] URL: <https://www.homerenergy.com/> (Дата обращения: 12.04.2023).

23. RETScreen. [Электронный ресурс] URL: <http://www.etscreen.net> (Дата обращения: 12.04.2023).

24. TRNSYS. [Электронный ресурс] URL: <https://www.trnsys.com/> (Дата обращения: 22.04.2023).

ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЬНЫХ ВЕТРОВ И ШКВАЛОВ В АБХАЗИИ

¹Э.В. Пачулия, ^{1,2}Я.А. Экба

Rachuliya-97@mail.ru

¹Абхазский государственный университет, Абхазия, г. Сухум

²Институт экологии Академии наук Абхазии, Абхазия, г. Сухум

***Аннотация.** Проведен анализ временных изменений ветрового режима в г. Сухум по данным автоматизированной станции за период 2011-2021 гг. Изучены экстремальные значения ветра в прибрежной зоне Абхазии на основе среднемесячных и среднесуточных значений. Был проведен сравнительный статистический анализ частоты появления циклонов и антициклонов по методу Фурье и данным прямых измерений на метеосети РА. При прохождении шквалов скорость воздушного потока меняется практически синхронно с атмосферным давлением и в противофазе с температурой окружающего воздуха.*

***Ключевые слова.** Шквал, скорость ветра, экстремальные значения, ветровой режим, циклон, антициклон.*

Введение

Атмосфера является чрезвычайно подвижной средой, где постоянно формируются и разрушаются вихри различных размеров. Для получения объективных современных представлений о климатологии циклонов необходимо исследовать их характеристики за длительный промежуток времени, исчисляемый несколькими десятилетиями. Для этих целей в течение последних 5 лет мы занимаемся диагностикой ре-анализа, то есть динамически согласованные последовательности анализов состояния атмосферы, выполненные с применением одной и той же конфигурации модели и замороженной схемы усвоения. Именно ре-анализы представляют широкие возможности для получения достоверных оценок циклонической активности и ее изменчивости. В связи с глобальными и региональными изменениями климата, в том числе глобальным потеплением и увеличением частоты экстремальных погодных явлений, возрастает потребность в надежной информации об опасных явлениях погоды, в том числе о максимальной скорости ветра [1,2].

С другой стороны, для улучшения результатов прогнозирования с помощью численных моделей, в которых используются характеристики приземного ветра, также необходимо иметь репрезентативные, не искаженные данные. Методы прогноза гроз, града, шквалов и интенсивных осадков основаны на определении, возможности реализации конвекции. Основная сложность в прогнозировании активной конвекции и ее динамики заключается в интенсивном взаимодействии процессов, имеющих различные масштабы во времени (от 10^2 до 10^5 секунд) и пространстве (от 10 до 10^6 м). Но, тем не менее, исследование особенностей формирования шквалистых порывов ветра,

наносящих значительный ущерб народному хозяйству РА, является актуальным [5].

Методы исследования

Наблюдательная сеть метеорологических станций регистрирует всего около 10% от общего количества шквалов. Многие случаи шквалов остаются, таким образом, незамеченными. Поэтому наши данные базируются на показаниях сети автоматизированных метеостанций, работающих в дискретном режиме с часовым интервалом [3].

Исходя из того, что возникновение шквалов связано с образованием и развитием кучево-дождевой облачности, прогноз шквалов разрабатывается в тех случаях, когда в соответствии с прогнозом синоптического положения ожидаются условия, благоприятствующие интенсивному развитию конвекции. Особенностью разработки прогноза шквалов является то, что кроме факта возникновения шквала необходимо также предсказать значение максимальной скорости ветра [4].

При анализе временных рядов метеоусловий по г. Сухум за период с 2012 по 2021 гг., рассматривали такие параметры, как давление, температура воздуха и скорость ветра. Проводился метод статистического анализа, где сравнивали естественный ход с модельным ходом.

Методы прогнозирования шквалов

Шквал по определению Всемирной метеорологической организации (ВМО) - увеличение скорости ветра более чем на 8 м/с в течение нескольких (от 3 до 20) секунд с сохранением минимальной скорости ветра 11 м/с в течение одной минуты. Продолжительность шквала обычно не превышает нескольких минут, но иногда шквал может длиться десятки минут. Перед прохождением шквала давление падает, при шквале резко растет, затем, по окончании шквала опять происходит резкое падение давления—«грозовойнос» на барограмме. При прохождении шквала также происходит падение температуры [3].

Опасные и особо опасные явления погоды, связанные с интенсивной конвективной деятельностью, отличаются большим многообразием, наносят значительный материальный ущерб и нередко приводят к гибели. Это вызывает необходимость глубокого, комплексного изучения условий возникновения и развития опасных конвективных явлений, особенностей их проявления в различных физико - географических районах и климатических зонах, совершенствование методов прогноза.

Методы прогноза шквалов тесно связаны с прогнозом интенсивной конвекции. В настоящее время методы прогнозов шквалов разделяются на:

1) статистические, полученные в результате статистической обработки многолетних рядов наблюдений, с последующим регрессионным или дискриминантным анализом. Эти методы в основном рассчитаны на применение на определенной территории.

2) физико-статистические, в основе которых находятся физические принципы развития активной конвекции и образования шквалов.

3) синоптические, в основном использующие данные о стратификации атмосферы.

Синоптический метод разрабатывался для прогноза шквалов с заблаговременностью до 24 ч. Предполагается, что перед расчетом прогноза дежурный синоптик анализирует синоптическую обстановку, определяя имеются ли благоприятные для развития шквалов условия: холодные фронты или волновые возмущения фронтов, центры циклонов. Наряду с благоприятными условиями для развития шквалов, известны неблагоприятные, при которых шквал, как правило, не развивается. В случае, если условия благоприятны для образования шквалов, рассчитываются предикторы: 1) $\Delta T_{\text{макс}} 0\text{с}^{\circ}\text{м}$ - разность между максимальной температурой у поверхности земли перед грозовым дождем и температурой $\theta 0w$ - нисходящего потока. Эта температура равна нулевой температуре смоченного термометра, приведенной адиабатически к поверхности земли. 2) Разность между максимальной приземной температурой и температурой на поверхности [5].

При анализе временных рядов метеоусловий по г. Сухум за период с 2012 по 2021 гг., сравнивались такие параметры, как давление, температура и скорость ветра [7,8].

Существуют 2 величины x , y которые характеризуют состояние атмосферы.

Для дальнейшей работы ведем обозначения:

P – давление

T – температура

f – влажность

$v - w$ – скорость ветра.

Запишем модель состояния атмосферы по x , y .

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = k_1 y, \\ \frac{dy}{dt} = -k_2 x \end{cases}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = k_1 \frac{dy}{dt} = -k_1 k_2 x \quad (1) - \text{уравнение гармонических колебаний.}$$

Так как $-k_1 k_2 = \omega_0^2$, то уравнение (1) запишется в следующем виде:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega_0^2 x \quad \text{уравнение гармонических колебаний.}$$

Проверим данное уравнение:

$$x = a \cos \omega_0 t + b \sin \omega_0 t,$$

$$x' = -\omega_0 a \sin \omega_0 t,$$

$$x'' = -\omega_0^2 a \cos \omega_0 t = -\omega_0^2 x.$$

Далее запишем уравнение вертикального потока, или уравнение движения.

$$\frac{dw}{dt} = g \frac{\Delta T}{T} = \frac{g}{T} (T - \bar{T})$$

T - температура, \bar{T} – средняя температура.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{dT}{dz} \cdot \frac{dz}{dt} = \frac{dT}{dz} \cdot w = -\gamma w.$$

dz – высота вертикали, $\frac{dz}{dt}$ – скорость.

T	T_1	T_2	T_3	...	T_n
t	1	2	3	...	n

Где t – года.

$$\Delta T = T - \bar{T}.$$

ΔT	ΔT_1	ΔT_2	...	ΔT_n
t	1	2	...	n

w	w_1	w_2	...	w_n
t	1	2	...	n

$\frac{d\Delta T}{dt}$	$\Delta T_2 - \Delta T_1$	$\Delta T_3 - \Delta T_2$...	$\Delta T_n - \Delta T_{n-1}$
t	1	2	...	n

Из статистики мы получаем модель для построения графика по ветру.

$$\begin{cases} y = a_0 + k_1 w \\ x = b_0 + k_2 \Delta T \end{cases}$$

будем считать, что $a_0 = 0, b_0 = 0$.

$$\begin{cases} y = k_1 w \\ x = k_2 \Delta T \end{cases} \quad \begin{cases} \left(\frac{dw}{dt} = k_2 \Delta T \right) \\ \left(\frac{d\Delta T}{dt} = -k_1 w \right) \end{cases}$$

где k_2 – полученный коэффициент корреляции.

$$\frac{d^2 w}{dt^2} = k_2 \frac{d\Delta T}{dt} = -k_1 k_2 w = -\omega_0 w, \quad \frac{d^2 \Delta T}{dt^2} = -\omega_0^2 \Delta T$$

$$\omega_0 = \sqrt{k_1 k_2}, \quad w = a \cos \omega_0 t + b \sin \omega_0 t, \quad t = 0, \quad w(0) = a.$$

где a – скорость в первый год (1999 г).

$$\frac{dw}{dt} = -a \omega_0 \sin \omega_0 t + b \omega_0 \cos \omega_0 t$$

$$\left(\frac{dw}{dt} \right)_{t=0} = b \omega_0, \quad \left(\frac{d\Delta T}{dt} \right)_0 = (k_2 \Delta T)_0 = b \omega_0$$

(0 – это первый год, 1999 г).

$$b = \frac{(k_2 \Delta T)_0}{\omega_0} = \frac{k_2}{\sqrt{k_1 k_2}} \cdot (\Delta T)_0 = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} (\Delta T)_0$$

$$w = w(0) \cdot \cos \omega_0 t + \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} \cdot (\Delta T)_0 \cdot \sin \omega_0 t \quad (1)$$

Далее построим для ветра график по формуле (1).

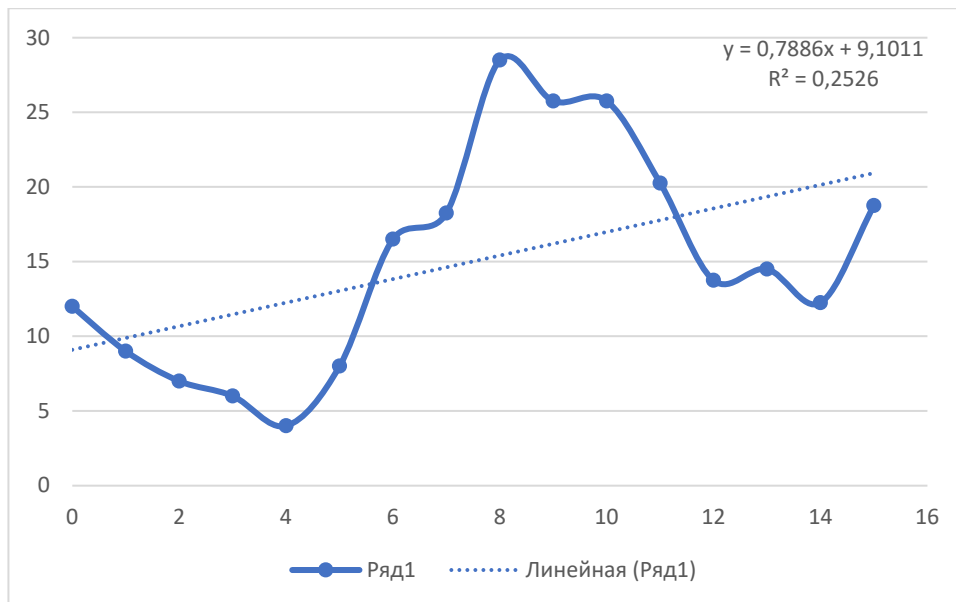


Рис.1. Распределение шквальных ветров

Прделаем данную работу также для построения модели температуры.

$$\frac{d^2\Delta T}{dt^2} = -k_1 \frac{dw}{dt} = -k_1 k_2 \Delta T = -\omega_0^2 \Delta T \quad \frac{d^2\Delta T}{dt^2} = -\omega_0^2 \Delta T$$

$$\Delta T = c \cos \omega_0 t + d \sin \omega_0 t, \quad t = 0, (\Delta T)_0 = c$$

$$\frac{d\Delta T}{dt} = -c\omega_0 \sin \omega_0 t + d\omega_0 \cos \omega_0 t, \quad \left(\frac{d\Delta T}{dt}\right)_0 = \omega_0 d = -k_1 (w)_0$$

$$d = -\frac{k_1}{\omega_0} (w)_0 = \frac{k_1}{\sqrt{k_1 k_2}} \cdot w_0 = -\sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \cdot w_0$$

$$\Delta T = (\Delta T)_0 \cos \omega_0 t - \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \cdot \omega_0 \cdot \sin \omega_0 t (2)$$

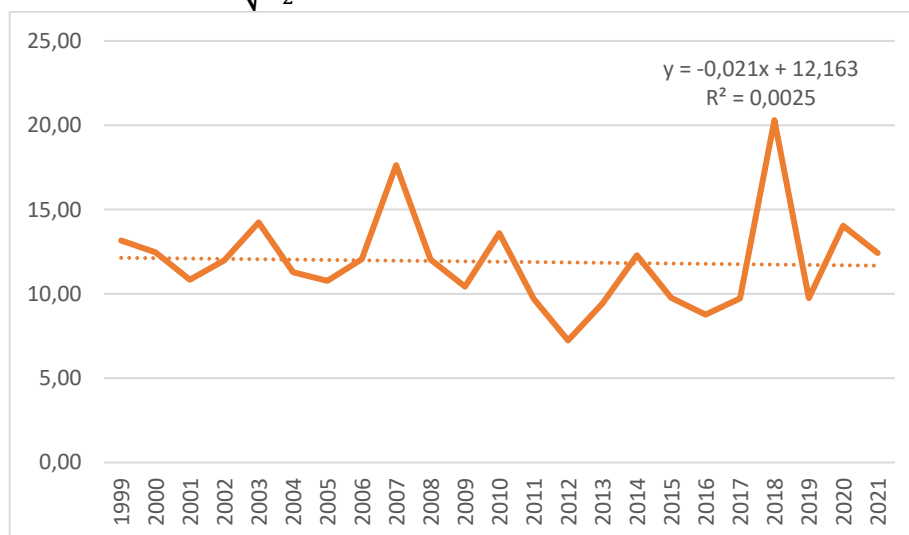


Рис.2. Распределение температуры при шквале

Был применён метод статистического анализа (R-анализ): рассчитывались средние и максимальные значения скорости ветра, строились сравнительные графики. Расчёты проводились по формуле:

$$w = w(0) \cdot \cos \omega_0 t + \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} \cdot (\Delta T)_0 \cdot \sin \omega_0 t \quad (3)$$

где $w(0)$ - скорость ветра за первый год, ω – частота, k_1, k_2 – коэффициенты корреляции, ΔT_0 – температура воздуха за первый год.

Далее строим для ветра график по формуле (3).

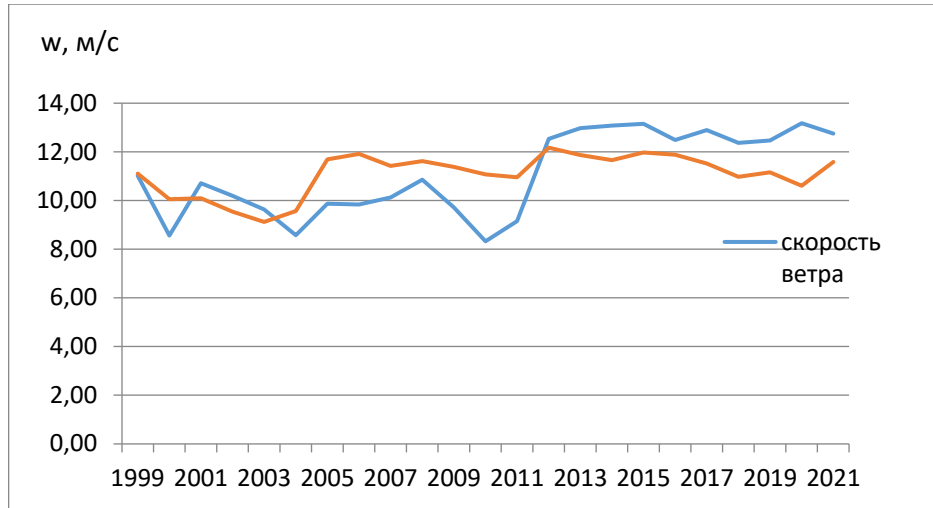


Рис.3. Естественный и модельный ход скорости ветра

Полученная математическая модель позволяет определить закономерные связи 3-х климатических параметров (t, P, f). Определить, степень влияния и закономерность развития необходимых для прогнозирования шквальных ветров. На графике мы видим естественный ход и модельный у нас совпадают. Это один из способов моделирования.

Выводы

1. Большинство методов прогноза конвекции основано на прямом или косвенном определении энергии неустойчивости. Однако, следует отметить, что трудность в точном определении начала конвекции состоит в том, что присутствие энергии неустойчивости не является достаточным условием инициализации конвекции.

2. Шквалы, особенно самые сильные, происходят на холодных фронтах. Однако, нет ни одного автоматизированного метода прогноза шквалов, в котором присутствовал бы расчет фронтальных зон.

3. Физико-статистические модели, по всей видимости, являются наиболее надёжными методами среднесрочного и долгосрочного прогнозирования шквалов.

Список литературы

1. Ахсалба А.К. Основные особенности климата последних десятилетий территории Абхазии//Материалы XII Международного симпозиума «Проблемы экоинформатики». М.: МНТОРЭС, 2016. – С. 120-124.
2. Ахсалба А.К., Пачулия Э.В. Особенности формирования шквалов на территории Абхазии/ тезисы докладов (молодежная секция) Луганск: изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2018. – 24 с.

3. Ахсалба А.К., Пачулия Э.В., Ветровой режим атмосферы на территории Абхазии. Материалы V Международной научно-практической конференции. Ч. 2. Изд-во, МГТУ, Майкоп, 2019. С. 95-102.
4. Алексеева АА. Метод прогноза сильных шквалов // Метеорология и гидрология. – №9. –2014. –С. 5-15.
5. Багров А.Н., Быков Ф.Л., Гордин В.А.Схема оперативного краткосрочного комплексного прогноза ветр. // Метеорология и гидрология. – 2018. – № 7. – С. 19-28.
6. Куфтырёва Н.С., Лашхия Ш.В., Мгеладзе К.Г., Природа Абхазии, Сухум, 1961, 340 с.
7. Песков Б. Е., Снитковский А. И. «К прогнозу сильных шквалов. // Метеорология и гидрология.» – 1968. – № 7. – С. 52 – 57
8. Поморцева А.А., Калинин Н.А., «Аналитический обзор современного состояния исследований шквалов. Условия и возникновения, методы диагноза и прогноза». 2016 г.
9. Экба Я.А., Ахсалба А.К., Физическая экология атмосферы. Сухум «Академия» 2018. – 431 с.
10. Braginsky A.Y. *Plane vortex motion of a continuous medium. Description of air rotation in cyclones and anticyclones.*Z. Angew. Math. Phys. 70, 177 2019.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТОКСИЧНОСТЬ ТЕТРАЦИКЛИНА ПО СТЕПЕНИ ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОСТИ КАТАЛАЗЫ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО

Е.А. Попова, Ю.В. Акименко

elpopova00@mail.ru

*Южный федеральный университет, Академия биологии
и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Россия, г. Ростов-на-Дону*

Аннотация. В модельных лабораторных экспериментах проведена оценка влияния температуры (20–22°C, 30°C, 0–5°C) на токсичность антибиотика тетрациклина (концентрации 10, 100 и 1000 мг/кг) по степени изменения активности каталазы чернозема обыкновенного.

Достоверное влияние, проявляющееся наибольшим ингибированием активности фермента, наблюдается при загрязнении чернозема обыкновенного тетрациклином в концентрации 1000 мг/кг почвы. Изменение условий инкубации, повышение и понижение температуры, приводит к снижению токсического воздействия антибиотика на активность каталазы.

Ключевые слова. Загрязнение, чернозем обыкновенный, тетрациклин, каталаза, температура.

Проблема влияния антибиотиков на почвы в последние годы стала очень актуальной. Современное производство продуктов питания и лечение, а также профилактика животных предполагают широкое использование антибиотиков, которые в итоге могут накапливаться в объектах окружающей среды, в т. ч. почвах и негативно влиять на функционирование экосистемы.

Одной из главных проблем является негативное влияние антибиотиков на микробные популяции почв, так как стабильность почв зависит именно от микробных сообществ, выполняющих такие функции, как утилизация органического вещества, преобразование минеральных элементов в доступную форму для растений, обогащение и поддержание ферментативного пула почв и так далее.

Тетрациклин относится к биосинтетическим антибиотикам тетрациклинового ряда, в настоящее время широко применяемым во всем мире и в медицине, и в сельском хозяйстве. Увеличение масштабов антибиотиков, применяемых в сельском хозяйстве, способствует их накоплению в экосистемах и увеличению патогенных микроорганизмов резистентных к ним, что повышает уязвимость экосистем [7]. Все это может привести к экологической катастрофе и остро влиять на здоровье людей и животных. Поэтому важно предпринимать меры по снижению использования антибиотиков и ограничивать их концентрацию в почвах. Таким образом, изучение влияния антибиотиков на почвы является актуальной проблемой, требующей серьезного внимания и мер для минимизации их отрицательного воздействия на экосистемы и здоровье людей.

Деградация антибиотиков - это процесс разложения антибиотиков, с помощью живых организмов, а также под влиянием среды, в которой находится антибиотик. Температура оказывает значительное влияние на разложение антибиотических препаратов. Например, установлено, что компостирование позволяет снизить концентрацию антибиотика окситетрациклина на 95% уже в первые 6 суток, когда в обычных условиях период полураспада составляет 30 суток [8].

Целью данной работы является изучение влияния разных температур на активность тетрациклина в черноземе обыкновенном по степени изменения активности фермента каталазы. В лабораторных условиях моделировали загрязнение почвы (чернозем обыкновенный, Ботанический сад ЮФУ, Ростов-на-Дону) тетрациклином.

Воздушно-сухие образцы почвы обрабатывали раствором антибиотика в концентрациях 10, 100 и 1000 мг/кг почвы. Инкубировали образцы при комнатной температуре (20–22°C), высокой (30°C) и пониженной температуре (0–5°C). Исследования проводили через 30 суток после загрязнения. Контролем служили образцы почвы, не загрязненные антибиотиком. Концентрации и сроки инкубации были выбраны на основе литературных данных и ранее проведенных рекогносцировочных исследований [1-5].

В качестве исследуемого показателя был выбран фермент каталаза. Данный фермент распространён в клетках большинства живых организмов, так как отвечает за разрушение перекиси водорода, выполняя антиоксидантную функцию [6]. Активность фермента определяется по количеству выделяющегося в ходе взаимодействия пероксида водорода с почвой кислорода.

Результаты исследования показали, что в токсическое воздействие тетрациклина зависит от его концентрации, увеличение концентрации приводит к большему ингибированию активности каталазы черноземе. Наибольшее воздействие, выражающееся в снижении активности фермента на 25% от контроля, наблюдается при загрязнении почвы тетрациклином в концентрации 1000 мг/кг при комнатной температуре (20–22°C) (рис.), аналогичные результаты были получены и в других исследованиях, проводимых с антибиотиками ампициллином, стрептомицином и тилозином [1].

Понижение и повышение температурного режима инкубации загрязненных тетрациклином образцов почв, приводит к снижению токсического воздействия антибиотика на активность каталазы. При повышении температуры до 30°C наблюдается снижение токсического действия тетрациклина на активность каталазы в 2 раза по сравнению с инкубацией при комнатной температуре, что связано с инактивацией антибиотика и разложением его на метаболиты, не обладающие выраженным токсическим эффектом. При инкубировании образцов почвы, загрязненных тетрациклином, в условиях низких температур (0–5°C) не установлено достоверного токсического эффекта воздействия тетрациклина на активность каталазы, что скорее всего, связано с жизнедеятельностью и

функционированием микроорганизмов, переходящих в неактивное споровое состояние при низких температурах.

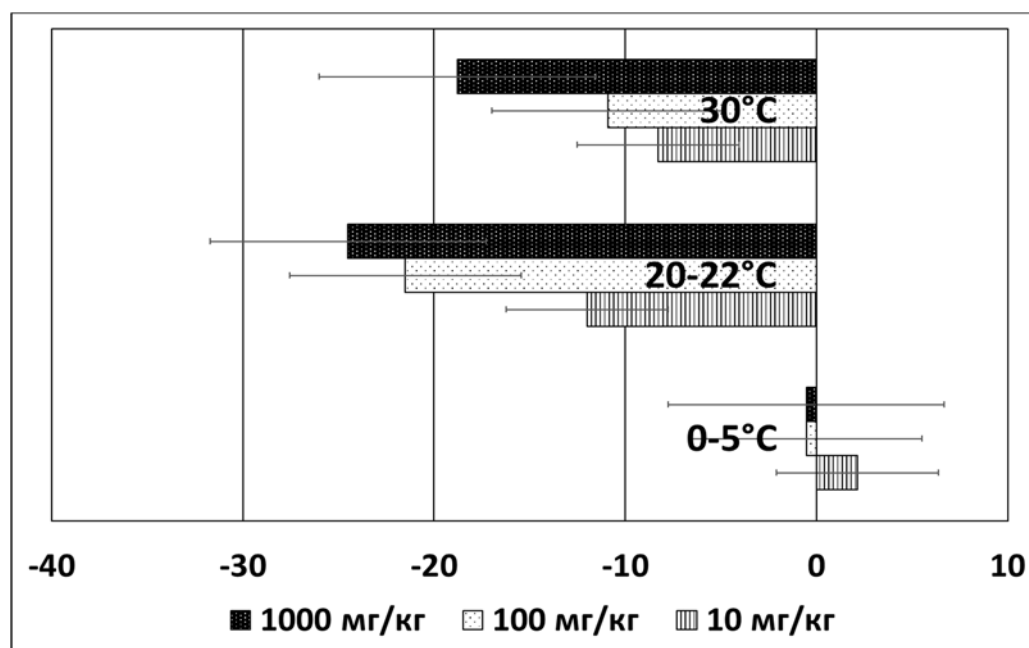


Рис. Изменение активности каталазы загрязненного тетрациклином чернозема обыкновенного в условиях разных температур (% от контроля)

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых - кандидатов наук (МК 2085.2022.1.4).

Список литературы

1. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние загрязнения антибиотиками на биологические свойства чернозема обыкновенного: монография / Ю.В. Акименко, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников; Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. - 154 с.
2. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Козунь Ю.С., Мясникова М.А., Одабашьян М.Ю., Николаева К.Н., Тимошенко А.Н. Устойчивость микроорганизмов чернозема к загрязнению антибиотиками в условиях полевого модельного опыта // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 104. С. 135-148.
3. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Козунь Ю.С., Мясникова М.А. Изменение биологических свойств чернозема обыкновенного североприазовского при загрязнении современными биоцидами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 18, №2 (2), 2016. С. 276-279.
4. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Мазанко М.С. Экологические последствия загрязнения почв антибиотиками // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т.15. № 3. С. 1196.
5. Акименко Ю.В., Чуvaraева О.В., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Минникова Т.В. Оценка экологического состояния основных почв юга России в условиях загрязнения антибиотиками: монография / Ю. В. Акименко, О. В. Чуvaraева, С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, Т.В. Минникова; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2019. – 114 с.
6. Казеев К. Ш., Колесников С. И., Акименко Ю. В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем: монография / [К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, Ю. В.

Акименко, Е. В. Даденко]; Южный федеральный университет; отв. ред. К. Ш. Казеев. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2016. – 356 с.

7. Мирошникова М. С. и др. Применение антибиотиков в сельском хозяйстве и альтернативы их использования //Аграрный научный журнал. – 2021. – №. 5. – С. 65-70.

8. Arikan O. A. et al. Composting rapidly reduces levels of extractable oxytetracycline in manure from therapeutically treated beef calves //Bioresource technology. – 2007. – Т. 98. – №. 1. – С. 169-176.

ВИДОВОЙ СОСТАВ ДЕНДРОФЛОРЫ ГОРОДА ГЕЛЕНДЖИКА (ЧЕРНОМОРСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ РОССИИ)

¹Ю.А. Постарнак, ²С.В. Жаворонков

ecopost@mail.ru

¹Кубанский государственный университет, Россия, г. Краснодар

²ООО «ДорСтройИнжиниринг», Россия, г. Краснодар

Аннотация. В статье представлены результаты анализа видового состава дендрофлоры города Геленджика. Древесная флора города Геленджика представлена 110 видами, которые относятся к 75 родам и 35 семействам. Преобладающая часть дендрофлоры представлена покрытосеменными растениями (82,7%), голосеменными – 13,7%. В дендрофлоре зеленых насаждений города наиболее широко представлены семейства *Rosaceae*, *Cupressaceae*, *Fabaceae* (44 %). Анализ видового состава в зависимости от доли участия показал, что аборигенная фракция дендрофлоры преобладает над культурной, что свидетельствует о ее видовом богатстве. средиземноморскими географическим элементом. Ведущее место в количественном спектре занимают редкие средиземноморские виды: сосна пицундская (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) (21 %), махалебка обыкновенная (*Padellus mahaleb* (L.) Vassilcz.) (7%), фисташка туполистная (*Pistacia tatica* Fisch. & C.A. Mey.) (2,1 %), что отражает специфику дендрофлоры города Геленджика.

Ключевые слова. Дендрофлора, видовой состав, редкий вид, урбанофлора, курорт Геленджик, Краснодарский край, Черноморское побережье России, Северо-Западное Закавказье

Город Геленджик – один из крупнейших и привлекательных климатических курортных городов Черноморского побережья России (Краснодарский край). Территория нынешнего Геленджика были заселены еще с древних времен. В настоящее время он активно развивается, стремительно расширяется рекреационная, транспортная и инженерная инфраструктура. Вовлекаются в хозяйственный оборот прилегающие природные экосистемы [22].

Древесные насаждения выполняют важную экосистемную функцию у урбоэкосистеме (пылегазоочищающую, климаторегулирующую, почвозащитную) [6]. Актуальность исследований подтверждают множество работ [1, 2, 4, 18, 20, 21, 23, 24, 28-31]. Геленджик, по мнению ряда экспертов, считается самым зеленым городом Южного федерального округа, однако детальных данных о видовом составе зеленых насаждений недостаточно. Дендрофлора города Геленджика специально не изучалась. Имеется работа по дендрофлоре Краснодарского края [14], а также ряд работ по отдельным таксонам города Геленджика [3, 10], проводится инвентаризация древесных насаждений администрацией города [13.]

Целью работы изучение современного видового состава древесно-кустарниковой флоры на территории города Геленджика.

Характеристика района исследования

Согласно физико-географическому районированию Северного Кавказа [7] район относится к Анапа-Геленджикскому округу, Северо-Черноморской провинции, занимающей северную часть Черноморского побережья России от Анапы до Туапсе. Район является самым крайним, северным районом сухих субтропиков на Северном Кавказе с характерным редиземноморским режимом климата, сухим теплым летом и дождливой, сравнительно мягкой зимой [8]. Почвенный покров в городе Геленджик представлен зональными коричневыми почвами и азональными дерново-карбонатными (рендзины). Почвы территории города поверхности представлены литостратами и урбиквазиземами [12]. В геоботаническом отношении территория города Геленджика относится к Анапо-Геленджикскому району Северо-Западного Закавказья [5]. Он характеризуется развитием субсредиземноморских экосистем и нагорно-ксерофитной растительности, ядро которой составляют субсредиземноморские виды растений. Здесь сконцентрировано древнее средиземноморское биотическое ядро, хотя и несколько обедненное средиземноморской флорой [16]. Он отличается присутствием ряда родов, не встречающихся в области европейских широколиственных лесов (*Colutea*, *Rhus*, *Vitex*, *Paliurus*, *Ruscus*, *Pistacia*, *Celtis*, *Jasminum*).

Первичными растительными сообществами на территории города Геленджика являлись сосновые и дубово-грабинниковые леса, фрагменты которых сохранились в настоящее время в щелях и балках, повсеместно расположенных на территории города. Они играют важную роль рефугиумов естественной флоры. В настоящее время растительность на территории Геленджика изменена, его составляют антропогенно-трансформированные типы растительности: искусственные лесонасаждения паркового и аллеяного типа, видовой состав которых определяется человеком, а также спонтанными типами растительности, формируемые синантропным компонентом флоры (сообщества пустырей, обочин дорог, строительных и промышленных площадок). В классификации антропогенно трансформированных сообществ относится к типу урбанофлора. Спецификой древесных зеленых насаждений города Геленджика является редкий эндемичный реликтовый вид – сосна пицундская, получившая широкое распространение в озеленении города в 1960-70 гг. Сегодня этот вид можно назвать «визитной карточкой» курорта. Она имеет повсеместное произрастание в городе и выполняет важнейшие экологические функции. Вид является неприхотливой к почвенному плодородию породой, пыле- и газоустойчивой. Как литоральный кальцефильный вид, сосна пицундская требовательная к повышенному содержанию кальция. Поэтому на территориях с выходами материнских кальцефильных пород вид имеет активное возобновление и формирует устойчивый подрост.

Материалы и методы исследования

В основу работы положены материалы флористических исследований, проведенных в 2021-2022 гг. на территории города Геленджик Краснодарского края (Россия). Исследованиями охвачены 20 га древесных насаждений.

Использовался маршрутный метод и метод трансект. Всего было заложено 30 трансект протяжённостью 0,15-2,16 км шириной 5-20 м (рис.1). Общая протяженность трансект составила 18 км. Маршрутами были охвачены все основные экотопы природных (естественные лесные насаждения на окраинах городской черты в районе Голубой бухты) (рисунок) и антропогенных местообитаний на территории города. (17 крупнейших улиц, в том числе ул. Набережная, пансионаты, придомовых территории частных домовладений, спонтанная растительность обочин дорог и пустырей).



Рис. 1. Схема маршрутов исследования

На трансектах осуществлялся абсолютный учет численности всех древесно-кустарниковых пород. Оценивались диаметр ствола, высота дерева и кустарника, ширина проекции кроны, санитарное состояние. Особое внимание уделялось редким видам, для которых учитывался возобновление и подрост.

По материалам полевых исследований составлен список дендрофлоры г. Геленджика. Латинские названия растений приведены по сводке С.К. Черепанова [25]. Эколого-биологические особенности и ареалы распространения видов уточнены по монографиям А.С. Зернова [9], А.Л. Иванова (2019) [11], С.А. Литвинской, Р.А. Муртазалиева [15]. Анализ дендрофлоры проводился по общепринятым в сравнительной флористике методикам [27].

Результат и обсуждение

Объект исследования – культурная и спонтанная дендрофлора города Геленджика (рис. 2, 3). Видовой состав выявленных нами древесных растений города Геленджика насчитывает 110 видов и гибридов. Из них на голосеменные приходится 19 видов (17,3 %), на покрытосеменные – 91 вид (82,7 %). Систематический состав таксонов, выявленных в составе дендрофлоры г. Геленджика, приведен в табл. 1.



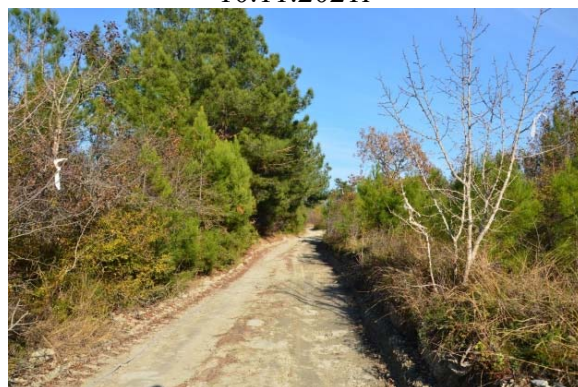
Склон вдоль трассы 03К-555 около СНТ Виноградарь-3. Дата снимка 11.12.2021г



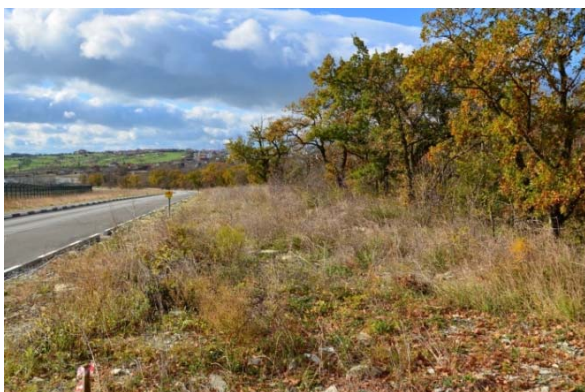
Лесополоса вдоль трассы 03К-555 (Поэтическая улица, 80Б). Дата снимка 10.11.2021г



Спонтанная растительность линейного типа, ул. Взлётная, 3. Дата снимка 14.11.2021г



Ул. Железноводская, прилегающий к придомовым территориям жилого сектора.. Дата снимка 15.11.2021г

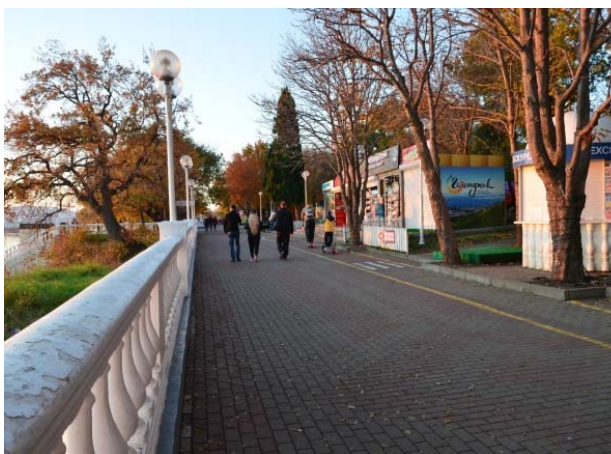


Пустырь в районе аэропорта. Дата снимка 10.11.2021г

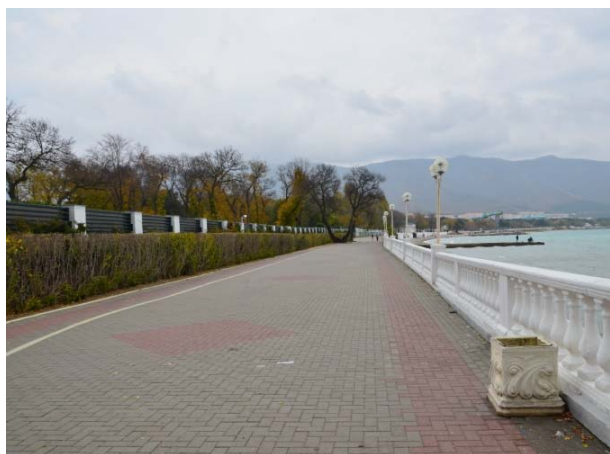


Территория пустыря на месте бывшего виноградника между ул. Туристическая и ул. Солнцедарская. Дата снимка 15.12.2021г.

Рис. 2. Спонтанная дендрофлора в г. Геленджике



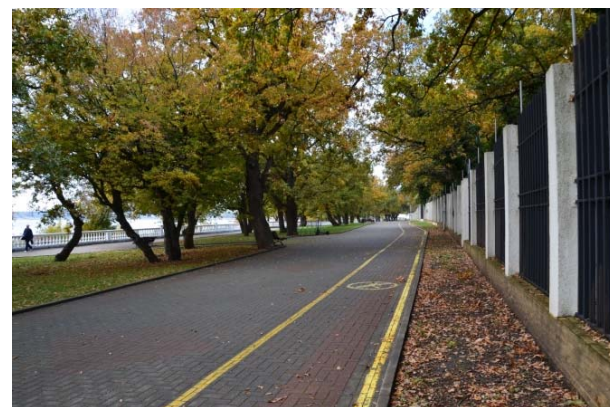
Набережная: район аттракционов (ул. Луначарского, 129А).



Набережная: Туристическая улица, 27А.



Набережная. Насаждения сосны пицундской: Туристическая улица, 19.



Насаждения из дуб пушистый (*Quercus pubescens* Willd.) на ул. Набережная

Рис. 3. Культурная флора г. Геленджика

Таблица 1

Систематический состав дендрофлоры города Геленджика

	Количество семейств	% от общего количества семейств	Количество родов	% от общего количества родов	Количество видов	% от общего количества видов
Голосеменные	2	5,7	8	10,7	19	17,3
Покрытосеменные	33	94,3	67	89,3	91	82,7
Итого	35	100	75	100	110	100

Детальный систематический анализ культивируемой дендрофлоры представлен в табл. 2, на которой приведено количество родов и видов в каждом из семейств. Лидирующими по числу видов являются семейства *Rosaceae*, *Cupressaceae*, *Fabaceae*, на долю которых приходится третья часть (44 вид; 40 %) видового состава рассматриваемой дендрофлоры. Преобладающая роль *Rosaceae* является характерной особенностью дендрофлор умеренной климатической области Голарктики [19]. Высокое участие *Cupressaceae* объясняется высокой долей участия хвойных экзотов в дендрофлоре города. А вот семейство *Salicaceae*, входящее в тройку семейств

большинства городов, занимает в Геленджике только 11 место. Также отличием дендрофлоры города Геленджика от аналогичных флор прочих городов является низкое участие семейств, представленных 2-4 видами (13 семейств; 11,8 %) и монотипных семейств (16 семейств; 14,5 %), где данные показатели достигают 50-60 %.

Таблица 2

Систематический анализ дендрофлоры города Геленджика

Семейство	Количество, шт.		Количество, шт.		Семейство	Количество, шт.		Количество, шт.	
	видов	процент	родов	процент		видов	процент	родов	процент
Aceraceae	2	1,82	1	0,91	Magnoliaceae	1	0,91	1	0,91
Agavaceae	2	1,82	1	0,91	Malvaceae	1	0,91	1	0,91
Anacardiaceae	3	2,73	3	2,73	Moraceae	4	3,64	3	2,73
Araliaceae	1	0,91	1	0,91	Oleaceae	6	5,45	6	5,45
Berberidaceae	2	1,82	1	0,91	Pinaceae	6	5,45	3	2,73
Betulaceae	4	3,64	3	2,73	Platanaceae	1	0,91	1	0,91
Bignoniaceae	1	0,91	1	0,91	Punicaceae	1	0,91	1	0,91
Caprifoliaceae	3	2,73	1	0,91	Ranunculaceae	1	0,91	1	0,91
Celastraceae	1	0,91	1	0,91	Rhamnaceae	2	1,82	1	0,91
Cornaceae	2	1,82	2	1,82	Rosaceae	24	21,82	15	13,64
Cupressaceae	13	11,82	5	4,55	Salicaceae	5	4,55	2	1,82
Ebenaceae	2	1,82	1	0,91	Simaroubaceae	1	0,91	1	0,91
Fabaceae	7	6,36	7	6,36	Tamaricaceae	1	0,91	1	0,91
Fagaceae	2	1,82	1	0,91	Tiliaceae	2	1,82	1	0,91
Hippocastanaceae	1	0,91	1	0,91	Ulmaceae	2	1,82	1	0,91
Hydrangeaceae	1	0,91	1	0,91	Viburnaceae	1	0,91	1	0,91
Juglandaceae	1	0,91	1	0,91	Vitaceae	3	2,73	1	0,91
Lamiaceae	1	0,91	1	0,91	Итого	35	31,82	75	68,18

Древесная растительность города Геленджика складывается из представителей: 1) дикорастущей фракции флоры (64,2 % от всей флоры), включающую как аборигенные, так и натурализирующиеся культивируемые виды; 2) интродуцированные – культивированные интродуценты и виды аборигенной флоры (35,8 %). Дикорастущая фракция дендрофлоры Геленджика включает в себя аборигенный (58 видов; 52,7 %) и натурализирующийся (адвентивный) компонент (9 видов; 8,2 %).

Анализ количественного состава видов древесных растений показал явное преобладание представителей аборигенной фракции дендрофлоры. На рис. 4 представлено соотношение доминирующих видов дендрофлоры, составляющих 72 % от всех учтенных 18897 экземпляров древесно-кустарниковых насаждений. Наибольшую встречаемость имеют из древесных жизненных форм – сосна пицундская (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) и ясень высокий (*Fraxinus excelsior* L.), из кустарниковых – держи-дерево и махалебка обыкновенная (*Padellus mahaleb* (L.) Vassilcz.).

Сосна пицундская (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) и махалебка обыкновенная (*Padellus mahaleb* (L.) Vassilcz.) являются редкими видами, занесенными в Красную книгу РФ и Краснодарского края, как

средиземноморские аборигенные виды. Это свидетельствует об оригинальности и специфичности видового состава древесных насаждений города Геленджика. Также из краснокнижных видов растений на территории города Геленджика произрастает фисташка туполистная (*Pistacia mutica* Fisch. & С.А. Меу.), насчитывающая 388 экз. различных возрастных групп (2,1 от дендрофлоры), некоторые экземпляры которой достигают диаметра более 60 см.

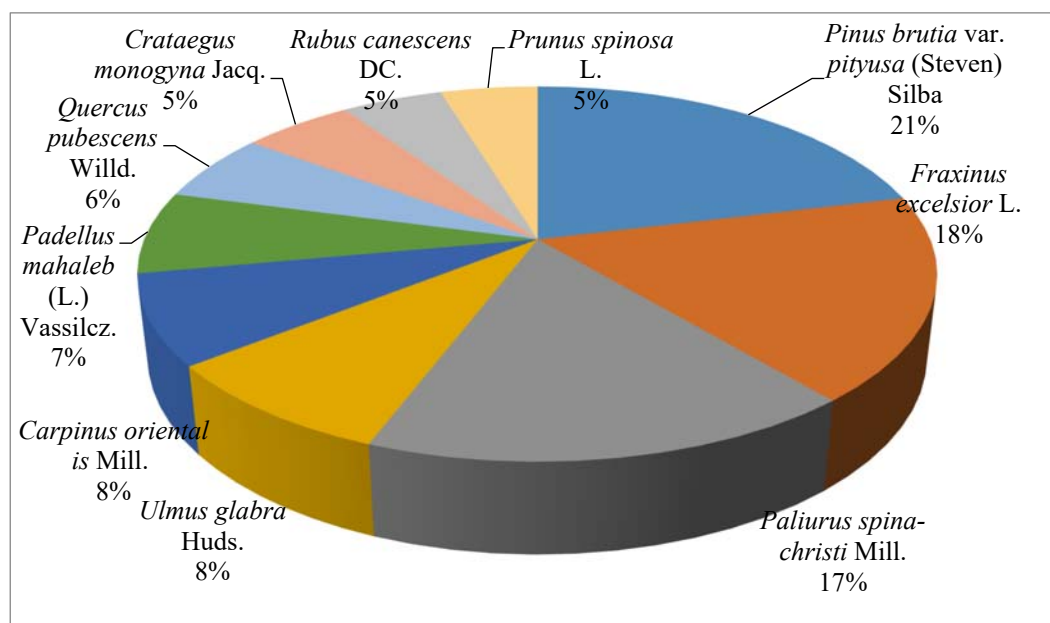


Рис. 4. Процентное соотношение ведущих видов древесных растений в древесных насаждениях города Геленджика

Выводы

На основе анализа 18897 экземпляров древесно-кустарниковых насаждений города Геленджика было установлено произрастание 110 видов дендрофлоры. Наиболее широко представлены семейства Rosaceae, Cupressaceae, Fabaceae (44 %). Отмечается преобладание представителей аборигенной фракции над культурной, что говорит о ее видовом богатстве. Анализ видового состава древесных растений в зависимости от доли их участия в дендрофлоре выявил, что наибольшее количество древесных растений приходится на аборигенную фракцию. Это свидетельствует об устойчивости зеленых насаждений в городской среде, выполнении ими экологических функций, имеющими особое важное значение для курортного города. Анализ качественного и количественного состава дендрофлоры Геленджика показал ее оригинальный характер. Специфику дендрофлоры города Геленджика составляет широкое участие в ее составе таких средиземноморских видов как сосна пицундская (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba) (21%), махалебка обыкновенная (*Padellus mahaleb* (L.) Vassilcz.) (7%), фисташка туполистная (*Pistacia mutica* Fisch. & С.А. Меу.) (2,1%), являющимися редкими охраняемыми видами. Все зарегистрированные экземпляры редких краснокнижных видов растений необходимо взять на учет органам административной власти.

Список литературы

1. Аркушина Г. Ф., Гулай О. В. Особливості дендрофлори кіровограда та її значення в оптимізації міського середовища // Науковий вісник НЛТУ України. – 2010. – Т. 20. – №. 14. – С. 39-43.
2. Байрамян, Л. Е. Применение аборигенных и интродуцированных видов дендрофлоры в озеленении города Ваназор / Л. Е. Байрамян, Н. Г. Шекоян // *Universum: химия и биология*. – 2021. – № 3-1(81). – С. 17-20.
3. Бондаренко, С. В. Некоторые редкие виды растений города Геленджика / С. В. Бондаренко // Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана: Сборник тезисов II Всероссийской научно-практической школы-конференции, пгт. Курортное, 28 сентября – 02 2020 года. – пгт. Курортное: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Институт природно-технических систем”, 2020. – С. 39-40.
4. Борзенкова, Т. Г. Исследование аборигенной дендрофлоры города Хабаровска / Т. Г. Борзенкова // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2021. – № 20-1. – С. 70-75. – DOI 10.14258/pbssm.2021015.
5. Ботанико-географическое районирование Кавказа. Карты районов флоры Кавказа и указания общего распространения видов // Конспект флоры Кавказа / Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, 2014: <https://www.binran.ru/resursy/informatsionnyye-resursy/tekuschie-proekty/caucasian-flora/contentkav/departments.php> (дата обращения 15.04.2023)].
6. Бухарина И.Л., Поварницина Т.М., Ведерников К.Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: монография / И.Л. Бухарина, Т.М. Поварницина, К.Е.Ведерников. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. – 216 с.
7. Гвоздецкий, Н. А. Физико-географическое районирование [Текст] / Н. А. Гвоздецкий, Т. А. Смагина // Природные условия и естественные ресурсы / под ред. Ю. П. Хрусталева. – Изд. РГУ, 1986. – С. 300-338
8. ГОСТ 16350-80. Климат СССР районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1981. 150 с. GOST 16350-80. Klimat SSSR raionirovanie i statisticheskie parametry klimaticheskikh faktorov dlya tekhnicheskikh tselei [GOST 16350-80. Climate of the USSR. Regionalism and statistical parameters of climatic factors for technical purposes]. Moscow, Publ. of USSR State Committee for Standards, 1981. 150 p. (In Russian).
9. Зернов, А. С. Иллюстрированная флора юга Российского Причерноморья / А. С. Зернов. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2013. – 588 с.
10. Иванкина, Н. Ф. Исследование состояния пицундской сосны в городе Геленджике / Н. Ф. Иванкина, Т. И. Кузьмина, Е. В. Соловьева // Потенциал и перспектива современной науки: Материалы Всероссийской научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых. Посвящается 20-летию со дня Рождения филиала КубГУ г. Геленджика, Геленджик, 19 января 2016 года / Ответственный редактор Кузьмина Т. И. – Геленджик: Краснодарский центр научно-технической информации, 2016. – С. 66-69.
11. Иванов А.Л. Конспект флоры Российского Кавказа (сосудистые растения). - Ставрополь: Изд-во СКФУ 2019. – 341 с.
12. Информационно-справочная система по классификации почв России v1.0 // <http://infooil.ru/index.php?pageID=opr-77> (дата обращения 15.04.2023)].
13. Информация о зеленых насаждениях города-курорта Геленджика // Администрация города Геленджика: официальный сайт. <https://admgei.ru/about/inspections/result/39730/> дата обращения 25.04.2023.
14. Литвинская С.А. Экологическая энциклопедия деревьев и кустарников (экология, география, полезные свойства). Краснодар: Изд-во «Традиция», 2006. 360 с.
15. Литвинская, С. А. Кавказский элемент во флоре Российского Кавказа: география, созология, экология / С. А. Литвинская, Р. А. Муртазалиев. – Краснодар, 2019. – 439 с.

16. Литвинская, С. А. Субсредиземноморье Черноморского побережья Кавказа – горячая точка сохранения биоразнообразия России / С.А. Литвинская // Экология и природопользование: материалы Международной. научно-практической конференции (г. Магас, 21–23 октября 2020 г.). – Назрань, ООО «КЕП», 2020. – С. 399–406.
17. Литвинская, С.А. Экологические проблемы Азово-Черноморских прибрежных зон / С.А. Литвинская // Астраханский вестник экологического образования. – Астрахань: Издательство Нижневолжский экологический центр, 2020. – С. 38–44.
18. Магомедова, М. А. К вопросу о разнообразии дендрофлоры города Махачкалы и её значении для озеленения / М. А. Магомедова // Вестник Социально-педагогического института. – 2014. – № 2(10). – С. 27-33.
19. Молганова Н. А., Овеснов С. А. (2018). Анализ дендрофлоры г. Перми. Вестник Пермского университета. Серия Биология, (1), 16–23. <https://press.psu.ru/index.php/bio/article/view/1904>.
20. Падутов, А. Е. Дендрофлора города Гомеля / А. Е. Падутов, В. С. Исаков, Н. В. Мальцева // Проблемы лесоведения и лесоводства: сборник научных трудов / Национальная академия наук Беларуси, Институт леса. Том Выпуск 76. – Гомель: Институт леса Национальной академии наук Беларуси, 2016. – С. 445-449.
21. Полякова, Е. В. Дендрофлора города Владивостока / Е. В. Полякова // Комаровские чтения. – 2005. – № 51. – С. 154-175.
22. Прибрежные геосистемы в пространстве и времени: по материалам Краснодарского края: Монография / коллектив авторов. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2017. – 275 с.
23. Структурный анализ дендрофлоры города Грозный / М. Х. Алихаджиев, Р. С. Эржапова, Н. А. Багрикова, А. С. Третьякова // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2019. – № 133. – С. 115-122. – DOI 10.36305/0513-1634-2019-133-115-122.
24. Халатян, А. С. Комплексный флористический анализ дендрофлоры города Ставрополя / А. С. Халатян // Перспективы развития научных исследований в 21 веке : сборник материалов 6-й Международной научно-практической конференции, Махачкала, 31 октября 2014 года. – Махачкала: Общество с ограниченной ответственностью "Апробация", 2014. – С. 30-32.
25. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб .: Мир и семья , 1995. 992 с.
26. Чиндяева, Л.Н. Древесные растения в озеленении сибирских городов / Л.Н. Чиндяева, М.А. Томошевич, А.П. Беланова, Е.В. Банаев ; под общ. ред. Е.В. Банаева ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Центральный сибирский ботанический сад. – Новосибирск : Академическое изд-во "Гео", 2018. – 457 с. – DOI: 10.21782/B978-5-9909584-3-2
27. Юрцев Б . А ., Камелин Р . В . Основные понятия и термины флористики : учеб . пособие по спецкурсу . Пермь , 1991. 80 с .
28. Boiko, T. O., & Dementieva, O. I. (2018). The tree vegetation of the Kherson State Agrarian University Arboretum. Ukrainian journal of ecology, 8(2), 120-127.
29. Dudyn, R. B. Cultivated dendroflora of Uzhhorod city / R. B. Dudyn, O. M. Bagatskaya, N. I. I. Rosul // Биоресурсы и природопользование. – 2020. – Vol. 12, No. 1-2. – P. 56-63. – DOI 10.31548/bio2020.01.007.
30. Klimko M., Kaczmarek G. Dendroflora of the town of Jarocin //Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Botanika-Steciana. – 2006. – Т. 10.
31. Okazova Z. et al. Analysis of dendroflora of urbanized territories using the city of Vladikavkaz as an example //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2019. – Vol. 316. – №. 1. – P. 12-46.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ИФА РАН TROPOMI TOOLS ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ОРБИТАЛЬНЫХ ДАННЫХ О СОСТАВЕ И ПАРАМЕТРАХ АТМОСФЕРЫ

**В.С. Ракитин, А.В. Казаков, Н.С. Кириллова, Е.И. Федорова,
Н.Ф. Еланский**

n.kirillova65@gmail.com

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

Аннотация. Разработанный в ИФА РАН многофункциональный программный комплекс способен решать следующие задачи: – автоматический сбор и обработка данных о составе и параметрах атмосферы орбитальных спектрометров MODIS, AIRS, OMI, TROPOMI; – построение усредненных распределений при различной выборке измерительных дней и периодов с указанным пространственным разрешением, а также распределений трендов состава атмосферы вышеперечисленных орбитальных систем; – проведение валидационных работ; – наложение траекторий NOAA HYSPLIT на орбитальные распределения.

Ключевые слова. Спутниковый мониторинг, состав атмосферы, TROPOMI, AIRS, MODIS, OMI, big data, методы обработки.

Введение

Появление орбитальных спектрометров нового поколения, таких как TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument запущен в октябре 2017 г.), предоставляет новые возможности для космического мониторинга. Обширный набор измеряемых TROPOMI параметров и атмосферных примесей (CO, CH₄, NO₂, HCHO, SO₂, O₃, аэрозоли) в комплексе с высоким пространственным разрешением (до 5.5×3.5 км) позволяет получать детализированную информацию о составе атмосферы [1,2]. Однако, новизна TROPOMI предполагает необходимость тщательной валидации спутниковых данных результатами высокоточных наземных измерений, а небольшая продолжительность измерений TROPOMI не позволяет оценку долговременных трендов. Именно поэтому для оценки трендов исследователи продолжают использовать данные орбитальных систем предыдущих поколений, т.н. «долголетающих» приборов: MODIS [3], AIRS [4], OMI [5] и других, отличающихся от TROPOMI худшим пространственным разрешением, но прошедших тщательную валидацию и имеющих значительно более продолжительные измерительные ряды.

Увеличивающееся количество орбитальных систем мониторинга и совершенствование измерительных методов породило проблему «big data», т.е. необходимость обработки обширных объемов информации. Например, результаты одного измерительного дня TROPOMI по только одной атмосферной примеси NO₂ имеют объем приблизительно 8 Гб (продукт

Sentinel-5P OFFL NO₂ L2, уровень 2, вид обработки OFFL, т.е. архивные данные, прошедшие первичную фильтрацию и доступные по интернет-адресу <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/data-products>).

С учетом необходимости анализа измерительных данных разных орбитальных систем, назрела необходимость создания универсальных и многофункциональных программ, позволяющих работать как с различными видами и форматами данных, так и с разнообразными координатными сетками, в т.ч. с данными модельных расчетов. Альтернативой многофункциональности могут служить многочисленные узконаправленные специализированные программы, каждая из которых может работать лишь с одним видом данных. Отметим, что этот подход успешно реализуется в разных научных группах, однако создает большое число проблем при проведении комплексных исследований и для конкретного пользователя.

Нашей целью являлось создание одной из универсальных программ.

Краткое описание и структура программы

Создание программы обусловлено необходимостью обработки большого объема информации (big data) о составе атмосферы нескольких спутниковых приборов, в т.ч. спектрометра высокого разрешения TROPOMI S-5P. В процессе разработки были поставлены и последовательно решены следующие основные задачи:

1. Автоматический сбор данных TROPOMI L2 («повиточные» файлы формата NetCdf, 15 файлов для каждого измерительного дня).

2. Формирование данных TROPOMI уровня 3 (L3, суточные данные с сохранением исходного разрешения, 1 файл формата .mat). Процесс позволяет значительно сократить необходимый объем памяти сервера или компьютера (от 3 до 20 раз).

3. Обработка данных L3 орбитальных спектрометров MODIS, AIRS, OMI, TROPOMI с фильтрацией данных по качеству и с возможностью фильтрации по любым сопутствующим параметрам. Программа способна рассчитывать и визуализировать пространственные поля атмосферных концентраций и содержания примесей с заданным пространственным и временным разрешением, а также поля трендов с расчетом доверительных интервалов.

4. Проведение валидационных работ (сопоставление орбитальных данных с наземными, орбитальных данных между собой, орбитальных данных и модельных расчетов).

Алгоритмы и инструменты программы позволяют работать с различными координатными сетками, пространственным разрешением и анализировать данные нескольких распространенных форматов.

Программа имеет дополнительные возможности:

1) Построение усредненных распределений для любого набора измерительных дней;

2) Сравнение распределений (построение распределений разности/отношения), например, «орбитальное распределение минус модельное распределение» или общее содержание (OC) O₃/OC CO;

3) Наложение траекторий NOAA HYSPLIT на орбитальные распределения.

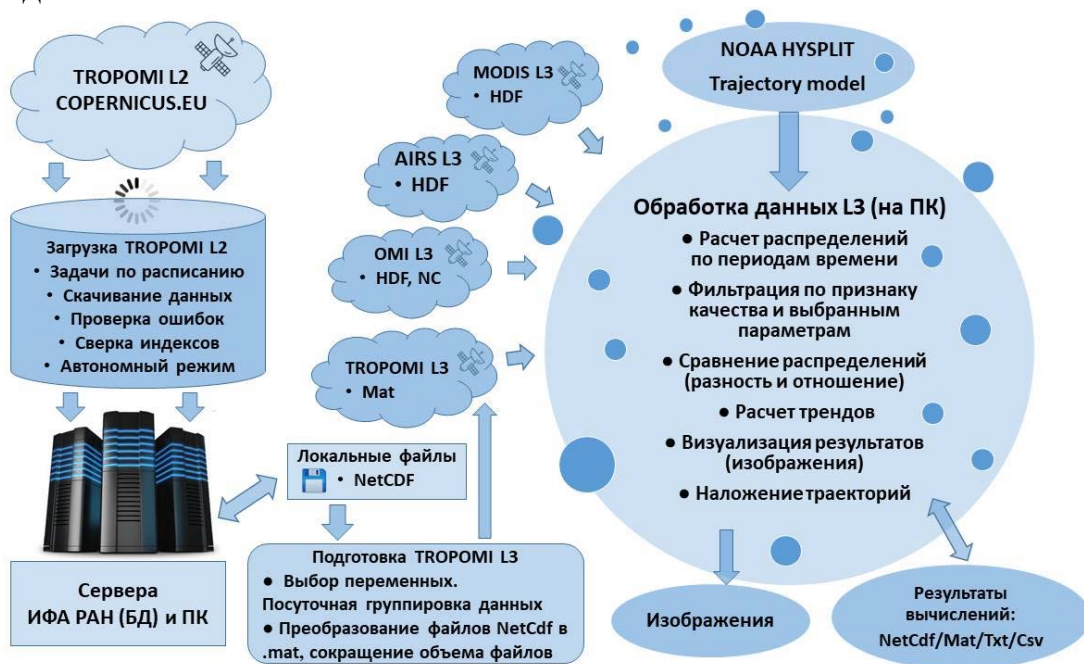


Рис. 1. Структурная схема программы TROPOMI tools

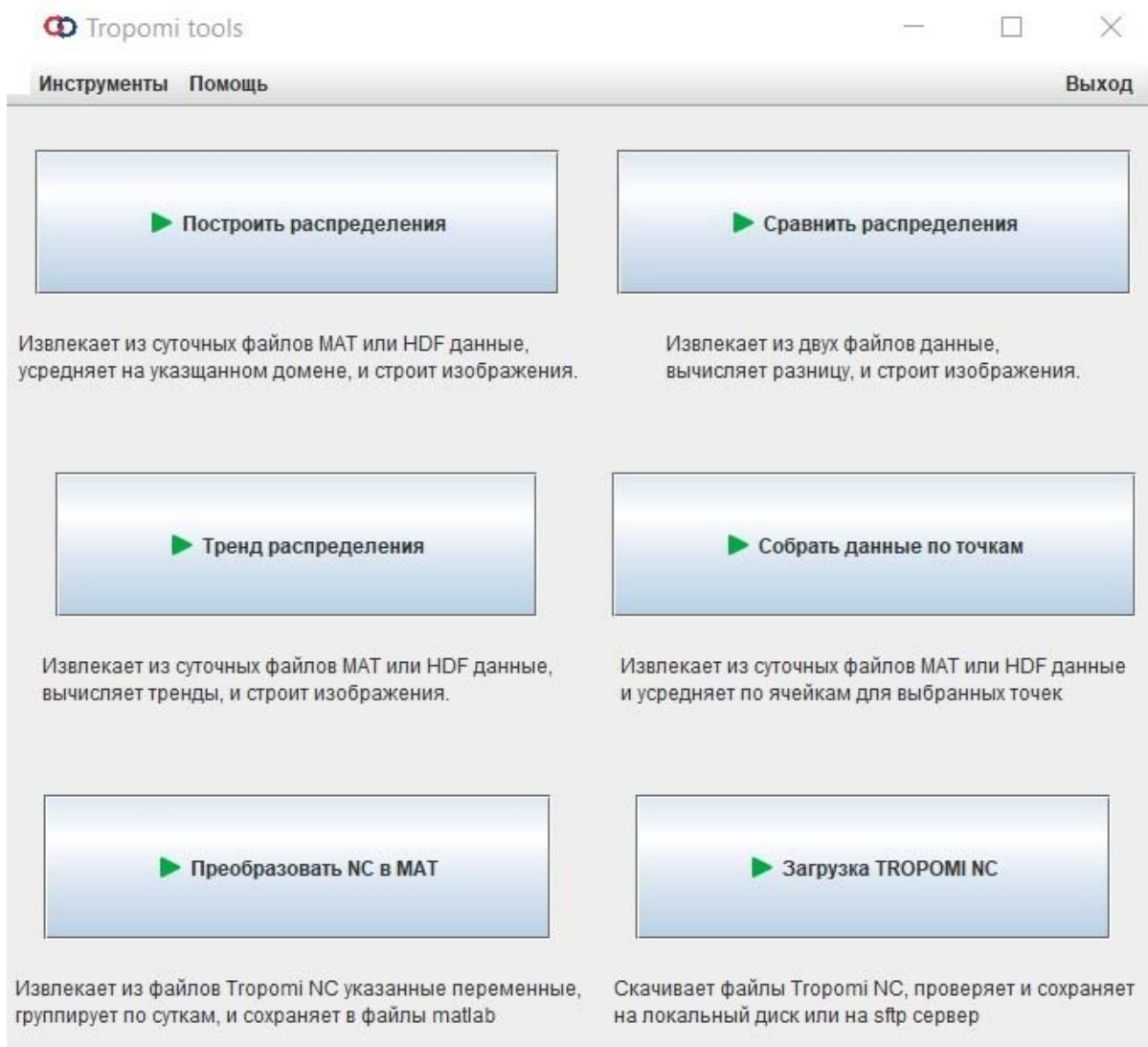


Рис. 2. Стартовый интерфейс и инструменты программы

К стартовому интерфейсу относятся следующие инструменты:

1) «Построить распределения» дает возможность выбрать набор файлов с данными, для которых нужно получить пространственные распределения.

2) «Сравнить распределения» позволяет получить пространственное распределение разности двух однотипных распределений. Например, разность/отношение между сезонными распределениями одного года, разницу/отношение между годами, разницу/отношение между распределениями двух орбитальных приборов и т.п.

3) «Тренд распределения» позволяет извлечь из суточных файлов (.mat или HDF) данные, вычислить тренды для каждой ячейки, рассчитать статистические характеристики и построить распределения.

4) «Собрать данные по точкам» позволяет получить спутниковые данные для любого набора пунктов по координатам с заданным пространственным разрешением. Это необходимо при выполнении валидационных исследований, например, при проведении сопоставлений орбитальных данных разных приборов между собой или при сопоставлении с наземными измерениями.

5) «Преобразовать NC в MAT» может из повиточных файлов TROPOMI L2 формата Netcdf сформировать суточный файл с соответствующими данными формата matlab (.mat) с сохранением данных в исходном пространственном разрешении.

6) «Загрузка TROPOMI NC» позволяет загружать файлы TROPOMI NC с сервера corernicus.eu с выбором подмножества файлов по годам и примесям, с одновременной проверкой форматов и содержимого загружаемых файлов на предмет отсутствия ошибок, а также сохранять файлы на локальный диск или удаленный сервер.

Примеры применения программы

Пример последовательного использования инструментов «Тренд распределения» и «Сравнить распределения» приведен на рисунке 3, на котором показана разность между годовыми трендами (2008–2022гг.) и (2003–2008гг.) ОС СО в Северном Полушарии по данным AIRS, разрешение $1^\circ \times 1^\circ$. Динамика изменения скорости трендов положительная во всем исследуемом домене (до 2-3%/год в отдельных регионах).

В качестве примера применения инструмента «Сравнить распределения» приведен рис. 4., на котором показана разность распределений ОС СО, полученных на основе двух разных орбитальных спектрометров (TROPOMI – AIRS) для апреля 2020 г. для домена «Европа». Практически во всем домене (за исключением районов морских акваторий) AIRS по сравнению с TROPOMI недооценивает общее содержание СО на 10-15%.

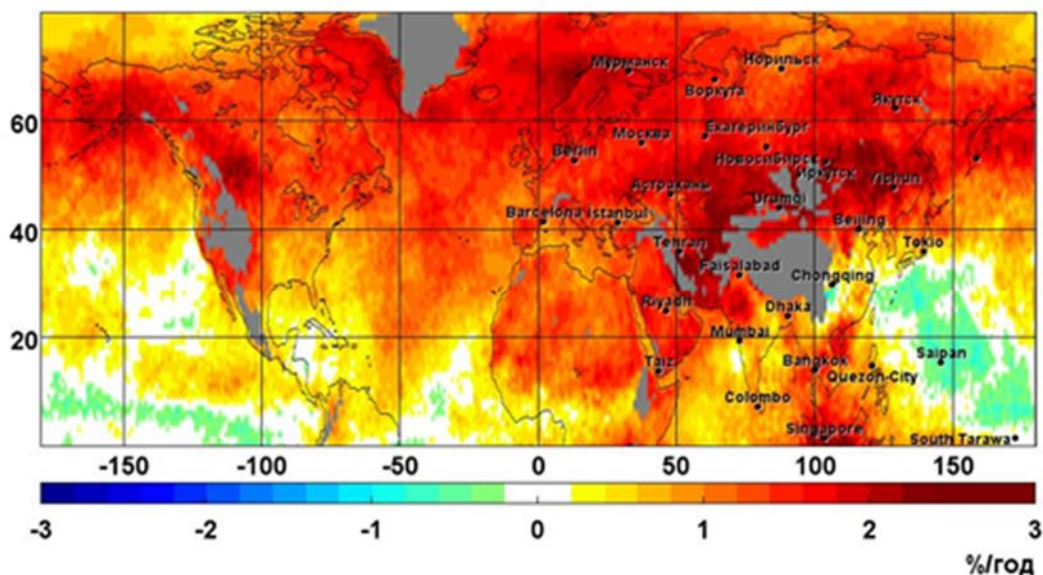


Рис. 3. Динамика (изменение) трендов ОС CO в осенние месяцы по данным AIRS: тренд (2008–2022гг.) минус тренд (2003–2008гг.)

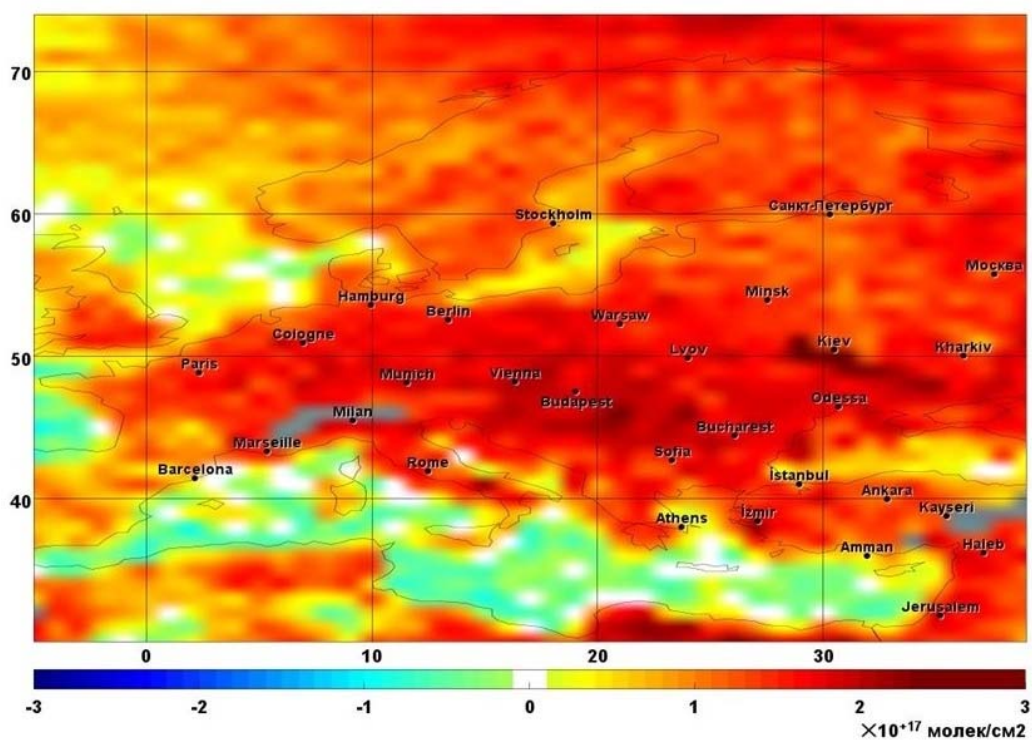


Рис. 4. Разность распределений ОС CO двух орбитальных спектрометров: TROPOMI минус AIRS (20.04.2020 г.)

На рисунке 5 представлен пример применения инструмента «Собрать данные по точкам» при проведении сопоставления орбитальных и наземных данных в разном пространственном разрешении. Так, при увеличении области усреднения сопоставления коэффициент наклона K и величина константы линейной регрессии A практически не изменяются при увеличении коэффициента корреляции R .

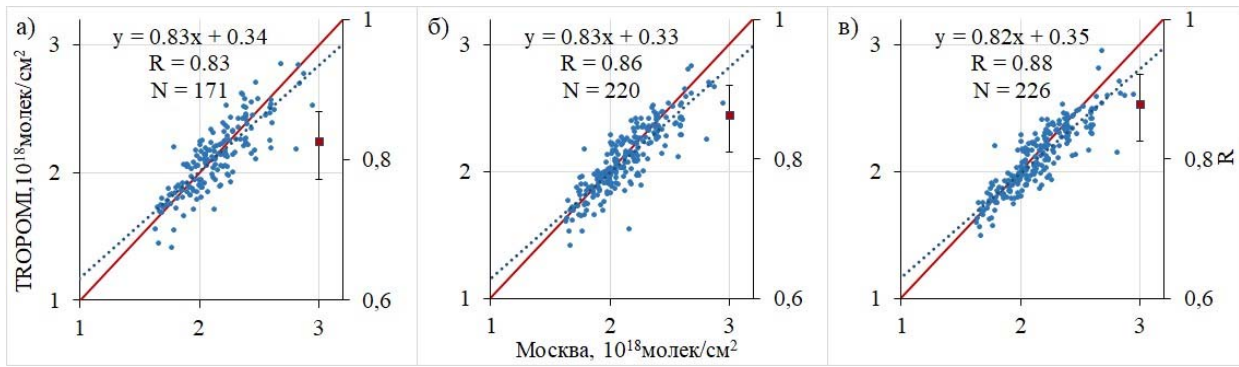


Рис. 5. Параметры сопоставления ОС CO TROPOMI и наземных данных для разного разрешения $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (а), $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (б), $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (в) орбитальных данных, $qa > 0.3$ (2018–2021 гг.). Пунктирные прямые – линии регрессии. Квадраты с вертикальными отрезками – коэффициент корреляции R с доверительным интервалом в 95%.

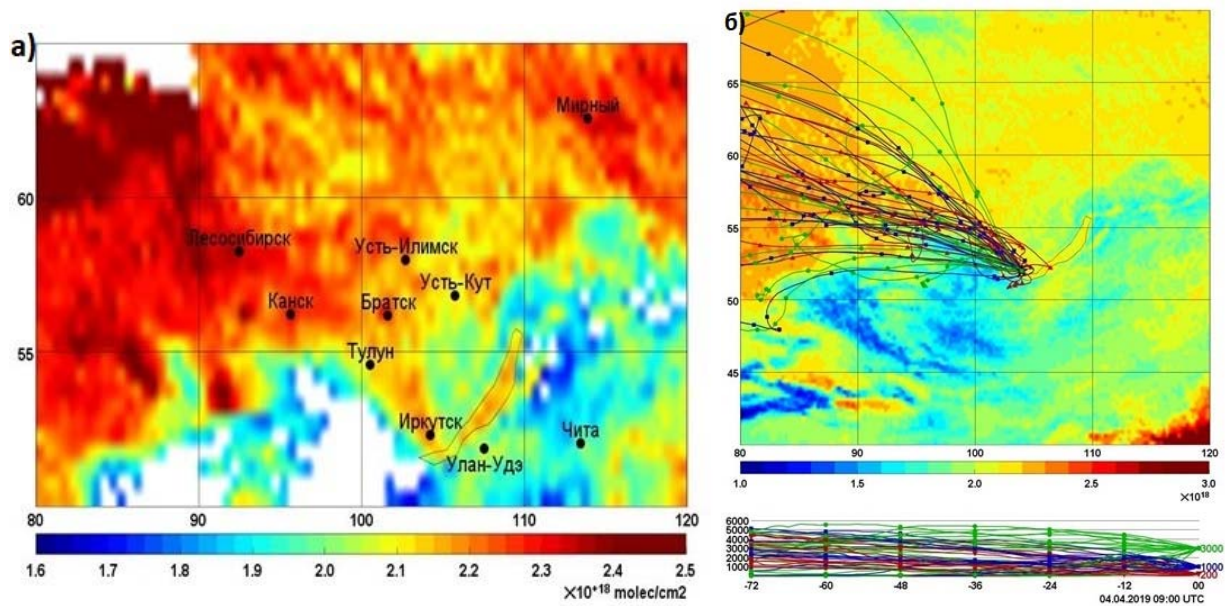


Рис.6. Пример исследования западного переноса CO по измерениям ОС CO TROPOMI в Прибайкалье: а) Распределение ОС CO для февраля 2020г., усреднение с исключением (фильтрацией) восточной составляющей приземного ветра б) усредненные распределения ОС CO всех дней с западным переносом в период 04 –23 апреля 2019 г., метод предварительного траекторного анализа

Пример сравнения трендов ОС NO_2 , полученных с помощью транспортно-химической модели (ТХМ) GEOS-Chem и орбитального спектрометра OMI представлен на рисунке 7. Модель хорошо воспроизводит годовые тренды ОС NO_2 , включая региональные особенности. Однако в сравнении с трендами, полученными на основе данных OMI, GEOS-Chem несколько завышает значения трендов примеси, преимущественно в высоких широтах.

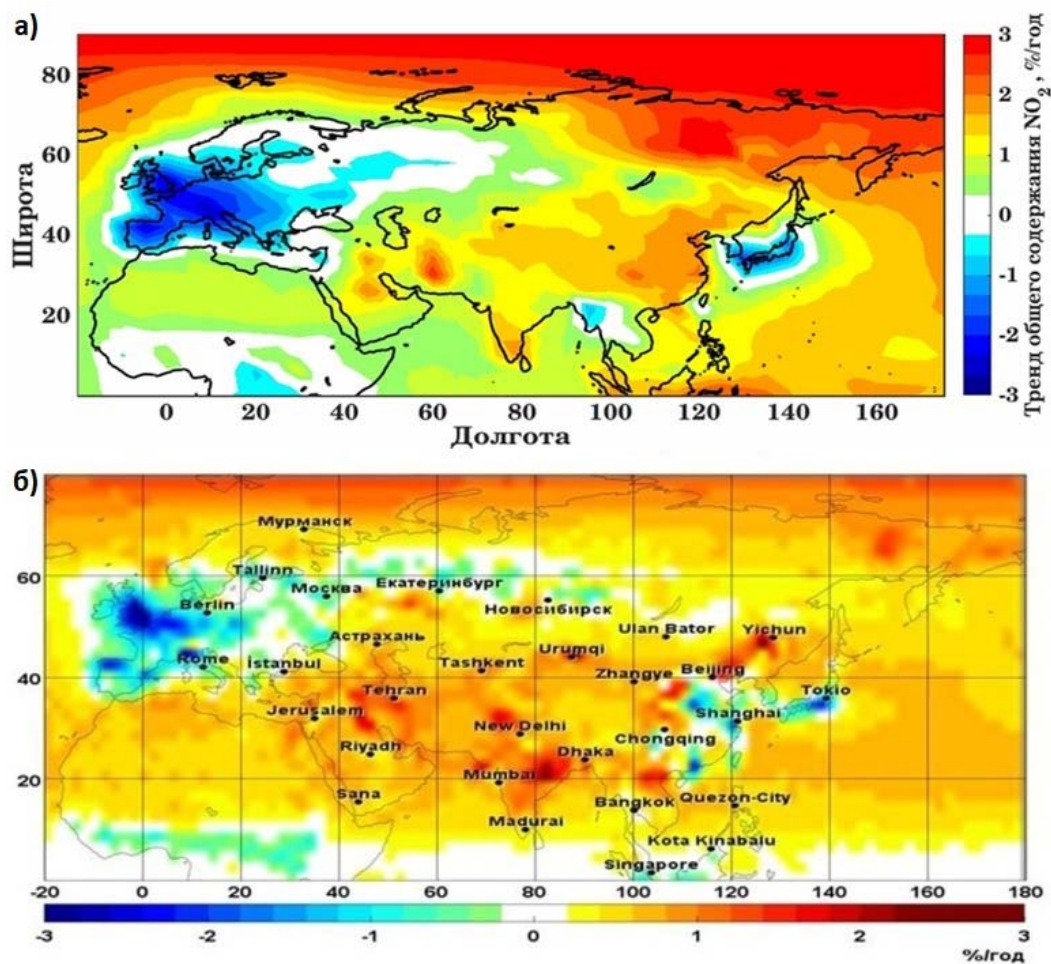


Рис.7. Годовые тренды ОС NO₂, 2005–2019 гг. Пример сопоставления распределений трендов состава атмосферы, полученных: а) по результатам расчетов ТХМ GEOS–Chem; б) по данным орбитального спектрометра OMI/Aura

Заключение

С помощью программы TROPOMI tools возможно корректно обрабатывать данные нескольких орбитальных систем мониторинга (AIRS, MODIS, OMI, TROPOMI) с последующей визуализацией и интерпретацией. При выполнении разного рода исследований инструментарий программы обеспечивает множество основных и дополнительных операций с возможностью фильтрации по любой из геопривязанных переменных, построение усредненных пространственных распределений и трендов состава атмосферы с расчетом статистических характеристик, валидационные и многие другие расчеты. Программа имеет значительные ресурсы и возможности для дальнейшей модернизации (например, обработка данных других орбитальных систем, ассимиляция с метеорологическими и транспортно-химическими моделями).

Результаты применения программы опубликованы в нескольких работах [6-8].

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект №21-17-00210.

Список литературы

1. Landgraf J., Borsdorff T., Langerock B., Keppens A. MPC Product Readme Carbon Monoxide V01.04.00 issue 1.5, 2020-12-02 – Released, document number S5P-MPC-SRON-PRF-CO. URL: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/3541451/Sentinel-5P-Carbon-Monoxide-Level-2-Product-Readme-File>.
2. Eskes H., van Geffen J., Boersma F., Eichmann K.-U., Apituley A., Pedernana M., Sneep M., Veefkind J.P., Loyola D. Sentinel-5 precursor/TROPOMI Level 2 Product User Manual Nitrogen dioxide — S5P L2 PUM Nitrogen dioxide issue 4.0.0, 2020-12-01 – released, URL: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/2474726/Sentinel-5P-Level-2-Product-User-Manual-Nitrogen-Dioxide>.
3. Anderson J. C., Wang J., Zeng J., Leptoukh G., Petrenko M., Ichoku C. and Hu C. 2013 Long-term statistical assessment of Aqua-MODIS aerosol optical depth over coastal regions: bias characteristics and uncertainty sources *Tellus B* 65, 20805, <http://dx.doi.org/10.3402/tellusb.v65i0.20805>.
4. AIRS/AMSU/HSB Version 6 Data Release User Guide. Ed. by E.T. Olsen. https://docsserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/repository/Mission/AIRS/3.3_ScienceDataProductDocumentation/3.3.4_ProductGenerationAlgorithms/V6_Data_Release_User_Guide.pdf.
5. Levelt P.F., Joiner J., Tamminen J., Veefkind J.P., Bhartia P.K., Stein Zweer D.C., Duncan B.N., Streets D.G., Eskes H., Van Der A R., McLinden C., Fioletov V., Carn S., De Laat J., DeLand M., Marchenko S., McPeters R., Ziemke J., Fu D., Liu X., Pickering K., Apituley A., Abad G.G., Arola A., Boersma F., Miller C.C., Chance K., De Graaf M., Hakkarainen J., Hassinen S., Ialongo I., Kleipool Q., Krotkov N., Li C., Lamsal L., Newman P., Nowlan C., Suleiman R., Tilstra L.G., Torres O., Wang H., Wargan K. The Ozone Monitoring Instrument: overview of 14 years in space // *Atmos. Chem. Phys.* 2018. V. 18. P. 5600–5745. <https://doi.org/10.5194/acp-18-5699-2018>.
6. Ракитин В.С., Еланский Н.Ф., Скороход А.И., Джола А.В., Ракитина А.В., Шилкин А.В., Кириллова Н.С., Казаков А.В. Долговременные тенденции общего содержания окиси углерода в атмосфере Московского мегаполиса // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2021. Т. 57, № 1. С. 126—136. DOI: 10.31857/S0002351521010107.
7. Скороход А.И., Ракитин В.С., Кириллова Н.С. Влияние мер по сдерживанию пандемии COVID-19 и метеорологических условий на состав атмосферного воздуха в Москве в 2020 г. // *Метеорология и гидрология.* 2022. № 3. С. 36–46. DOI: 10.52002/0130-2906-2022-3-36-46.
8. Ракитин В.С., Груздев А.Н., Кириллова Н.С., Федорова Е.И., Елохов А.С., Сафронов А.Н. Валидация результатов измерений содержания NO₂ в тропосфере и стратосфере с помощью спутникового прибора TROPOMI по наземным измерениям на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН. // *Оптика атмосферы и океана.* 2023. Т. 36. № 01. С. 32–41. DOI: 10.15372/AOO20230105.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕНДОВ СОСТАВА АТМОСФЕРЫ НАД ЕВРАЗИЕЙ И ИХ ОТКЛИКА НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОРБИТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ GEOS-CHEM

**В.С. Ракитин, Ю.А. Штабкин, Н.С. Кириллова, Е.И. Федорова,
А.В. Васильева**

*vadim@ifaran.ru, yuryshtabkin@gmail.com, n.kirillova65@gmail.com,
fedorova@ifaran.ru*

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

Аннотация. Представлены результаты экспериментов по моделированию состава атмосферы с помощью глобальной транспортно-химической модели (ТХМ) GEOS-Chem. Расчеты трендов общего содержания (ОС) CO, CH₄ и NO₂ в период 2003-2019 гг. были выполнены с использованием нескольких сценариев задания антропогенных эмиссий и эмиссий от лесных пожаров. Целью численных экспериментов являлось получение оценок отклика состава атмосферы над Евразией на климатические изменения, а также валидация модельных расчетов. Произведенное сравнение распределений трендов, полученных на основе моделирования и на основе орбитальных данных AIRS и OMI установило, что модель достаточно хорошо воспроизводит региональные тренды содержания всех трех примесей, но в целом завышает оценки, полученные на основе орбитальных и наземных измерений. Исследование динамики (изменения) трендов установило уменьшение скорости убывания ОС CO во всем исследуемом домене после 2008 г. (до 3%/год, в зависимости от сезона и региона). В ряде регионов содержание CO после 2008 г. начало расти (до 1%/год в осенние месяцы). Наибольшая скорость роста ОС CH₄ (до 0.4-0.5%/год) зафиксирована в тропическом и субтропическом поясе Евразии, а также в Северной Европе и Атлантике.

Приведены оценки отклика трендов ОС CO на климатические изменения.

Ключевые слова. Состав атмосферы, окись углерода, атмосферная спектроскопия, мегаполис, тренды.

Введение

Текущие и будущие климатические изменения и сопутствующие изменения состава атмосферы являются одной из самых обсуждаемых тем в научной литературе, на Российских и международных научных мероприятиях, в отчетах межправительственных и национальных комиссий [1 - 3]. При этом наиболее уязвимы к этим изменениям являются средне- и высокоширотные регионы, в частности, большая часть территории России [3].

Считается, что причиной потепления является рост антропогенных эмиссий парниковых газов в атмосферу и рост их концентрации [2]. Однако, изменения состава атмосферы происходят не только вследствие увеличения антропогенных выбросов. Фотохимическая тропосферная система тоже изменяется; вследствие этого изменяется окислительная способность

тропосферы и соотношение источники/стоки [5].

Например, пока не нашел удовлетворительного объяснения начавшийся примерно в 2007 г. быстрый рост (0.3-0.35%/год) глобальной атмосферных концентрации метана, второго после CO_2 по общей значимости парникового газа и первого – по удельной эффективности (молекула CH_4 в 28 раз эффективнее молекулы CO_2 по парниковому эффекту [6]). Часть исследователей ожидала быстрого роста концентраций метана в высоких широтах за счет увеличения мощности природных источников [7], а впоследствии оказалось, что положительные тренды концентраций этого газа в арктических регионах не превышают и даже меньше глобальных оценок [5].

Другой малый атмосферный газ, оксид (окись) углерода CO , хотя и не является парниковым, тем не менее, является важным объектом мониторинга. Являясь токсичным загрязнителем, CO во многом определяет качество воздуха в городах, а также играет большую роль в тропосферной химии [4, 8]. Невысокие фоновые концентрации CO в сочетании с довольно большим временем жизни (2 недели – 3 месяца, [8]), а также взаимосвязь основных антропогенных источников CO с источниками других примесей делают оксид углерода почти идеальным трассером атмосферного переноса загрязнений.

Известно, что концентрация CO в последние 2 десятилетия убывает практически во всем Северном Полушарии со скоростью 1-2%/год, что обычно связывают с сокращением антропогенных эмиссий. Однако, в наших недавних работах отмечено замедление спада концентраций CO , начавшееся примерно в 2007-2008 гг. в Евразии [5, 9]. Часть исследователей связывают это замедление с ростом числа природных пожаров; в нашей работе мы обсудим другую возможную причину этого замедления, а именно – климатический вклад в изменения трендов состава атмосферы на примере CO .

Для подтверждения или опровержения нашего предположения были проведены численные эксперименты с глобальной ТХМ GEOS-Chem. Задачами экспериментов и последующих сопоставлений полученных распределений трендов с оценками, полученными на основе орбитальных данных, являлись:

- верификация расчетов GEOS-Chem пространственных и сезонных распределений содержания CH_4 , CO и NO_2 орбитальными распределениями;
- изучение долговременных тенденций (трендов) состава атмосферы над Евразией, изучение динамики (изменения) трендов в последние 2 десятилетия;
- оценка отклика полей окиси углерода на климатические изменения.

Методы исследований

Описание модели. При проведении расчетов использовалась модель GEOS-Chem (Goddard Earth Observing System chemical model [10, 11], используемая версия 12-01) – численная эйлерова глобальная трехмерная транспортно-химическая модель атмосферы, разработанная в Гарвардском университете. В модели учитываются все основные малые атмосферные газы и аэрозоли, существенные для фотохимии, атмосферного радиационного баланса и региональной климатологии, а также основные природные и антропогенные источники эмиссий данных примесей. Расчет переноса

осуществляется с использованием двух- и трехмерных метеорологических полей MERRA-2 с временным разрешением 3 и 6 часов. В используемой версии модели расчет полей концентраций осуществляется на горизонтальной сетке с разрешением $4^{\circ} \times 5^{\circ}$. Численное интегрирование уравнений адвекции/диффузии/химической кинетики осуществляется на сетке в сигма- p системе координат (47 уровней), основанной на гидростатическом давлении, в диапазоне высот от ~58 м до 80 км над земной поверхностью.

При расчетах использовались эмиссии следующих основных типов:

Антропогенные эмиссии. Для задания глобальных антропогенных эмиссий использовались данные CEDS (Community Emissions Data System, разрешение $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$) [12]. База данных включает в себя информацию о выбросах аэрозолей и их предшественников, а также об эмиссиях SO_2 , NO_x , NH_3 , CH_4 , CO , CO_2 и неметановых летучих органических соединений (НМЛОС). В используемой версии (v2021-06) данные доступны для периода 1950–2019 гг. Источники эмиссий разбиты на категории: сельское хозяйство, энергетика, промышленность, наземный транспорт, мусор, строительство, морские и авиаперевозки.

Эмиссии от природных пожаров. Для учета эмиссий от природных пожаров используются данные GFED4 (Global Fire Emission Data) [13]. Эмиссии по отдельным категориям (сельскохозяйственные земли, вырубки, внетропические и тропические леса, торфяные болота, саванна) представлены на глобальной сетке $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ с временным разрешением 1 месяц для 25 соединений, включая CO , NO_x , CO_2 , CH_4 , SO_2 , NH_3 , ЛОС и сажевый аэрозоль.

Сценарии модельных расчетов. Для количественной оценки чувствительности трендов ОС СО к климатическим изменениям и сопутствующим был проведен ряд расчетов. При первом расчете (exp_0) эмиссии использовались без изменений (default), для второго расчета (exp_1) антропогенные эмиссии и выбросы от природных пожаров фиксировались на уровне 2005 г. (год с невысокой пожарной активностью в Евразии).

Расчеты GEOS-Chem проводились для периода с 1 июля 2002 г. по 31 декабря 2019 г. включительно. При этом первые 6 месяцев использовались для разгона модели (адаптация полей атмосферных концентраций к измененным полям эмиссий) и из дальнейшего анализа исключались.

Орбитальные данные

Для расчета трендов состава атмосферы и сопоставления с модельными оценками использовались наблюдения приборов AIRS/Aqua (версия v6, уровень данных L3, разрешение $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, измерения ОС СО и CH_4) [14] и OMI/Aura (v3, L3, разрешение 13×24 км, измерения ОС NO_2) [15].

Данные измерений обоих орбитальных приборов были неоднократно проверены высокоточными наземными средствами, в разных географических регионах и на разных временных масштабах [5, 9, 16]; было установлено хорошее согласие орбитальных и наземных оценок.

Результаты и обсуждение

Ниже представлены результаты расчетов и сравнение их с распределениями трендов, полученными на основе орбитальных измерений в

разные периоды и сезоны для домена «Евразия» ($-20^{\circ}\text{E}-180^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}\text{N}-90^{\circ}\text{N}$). Наибольший интерес представляли расчеты трендов оксида углерода CO и их отклика на климатические изменения, поскольку в наших предыдущих исследованиях была обнаружена положительная динамика (изменения) трендов после примерно 2008 г. [5, 9]. Эти положительные изменения нельзя было объяснить ни антропогенными эмиссиями (которые уменьшались во всем исследуемом домене), ни ростом пожарной активности (по крайней мере, в Европе и Западной Сибири эмиссии от природных пожаров уменьшались [9, 13]). Поэтому расчеты полей и трендов ОС CO проводились для обоих упомянутых эмиссионных сценариев. Поскольку задание разных сценариев эмиссий CO практически не повлияло на поля CH_4 и NO_2 , то распределения трендов ОС метана и диоксида азота представлены только для сценария *exp_0*.

Тренды общего содержания CH_4 . Целью моделирования ОС CH_4 и последующего сопоставления модельных и экспериментальных оценок являлось изучение сезонных и пространственных особенностей трендов метана над Евразией, а также верификация GEOS-Chem.

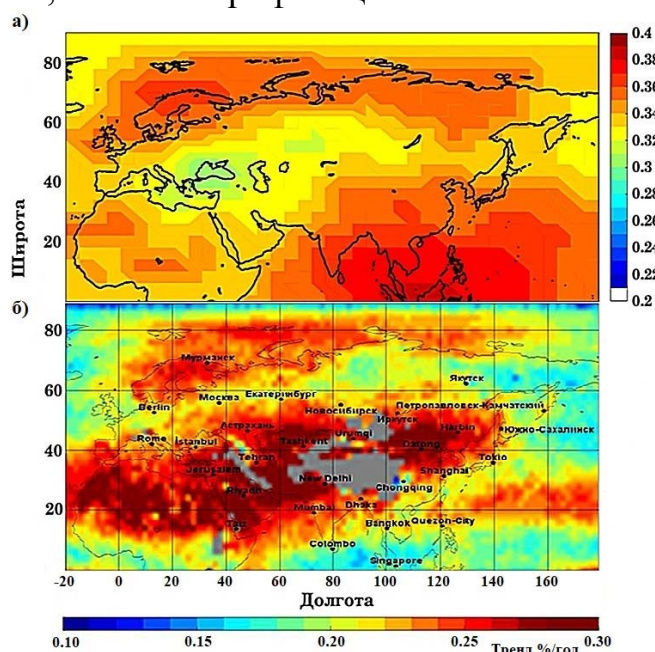


Рис. 1. Тренды ОС CH_4 , осенний сезон 2003 – 2019 гг.: а) – рассчитанные TXM GEOS–Chem, *exp_0*; б) – по данным орбитального прибора AIRS

Модель достаточно хорошо воспроизводит годовые и сезонные тренды ОС CH_4 , в том числе и региональные особенности (пример см. рис. 1). Следует отметить завышение рассчитанных трендов по сравнению со спутниковыми оценками AIRS (максимальная величина тренда GEOS–Chem – $0.4\%/год$, против $0.3\%/год$ на основе данных AIRS). Такие же небольшие различия между смоделированными GEOS-Chem и рассчитанными (по данным AIRS) трендами наблюдаются и для других периодов и сезонов.

Тренды общего содержания CO. Целью моделирования ОС CO и последующего сопоставления модельных и экспериментальных оценок являлось изучение сезонных и пространственных особенностей трендов окиси углерода над Евразией, теоретическая оценка отклика полей CO на

климатические изменения, а также верификация GEOS-Chem. Поэтому все расчеты выполнялись по эмиссионным сценариям *exp_0* и *exp_1*.

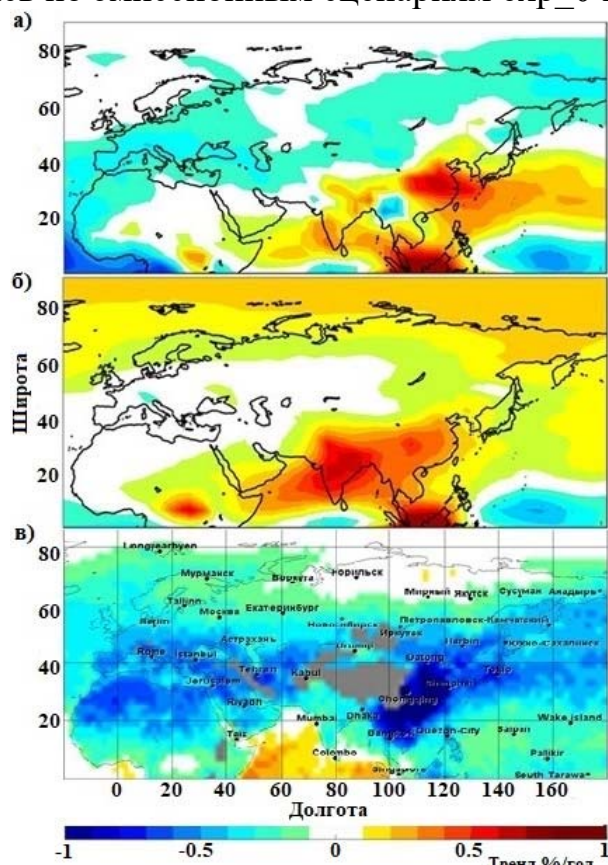


Рис. 2. Тренды ОС CO, осенний сезон 2003 – 2019 гг: а) – расчеты GEOS-Chem, *exp_0*; б) – расчеты GEOS-Chem, *exp_1*; в) - по данным AIRS

Для эксперимента *exp_0* (рис. 2а) модель завышает абсолютную величину тренда ОС CO, как для годовых, так и для сезонных оценок, по сравнению с оценками на основе измерений AIRS (рис. 2в).

Для регионов с отрицательными трендами (например, для Европы) модель недооценивает скорость убывания (-0.6%/год для годовых оценок и -0.2%/год для осени по расчетам GEOS-Chem; -1.0%/год и -0.4%/год соответственно по данным AIRS). Самое большое различие между модельными и экспериментальными оценками получено для Юго-Восточной Азии. Тренды ОС CO в этом регионе по спутниковым оценкам отрицательные (1-1.5%/год), а по модельным – положительные (до 1%/год). То есть, налицо либо ошибки в задании сезонной вариативности эмиссий CO, либо такие же сезонные неопределенности с константами реакций.

При расчете *exp_1* (рис. 2б), прослеживается положительный отклик на климатические изменения (уменьшение скорости спада или даже рост CO в обширных областях – по сравнению с *exp_0*).

Тренды общего содержания NO₂. Целью моделирования и сопоставления трендов ОС NO₂ с орбитальными оценками, являлась верификация GEOS-Chem.

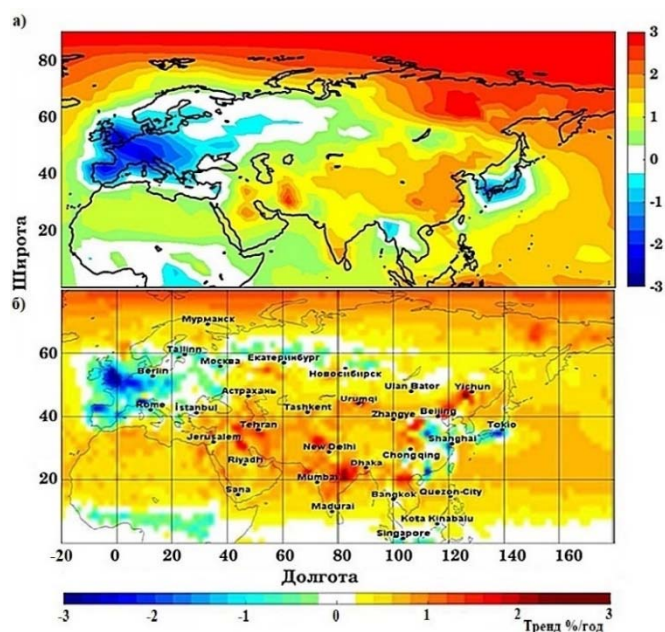


Рис. 3. Тренды ОС NO₂, годовые 2004 – 2019 гг. а) – расчеты GEOS-Chem, exp_0; б) – по данным OMI/Aura

Так же, как в случае CH₄, модель достаточно качественно воспроизводит тренды ОС NO₂ по направленности, величине и регионам (рис.3), а величина рассчитанных трендов несколько превышает оценки на основе орбитальных данных (3%/год против 2–2.5% год для максимальных величин).

Исследование динамики (изменений) трендов ОС CH₄ и CO.

На рис. 4 представлена динамика годовых трендов ОС CH₄ по расчетам GEOS-Chem (exp_0, рис. 4а) и по данным AIRS (рис. 4б). Во всех случаях на распределениях визуализирована разность между трендом в период 2008-2019 гг. и трендом в период 2003-2008 гг.

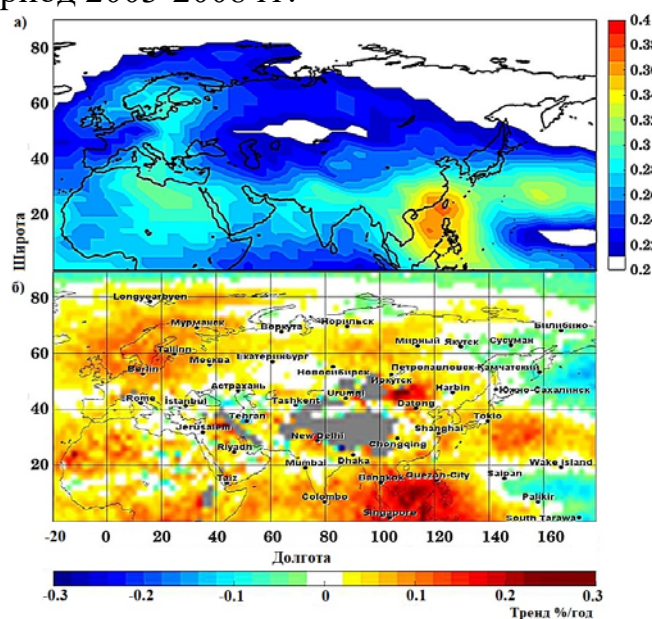


Рис. 4. Динамика годовых трендов ОС CH₄, т.е. тренд (2008 – 2019) минус тренд (2003 – 2008): а) - расчет GEOS-Chem, exp_0 (эмиссии по умолчанию); б) – на основе измерений AIRS

GEOS-Chem достаточно качественно воспроизводит динамику трендов ОС CH_4 (в т.ч. региональные особенности), за исключением того, что области с отрицательной динамикой (до $-0.1\%/год$ по данным AIRS, Ю-В Азия и Дальний Восток РФ) модель не показывает.

Динамика годовых трендов ОС CO представлена на рис. 5.

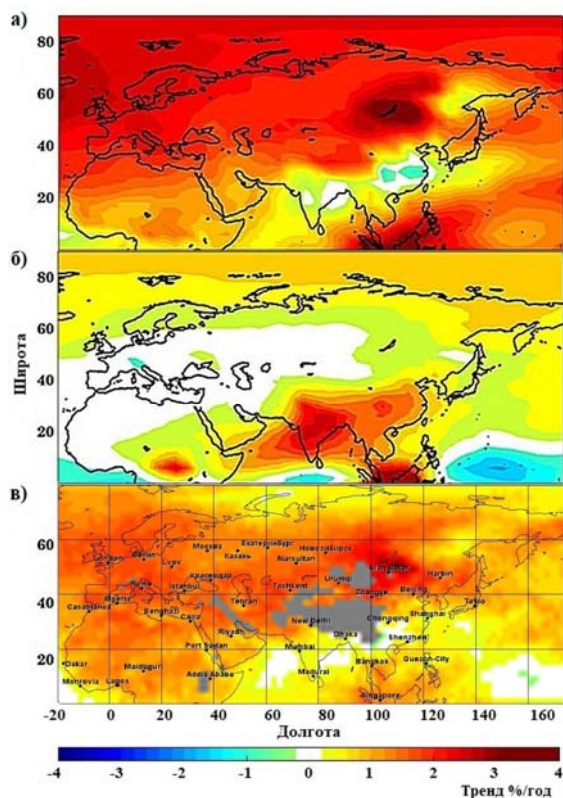


Рис. 5. Динамика годовых трендов ОС CO, тренд (2008 – 2019) минус тренд (2003 – 2008): а) –exp_0; б) – exp_1; д) - по данным AIRS

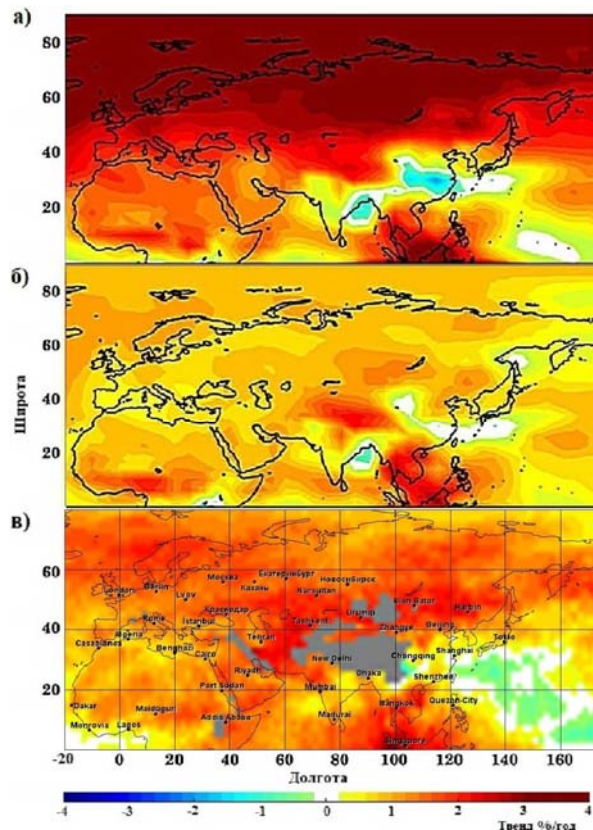


Рис. 6. Динамика осенних трендов ОС CO, тренд (2008 – 2019) минус тренд (2003 – 2008): а) –exp_0; б) – exp_1; д) - по данным AIRS

Модель при эмиссионном сценарии exp_0 (эмиссии «как есть») в принципе воспроизвела динамику годовых и осенних трендов ОС CO (рис. 5а и ба), сравнительно с оценками по данным AIRS (рис. 5в и бв). Тем не менее, отметим завышение GEOS-Chem величины положительной динамики, в особенности в высоких широтах. То есть, максимальное положительное значение по расчетам GEOS-Chem – выше ($\sim 1.2\%/год$, район Ю-В Азии), чем по данным AIRS (тренд в Ю-В Азии слабо-отрицательный). Для регионов с отрицательными трендами (например, Европа) модель недооценивает скорость убывания ($-0.6\%/год$ для годовых оценок, рис. 5а и $-0.2\%/год$ для осени, рис. ба), по сравнению с оценками по данным AIRS $-1.0\%/год$ и $-0.4\%/год$ соответственно, рис. 5в, бв). То есть, налицо либо ошибки в задании сезонной вариативности эмиссий CO, либо такие же сезонные неопределенности с константами реакций CO.

Тем не менее, следует отметить, что в численных экспериментах положительная динамика трендов CO была воспроизведена. Наибольший

интерес, на наш взгляд, представляют рисунки 5б и 6б, на которых представлен результат расчетов для exp_1), т.е. теоретически рассчитанный отклик трендов ОС СО на климатические изменения. Таким образом, в подтверждение нашего более раннего вывода [5], результаты анализа трендов на основе теоретических расчетов и орбитальных данных (рис. 5 и 6), установлено: одной из причин положительной динамики трендов СО могут являться климатические изменения и связанные с ними изменения соотношения источники/стоки для оксида углерода.

Выводы

ТХМ GEOS-Chem достаточно качественно воспроизводит поля трендов общего содержания СО, СН₄ и NO₂ в разные периоды и сезоны (в том числе региональные особенности), но по сравнению с оценками на основе орбитальных данных, несколько завышает величину трендов.

Установлена положительная динамика (изменение) до 3%/год после примерно 2008 г. трендов ОС СО, то есть замедление спада или переход к росту в отдельных регионах.

Установлено отсутствие изменений трендов ОС СН₄ в высоких широтах Евразии и ускорение роста в тропических и субтропических широтах Евразии и в Северной Европе (до 0.4%/год).

Получены оценки климатического вклада в изменение трендов ОС СО.

Причиной положительной динамики трендов ОС СО могут являться изменения во всей тропосферной фотохимической системе, проявляющиеся в изменении соотношения источники/стоки и образование дополнительного атмосферного СО при окислении метана и неметановых углеводородов.

Список литературы

1. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S.L., Péan C., Berger S., Caud N., Chen Y., Goldfarb L., Gomis M.I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J.B.R., Maycock T.K., Waterfield T., Yelekçi O.Yu R., and Zhou B. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY. USA. In press. doi:10.1017/9781009157896.

2. МГЭИК, 2021: Резюме для политиков. В: Изменение климата, 2021 год: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Массон-Дельмотт, М.П. Чжай, А. Пирани, С.Л. Коннорс, К. Пеан, С. Бергер, Н. Кауд, Ю. Чэнь, Л. Голдфарб, М.И. Гомис, М. Хуан, К. Лейтцелл, Э. Лонной, Дж. Б.Р. Мэтьюз, Т.К. Мэйкок, Т. Уотерфилд, О. Йелекчи, Р.Ю. и Б. Чжоу (ред.)]. Кембридж юниверсити пресс

3. ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (РОСГИДРОМЕТ). Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – Санкт-Петербург: Научное издание, 2022. – 124 с.

4. Jacob D. J. (1999). Introduction to Atmospheric Chemistry, Princeton University Press, <http://acmg.seas.harvard.edu/people/faculty/djj/book/>

5. Rakitin V.S., Skorokhod A.I., Pankratova N.V., Shtabkin Yu.A., Rakitina A.V., Wang G., Vasilieva A.V., Makarova M.V. and Wang P. Recent changes of atmospheric composition in background and urban Eurasian regions in XXI-th century // 2020 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 606 012048 doi:10.1088/1755-1315/606/1/012048

6. Myhre G., Shindell D., Bréon F-M., Collins W., Fuglestvedt J., Huang J., Koch D., Lamarque J-F., Lee D., Mendoza B., Nakajima T., Robock A., Stephens G., Takemura T., and Zhang H. 2013. Anthropogenic and natural radiative forcing, in: *Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: Stocker T. F., Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, NY, USA, P. 659–740
7. Sonnemann G. R. and Grygalashvily M. Global annual methane emission rate derived from its current atmospheric mixing ratio and estimated lifetime // *Ann. Geophys.* 2014. V. 32. P. 277-83
8. Novelli P.C., Masarie K.A., and Lang P.M. Distributions and Recent Changes in Carbon Monoxide in the Lower Troposphere // *J. Geophys. Res.* 1998. V. 103 (19). P. 015–033
9. Rakitin V.S, Elansky N.F., Wang P., Wang G., Pankratova N.V., Shtabkin Yu.A., Skorokhod A.I., Safronov A.N., Makarova M.V. and Grechko E.I. Changes In Trends Of Atmospheric Composition Over Urban And Background Regions Of Eurasia: Estimates Based On Spectroscopic Observations // *Geography, Environment, Sustainability.* 2018. V.11. № 2. P. 84–96.
10. Bey I., Jacob D.J., Yantosca R.M., Logan J.A., Field B.D., Fiore A.M., Li Q.B., Liu H.G.Y., Mickley L.J. and Schultz M.G. Global modeling of tropospheric chemistry with assimilated meteorology: Model description and evaluation // *J. Geophys. Res.* 2001. V. 106. P. 23073–23095. doi:10.1029/2001JD000807.
11. Zhang L., Jacob D.J., Downey N.V., Wood D.A., Blewitt D., Carouge C.C., van Donkelaar A., Jones D.B.A., Murray L.T., Wang Y. Improved estimate of the policy-relevant background ozone in the United States using the GEOS-Chem global model with 1/2o x 2/3o horizontal resolution over North America // *Atmospheric Environment.* 2011. V. 45. I. 37. PP. 6769–6776.
12. Hoesly R.M., Smith S.J., Feng L., Klimont Z., Janssens–Maenhout G., Pitkanen T., Seibert J.J., Vu L., Andres R.J., Bolt R.M., Bond T.C., Dawidowski L., Kholod N., Kurokawa J.-I., Li M., Liu L., Lu Z., Moura M.C.P., O'Rourke P.R., Zhang Q. Historical (1750–2014) anthropogenic emissions of reactive gases and aerosols from the Community Emissions Data System (CEDS) // *Geosci. Model Dev.* 2018. V. 11. P. 369–408.
13. van der Werf G.R., Randerson J.T., Giglio L., Collatz G.J., Mu M., Kasibhatla P.S., Morton D.C., DeFries R. S., Jin Y., van Leeuwen T.T. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009) // *Atmos. Chem. Phys.* 2010. V. 10. P. 11707 11735. doi:10.5194/acp1011707 2010.
14. Ed. by E.T. Olsen. AIRS/AMSU/HSB Version 6 Data Release User Guide. Version 1.2.1. URL: https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/repository/Mission/AIRS/3.3_ScienceDataProductDocumentation/3.3.4_ProductGenerationAlgorithms/V6_Data_Release_User_Guide.pdf
15. Krotkov N.A. Lamsal L.N. Celarier E.A. Swartz W.H. Marchenko S.V. Bucsela E.J. Chan K.L. Wenig M. Zara M. The version 3 OMI NO2 standard product // *Atmos. Meas. Tech.* 2017. V. 10. P. 3133–3149.
16. Груздев А.Н., Елохов А.С. Сопоставление результатов многолетних измерений содержания NO₂ в стратосфере и тропосфере с помощью спутникового прибора OMI с результатами наземных измерений // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2023. Т. 59. № 1. С. 88–111. DOI: 10.31857/S0002351523010054

НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРИРОДНЫЕ ЛАНДШАФТЫ СОЧИНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА НА ПРИМЕРЕ ОПОЛЗНЯ «КЕСЯН» В СЕЛЕ СЕРГЕЙ-ПОЛЕ

М.А. Ренева

sochimasha@inbox.ru

ФГБУ «Сочинский национальный парк», Россия, г. Сочи

***Аннотация.** Дан перечень опасных геологических процессов и антропогенной составляющей на природные ландшафты Сочинского национального парка (СНП). Проведен анализ и дана оценка причин катастрофического оползня в с. Сергей-Поле. Показан пример использования современных методов в оценке масштабов и параметров оползня в с. Сергей Поле и влияние его факторов на ландшафт Сочинского национального парка.*

***Ключевые слова.** Горные породы, оползень, опасные геологические процессы, антропогенные факторы, ландшафт.*

Введение

Сочинский национальный парк (СНП) расположен на территориях муниципального образования город-курорт Сочи и Туапсинского района Краснодарского края между реками Магри (на северо-западе) и Псоу (на юго-востоке). На юге и юго-западе СНП граничит с муниципальными землями города Сочи, на севере и северо-востоке с землями КГБЗ, на западе, северо-западе с землями Туапсинского района, на востоке, юго-востоке и юге с территорией Республики Абхазия. Общая площадь парка составляет 208600 га (~2086 км²). В прибрежной зоне, где большая часть территории освоена и относится к муниципальным землям, участки СНП приобретают островной и полуостровной характер, занимая оставшиеся неосвоенными лесные массивы, долины рек и ручьев. Всего, здесь выделено 103 контура, отделенных от основной территории СНП муниципальными землями.

На территории Сочинского национального парка, по особенностям строения рельефа, соотношению его с геологическими структурами и преобладающим экзогенным процессам в пределах горного сооружения Кавказа выделены четыре типа рельефа: высоко- и среднегорный интенсивно расчлененный рельеф древнегляциальной зоны альпийских форм, преобразованных эрозией и денудацией; средне- и низкогорный эрозионно-денудационный рельеф с локальным развитием сейсмогравитационных, обвально-осыпных, карстовых и оползневых процессов; низкогорный эрозионно-денудационный рельеф близ береговой зоны с широким развитием процессов карстообразования, оползания, плоскостного смыва и медленного движения кор выветривания; слаборасчлененный и равнинный рельеф Адлерской депрессии с преобладанием абразионно-аккумулятивных, эрозионно-аккумулятивных и аккумулятивных форм [1]. Рельеф территории СНП сформировался в юрских, меловых и палеогеновых породах осадочного

комплекса и приурочен к Новороссийско-Лазаревскому, Приморскому (Сочинский подрайон), Чвижепсинскому морфоструктурным районам Северо-Западного и Западного Кавказа.

Как отмечалось выше, территория парка подвержена различным опасным геологическим процессам: обвалам, оползням, осыпям, селям, карстообразованию и др. Список этих природных явлений, оказывающих влияние на изменение ландшафтов, можно дополнить антропогенными факторами. Это отвалы грунтов, земли, прилегающие к карьерам по добыче строительных материалов, застройка территорий, как граничащих с особо охраняемой природной территорией (ООПТ), так и в границах парка. Большую роль в изменении ландшафта на территории СНП играют горнолыжные курорты «Роза Хутор», «Красная Поляна», «Газпром». Вопрос этот обширный и требует отдельного анализа. В этой статье показан конкретный пример комплексного природного и антропогенного изменения ландшафта в приграничной с городом хозяйственной зоне ООПТ.

Таким примером стал катастрофический оползень в селе Сергей-Поле Лазаревского района г. Сочи. Оползень произошел 5 октября 2021 г. в 3 часа ночи. В результате оползня был снесен новый коттеджный поселок «Горная Поляна» состоящий из 20 частных домов, 2 домовладения и сорван со свай дом местного жителя А.Кесяна. Участок застройки граничит непосредственно с 94 кварталом Дагомысского лесничества СНП и расположен в водораздельной части северо-западного склона долины р. Восточный Дагомыс (рисунок 1). Здесь формируются истоки притока второго порядка, впадающего в приток первого порядка - р. Ордынка. Язык оползня с нижними коттеджами сместился на территорию Сочинского национального парка. Что делать с таким «приобретением» никому неизвестно.

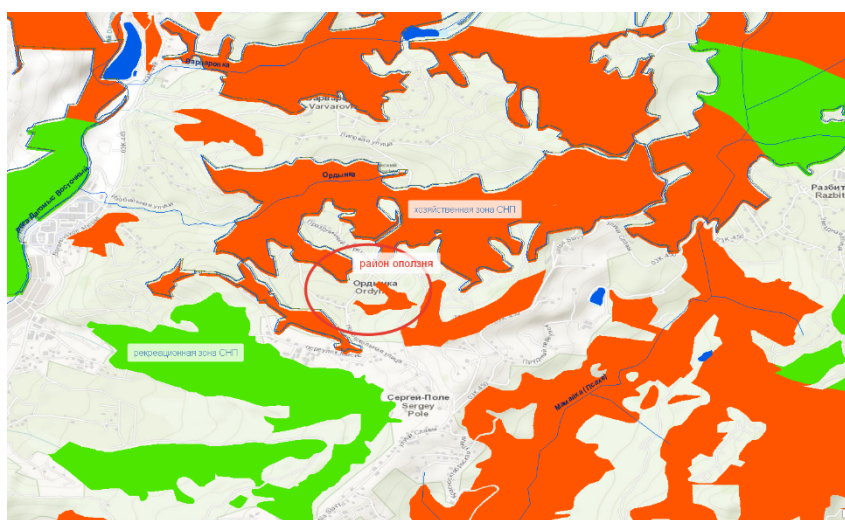


Рис. 1. Район оползня «Кесян» с контурами зон СНП

Само с. Сергей-Поле основано в 1913 г. армянскими переселенцами из Турции на бывших землях героя Крымской войны, адъютанта по особым поручениям у адмирала П.С. Нахимова, капитан-лейтенанта Сергея

Александровича Поля. Дома жителей строились на водораздельном хребте рек Восточный Дагомыс и Псахе [2, с.88]. И это было оправдано, поскольку сам хребет и его склоны сложены палеогеновыми породами головинской свиты, в основном представленными аргиллитами, тектонически нарушенными, трещиноватыми, размягчаемыми и легко выветривающимися. Головинская свита (P₁ gl) согласно залегает на пластунской и представлена переслаиванием окремненных аргиллитов (75%), песчаников (10%) и алевролитов (15%). Мощность свиты составляет 100 м. С востока на запад заметно падает степень окремнения отложений [3, с.27]. Склоны водоразделов использовались как земли с/х назначения. Здесь выращивали чай, фундук, фруктовые деревья.

Материалы и методы исследования

В 1988 году Черноморским отделением «СевКавТИСИЗ» были проведены инженерно-геологические изыскания для строительства на объекте «Генеральный план застройки Дагомысского чайсовхоза. Село Сергей-Поле».

Территория села отнесена к III категории сложности по СНиП 1.02.07-87. Село знаменито частыми деформациями и разрушением построек. В 1972 году в селе на ул. Новошкольной была построена новая 3-х этажная школа, которая простояла недолго. Занятия в школе прекратились летом 1978 г. Здание начало деформироваться и в 1987 г. развалилось. Причинами разрушения школы стало отсутствие инженерно-геологической съемки участка и в следствии этого ошибочное проектное решение в конструкции фундамента. Разрушение здания оползневыми процессами при проведении обследования в 1988 г. не подтвердилось.

Однако, к северу от этого участка 2 января 1987 года произошел катастрофический оползень, который был назван «Кесян» - по фамилии владельца пострадавшего участка. Участок семьи Кесян примыкает к левому борту современного оползня. Домовладение расположено напротив поворота на пер. Севанский, где по данным геологических изысканий 1988 г. отмечены тектонически нарушенные отложения головинской свиты палеогена. На протяжении жизни четырех поколений этой фамилии на участке были повреждены оползнями три собственных дома.

Обследования прошлых лет выявили на месте балочного понижения, в котором и был построен коттеджный поселок, оползневой цирк. Аналогичные подвижки здесь случались в 1949 и 1966 годах. В 1966 г. в днище цирка был сад и родник (рисунок 2). В результате оползня сад сместился на 200 м вниз по склону. Затем, под действием факторов выветривания, поверхность оползня сгладилась и часть ее была спланирована под футбольное поле.

Геологические изыскания 1988 г. установили, что оползень «Кесян» (1987 г.) - это оползень скольжения массивов коренных пород на глубину до 50 м и с перемещением в плане на 20 м. Плоскость скольжения находилась в массиве головинской свиты, представленной в основном аргиллитом, в котором кливаж дает отдельности более четкие, чем слоистость. Верховодка размягчает четвертичный покров на глубину до 1,5 м. В следствии хорошей размываемости аргиллита, его известковистости и сильной трещиноватости на данном участке имеет место суффозия, производимая пластово-трещинами

подземными водами, которые питаются атмосферными осадками. В 2023 г. при оценке размеров оползневого участка и смещения коттеджного поселка относительно территории Сочинского национального парка использовались картографический и геоинформационный методы физико-географических исследований, опросный метод в виде интервьюирования специалистов и местных жителей. Была сделана Аэрофотосъемка с использованием квадрокоптера DJI Mavic Pro Platinum штатной камерой. Планирование и выполнение маршрута полета - программа Pix4DCapture, высота 50 метров, с использованием системы навигации квадрокоптера, без использования наземных опорных точек. Обработано в программе Agisoft Metashape v.1.7.1. Проведены наблюдения и полевые исследования с использованием лазерной рулетки DistoX2 и GPS-навигатора Garmin GPSmap78s. В процессе натурного обследования оползневого участка были проведены инструментальные измерения контура активного очага оползня, обнаружен базис оползня, обследована стенка отрыва, головная часть оползня и его язык со сместившимися коттеджами. Посажены на карту границы и другие элементы внутри контура оползня.

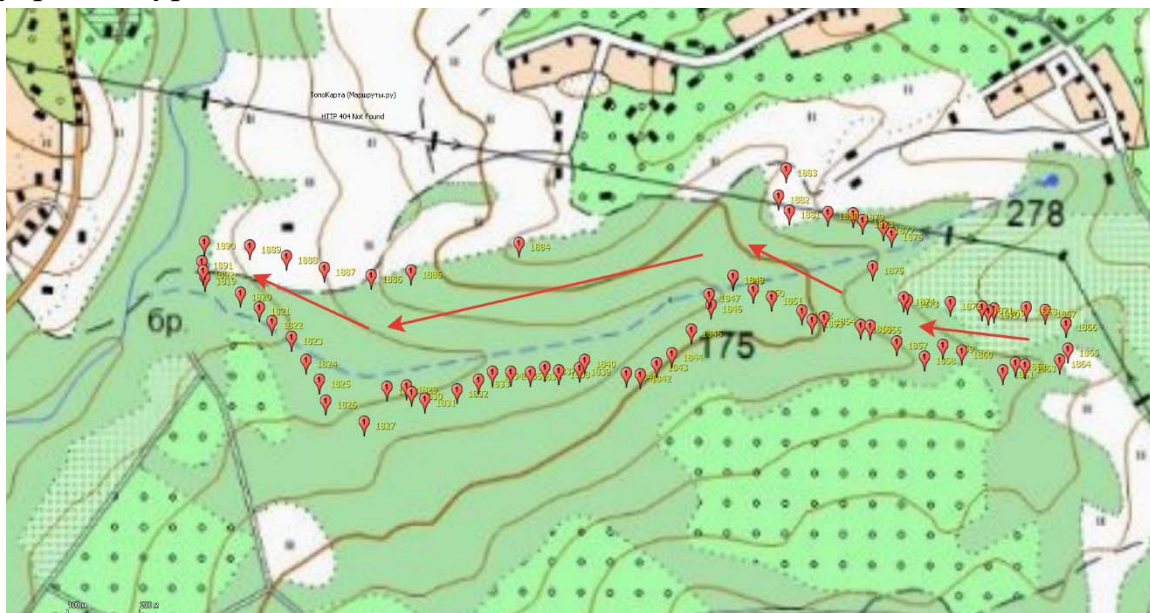


Рис. 2. Наложение границ современного оползня на топокарту советского периода

Результаты и обсуждение

В 2021 году участок и домовладение семьи Кесян так же пострадали от катастрофического оползня. Современный двухэтажный дом, построенный десять лет назад, был сорван со свай, развернут и смещен на 5 м. Садовые постройки, состоящие из теплиц и сараев - разрушены, персиковый сад сместился в балку ручья вниз по склону, а подпорки беседки наклонились и разъехались в разные стороны, во дворе образовался небольшой водоем, а перед воротами - уступ высотой 0,6 м, ворота и калитка были вывернуты. Но так как участок Кесяна находится у левого края в средней части языка оползня, он был затронут оползнем вскользь. Основной удар пришелся на новый коттеджный поселок и два домовладения, расположенных ниже автодороги. В

2019 г. выше оползневого цирка началось строительство двух многоквартирных шестиэтажных домов ЖК «Серебряный бор». При обустройстве площадки застройщик подрезал склон и спланировал площадку под фундаменты. По словам местного жителя пострадавшего дома А. Кесяна грунт сваливался на нижележащий склон в сторону оползневого цирка, что категорически запрещено строительными нормами и правилами (рисунок 3). Высота стенки срыва, образовавшейся после отседания блоков коренных пород, по данным произведенной аэрофотосъемки составила 45 м. Пласты коренных пород падают в склон с углом падения 60. Ширина между стенкой срыва и головой оползня - 70 м. Коттеджный поселок сместился на 70 м вниз по балочному понижению (рисунок 4). По бортам оползня протекает два ручья. Между отсевшими блоками и стенкой срыва образовался водоем размерами 16 на 25 м. Высотная отметка головы оползня составила 244 м над ур. м. Высотная отметка бровки срыва - 280 м над ур. м. Длина оползня – 700 м, в головной части - 250 м. Общая площадь территории, захваченная оползнем - 99000 м².

Оползень 2021 г. частично повторяет характеристики предыдущего оползня, но размеры его больше. Это оползень скольжения массивов коренных пород на глубину до 50 м и с перемещением в плане на 70 м. Пробуренные на воду 20 скважин (у каждого коттеджа) подтвердили наличие на глубине 50-70 м водоносного горизонта.

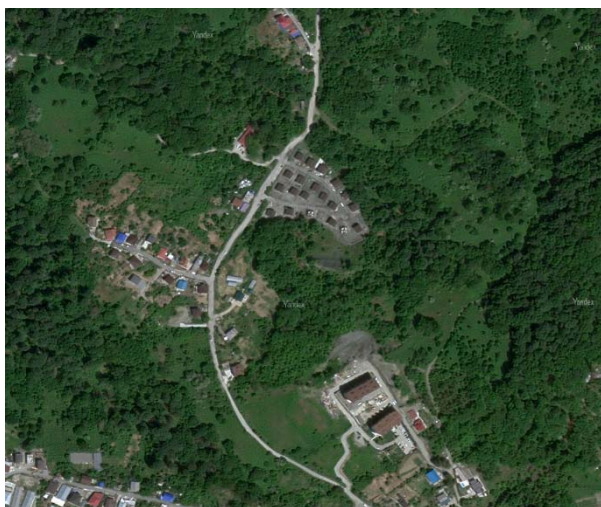


Рис. 3. Вид на коттеджный поселок до схода оползня

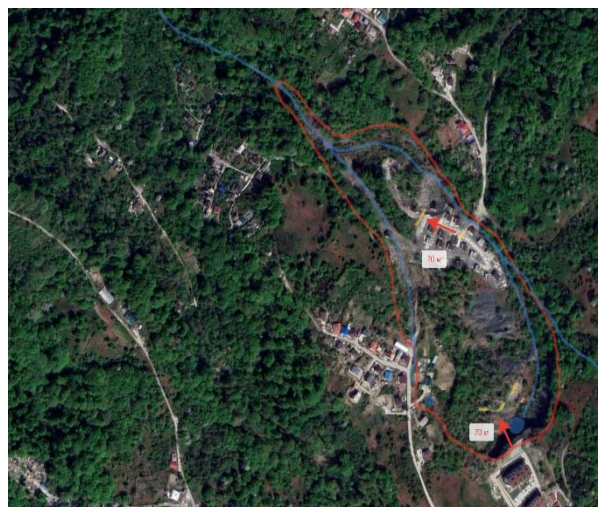


Рис. 4. Вид на коттеджный поселок после схода оползня

На территорию СНП снесены два нижних коттеджа и два домовладения. Домовладения разрушены полностью. Они были сброшены оползнем в образовавшиеся по краям языка балки с водотоками. Причем, построенные на плитном фундаменте, коттеджи остались совершенно целы. (рис. 5). На участке СНП в головной части оползня полностью изменился ландшафт. Здесь образовались глубокие рвы, обрывы, водоем (рис. 6).



Рис. 5. Вид на коттеджи после оползня и разрушения поселка



Рис. 6. Вид на голову и образовавшийся водоем

Выводы

Оползень в с. Сергей Поле эксперты по опасным геологическим процессам относят к катастрофическим природным явлениям, где основную роль играют природные геологические факторы: глинистые грунты палеоцен-эоцена, выветривание, суффозия, наличие слоя деляпсия мощностью до 80 м, тектоническая трещиноватость пород, наличие Сергеепольского сброса [5]. Немаловажную роль в оползневом процессе играют климатические условия района в виде затяжных дождей, таяния снега и как следствие резкое повышение уровня подземных вод и общей обводненности склона.

Потеря устойчивости склона возможно произошла по тектоническим трещинам. Крупные блоки коренных пород отделились и сместились в сторону левого притока р. Ордынка. Новый блоковый оползень двигаясь вниз по склону сместил впереди себя старые оползневые отложения на которых был построен коттеджный поселок. Площадка поселка сместилась с левым поворотом.

К антропогенным факторам, усугубляющим ситуацию, можно отнести подрезку склона и отвалы грунта на оползневой участок со строительной площадки под многоквартирные дома, находящиеся в верхней части склона. А также выровненную площадку под коттеджный поселок с засыпкой эрозионного вреза и изменением направления водотока. Увеличение фильтрационных свойств поверхностного слоя при организации строительной площадки нового поселка.

Ландшафт участков в 94 квартале Дагомысского лесничества Сочинского национального парка кардинально изменился и приобрел резкие формы рельефа. На территории СНП помимо образовавшегося в результате оползня, строительного мусора, оказались целые двухэтажные коттеджи (рисунок 7, 8). В выводах отчета по инженерно-геологическим изысканиям 1988 г. четко написано, что при соответствующей инженерной защите «строительство жилья вполне возможно на всей отведенной территории, за исключением оползня «Кесян»» [4]. Поэтому, причины разрушения поселка следует искать на стадии разработки проектной документации и выдачи

разрешения на строительство. Необходимо исключить из проектной документации выделение таких участков для жилой застройки.

В принимаемом в этом году новом Генеральном плане города Сочи не актуализированы данные по опасным-геологическим процессам, как эндогенным (разломы, надвиги), так и экзогенным (оползни, сели, карст, осыпи, обвалы, абразионно-аккумулятивные, эрозионные, учет участков затопления и паводковой опасности). Активное хозяйственное освоение новых территорий г. Сочи без должного учета сложных геологических условий создает дополнительные экологические риски. Нарастающее техногенное воздействие в условиях сложного геологического строения может привести к резкому обострению экологических проблем как города, так и граничащей с муниципальными землями особо-охраняемой природной территории «Сочинский национальный парк». Один из таких примеров мы получили в виде оползня в с. Сергей Поле.

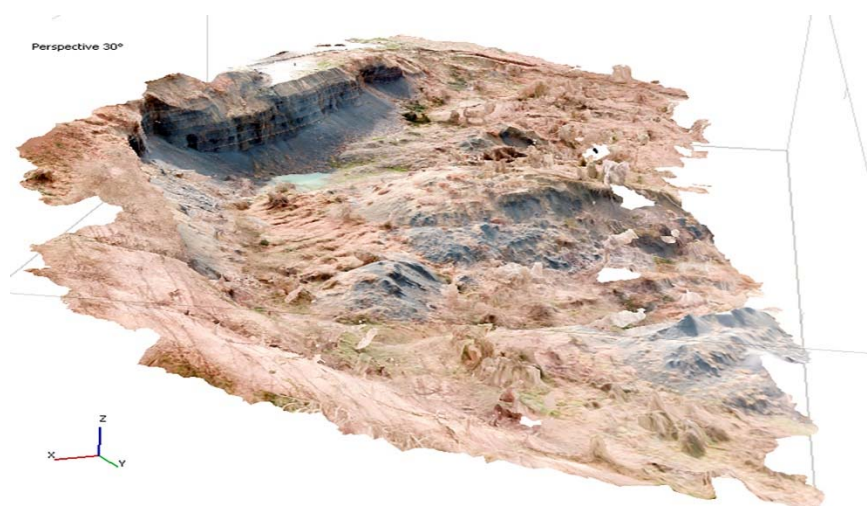


Рис. 7. Вид 3d-модели на голову оползня «Кесян» (по материалам Е. Захарова)



Рис. 8. Вид 3d-модели на коттеджный поселок после схода оползня «Кесян» (по материалам Е.Захарова).

Список литературы

1. Лаврищев В.А., Семенуха И.Н., Андреев А.С., Горшков А.С. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Кавказская. Лист К-37-IV (Сочи). СПб: Изд-во СПб картографической фабрики ВСЕГЕИ. 2000а.
2. Щербаков С.Н. Сочи. Люди и судьбы. Краснодар: Платонов. 2014. т. 1. с. 88
3. Лаврищев В.А., Греков И.И., Башкиров А.Н., Семенов В.М., Черных В.И., Прокуронов П.В., Сааков В.Г., Горшков А.С., Шельтинг С.К. Объяснительная записка к листу К-37-IV (Сочи) государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Кавказская. СПб: Изд-во СПб картографической фабрики ВСЕГЕИ. 2000б. с. 27.
4. Технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям для строительства на объекте: «Генеральный план застройки сел Дагомысского чайсовхоза. Село Сергей Поле». 1988. Северо-Кавказский трест инженерно-строительных изысканий «СевКавТИСИЗ». Черноморское отделение. Арх.№1434.
5. Несмеянов С.А., Измайлов Я.А., Воейкова О.А. Стратиграфия и тектонические деформации четвертичных морских террас Западного Кавказа и Тамани. Москва – ФБУН Институт им. Е.М. Сергеева РАН. ООО Типография «Миттель Пресс». 2021. с. 159, 164.
6. Оноприенко М.Г. Безопасность жизнедеятельности. Защита территорий и объектов экономики в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. Сочи-РИЦ ФГБОУ ВПО «СГУ». 2012. с. 163-174.
7. Картографическое приложение на основе свободной географической карты OpenStreetMap [Электронный ресурс]. URL: <https://nakarte.me/>. (Дата обращения: 23.03.2023).
8. Геоинформационная система Google Earth [Электронный ресурс]. URL: <https://earth.google.com/>. (Дата обращения: 24.03.2023).

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ В РАЙОНЕ ЭЛЬБРУССКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС

Т.В. Реутова, Ф.Р. Дреева, Н.В. Реутова

reuttat@yandex.ru

ФГБНУ «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», Центр географических исследований, Россия, г. Нальчик

Аннотация. Проведен пространственный анализ распределения в природных водах широкого круга компонентов химического состава с использованием геоинформационных технологий в уникальном районе Кавказа – районе расположения Эльбрусского неовулканического центра. В результате были выявлены зоны повышенных концентраций компонентов (Li, F, Cl, Na) непосредственно связанных с влиянием потенциально активного вулкана, пункты с высокими концентрациями сульфатов, относящиеся к древней части вулкана. Наглядно проявились многие особенности распределения отдельных компонентов и их ассоциаций. Созданы электронные тематические карты распределения главных ионов и микропримесей.

Ключевые слова. Пространственное распределение, природные воды, главные ионы, микропримеси, Эльбрусский вулканический центр

Введение

Кавказ является единственным на европейской территории России регионом с интенсивно проявленной новейшей вулканической активностью. По масштабам извержений и размерам вулканических построек особо выделяется Эльбрусский неовулканический центр (ЭВЦ) [1], отнесенный по результатам геохронологических, петрохимических и изотопно-геохимических исследований к категории потенциально активных вулканов [2]. Таким образом, состав пород в данном регионе, их химический и изотопный состав и связь с проявлениями современного и древнего вулканизма достаточно подробно изучены, но химический состав поверхностных вод в высокогорных районах данного региона изучен значительно хуже.

В период с 2013 по 2021 г.г. авторами были проведены обследования широкого круга водных объектов различного происхождения и типа питания, по показателям содержания главных ионов (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), микропримесей ионной природы (Li^+ , Sr^{2+}), потенциально токсичных элементов (Al, As, Mo, Cu) в высокогорной части пяти речных бассейнов от Теберды до Чегема, три из которых непосредственно связаны с ЭВЦ (Кубань, Малка, Баксан). В результате был выявлен ряд водных объектов, значительно отличающихся по химическому составу от типичных для высокогорной зоны [3,4].

Целью данного исследования является изучение и сравнительный анализ особенностей пространственного распределения компонентов химического состава природных вод на территории Эльбрусского неовулканического центра и прилегающих территориях с использованием QGIS, составление тематических карт содержания отдельных компонентов и их сопоставление, чтобы выявить его влияние на состав природных вод.

Материалы и методы

Основой для анализа послужили полученные при полевых исследованиях данные о содержании главных ионов и микропримесей водных объектах в верховьях рек Теберда, Кубань, Малка, Баксан и Чегем до 30-40 км от их истоков (среднегодовые концентрации за период 2013-2022г.г. по 204 пунктам/створам наблюдений). Пробы отбирали в июле - начале августа, при отборе фиксировали местоположение пункта и проводили первичную пробоподготовку (фильтрование, консервацию, охлаждение). Определение концентраций SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Li^+ , F^- проводили методом капиллярного ионофореза, концентрации Al , As , Mo , Cu были измерены методом атомно абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией. Карты распределения строили в программе QGIS, векторные данные интерполировали методом обратно-взвешенных расстояний (ОВР).

Весь массив данных был подвергнут простейшей статистической обработке, для каждого компонента выявлены значения медианы, межквартильного размаха (IQR) и определены выбросы концентраций. Сравнительный анализ этих показателей показал значительные различия между водными объектами ледникового и не ледникового происхождения, поэтому для них были составлены отдельные карты. Поскольку концентрации в пределах IQR достаточно сильно варьировали (отличались в 3-4,5 раза), при установке градаций концентраций для построения карт за основу фона был принят диапазон 2-го квартиля, выделены объекты с пониженными концентрациями, попавшие в 1-й квартиль, слабо повышенными считаются концентрации, составившие 3-й квартиль. Регистрируемые концентрации, оказавшиеся между значением 3-го квартиля и незначительным выбросом, отнесены к категории повышенных. Категорию высоких концентраций составили все незначительные выбросы, а те пункты, где концентрации квалифицировались как значительные выбросы, обозначены отдельным знаком и объединены в группу экстремальных.

Обсуждение результатов

Рисунки 1-11 представляют собой тематические карты распределения вышеупомянутых компонентов химического состава природных вод в высокогорной зоне. Сопоставление ледниковых и неледниковых водных объектов показало, что в большинстве случаев водотоки подземного происхождения содержат почти все компоненты химического состава в более высоких концентрациях. Исключение составили Al (рис.6) и Cu (рис.11). Наиболее высокие концентрации Al встречались в истоках ледниковых рек преимущественно в восточной части региона исследования, а отличия водных объектов различного происхождения по содержанию Cu были незначительны.

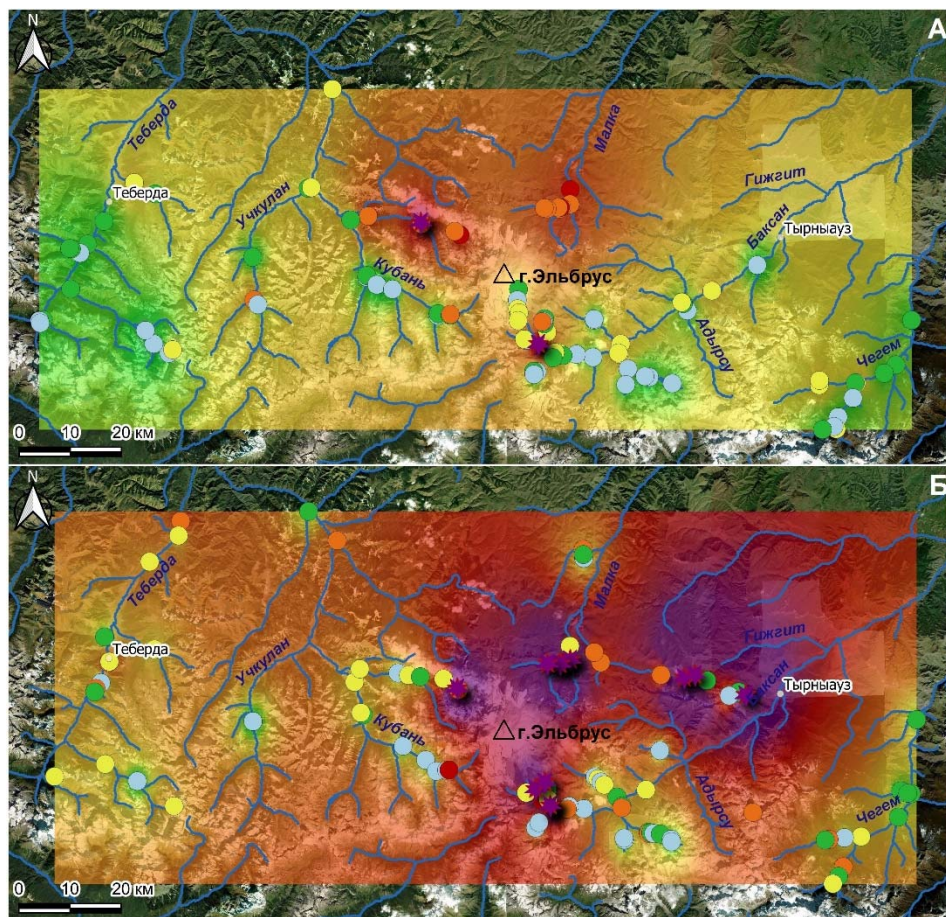


Рис. 1. Пространственное распределение ионов хлора в водных объектах ледникового (А) и неледникового (Б) происхождения

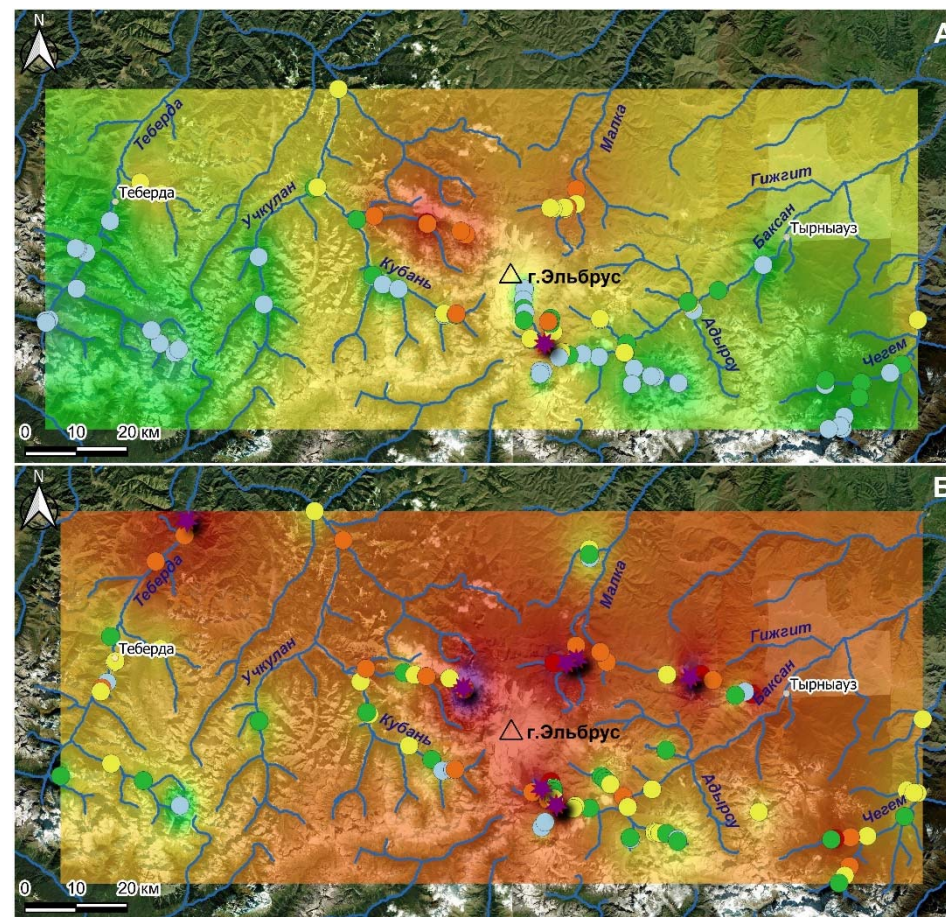


Рис. 2. Пространственное распределение ионов натрия в водных объектах ледникового (А) и неледникового (Б) происхождения

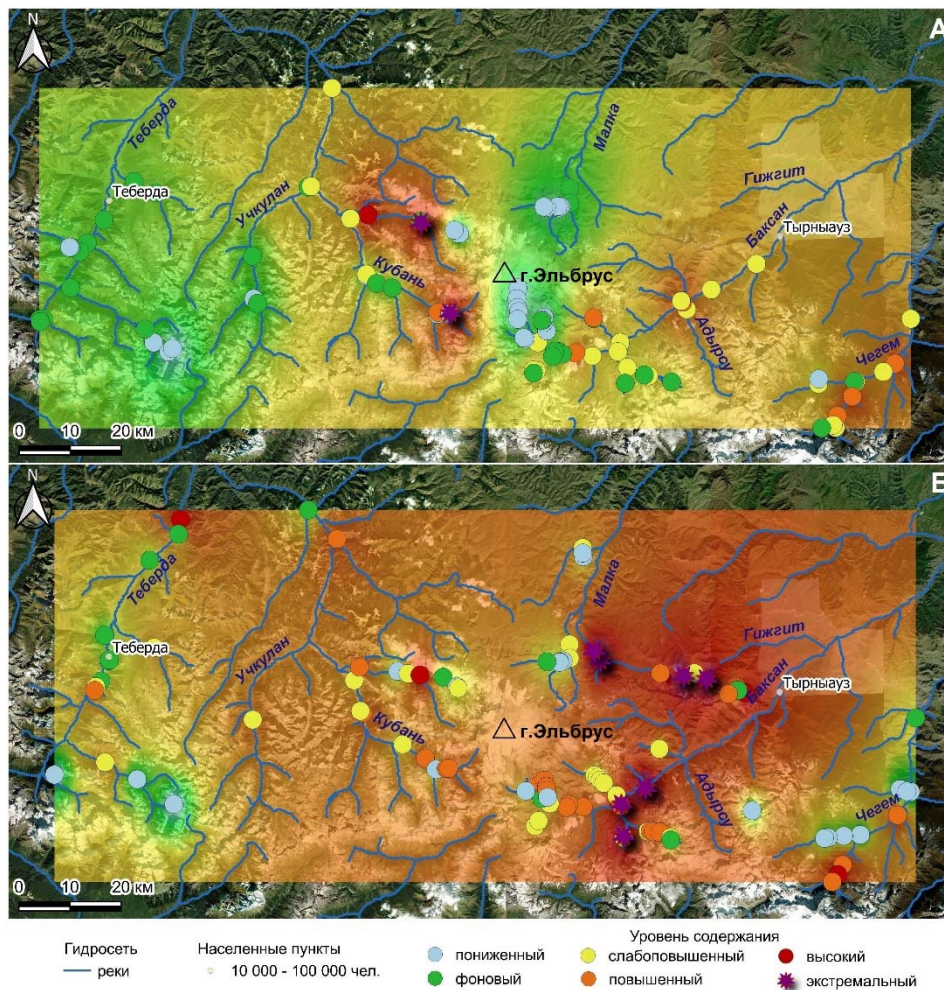


Рис. 3. Пространственное распределение сульфат-ионов в водных объектах ледникового (А) и неледникового (Б) происхождения

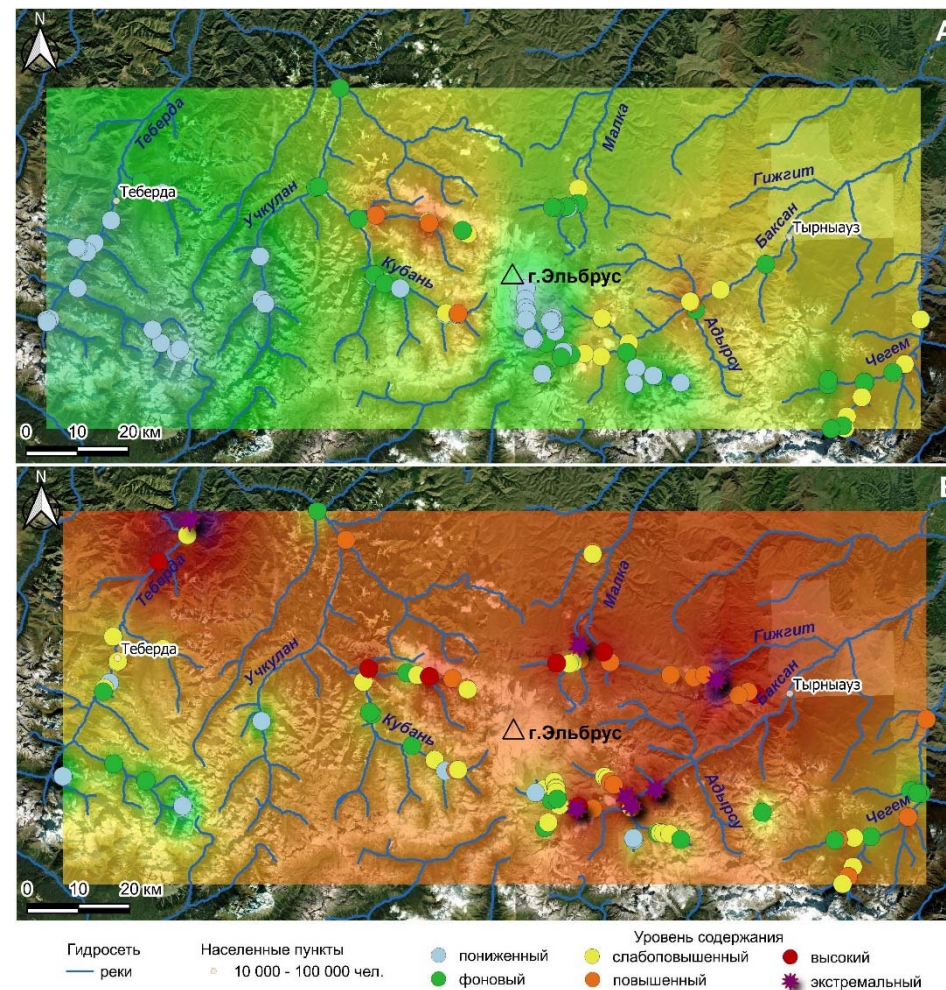


Рис. 4. Пространственное распределение ионов магния в водных объектах ледникового (А) и неледникового (Б) происхождения

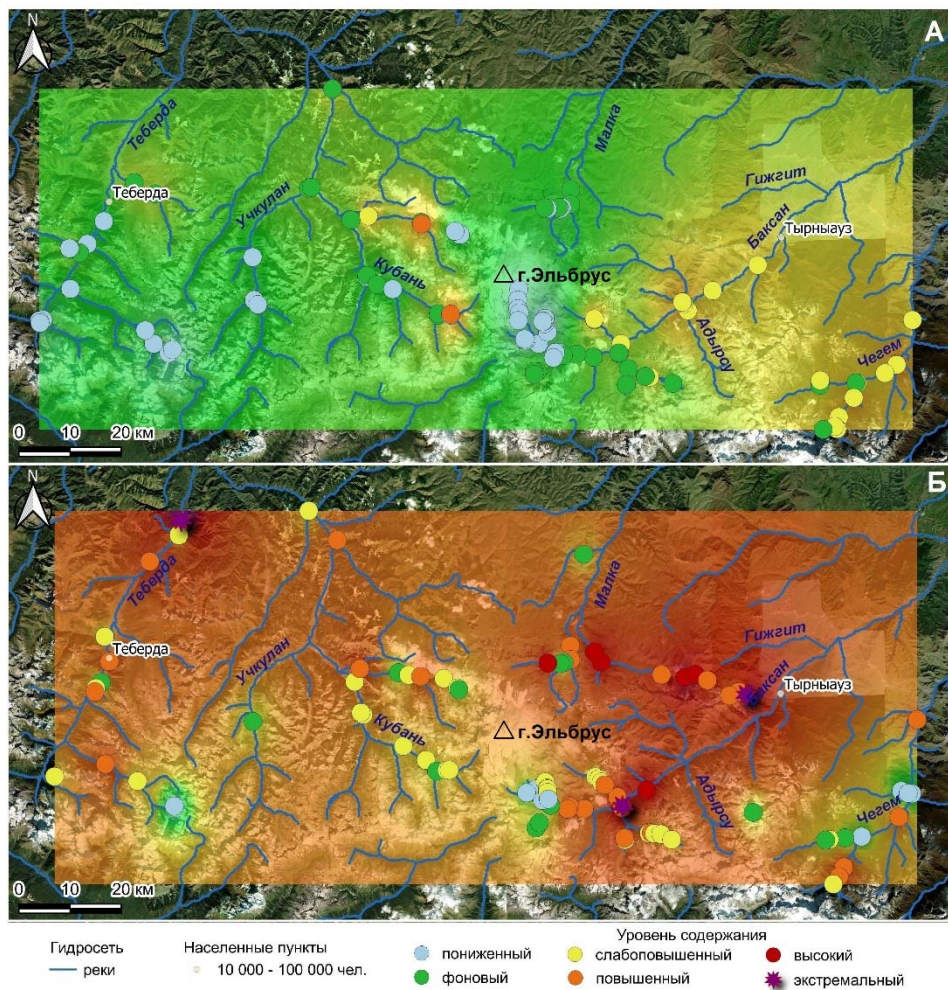


Рис. 5. Пространственное распределение ионов кальция в водных объектах ледникового (А) и неледникового (Б) происхождения

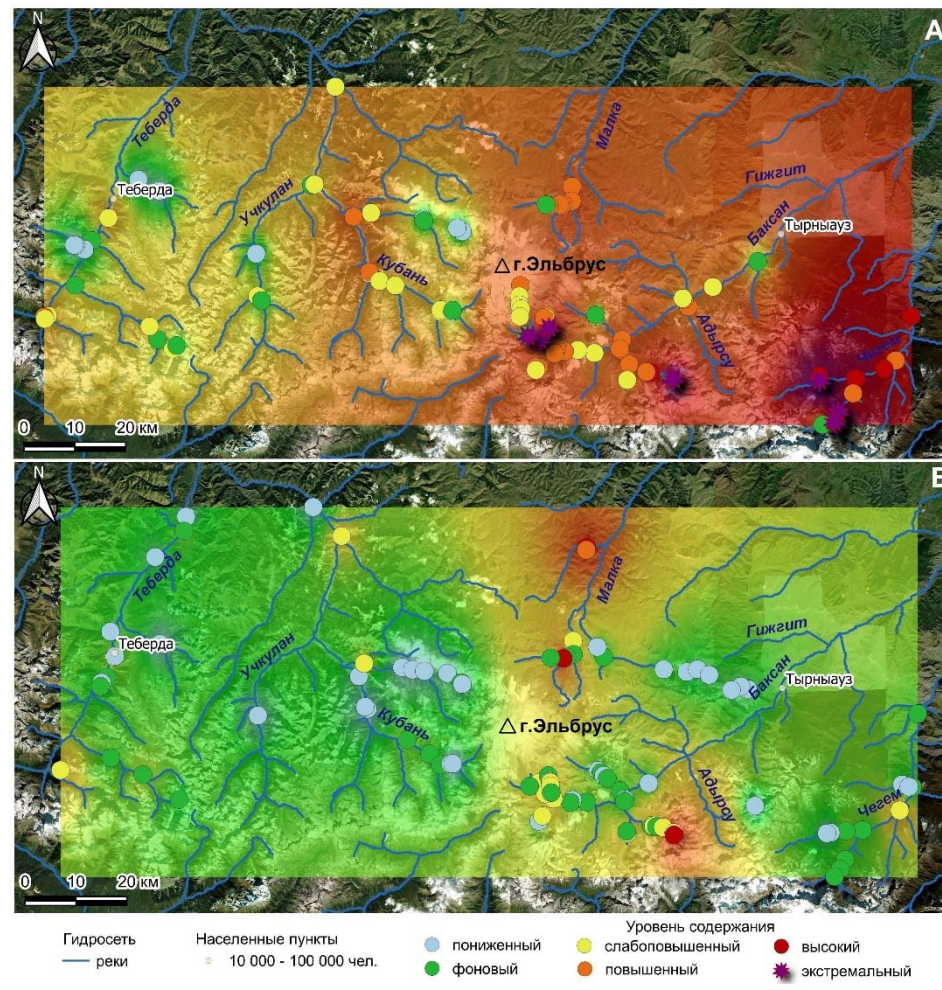


Рис. 6. Пространственное распределение алюминия в водных объектах ледникового (А) и неледникового (Б) происхождения

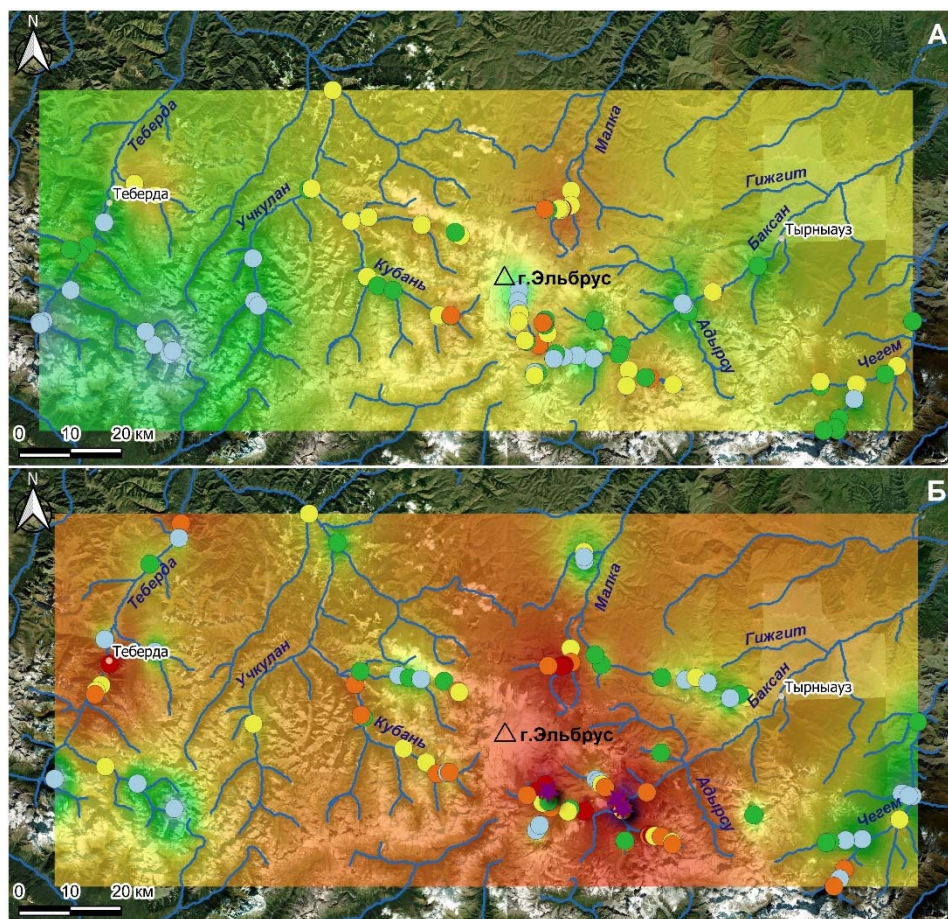


Рис. 7. Пространственное распределение ионов фтора в водных объектах ледникового (А) и неледникового (Б) происхождения

Гидросеть — реки
 Населенные пункты — 10 000 - 100 000 чел.
 Уровень содержания:
 пониженный (синий), фоновый (зеленый), слабоповышенный (желтый), повышенный (оранжевый), высокий (красный), экстремальный (фиолетовый)

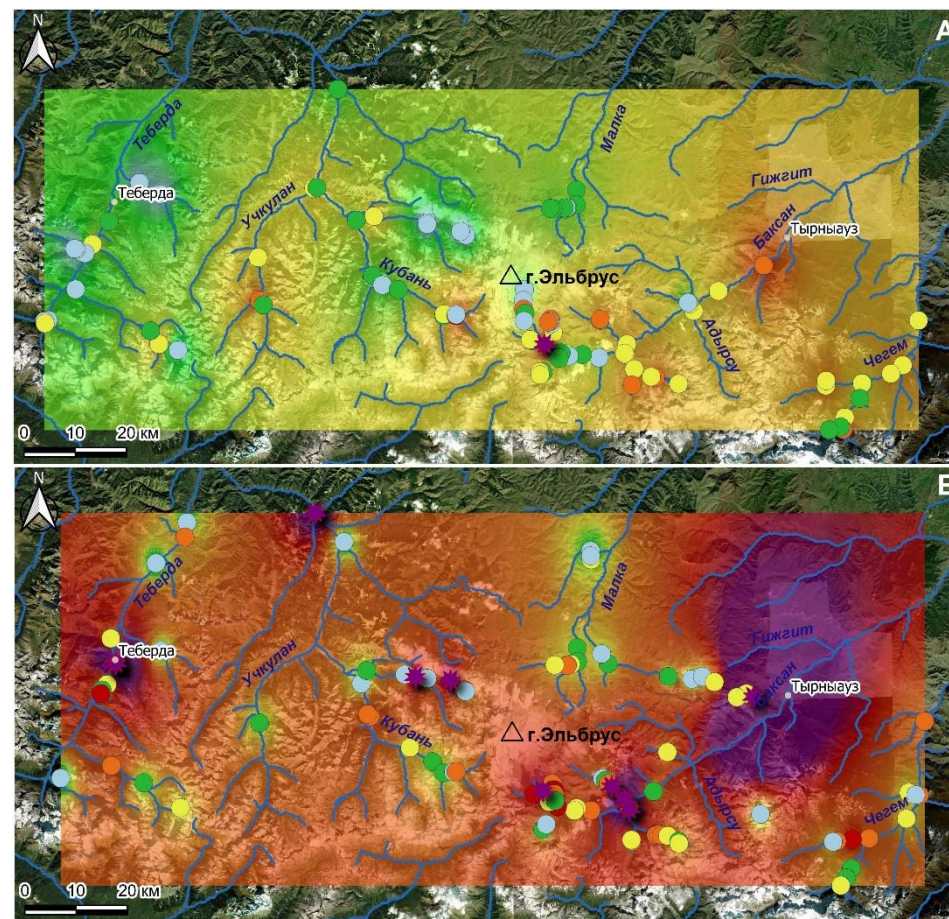


Рис. 8. Пространственное распределение молибдена в водных объектах ледникового (А) и неледникового (Б) происхождения

Гидросеть — реки
 Населенные пункты — 10 000 - 100 000 чел.
 Уровень содержания:
 пониженный (синий), фоновый (зеленый), слабоповышенный (желтый), повышенный (оранжевый), высокий (красный), экстремальный (фиолетовый)

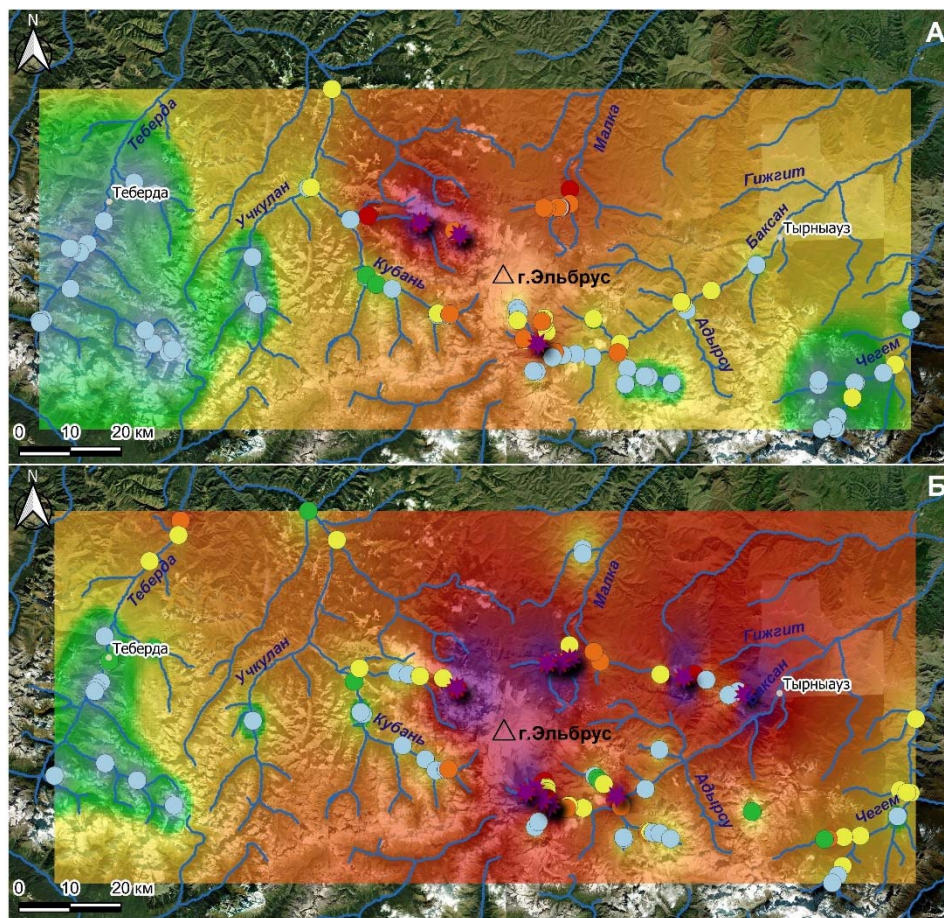


Рис. 9. Пространственное распределение ионов лития в водных объектах ледникового (А) и неледникового (Б) происхождения

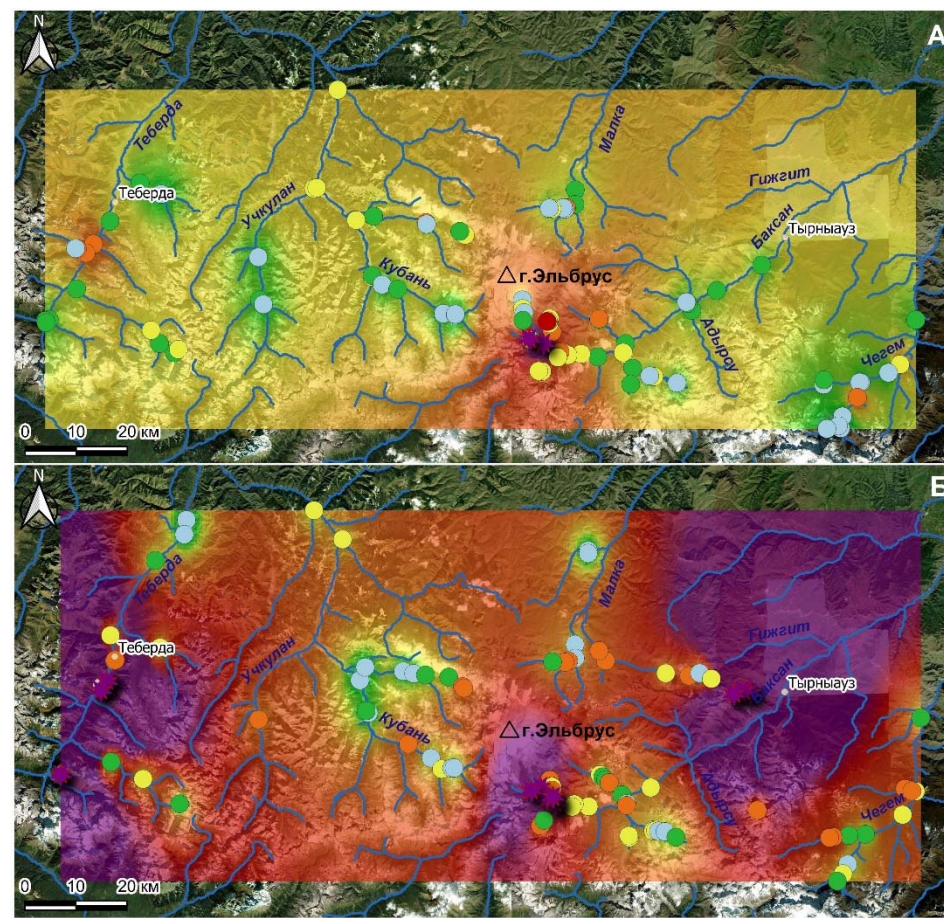


Рис. 10. Пространственное распределение мышьяка в водных объектах ледникового (А) и неледникового (Б) происхождения

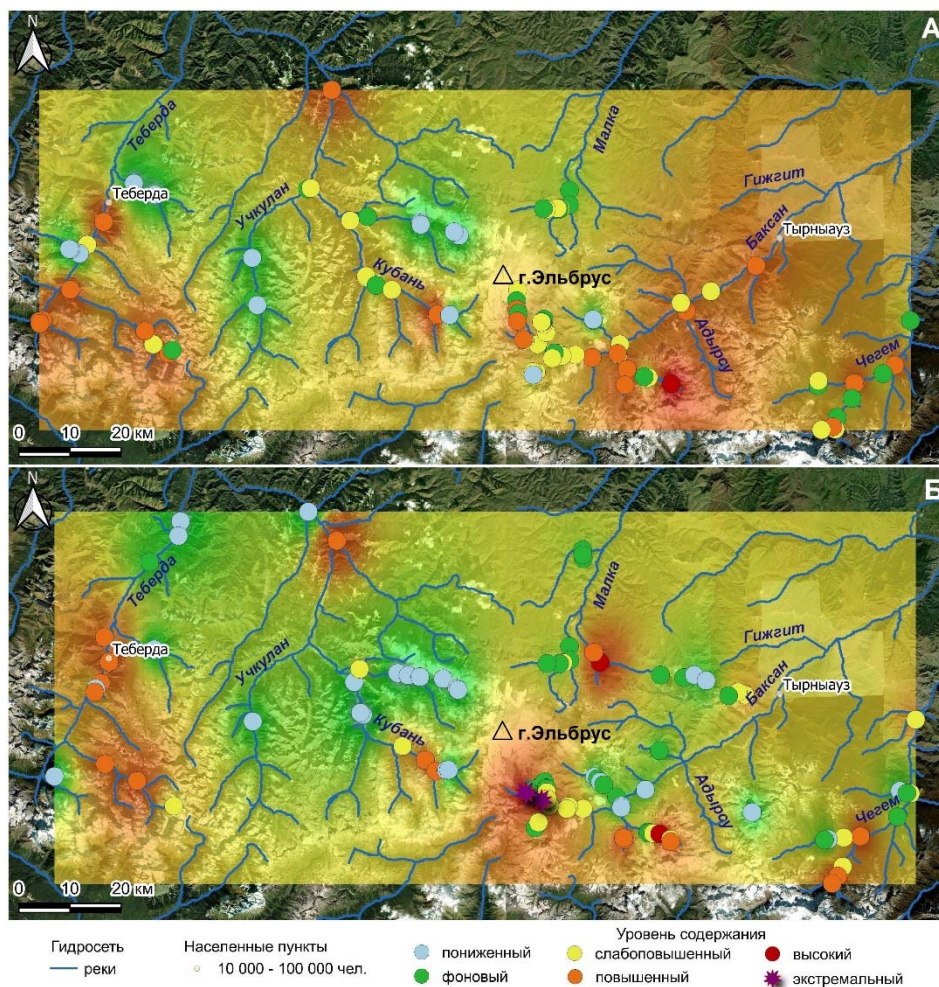


Рис. 11. Пространственное распределение меди в водных объектах ледникового (А) и неледникового (Б) происхождения

Характер распределения Cl^- , F^- и Na^+ (рис.1,2,7) указывает на прямое влияние ЭВЦ на состав природных вод. Именно левые притоки Баксана, правые Кубани, прежде всего бассейн р. Уллу-Хурзук и верховья Малки, включая мощные ледниковые потоки, содержат повышенные и высокие до экстремальных концентрации этих компонентов и Li , что может быть связано с продолжающейся дегазацией магматических камер подтвержденной фумарольной активностью [5].

Много общего в распределении SO_4^{2-} и Mg^{2+} . В отличие от Cl^- , F^- и Na^+ , высокие концентрации которых приурочены к южному, западному и северному склонам Эльбруса, прослеживается зона повышенных содержаний в бассейне Чегема, а также на восточных склонах Эльбруса и в правобережье Баксана. Главной особенностью территориального распределения SO_4^{2-} является то, что экстремальные концентрации обнаружены были в двух ледниковых реках на западном склоне Эльбруса в районе массива Кюкюртлю, являющегося древней экструзией вулкана Палео-Эльбрус обогащенной серой [6, 7]

Отдельного внимания заслуживает распределение Li (рис.9). В большинстве водных объектов этот элемент либо отсутствует, либо не является постоянно присутствующей примесью, либо содержится в следовых

концентрациях близких к пределу определения. На этом фоне резко выделяются реки на склонах Эльбруса, как неледниковые, так и ряд ледниковых, с повышенными, высокими и экстремальными концентрациями и проявляется дополнительная зона высоких концентраций вдоль Передового хребта в смежных бассейнах Малки и Баксана. При этом в 17 пунктах содержание составляет 1-4 ПДК_{пит}, причем воды многих из них используются в рекреационных зонах в качестве источников питьевой воды, как нецентрализованного, так и централизованного водоснабжения.

Сходный вид распределения характерен для As (рис.10) и Mo (рис.8). Пункты с высокими и сверхвысокими концентрациями образуют 3 отдельные зоны: под южным склоном Эльбруса (воды содержат 1-8 ПДК As), на склоне Передового хребта в районе Тырнауза (до 15 ПДК As) и в зоне истока Теберды (3-14 ПДК As). Последняя зона совпадает с повышенными концентрациями F. На северном склоне Эльбруса концентрации тоже повышены, но не до экстремальных значений.

Корреляционный анализ показал высокую плотность связи между почти всеми компонентами ионного состава вод, но по картам видны значительные отличия в их пространственном распределении. В то же время при низких значениях коэффициентов корреляции совпадают зоны повышенных концентраций As, Mo и F на южном склоне Эльбруса и в бассейне Теберды.

Выводы. Пространственный анализ, выполненный с применением QGIS, позволил выявить многие закономерности распределения примесей. Прежде всего очевидным стало влияние ЭВЦ на химический состав природных вод непосредственно с ним связанных. Этот потенциально активный вулкан является источником поступления в воды значительных количеств лития, мышьяка, молибдена, фторидов, хлоридов вплоть до превышения ПДК для питьевых вод.

Список литературы

1. Лебедев В. А., Вашакидзе Г. Т. Четвертичные вулканы Большого Кавказа и их каталогизация на основе геохронологических, вулканологических и изотопно-геохимических данных // Вулканология и сейсмология. – 2014. – № 2. – с. 29-45. DOI: 10.7868/S0203030614020047
2. Чернышев И.В., Бубнов С.Н., Лебедев В.А., Гольцман Ю.В., Баирова Э.Д., Якушев А.И. Два этапа эксплозивного вулканизма Приэльбрусья: геохронология, петрохимические и изотопно-геохимические характеристики вулканитов и их роль в неоген-четвертичной истории Большого Кавказа // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2014. – № 1(22). – с. 100-130.
3. Реутова Т.В., Дреева Ф.Р., Реутова Н.В. [и др.] Гидрохимические аномалии в водных объектах национального парка «Приэльбрусье» // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – № 6(110). – С. 144-157. – DOI 10.35330/1991-6639-2022-6-110-144-157. – EDN HDPNBV.
4. Выявление атипичных по содержанию примесей водных объектов в горной зоне Центрального Кавказа / Т. В. Реутова, Ф. Р. Дреева, Н. В. Реутова [и др.] // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том VI. – Грозный: Академия наук Чеченской Республики, 2017. – С. 348-363. – EDN ZSQNQV.
5. Гурбанова А.Г., Богатиков О.А., Газеев В.М. [и др.] Необычные виды дегазации из расплавов периферических магматических камер «спящего» вулкана Эльбрус (Россия):

геохимические и минералогические особенности // Вулканология и сейсмология.- 2011.-№ 4.-С. 3-20 DOI: 10.1134/S0203030611040018

6. Короновский Н.В., Мышенкова М.С., Брянцева Г.В. Вулкан Эльбрус, Северный Кавказ // Жизнь Земли. –2015. – Т. 37. – С. 12-20.

7. Короновский Н.В. Мышенкова М.С. Строение западного склона вулкана Эльбрус и Приэльбрусья //Геология и геофизика Юга России .- 2016.- № 2. -С. 60-73.

ИОНОСФЕРНЫЕ АНОМАЛИИ В ПЕРИОД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ПРОВИНЦИИ БАДАХШАН (2023)

^{1,2}С.А. Рябова

riabovasa@mail.ru

¹ФГБУН Институт динамики геосфер имени академика
М.А. Садовского РАН, Россия, г. Москва

²ФГБУН Институт физики Земли О.Ю. Шмидта РАН, Россия, г. Москва

Аннотация. В настоящем исследовании изучаются аномальные геомагнитные вариации, которые могут быть связаны с землетрясением в провинции Бадахшан (Афганистан). В качестве исходных привлекались данные регистрации трех компонент магнитной индукции на земной поверхности, выполненной на обсерваториях международной сети станций *Intermagnet*. В дополнение к геомагнитным данным в настоящей работе привлекались данные с ионосферной станции «Аль-Дафра». Проведена интерпретация выделенных аномалий после основного толчка.

Ключевые слова. Землетрясение, вариации, геомагнитное поле, критическая частота, F2-слой ионосферы.

21 марта 2023 года в провинции Бадахшан (Афганистан) произошло землетрясение в 16:47 УТ. Землетрясение было глубокофокусным, его очаг располагался на глубине 187,6 км под поверхностью Земли. Геофизические координаты эпицентра: 36,523° N 70,979° E. По данным Геологической службы США магнитуда землетрясения составила 6,5 [15], по данным Метеорологического управления Пакистана – 6,8 [9].

По данным Европейско-Средиземноморского сейсмологического центра сотрясение от землетрясения в провинции Бадахшан 21 марта 2023 г. ощущалось на территории в радиусе 1000 км, толчки ощущались в Пакистане, Индии (включая Дели), Узбекистане, Таджикистане, Казахстане, Кыргызстане, Афганистане и Туркменистане [7].

Эпицентр землетрясения по данным Геологической службы США находился недалеко от населенного пункта Джурма, на северо-востоке Афганистана, примерно в 300 км к северу от города Кабула, довольно близко к границе Афганистана с Таджикистаном.

Это сейсмоопасный регион, где землетрясения магнитудой более шести не редкость. Аналогичное сейсмическое событие магнитудой 6,1 произошло в 2018 году очень близко к месту основного толчка землетрясения в провинции Бадахшан 21 марта 2023 г [14]. Подземные толчки этих глубокофокусных землетрясений ощущались на больших расстояниях от эпицентра.

Гималайский регион, протяженностью 2500 км от гор Гиндукуш (горная система в Центральной Азии) до конца штата Аруначал-Прадеш (регион на северо-востоке Индии) продолжает оставаться одной из самых опасных сейсмических зон в мире.

Гималаи, частично образовавшиеся в результате субдукции Индостанской и Евразийской тектонических плит, подвержены

разрушительным землетрясениям. Афганистан расположен вблизи южной границы Евразийской плиты [7]. Большинство из этих землетрясений связаны с обратными, толчковыми или сдвиговыми разломами.

На северо-западной стороне Тибетского плато, которое расположено к северу от Гималаев, под горами Памир-Гиндукуш на севере Афганистана, землетрясения происходят на глубине до 200 км в результате остаточной литосферной субдукции. В регионе происходят крупные землетрясения магнитудой до 7,5 со средним интервалом повторения в 15 лет. Эти землетрясения соответствуют обратному разлому на глубине от 170 до 280 км [11]. Таким образом, рассматриваемое в работе землетрясение является в регионе вполне типичным

Изогнутая дуга глубоких землетрясений, наблюдаемых в регионе Памир-Гиндукуш, указывает на присутствие литосферного тела на глубине, которое считается остатками субдуцирующей плиты. Поперечные разломы в области Гиндукуша показывают почти вертикальную северную субдуцирующую плиту, тогда как поперечные разломы в соседней Памирской области на востоке указывают на гораздо более мелкую погружающуюся, южную субдуцирующую плиту. Некоторые модели предполагают наличие двух зон субдукции: Индостанская плита, субдуцированная ниже области Гиндукуша, и Евразийская плита, субдуцированная ниже области Памира. Однако в соответствии с другими моделями подвергается субдукции только одна из двух плит [8].

Сильные землетрясения являются источником возмущения геофизических полей [4–6, 11]. Изучение вариаций геофизических полей, вызванных сейсмическими событиями, представляет значительный интерес для понимания их внутренних механизмов и закономерностей их развития. Геомагнитные вариации после основного толчка землетрясений широко рассматривались в литературе. Следует отметить, что наблюдались геомагнитные аномалии на значительных расстояниях [2, 3].

В настоящем исследовании изучались аномальные геомагнитные вариации и вариации критической частоты F2-слоя ионосферы, которые могут быть связаны с землетрясением в Афганистане, в провинции Бадахшан, произошедшем 21 марта 2023 года.

В качестве исходных привлекались данные регистрации трех компонент магнитной индукции на земной поверхности, выполненной на обсерваториях международной сети станций Intermagnet [13] (табл. 1).

Анализ геомагнитных индексов показал, что в период землетрясения магнитное поле было спокойным, причем $Kp = 2+$ в период с 15 до 18 UT, $Kp = 1+$ в период с 18 до 21 UT, $Kp = 2+$ в период с 21 до 00 UT (22 марта). Это упростило выделение вызванных возмущений геофизических полей.

В дополнение к геомагнитным данным в настоящей работе привлекались данные ионосферной станции «Аль-Дафра». Геофизические координаты станции: 24,24° N 54,58° E.

Геомагнитные пункты наблюдений

Наименование пункта наблюдения	Код	Широта, ° N	Долгота, ° E	Месторасположение	Расстояние до эпицентра, км
Алибаг	ABG	18,62	72,87	Индия, г. Алибаг	1999
Хайдарабад	HYB	17,42	78,55	Индия, г. Хайдарабад	2251
Джайпур	JAI	26,92	75,8	Индия, г. Джайпур	1161

Каждая ионограмма подвергалась ручной обработке и интерпретации по методике URSI [1]. В результате был сформирован цифровой ряд данных с дискретизацией 7,5 мин.

По результатам обработки и анализа инструментальных наблюдений получено, что процесс инициализации землетрясений сопровождается характерными вариациями магнитного поля и критической частоты F2 слоя ионосферы. При этом следует отметить нелокальный характер вызванных вариаций.

Ионосферный эффект основного толчка в период рассматриваемого события приведен на рисунке в виде вариаций критической частоты F2 слоя ионосферы по данным станции наземного зондирования «Аль-Дафра», расположенной на расстоянии 2078 км от эпицентра землетрясения в провинции Бадахшан 21 марта 2023 г.

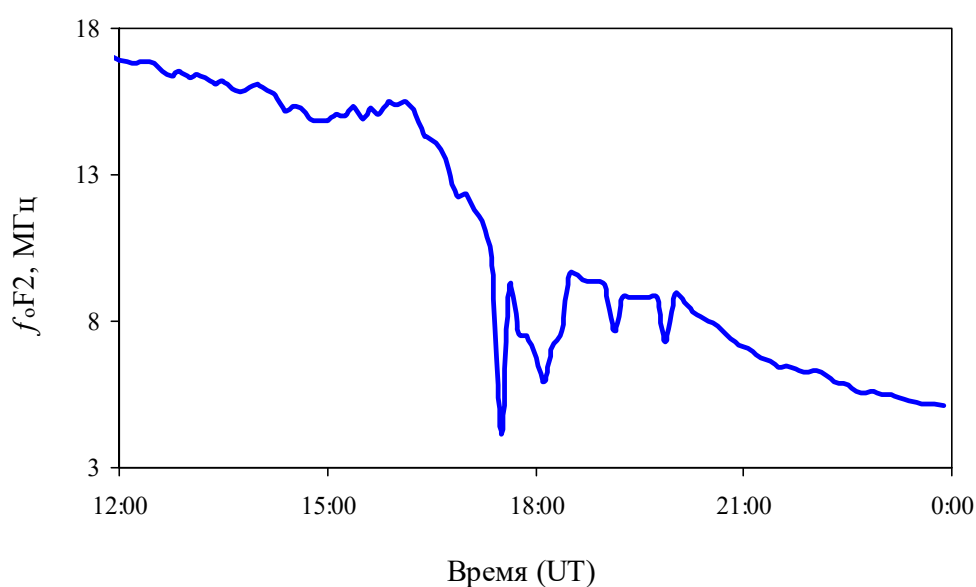


Рис. 1. Вариации критической частоты F2 слоя ионосферы 21.03.2023 г. на станции мониторинга ионосферы «Аль-Дафра»

Из рис. 1 следует, что сейсмическое событие вызвало ярко выраженные продолжительные знакопеременные вариации критической частоты с ~17:30 до ~20:00 UTC. Результаты анализа вариаций критической частоты F2 слоя ионосферы, а также вейвлет-анализа показали, что характерный период

вызванных вариаций составил ~ 30–50 мин, а максимальная амплитуда была равна ~ 3 МГц.

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. Руководство URSI по интерпретации и обработке ионограмм. Под редакцией П.В. Медниковой. М.: Наука. 1977. 342 с.
2. Рябова С.А., Шалимов С.Л. О геомагнитных вариациях, наблюдаемых на поверхности земли и приуроченных к сильным землетрясениям // Физика Земли. 2022. № 4. С. 30–45.
3. Спивак А. А., Рябова С. А. Геомагнитные вариации при сильных землетрясениях // Физика Земли. 2019. № 6. С. 3–12.
4. Спивак А.А., Шалимов С.Л., Рябова С.А., Харламов В.А. Об атмосферных проявлениях сильных землетрясений // Физика Земли. 2020. № 4. С. 51–60.
5. Сурков В. В. Электромагнитные эффекты при землетрясениях и взрывах. М.: МИФИ, 2000. 448 с.
6. Шалимов С.Л., Ольшанская Е.В. О возмущениях ионосферы, регистрируемых посредством GPS во время метеоцунами // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 6. С. 660–668.
7. Ambraseyes N., Bilham R. Earthquakes in Afghanistan // Seismological Research Letters. 2003. Vol. 74. No. 2. doi: 10.1785/gssrl.74.2.107.
8. Greenfield C., Yunus Yawar M., Peshiman G., Jibrán A. Earthquake of magnitude 6.5 hits northern Afghanistan, killing at least 3. Reuters. Kabul, Islamabad and Peshawar [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://www.reuters.com/world/asia-pacific/earthquake-magnitude-65-hits-northern-afghanistan-emsc-2023-03-21>.
9. Kufner S.-K., Kakar N., Bezada M., Bloch W., Metzger S., Yuan X., Mechie J., Ratschbacher L., Murodkulov Sh., Deng Zh., Schurr B. The Hindu Kush slab break-off as revealed by deep structure and crustal deformation // Nature. 2021. Vol. 12. doi:10.1038/s41467-021-21760-w.
10. Munir A., Rahim F. Strong magnitude 6.5 quake rattles Afghanistan, Pakistan. Associated Press. Islamabad [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://apnews.com/article/pakistan-earthquake-islamabad-3f3c17ad5a7924a4217dbd3117388cb>.
11. Yaso N., Hasbi A. M., Abdullah M. Investigation of ionospheric and geomagnetic response during 2011 Tohoku earthquake using ground based measurement // Journal Indian Journal of Radio and Space Physics. 2016. Vol. 45. No. 3. P. 115–125.
12. Zarifi Z., Havskov J. Characteristics of dense nests of deep and intermediate-depth seismicity // Advances in Geophysics. 2003. Vol. 46. P. 237–278. doi:10.1016/S0065-2687(03)46004-4.
13. International Intermagnet network [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://intermagnet.org>.
14. United States Geological Survey. M 6.2 – 37 km S of Jurm, Afghanistan [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us2000crmu/executive>.
15. United States Geological Survey. M 6.5 – 40 km SSE of Jurm, Afghanistan [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000jln7/executive>.

ШЕСТНАДЦАТИДНЕВНАЯ ПЛАНЕТАРНАЯ ВОЛНА В ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЯХ ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИЙ «МОСКВА», «БОРОК» И «БЕЛЬСК»

^{1,2}С.А. Рябова

riabovasa@mail.ru

¹ФГБУН Институт физики Земли О.Ю. Шмидта РАН, Россия, г. Москва

²ФГБУН Институт динамики геосфер имени академика
М.А. Садовского РАН, Россия, г. Москва

Аннотация. В настоящем исследовании изучаются спектры горизонтальной компоненты геомагнитного поля в диапазоне квази-16-дневной волны. В качестве исходных данных использовались результаты геомагнитного мониторинга на обсерваториях «Москва», «Борок» и «Бельск» за период с 2001 по 2020 гг. Показано, что в спектрах временных вариаций геомагнитного поля в диапазоне планетарных волн в зимний период присутствуют как гармоники, связанные с солнечной активностью, так и гармоники, соответствующие квази-16-дневной планетарной волне. Выделены гармоники, связанные с модуляционным воздействием более длиннопериодных вариаций и приливным воздействием.

Ключевые слова. Планетарные волны, вариации, магнитное поле Земли, модуляция, лунно-солнечный прилив, спектр

Сложные МГД-процессы в ядре Земли и кольцевые токи в магнитосфере являются основными источниками магнитного поля Земли [5]. Естественное магнитное поле испытывает постоянные возмущения. Источники вариаций магнитного поля Земли находятся в жидком ядре, магнитосфере, ионосфере, литосфере, на Солнце [1]. Вариации магнитного поля делятся на регулярные, из которых наиболее выражена суточная вариация, и иррегулярные (возмущения) [8, 11]. Кроме того, такие крупномасштабные возмущения, как планетарные волны, также могут вызвать изменение магнитного поля Земли. Под планетарными волнами подразумевают возмущения метеорологических параметров, например, температуры воздуха, атмосферного давления, имеющие зональный (вдоль широты) масштаб порядка радиуса Земли и временной масштаб, заметно превышающий период обращения Земли вокруг своей оси [3]. Подчеркнем, что наиболее интенсивными в спектре являются квази-16-дневные волны.

В настоящей работе проводился спектральный анализ данных геомагнитного мониторинга на обсерватории «Москва» Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН), на Геофизической обсерватории «Борок» – филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН) и на Центральной геофизической обсерватории «Бельск» Геофизического института Польской академии наук, в диапазоне периодов от

12,5 суток до 17 суток, т.е. в диапазоне периодов, близких к периодам квази-16-дневной волны.

В качестве характеристики вариаций геомагнитного поля использовались результаты инструментальных наблюдений за вариациями горизонтальной компоненты геомагнитного поля, поскольку результаты наших предыдущих исследований с привлечением данных инструментальных наблюдений за геомагнитными вариациями на Геофизической обсерватории «Михнево» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер им. академика М.А. Садовского Российской академии наук [10] свидетельствуют о проявлении влияния атмосферных волн на ионосферную плазму именно в спектре горизонтальной компоненты геомагнитного поля.

При проведении исследований привлекались данные инструментальных наблюдений за геомагнитным полем на обсерватории «Москва» (Россия, Московская область, с. Красная Пахра; $54,57^\circ$ N, $37,32^\circ$ E), на обсерватории «Борок» (Россия, Ярославская область, пос. Борок; $58,03^\circ$ N, $38,97^\circ$ E) и на обсерватории «Бельск» (Польша, г. Бельск; $51,84^\circ$ N, $20,79^\circ$ E) с 2001 по 2020 гг. Использовались данные, представленные на сайте международного проекта SuperMag [15] и на сайте международной сети Intermagnet [14].

По результатам данных геомагнитного мониторинга были сформированы цифровые ряды вариаций горизонтальной компоненты геомагнитного поля с дискретизацией 1 час за двадцатилетний период (с 2001 по 2020 гг.).

При вычислении спектров в настоящей работе использовался метод спектрального оценивания, основанный на авторегрессионной модели [6]. Авторегрессионная модель порядка p представляет собой уравнение, предсказывающее k -й член последовательности по p предыдущим. Для вычисления параметров авторегрессионной модели p -ого порядка использовался метод Юла-Уокера [4], для решения системы использовалась рекуррентная процедура – метод Левинсона-Дурбина [12, 13].

В качестве примера на рис. 1 и 2 приведены фрагменты спектра горизонтальной составляющей геомагнитного поля за период с 2001 по 2020 г. в диапазоне квази-16-дневной периодичности, вычисленного по данным геомагнитного мониторинга на обсерватории «Москва». Как видно из рис. 1 и 2, спектр геомагнитных вариаций характеризуется очень широким рядом спектральных гармоник в диапазоне периодов от 12,5 до 17 сут.

Проведем интерпретацию частотного состава геомагнитных вариаций. Самая большая по амплитуде спектральная гармоника с периодом 13,66 сут соответствует первой гармонике 27 суточной периодичности с периодом примерно две недели (полупериод Каррингтона). В спектре удастся идентифицировать следующие большие по амплитуде гармоники: две гармоники с периодами 13,79 и 14,70 сут, соответствующими периодам приливных волн; гармонику с периодом 16,26 сут, близкую к периоду квази-16-дневной планетарной волны.

Учитывая, что одни колебания могут накладываться на другие, можно ожидать, что в спектре могут присутствовать спектральные гармоники,

обусловленные модуляционным воздействием длиннопериодных циклов на короткопериодные вариации. Если привлечь формулу для амплитудно-модулируемого сигнала [2, 7], то получаем, что колебание с амплитудной модуляцией представляет собой сумму трех колебаний.

Исходя из этого, можно объяснить наличие в спектре, приведенном на рис. 1, спектральных гармоник, равноотстоящих от центральной гармоники с периодом $\sim 13,66$ сут (двухнедельной гармоники 27-суточной периодичности), с периодами $\sim 12,67$ и $14,72$ сут – модуляцией двухнедельной гармоники полугодовой вариацией; с периодами $\sim 13,14$ и $14,17$ сут – модуляцией двухнедельной гармоники годовой вариацией; с периодами $\sim 13,61$ и $13,68$ сут – модуляцией двухнедельной гармоники 11-летним циклом.

Кроме того в фрагментах спектра, представленных на рис. 1 и 2, хорошо выделяются спектральные гармоники, которые по периодам соответствуют модуляционному воздействию длиннопериодных циклов на приливные волны и на 16-дневную планетарную волну. Гармоники, равноотстоящие от гармоники с периодом $\sim 13,79$ сут (деклинационная приливная волна), с периодами $\sim 12,82$ и $14,84$ сут можно объяснить модуляцией приливной волны полугодовой вариацией; с периодами $\sim 13,28$ и $14,31$ сут – модуляцией приливной волны годовой вариацией; с периодами $\sim 13,72$ и $13,84$ сут – модуляцией приливной волны 11-летним циклом. Для M_{sf} приливной волны (14,7 сут) также удастся выделить значимые спектральные гармоники, которые соответствуют модуляционному влиянию на M_{sf} приливную волну полугодовой вариации (13,63 и 15,92 сут), годовой вариации (15,47 и 14,14 сут) и 11-летнего цикла (14,79 и 14,55). В спектре удалось идентифицировать гармоники, соответствующие модуляции планетарной волны: гармонику с периодами $\sim 14,94$ сут – модуляция полугодовой вариацией; гармоники с периодами $\sim 15,56$ и $16,98$ сут – модуляция годовой вариацией и гармоники с периодами $\sim 16,15$ и $16,32$ сут – модуляция 11-летним циклом.

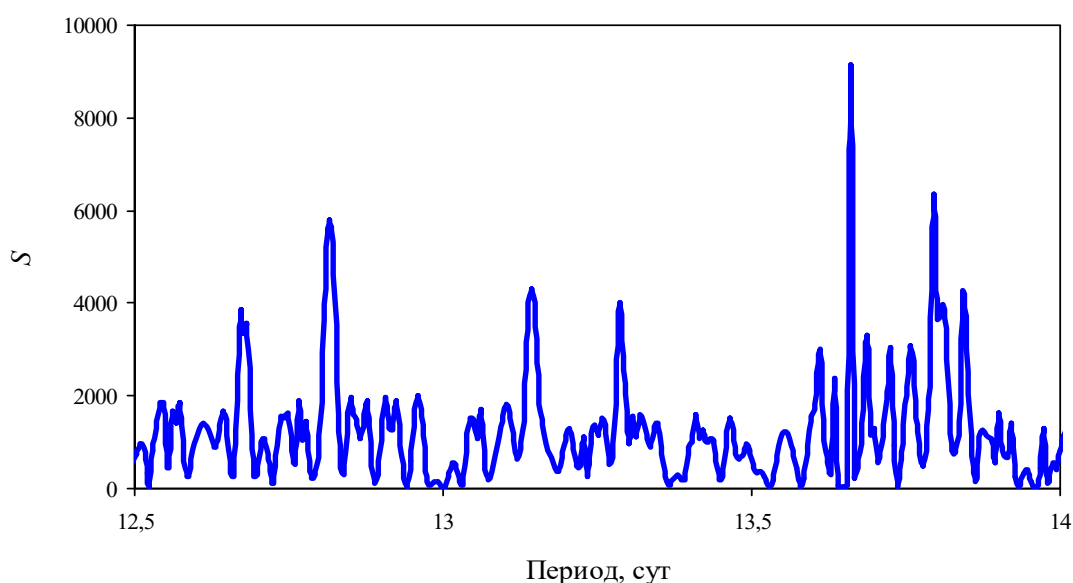


Рис. 1. Периодограмма вариаций горизонтальной компоненты геомагнитного поля, зарегистрированных на обсерватории «Москва» с 2001 г. по 2020 г. в диапазоне периодов от 12,5 до 14 сут

В целом, результаты спектрального анализа, выполненного на основе метода Ломба-Скаргла, показали, что в спектрах, вычисленных по данным геомагнитного мониторинга на обсерваториях «Москва», «Борок» и «Бельск», присутствуют как гармоники, связанные с солнечной активностью, так и гармоники, соответствующие планетарным волнам Россби [9, 10] и приливным волнам. Также удалось выделить гармоники, обусловленные модуляционным воздействием длиннопериодных вариаций на более короткопериодные.

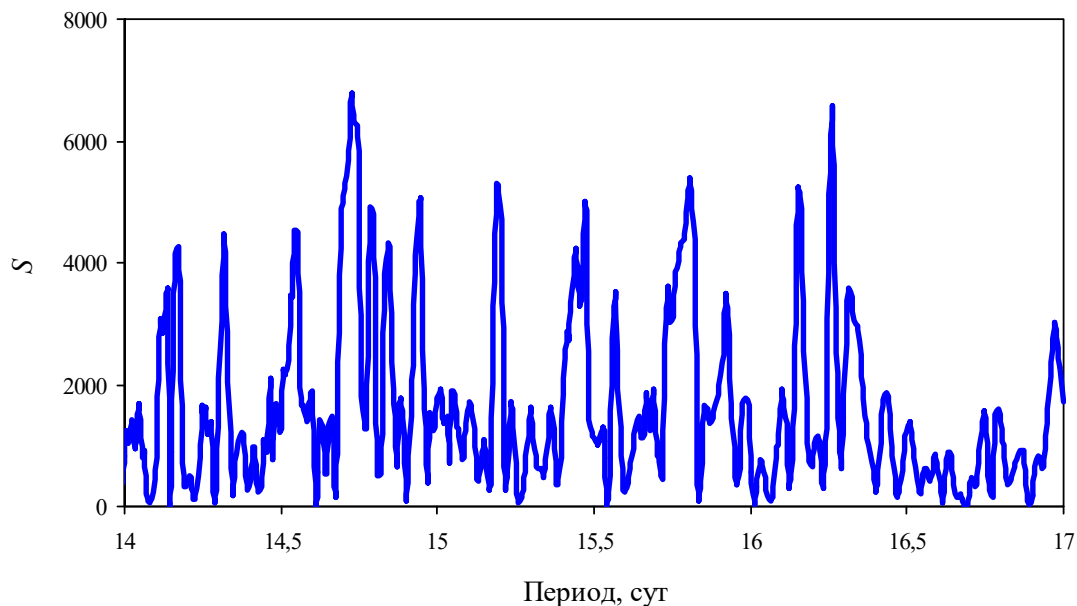


Рис. 2. Периодограмма вариаций горизонтальной компоненты геомагнитного поля, зарегистрированных на обсерватории «Москва» с 2001 г. по 2020 г. в диапазоне периодов от 14 до 17 сут

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. Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак А.А. Геомагнитные эффекты природных и техногенных процессов. М.: ГЕОС, 2021. 264 с.
2. Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей: Учебник для вузов. М.: Радио и связь, 1982. – 280 с.
3. Дикий Л.А. Теория колебаний земной атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 192 с.
4. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов. Справочник. М.: Радио и связь, 1985. 312 с.
5. Максимочкин В.И. Геомагнитные вариации и магнитосфера Земли. Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2014. 115 с.
6. Марпл-младший С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990. 265 с.
7. Рябова С.А., Спивак А.А. Исследование атмосферного прилива по данным регистрации барических вариаций на среднеширотной обсерватории «Михнево» // Ученые записки физического факультета Московского университета. 2018. № 4. 1840406.

8. Рябова С.А., Спивак А.А. Особенности геомагнитных вариаций на средних широтах Восточно-Европейской платформы // Геомагнетизм и аэрономия. 2017. Т. 57. № 2. С. 217–225.
9. Рябова С.А., Шалимов С.Л. О вариациях параметров плазмы ионосферы, наблюдаемых посредством ионозонда и на магнитной станции в диапазоне периодов планетарных волн // Физика Земли. 2021. № 6. С. 122–130.
10. Рябова С.А., Шалимов С.Л. О геомагнитных вариациях, наблюдаемых на поверхности Земли в диапазоне периодов планетарных волн // Физика Земли. 2021. № 1. С. 51–60.
11. Courtillot V., Le Mouel J. L. Time variations of the Earth's magnetic field - From daily to secular // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 1988. Vol. 16 (A88-52285 22-46). P. 389–476.
12. Durbin J. The fitting of time series models // Review of the International Statistical Institute. 1960. Vol. 28. P. 233–244.
13. Levinson N. The Wiener RMS (root mean square) error criterion in filter design and prediction // Journal of Mathematical Physics. 1946. Vol. 25. P. 261–278.
14. International Intermagnet network [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://intermagnet.org>.
15. SuperMag [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <http://www.supermag.jhuapl.edu>.

ОБ ИЗМЕНЧИВОСТИ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ СРЕДНИЙ ЕГОРЛЫК (БАССЕЙН РЕКИ ЗАПАДНЫЙ МАНЫЧ)

А.Д. Сазонов

alexei.sazonow2016@ya.ru

ФГБУ «Гидрохимический институт», Россия, г. Ростов-на-Дону

Аннотация. В настоящей работе рассмотрена изменчивость качества воды реки Средний Егорлык за период 2000-2019 гг. Показано, что вода реки соответствует 4 классу загрязненности.

Ключевые слова. Средний Егорлык, качество воды, Западный Маныч, Нижний Дон

Средний Егорлык – малая река, протекающая по территории Ростовской области (Егорлыкский, Целинский и Сальский районы). Является левобережным притоком реки Западный Маныч (бассейн Нижнего Дона). Длина реки составляет 129 км, площадь водосборного бассейна – 2358 км². Река берет свое начало на небольшой возвышенной равнине. Находится в пределах Кумо-Манычской впадины [4, с. 76].

Река практически бессточна, периодически пересыхает. Водный режим реки значительно нарушен многочисленными небольшими водохранилищами и прудами, расположенными в пределах бассейна. Антропогенное воздействие на речной бассейн вызвано преимущественно сельскохозяйственной деятельностью и сбросом сточных вод населенных пунктов. В пределах рассматриваемой территории наблюдается снижение количества атмосферных осадков (рис. 1).

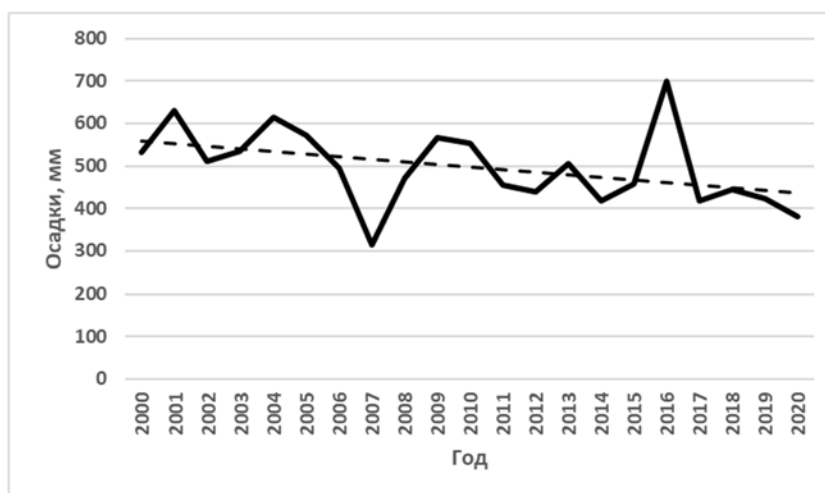


Рис. 1. Временная динамика изменчивости выпадения атмосферных осадков (п. Гигант) [2, с. 236]

Целью настоящего исследования было изучение изменчивости качества воды реки за двадцатилетний период с 2000 по 2019 года. Материалами исследования послужили данные гидрохимических наблюдений сети наблюдений Росгидромета. При расчете удельного комбинаторного индекса

загрязненности воды (УКИЗВ) и выявлении критических показателей загрязненности (КПЗ) были использованы данные пунктов наблюдений расположенных 0,5 км выше и 1 км ниже города Сальск (рис. 2). Расчет качества воды проводился по общепринятой отечественной методике, разработанной в Гидрохимическом институте Росгидромета [3].

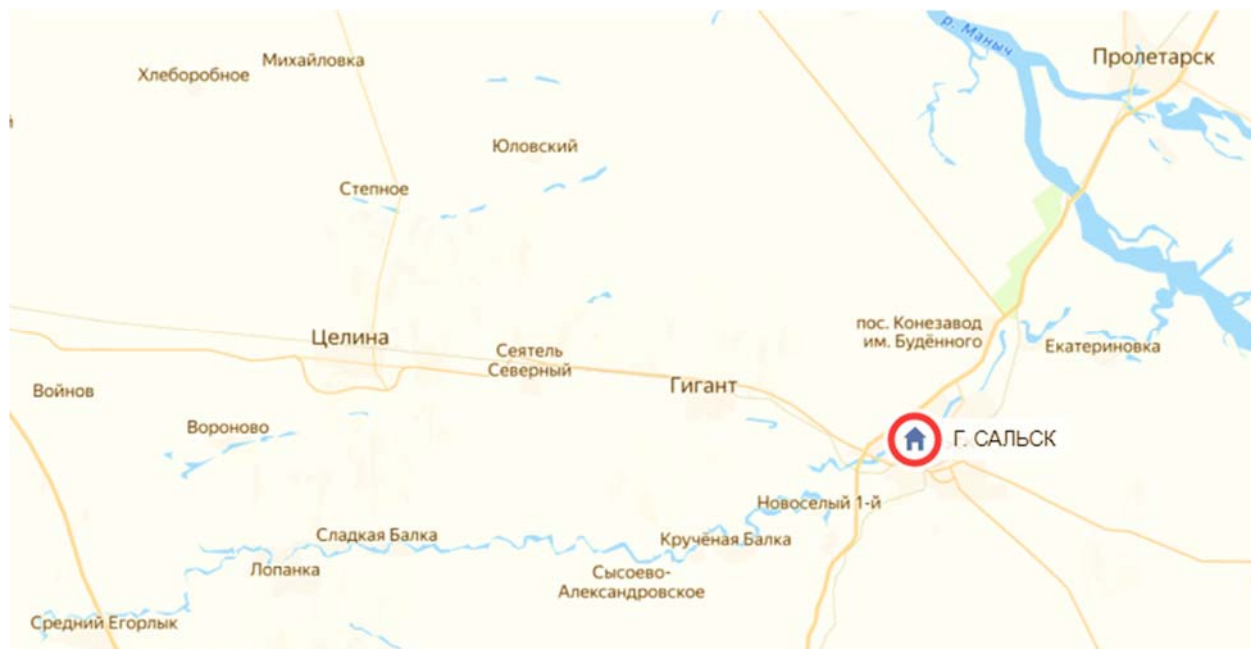


Рис. 2. Картограмма расположения реки Средний Егорлык (составлено на основе [1])

В таблице 1 представлены результаты проведенного исследования качества воды реки.

Таблица 1

Изменчивость качества воды реки Средний Егорлык

Период	0,5 км выше г. Сальск				1 км ниже г. Сальск			
	УКИЗ В	Класс разряд	Название	КПЗ	УКИЗ В	Класс, разряд	Название	КПЗ
2000-2004	5.3	4Б	Грязная	-	5.79	4В	Очень грязная	Mg, Cl, SO ₄
2005-2009	6.6	4В	Очень грязная	Mg, SO ₄ , NO ₂	7.08	4Г	Очень грязная	Mg, SO ₄ , NO ₂
2010-2014	5.6	4Б	Грязная	Mg, SO ₄	6.13	4Б	Грязная	Mg, SO ₄
2015-2019	5.5	4Б	Грязная	Mg, SO ₄	5.82	4Б	Грязная	Mg, SO ₄

За весь период наблюдений вода реки в рассматриваемом пункте наблюдений относилась к 4 классу (разрядам «Б» и «В»), что соответствует категории «грязная» и «очень грязная». Также при рассмотрении полученных

результатов можно отметить, что за период 2000-2019 гг. УКИЗВ реки Средний Егорлык выше города Сальск был меньше, чем ниже данного города.

Среди критических показателей загрязненности выделяются сульфаты и магний. Прежде всего это вызвано природными факторами, распространенными в пределах рассматриваемых районов (подстилающие горные породы, почвенный покров). Однако, кроме природных факторов значительное воздействие на поступление данных химических компонентов в речную сеть оказывает антропогенное воздействие, выраженное в сбросе загрязненных сточных вод. Кроме этого, поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий, занимающих большую часть водосборной территории реки Средний Егорлык, также является значительным фактором поступления загрязняющих веществ. На фоне сокращения выпадения атмосферных осадков происходит засоление почв и увеличение роли грунтовых и подземных вод в питании реки. В связи с этим увеличивается поступление сульфатов и магния в речную сеть.

Таким образом, установлено, что вода реки Средний Егорлык соответствует 4 классу загрязненности. Значительных тенденций улучшения или ухудшения качества воды за период 2000-2019 гг. выявлено не было.

Список литературы

1. Конструктор Яндекс Карт. URL: <https://yandex.ru/map-constructor/> (дата обращения 11.03.2023).

2. Назаренко О.В. Динамика изменения температуры воздуха и осадков в бассейне реки Средний Егорлык // Материалы международной научно-практической конференции Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Том 1. Воронеж: "Цифровая полиграфия", 2019. – С. 235-238.

3. РД 52.24.643-2002 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. URL: https://gidrohim.com/normative_docs (дата обращения 11.03.2023).

4. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 7. Донской район / под ред. Д. Д. Мордухай-Болтовского. — Л.: Гидрометеиздат, 1964. - 267 с.

ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОСТУПЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

¹В.С. Симанков, ²П.Ю. Бучацкий, ²С.В. Онищенко, ²С.В. Теплоухов
vs@simankov.ru; buch@adygnet.ru; osv@adygnet.ru; tepl_sv@adygnet.ru

¹Кубанский государственный технологический университет,
Россия, г. Краснодар

²Адыгейский государственный университет, Россия, г. Майкоп

Аннотация. Первоначальным этапом при определении целесообразности вовлечения определенного источника возобновляемой энергии в общую энергосистему региона, является предварительная оценка энергетического потенциала, позволяющая определить возможный процент замещения традиционной углеродной энергии. Для решения подобной задачи необходимо использовать модели поступления энергии, которые крайне многочисленны и позволяют проводить исследования с учетом различных условий окружающей среды.

В связи с этим, в данной работе предлагается рассмотреть модели оценки потенциала солнечной энергии, основанные на множестве различных климатических и географических показателей, таких как: долгота солнечного сияния, температура окружающей среды, порядковый номер дня текущего года, количество осадков, средние и максимальные значения скорости ветра.

Ключевые слова. Модели оценки энергетического потенциала, математическая модель, возобновляемые источники энергии, энергия солнца.

Введение. В настоящее время, энергетика оказывает большое влияние на экономику государства, национальную безопасность, что критически важно для успешного социально-экономического развития. В соответствии с целями политики общей декарбонизации [1], происходит энергетическая трансформация, в результате которой значительно увеличивается доля мощности чистой энергетики в мире, такой как фотоэлектрическая и ветроэнергетика [2, 3].

На фоне произошедшей пандемии Covid-19 возобновляемые источники энергии в мире приобрели рекордные мощности по производству электроэнергии в 2020-2021 годах и являются единственным источником с чистым увеличением общей мощности по производству электроэнергии [4]. Широко известно, что возобновляемые источники энергии обладают различными преимуществами, в сравнении с углеродными ресурсами, такими как: более низкие энергозатраты по сравнению с традиционными источниками энергии, отсутствие вредных выбросов, способствующее улучшению ситуации с общим мировым загрязнением и стимулирование экономического роста [5].

Реализация стратегии энергетической трансформации требует вовлечения возобновляемых источников энергии в существующие энергетические системы или создание новых “зеленых” энергостанций, в связи с чем возникает потребность в оценке теоретического потенциала

приходящей энергии [6] и в прогнозировании возможного количества вырабатываемой энергии в условиях конкретного географического региона [7].

В связи с этим, в работе предлагается провести анализ существующих подходов к моделированию и оценке количества солнечной энергии, являющейся одним из наиболее распространенных возобновляемых источников энергии.

Материалы и методы. Рассмотрим существующие математические модели для оценки и моделирования количества прихода солнечной энергии. Данные модели как правило основываются на следующей группе параметров [8]:

- географические, такие как широта и долгота, высота над уровнем моря, альbedo местности;
- геометрические, учитывающие положение преобразовательных элементов в пространстве;
- физических параметров, позволяющих учесть такие факторы как запыление и рассеяние молекул воздуха;
- метеорологических, таких как температура, осадки, влажность, облачность и др.

Согласно исследованию авторов, в работе [9] все модели могут быть разделены на две группы:

- изотропные модели, представляющие из себя достаточно простые модели, предполагающие равномерное распределение рассеянного излучения по куполу неба;
- анизотропные модели, позволяющие учитывать коэффициенты рассеивания солнечной радиации.

При этом, приходящее глобальное солнечное излучение на наклонную поверхность, G_β , можно разделить на три компонента:

- прямую компоненту облучения наклонной поверхности – B_β ;
- рассеянную составляющую – D_β ;
- отраженную составляющую, которая количественно определяет излучение, отраженное от земли на наклонную поверхность R_β :

$$G_\beta = B_\beta + D_\beta + R_\beta \quad (1)$$

При этом дальнейшие исследования показали, что диффузная составляющая (рассеянная) состоит из трех следующих компонент: $D_{\beta,iso}$ – изотропный диффузный компонент; $D_{\beta,cs}$ – околосолнечный диффузный компонент; $D_{\beta,hb}$ – компонент просветления горизонта, в результате чего общее солнечное излучение приходящее на поверхность выражается как:

$$G_\beta = B_\beta + (D_{\beta,iso} + D_{\beta,cs} + D_{\beta,hb}) + R_\beta \quad (2)$$

Расчет прямой составляющей B_β является чисто геометрическим и производится по определенным выражениям, поэтому многие модели сфокусированы на расчете диффузной составляющей D_β , и в частности, на коэффициенте диффузного переноса R_d , представляющего из себя отношение

диффузного излучения на наклонной поверхности к излучению на горизонтальной поверхности.

Изотропные модели являются наиболее простыми, однако они не учитывают влияния диффузного излучения, которое может быть учтено при использовании анизотропных моделей, за счет чего возникает возможность производить расчеты не только для идеальных условий. Но и когда наблюдается формирование частичной облачности или вовсе в условиях, когда облачность в течении дня преобладает по времени над чистым солнечным излучением.

На основе использования данной классификации и входных параметров, можно отметить следующие модели, приведенные в таблице 1. Представлены две изотропные модели, а также три анизотропные. Каждая из которых наиболее подходит для определенных условий таких как:

- условия чистого неба;
- условия частичного затенения и переменной облачности;
- условия с преобладающей долей облачности.

Таблица 1

Изотропные и анизотропные модели оценки потенциала солнечной энергии

Название модели	Тип модели	Математическое описание
Модель Лью-Джордана [10]	изотропная	$R_d = \frac{1 + \cos \beta}{2}$
Модифицированная модель Лью-Джордана [11]	изотропная	$R_d = \frac{1}{4}(3 + \cos(2\beta))$
Модель оценки безоблачного неба [12]	анизотропная	$R_d = \frac{1}{2}(1 + \cos \beta) + 0.05 \frac{B_\beta}{D} \left(\cos \theta_i - \frac{1}{\cos \theta_z} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \right)$
Модель оценки частично-затененного неба [13]	анизотропная	$R_d = \frac{B_{Nb}}{S_o} + C_\beta \left(1 - \frac{B_N}{S_o} \right)$, где $C_\beta = 1,0115 - 0,20293 \beta - 0,080823 \beta^2$, β выражено в радианах. S_o – солнечная постоянная (т.е. 1367 Вт м^{-2})
Модель для оценки потенциала в условиях пасмурной погоды [14]	анизотропная	$R_d = F_1 \frac{a}{b} + (1 - F_1) \frac{1 + \cos \beta}{2} + F_2 \sin \beta$, где F_1 и F_2 – коэффициенты яркости неба для околосолнечной области и области над линией горизонта соответственно

Несколько иной подход к определению потенциала солнечной энергии реализует другой класс моделей, позволяющий учитывать коэффициент мутности атмосферы [15]. Использование подобных моделей позволяет производит оценку количества поступающего солнечного излучения при отсутствующей облачности, но наличия определенной замутненности в следствии нахождения водяного пара в атмосфере или прочих аэрозольных соединений [16].

Для определения количества солнечной радиации, поступающей на поверхность земли можно рассматривать модель, представленную авторами в работе [17]. Суммарная солнечная радиация для плоскости вне атмосферы земли может быть определена следующим образом:

$$H'_0 = \left(\frac{t_s G_0}{\pi} \right) \left[\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \varphi \sin \delta \right], \quad (3)$$

где G_0 – солнечная постоянная, равная 1.340 Вт/м^2 , φ – географическая широта местности, $\delta = \frac{23.45}{180} \pi \sin \left[\frac{284+n}{365} 2\pi \right]$ – склонение, n – номер дня в году, $t_s = 480 \arccos(-tg \varphi tg \delta)$ – продолжительность дня, $\omega_s = \arccos(-tg \varphi tg \delta)$ – часовой угол на закате.

При учете эллиптичности орбиты, выражение для расчета реального значения внеатмосферной суточной солнечной радиации преобразуется в следующее соотношение:

$$H_0 \left[1 + e \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] H'_0, \quad (4)$$

где $e = 0.333$ – эксцентриситет орбиты, n – номер дня в году.

Для определения количества радиации, рассеиваемой в атмосфере, используется индекс ясности K_T , равный отношению суммарной суточной радиации пришедшей на поверхность Земли к суммарной суточной солнечной радиации, пришедшей на площадку вне атмосферы.

Используя данный индекс, может быть вычислена доля диффузной солнечной радиации:

$$\frac{H_D}{H} = 1.39 - 4.03K_T + 5.53K_T^2 - 3.11K_T^3. \quad (5)$$

Таким образом, приходящая на поверхность суммарная солнечная радиация под углом β может быть определена как:

$$H_\beta = H \left[\left(1 - \frac{H_D}{H} \right) R + \frac{H_D}{H} \frac{1 - \cos \beta}{2} + \rho \frac{1 - \cos \beta}{2} \right], \quad (6)$$

где ρ – альбеда местности;

$$R = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin \varphi \sin \delta}.$$

Для данной модели необходимыми входными данными являются следующие параметры: географическая широта района, данные о полной и отраженной солнечной радиации, угол наклона поверхности панелей. Выходные данные представляют из себя значения солнечной радиации, поступающей на поверхность. Данная модель обладает высокой точностью, поскольку ошибка расчетов не превышает 4%.

Авторы в работе [18] рассмотрели различные модели для оценки количества солнечной инсоляции, позволяющие производить моделирование в условиях ясного неба и при наличии облачности. Помимо этого, были рассмотрены две модели для оценки формирования облачности:

- модель эволюции слоистой облачности;
- статистическая модель облачности.

В работе [19] авторы представили комплекс основных математических моделей для оценки возобновляемых источников энергии, среди которых есть

модели для оценки энергетического потенциала солнечной энергии (модель с учетом облачности и модель безоблачного неба) и модель, которая позволяет спрогнозировать работу фотоэлектрической установки (таблица 2).

Таблица 2

Комплекс математических моделей для оценки ВИЭ

Название модели		Вид модели
Модель поступления солнечной радиации	модель при безоблачном небе	$Q_{\text{сут}}^{\text{ВОЗМ}} = \text{СП} \int_{t_{\text{солн}}^{\text{в}}}^{t_{\text{солн}}^{\text{о}}} \left[\left(-B \cdot \omega - C \cdot r - D \frac{1}{\sin(\text{Al}(t))} \right) \cdot \sin(\text{Al}(t)) \right] dt$
	модель с учетом облачности	$Q_{\text{сут}} = Q_{\text{отн}} \cdot Q_{\text{возм}}^{\text{сут}},$ $f(Q_{\text{отн}}) = \frac{1}{B(a,b)} Q_{\text{отн}}^{(a-1)} \cdot (1 - Q_{\text{отн}})^{(b-1)},$ $B(a,b) = \int_0^1 \left[Q_{\text{отн}}^{(a-b)} \cdot (1 - Q_{\text{отн}})^{(b-1)} \right] d(Q_{\text{отн}})$
Приход энергии ветрового потока		$E = \frac{1}{2} q \bar{v}_B^3,$ $p(v_B) = \frac{k_1}{A_1} \left(\frac{v_B}{A_1} \right)^{k_1-1} \exp \left[- \left(\frac{v_B}{A_1} \right)^{k_1} \right]$
Модель фотоэлектрической установки		$I_H = I_\phi - I_0 \left(\exp \frac{qU_H}{AKT} - 1 \right)$
Модель ветроэнергетической установки		$P_{\text{ВЭУ}} = \frac{P_{\text{ВЭУ}}^{\text{max}}}{\varphi_{\text{ном}} - \varphi_{\text{вкл}}} \left\{ G_k(\varphi_{\text{ном}}) - G_k(\varphi_{\text{вкл}}) - \exp \left(- \left(\frac{v_B}{A_1} \right)^{k_1} \right) \right\}$
Модель накопитель энергии (химические источники тока)		$U_{AB} = E(Q; I_{AB}) - I \cdot R_{\text{ВН}}(Q; I_{AB}),$ $E(Q, I_{AB}) = E_0 + \frac{\Psi_0}{Q_\Psi} (Q_\Psi - I_{AB} \cdot t) + \varphi_0 \exp(-\frac{3I_{AB} \cdot t}{Q_\Psi}),$ $R_{\text{ВН}}(Q; I_{AB}) = A_2 \cdot \left(\frac{Q_\Psi - I_{AB} \cdot t}{Q_\Psi} \right)^2 + B_2 \left(\frac{\alpha}{I_{AB}^\beta} - 1 \right)$

Еще одним видом моделей являются модели на основе распределения Вейбула, к которым можно отнести следующие примеры: метод Юстуса, метод Лизена, метод максимального правдоподобия, метод плотности энергии, распределения Рэля, эмпирический метод Мабчура, метод энергетического паттерна, метод коэффициента распределения энергии, которые были рассмотрены и проанализированы в исследовании [20].

Согласно заключению авторов, основанному на статистическом исследовании каждого из этих методов, было установлено, что каждый из рассмотренных подходов позволяет получить приемлемые по точности результаты для прогнозирования количества солнечной радиации. При этом авторы выделили несколько наиболее точных моделей, которые позволили с наибольшей точностью определить значения распределения потенциала солнечной энергии. К которым были отнесены:

- эмпирический метод Юстуса;
- метод максимального правдоподобия;

- метод энергетического паттерна;
- модифицированный метод максимального правдоподобия.

Так же авторами была разработана методология для исследования эффективности прогнозирования каждой моделью, представленная на рисунке 1.

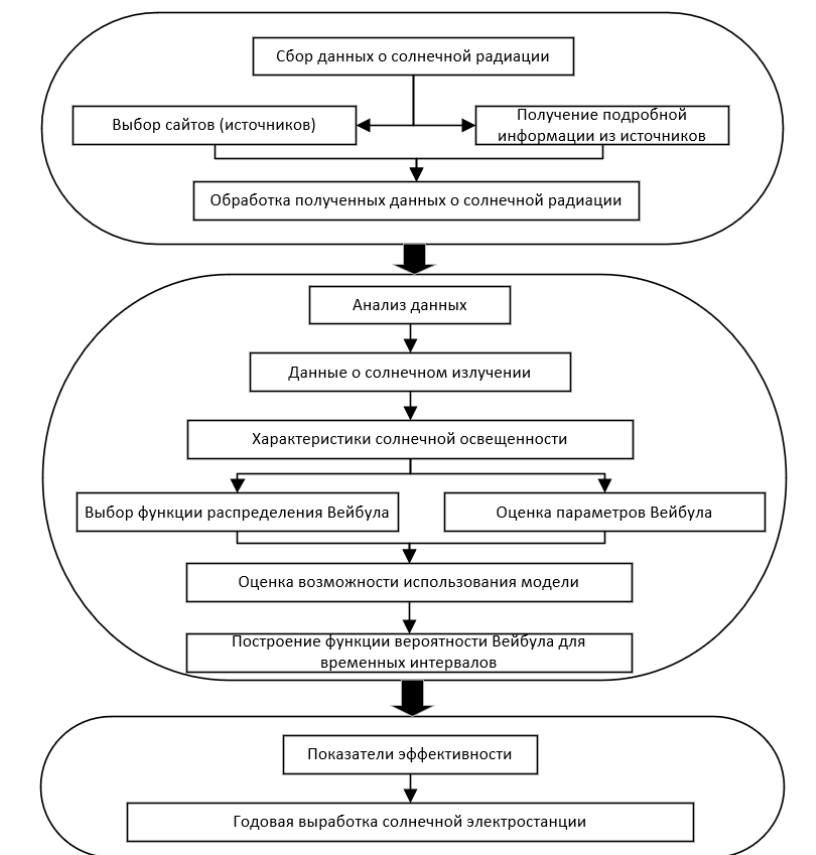


Рис.1. Методология исследования моделей для оценки солнечного излучения на основе распределения Вейбула [18]

Следует отметить, что помимо рассмотренных математических моделей для оценки потенциала солнечной энергии существует большое количество моделей и подходов, основанных на методах искусственного интеллекта и интеллектуального анализа данных, которые позволяют, в зависимости от имеющегося набора входных данных производить прогнозирование количества выработки энергии энергетической системой, оценку энергетического потенциала, оценку профиля потребления и пр.

Заключение. В работе были рассмотрены математические модели для оценки количества приходящего солнечного излучения на горизонтальную поверхность. Представленные модели, обладают различной точностью и уровнем сложности: от наиболее простых изотропных моделей, позволяющих оценить солнечное излучения при условиях отсутствия облачности, до более сложных моделей, позволяющих учитывать наличие замутнения в атмосфере, вызываемого различными взвесями и аэрозольными соединениями.

В результате данного обзора существующих моделей для оценки теоретических значений солнечной энергии были определены какие из

моделей наиболее подходят для различных климатических условий окружающей среды, что позволяет использовать совокупность из нескольких моделей в зависимости от конкретных характеристик области и имеющихся входных данных, что необходимо для повышения точности осуществляемого прогноза, и способствует правильной экономической оценке при проектировании энергетической системы с вовлечением возобновляемых источников энергии.

Использование данных моделей необходимо для реализации системы прогнозирования, позволяющей оценить эффективность использования ВИЭ для определенного уровня масштабирования местности (локальный, региональный). Однако, в основе подобной системы должны использоваться не только классические модели для оценки энергетического потенциала, но и современные подходы, основанные на методах интеллектуального анализа данных и искусственного интеллекта, в результате чего происходит повышение точности прогнозирования и возможность определения необходимого уровня масштабирования работы данной подсистемы.

Список литературы

1. Иктисанов В., Шкруднев Ф. Декарбонизация: взгляд со стороны // ЭП. 2021. №8 (162). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dekarbonizatsiya-vzglyad-so-storony> (дата обращения: 05.02.2023).
2. Murdock HE, Collier U, Adib R, Hawila D, Bianco E, Muller S, et al. Renewable energy policies in a time of transition. 2018.
3. Z. Liu, Z. Deng, G. He, H. Wang, X. Zhang, J. Lin, et al. Challenges and opportunities for carbon neutrality in China Nat Rev Earth Environ, 3 (2022), pp. 141-155
4. Murdock HE, Gibb D, Andre T, Sawin JL, Brown A, Ranalder L, et al. Renewables 2021-Global status report. 2021.
5. Epa. Quantifying the Multiple Benefits of Energy Efficiency and Renewable Energy: A Guide for State and Local Governments. US Environmental Protection Agency Washington, DC, USA2018.
6. Симанков В.С. Автоматизация системных исследований: монография / В.С. Симанков; Техн. ун-т КубГТУ. - Краснодар, 2002. - 376 с.
7. Симанков, В. С. Методологические основы инновационных решений в возобновляемой энергетике / В. С. Симанков, П. Ю. Бучацкий // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки / 2021. – № 3(286). – С. 42-54. – DOI 10.53598/2410-3225-2021-3-286-42-54.
8. Besharat F., Dehghan A.A., Faghih A.R. Empirical Models for Estimating Global Solar Radiation: a Review and Case Study // Renewable and Sustainable Energy Rev. 2013. V. 21. Pp. 798–821.
9. Colienne Demain, Michel Journée, Cédric Bertrand, Evaluation of different models to estimate the global solar radiation on inclined surfaces, Renewable Energy, Volume 50, 2013, Pages 710-721, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.031>
10. B. Liu, R. Jordan Daily insolation on surfaces tilted towards the equator ASHRAE, 53 (1962), pp. 526-541
11. V. Badescu 3d isotropic approximation for solar diffuse irradiance on tilted surfaces Renewable Energy, 26 (2002), pp. 221-223
12. J. Bugler The determination of hourly insolation on an inclined plane using a diffuse irradiance model based on hourly measured global horizontal insolation Solar Energy, 19 (1977), pp. 477-491

13. C. Willmot On the climatic optimization of the tilt and azimuth of flat-plate solar collectors *Solar Energy*, 28 (1982), pp. 205-216
14. R. Perez, R. Seals, P. Ineichen, R. Stewart, D. Menicucci A new simplified version of the perez diffuse irradiance model for tilted surfaces *Solar Energy*, 39 (1987), pp. 221-231
15. Improvement of clear sky models for direct solar irradiance considering turbidity factor variable during the day, *Renewable Energy*, Volume 161, 2020, Pages 559-569, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.086>
16. C. Rigollier, M. Lefevre, S. Cros, L. Wald Heliosat 2: an improved method for the mapping of the solar radiation from Meteosat imagery *Proceedings of the EUMETSAT Meteorological Satellite Conference*, Sep 2002, Dublin, Ireland, EUMETSAT, Darmstadt, Germany (2002), pp. 585-592
17. Ачитуеё С. А., Энэбиш Н. Оценка потенциала солнечной радиации и производительности фотоэлектрических модулей на территории Республики Бурятия // *Вестник БГУ. Математика, информатика*. 2015. №3.
18. Симанков В.С., Шопин А.В., Бучацкий П.Ю. Моделирование инсоляции при управлении фотоветроэнергетическими системами // *Тр. ФОРА*. – 2000. – № 5. – С. 67-71.
19. Симанков, В. С. Комплекс математических моделей возобновляемой энергии для перспективной оценки ее потенциала / В. С. Симанков, П. Ю. Бучацкий // *Осенние математические чтения в Адыгее: Материалы III Международной научной конференции*, Майкоп, 15–20 октября 2019 года. Том III. – Майкоп: Адыгейский государственный университет, 2019. – С. 122-124.
20. Yemeli Wenceslas Koholé, Raphael Hermann Tonsie Djiela, Fodoup Cyrille Vincelas Fohagui, Tchuen Ghislain, Comparative study of thirteen numerical methods for evaluating Weibull parameters for solar energy generation at ten selected locations in Cameroon, *Cleaner Energy Systems*, Volume 4, 2023, 100047, ISSN 2772-7831, <https://doi.org/10.1016/j.cles.2022.100047>.

РЕДКИЕ И ИСЧЕЗАЮЩИЕ РАСТЕНИЯ ХАДЖОХСКОГО РЕКРЕАЦИОННОГО РАЙОНА АДЫГЕИ

Э.А. Сиротюк, А.Е. Шадже, Г.Н. Гунина
emiliya09@yandex.ru; aminetshadge@yandex.ru

*Майкопский государственный технологический университет,
Россия, г. Майкоп*

***Аннотация.** Приводятся результаты мониторинга редких и исчезающих видов растений, произрастающих на территории Хаджохского рекреационного района Республики Адыгея.*

Проблема охраны редких и находящихся под угрозой исчезновения видов чрезвычайно актуальна в связи с увеличивающимся воздействием хозяйственной и иной деятельности человека на природную среду. Самая хрупкая, но очень значимая часть биоразнообразия, нуждающаяся в охране – редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды. С биологической точки зрения категория «редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды» включает две группы: естественно редкие виды, потенциально уязвимые в силу своих биологических особенностей, и широко распространенные виды, сокращающие ареал и численность в результате антропогенного воздействия.

Сокращение биоразнообразия влияет на стабильность функционирования экосистем: снижаются их продуктивность и устойчивость к внедрению инвазивных видов, увеличивается активность вредителей. Вымирание видов приводит к потере для человечества потенциальных источников хозяйственно-полезных ресурсов – пищевых, лекарственных, декоративных и др. Вызванные деятельностью человека изменения растительного мира имеют ряд последствий для процесса эволюции: уменьшается внутривидовое генетическое разнообразие, популяции дробятся на ряд изолированных фрагментов, ранее разобщенные таксоны гибридизируют, появляются эндемики техногенных субстратов и загрязненных территорий.

Республика Адыгея (РА) занимает уникальное географическое положение, что объясняет наличие на ее территории нескольких географических зон и вертикальных поясов растительности, значительное ландшафтное и биологическое разнообразие, высокий уровень эндемизма и реликтовости флоры и фауны. В целом Адыгею можно считать регионом с огромным природным потенциалом. Более 30% площади республики занимают ООПТ, 14% – объекты Всемирного природного наследия ЮНЕСКО «Западный Кавказ». Во флоре Республики Адыгея насчитывается около 2500 видов высших растений. Флора республики является уникальной, в ее составе велика доля эндемичных и реликтовых растений. Краснокнижная флора Адыгеи включает 27 эндемичных кавказских видов и 21 реликт [1].

Республика Адыгея – туристско-рекреационный регион. Высокая степень хозяйственного освоения территории республики, интенсивное развитие рекреации и туризма может поставить под угрозу устойчивость

природных экосистем, существование многих уникальных местообитаний и редких видов флоры. В то же время сохранение редких и исчезающих видов флоры и их местообитаний будет способствовать поддержанию рекреационной привлекательности территорий.

В республике выявлено 13 мест концентрации туристско-рекреационных объектов на уровне «рекреационная местность», где природные ресурсы дополняются историко-культурными и инфраструктурными.

Наиболее привлекательным для местного населения и туристов из регионов России является Хаджохский рекреационный район. Самая перспективная туристская зона на стыке низкогорных и среднегорных ландшафтов – «Каменноостский – Даховская». Здесь преобладает широколиственно-лесной среднегорный ландшафт, имеются региональные ветки автомобильного и железнодорожного транспорта, 23 туристских маршрута. Количество природных объектов составляет здесь 97 шт., историко-культурных – 11 шт., гостеприимства – 43 шт. [2].

К сожалению, флора района до настоящего времени недостаточно изучена, сведения о редких видах являются фрагментарными. С 2017 г. по настоящее время нами ежегодно проводится мониторинг редких и исчезающих видов растений. В результате проведенных работ составлен список редких и исчезающих видов растений, произрастающих на территории Хаджохского рекреационного района и рекомендованных к занесению в третье издание Красной книги РА. Во второе издание Красной книги РА (2012) было занесено 33 вида, в третье – войдет 42 вида. Список видов цветковых растений из двух классов – Magnoliopsida и Liliopsida, составят 20 порядков и 23 семейства, в том числе класс Magnoliopsida – 16 порядков и 16 семейств, классе Liliopsida – четыре порядка и семь семейств. Наиболее широко будет представлено видами семейство Orchidaceae Juss. (14 видов).

Среди редких и исчезающих видов растений района исследования велика доля реликтовых (15 видов – 36%) и эндемичных видов (8 видов – 20%). Степень угрозы исчезновения видов различная. Большинство видов (30 видов, или 71,4%) рекомендованы к отнесению в новом третьем издании Красной книги РА к категории статуса редкости УВ «Уязвимые», семь видов (16,7%) – к категории ИС «Находящиеся под угрозой исчезновения», четыре вида (9,5%) – к категории КС «Находящиеся в критическом состоянии». Орхидея *Dactylorhiza urvilleana* (Steud.) H. Baumann & Kunkeler (2,4%) отнесена к категории СК «Специально контролируемые».

Для большинства редких и исчезающих видов растений (29 видов, или 69%) Хаджохского рекреационного района в новом издании Красной книги РА определен приоритет охраны III, т.к. для их сохранения не требуется реализация дополнительных природоохранных мероприятий. Отдельные специальные мероприятия (приоритет II) требуются для сохранения 12 видов растений (28,6%): ветреницы нежной, лещины древовидной, хмелеграба обыкновенного, пираканты красной, дрока узколистного, скополии кавказской, шафрана прекрасного, пыльцеголовника красного, ятрышника

бледного, ятрышника Шпицеля, скрученника спирального, ковыля перистого. Для самшита колхидского (*Buxus colchica* Pojark.) – третичного реликта древних колхидских лесов, определен приоритет I, т.к. вид находится в критическом состоянии и для его сохранения в РА проводятся комплексные специальные мероприятия.

Список литературы

1. Красная книга Республики Адыгея: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения объекты животного и растительного мира: в 2 ч. – Издание второе / Управление по охране окружающей среды, природным ресурсам и чрезвычайным ситуациям РА; отв. ред. А.С. Замотайлов; глав. ред. разд. «Растения» и «Грибы» Э.А. Сиротюк (Куваева); науч. ред. части 1: Э.А. Сиротюк (Куваева), Т.В. Акатова, О.Н. Липка. – Майкоп: Качество, 2012. – 340 с.

2. Свиридова, Е.П. Геоэкологическая оценка туристско-рекреационной освоенности горного региона (на примере Республики Адыгея) / Е.П. Свиридова: автореферат дис. ... канд. геогр. наук. – Майкоп, 2022. – 24 с.

ОПТИМАЛЬНАЯ ТАРИФИКАЦИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОКУПАЕМОСТИ СОЛНЕЧНОЙ МИКРОГЕНЕРАЦИИ В РЕГИОНАХ РОССИИ

А.И. Скафарик, С.В. Киселева

skafarik@mail.ru; k_sophia_v@mail.ru

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,
географический факультет, НИЛ ВИЭ, Россия, г.Москва*

Аннотация. *Важный вклад в развитие возобновляемой энергетики в мире вносят установки малых солнечных фотоэлектростанций на крышах частных домохозяйств. С 2019 года в России законодательно разрешено присоединение станций микрогенерации мощностью до 15 кВт, работающих на возобновляемых источниках энергии, к централизованным электросетям с возможностью продажи излишков произведенной электроэнергии. В работе проведен расчет оптимальных тарифов на продажу электроэнергии от объектов солнечной микрогенерации, позволяющих окупить в течение 10 лет затраты на их установку в разных регионах России. Показано, что для большинства выбранных регионов оптимальные тарифы варьируют на уровне 2-3 руб./кВтч. Более высокий уровень тарифов (4-6 руб./кВтч) необходим для окупаемости станций в регионах с относительно низким уровнем производительности солнечных электростанций (Усинск, Москва, Калининград, Магадан, Санкт-Петербург).*

Ключевые слова. *Солнечная энергетика, микрогенерация, производительность станции, графики нагрузки потребителей, экономическая эффективность, оптимальные тарифы.*

Развитие возобновляемой энергетики (ВЭ) в мире обусловлено рядом причин, таких как необходимость обеспечения электроснабжением территориально удаленных регионов, снижение зависимости от поставщиков углеводородного топлива и достижение энергетической независимости стран с дефицитом углеводородных топливно-энергетических ресурсов, содействие глобальной климатической повестке, которая требует снижения выбросов парниковых газов в атмосферу, которое в большой степени связано со сжиганием ископаемого топлива, в том время как при работе станций на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) выбросы парниковых газов - значительно ниже. Росту использования ВИЭ, особенно солнечных и ветряных станций, способствует развитие технологий (например, рост КПД фотоэлектрических модулей), а также улучшение экономической целесообразности использования ВИЭ вследствие снижения себестоимости оборудования.

На конец 2022 года установленная мощность электростанций на ВИЭ (включая гидроэнергетику) в мире составила около 3.3 ТВт (около 40% от установленной мощности всех электростанций). Из них около 1.3 ТВт – гидроэнергетика, около 1 ТВт – солнечные электростанции (СЭС), ~0.9 ТВт – ветровые (ВЭС), ~0.1 ТВт – ТЭЦ на биотопливе [4]. По сравнению с 2021

годом произошло увеличение установленной мощности электростанций на ВИЭ в мире суммарно примерно на 10%, причем наибольший рост был продемонстрирован для СЭС (на 24%) и ВЭС (на 9%), тогда как для гидроэнергетики только на 2%. В 2022 году вклад ВИЭ в производство энергии в мире составил около 30%, из них около 15% – гидроэнергетика больших мощностей, 4.5% – СЭС, 7.6% – ВЭС, около 2.8% – другие ВИЭ [2].

В России в целом вклад ВИЭ в структуре топливно-энергетического комплекса в значимых масштабах представлен пока только крупными гидроэлектростанциями (ГЭС), которые составляют около 20% от всей установленной мощности. (мощность ГЭС в РФ около 50 ГВт, в то время как суммарная мощность всех электростанций – около 246,5 ГВт.). Вклад ГЭС в выработку электроэнергии в России составляет порядка 18% (200 ТВтч/год [7]). В последние годы в связи с ростом господдержки строительства станций на ВИЭ, в России растет установленная мощность и вклад в выработку электроэнергии солнечных и ветровых сетевых станций. По состоянию на январь 2023 года, согласно данным Минэнерго России, в Единой энергосистеме РФ доля солнечных электростанций составила около 2.1 ГВт, или 0,85%. При этом вклад СЭС в выработку электроэнергии составил всего около 0,2%. Установленная мощность ветровых электростанций – порядка 2.3 ГВт, т.е. 0.93% от общей мощности. Выработка энергии на ВЭС в России в 2023 году составила 0.3% от общей [7].

Важно отметить, что помимо строительства крупных электростанций на ВИЭ мощностью более 25 МВт, важным вкладом в развитие возобновляемой энергетики является распространение ВИЭ-электростанций малой мощности, которые могут устанавливаться как частными домохозяйствами, так и юридическими лицами. По данным Международного энергетического агентства (IEA), ежегодный прирост суммарной установленной мощности малых солнечных электростанций (мощность менее 10 кВт) в домохозяйствах мира в 2017 году составил 6 ГВт, в 2018 – 8 ГВт, а в 2019 уже 16 ГВт [5] В Германии большой вклад в развитие солнечной энергетики внесли установки солнечных электростанций малой мощности в рамках программы «Сто тысяч солнечных крыш». Порядок установления специальных «зеленых» тарифов для малых солнечных установок (до 750 кВт) закреплён в немецком Законе о возобновляемых источниках энергии [1].

В 2022 году в мире было введено примерно 190 ГВт новых СЭС, из них почти половина (87 ГВт) – в Китае. Важно обратить внимание на то, что 55 ГВт новых мощностей в Китае – это небольшие СЭС мощностью 100-200 кВт, устанавливаемые на крышах домов. Такой быстрый прирост был осуществлен в рамках 3-летней госпрограммы Китая, начатой в 2021 году, которая называется «Whole-County Rooftop Solar policy» или «Политика использования солнечной энергии на крышах для всего округа» [3]. Муниципальные власти обязаны объявлять тендеры поставщикам солнечной энергии на установку солнечных батарей на крышах всех общественных зданий и жилых комплексов, включая школы, больницы, фабрики и правительственные здания. Провайдеры предоставляют зданию

электроэнергию со скидкой, а остальное продает в сеть. В случае жилых комплексов они платят арендную плату владельцам резиденций. Также возможны варианты, когда жильцы домов выкупают СЭС, установленные на их крышах у компаний, и сами начинают продавать энергию в сеть. Ожидается, что благодаря данному проекту, к 2025 году будет установлено около 600 ГВт СЭС, что поможет Китаю достичь цели 1200 ГВт установленной мощности на ВИЭ к 2025 году.

В энергетической стратегии РФ до 2035 года отмечается, что, несмотря на то, что основу электроэнергетики Российской Федерации, как и большинства стран мира, будут составлять существующие системы централизованного энергоснабжения, важную роль для конкурентного развития розничного рынка электроэнергии и мощности, технологического развития энергосистем и повышения их эффективности будут играть новые технологии «распределенного производства электрической энергии, микрогенерации, управляемого потребления, виртуального агрегирования ресурсов» [9]

В 2019 г. в РФ был принят «Закон о микрогенерации», определяющий правила и меры поддержки производства энергии от ВИЭ на установках малой мощности частными собственниками [12]. Согласно закону потребители, установившие у себя объект микрогенерации (например, батарею солнечных модулей) мощностью менее 15 кВт, и имеющие связь с централизованной электросетью, смогут поставлять излишки электроэнергии гарантирующим поставщикам, а те должны приобрести неизрасходованную электроэнергию по ценам оптового рынка на момент покупки [12]. Конкретные правовые и технические нормы и условия присоединения и функционирования объектов микрогенерации регулируются Постановлением Правительства РФ от 2 марта 2021 года №299 [8]. Собственники, таким образом, являются одновременно и потребителями энергии из сети (в случае недостаточности собственной генерации), и поставщиками энергии в сеть (в случае ее избытка), т.е. по принятой за рубежом терминологии, просьюмерами.

Ранее мы провели исследование по оценке ресурсной обеспеченности и экономической эффективности использования станций солнечной микрогенерации (ССМ) мощностью 15 кВт в 17 населенных пунктах России: Астрахань, Владивосток, Дербент, Иркутск, Калининград, Краснодар, Магадан, Майкоп, Москва, Новокузнецк, Оренбург, Петропавловск-Камчатский, Санкт-Петербург, Улан-Удэ, Усинск [11]. Данный набор локаций достаточно полно представляет возможное сочетание физико-географических и экономических факторов, которые могут влиять на эффективность использования ССМ. Рассчитанные сроки окупаемости использования ССМ мощностью 15 кВт составили от 6 до 68 лет. Нами было продемонстрировано, что экономическая эффективность ССМ в выбранных районах исследования варьирует в широких пределах в зависимости от сочетания таких факторов, как уровень солнечной радиации, розничный и оптовые тарифы на электроэнергию и график собственного потребления электроэнергии владельцем станции. Показано, что несмотря на значительные ресурсы

солнечной энергии в районах Южной Сибири (Иркутск, Улан-Удэ), срок окупаемости ССМ здесь является максимальным: неоптимальные с точки зрения микрогенерации тарифы нивелируют значение физико-географических условий [11].

В настоящей работе мы решали обратную задачу: поиск оптимальных тарифов на продажу излишков электроэнергии, произведенных ССМ, при использовании которых могут быть достигнуты приемлемые сроки окупаемости ССМ на уровне 10 лет для разных регионов России.

Подробная методика расчетов ресурсной обеспеченности и экономической эффективности использования ССМ приведена в нашей работе [11]. В настоящей работе мы использовали почасовые данные производительности ССМ для каждого региона, полученные в предыдущей работе. Стоимость ССМ оценивалась в 580 тысяч рублей, из которых 500 тысяч рублей - стоимость комплекта ССМ, 80 тысяч - стоимость технологического присоединения к централизованной сети. Суммарное годовое потребление электроэнергии просьюмером было задано на уровне 5,5 МВтч, что соответствует оценкам годового потребления среднего домохозяйства [6]. Для каждого района исследования были выполнены четыре варианта расчетов: для каждого из двух типов потребления «ДОМ» и «ОФИС» по одноставочному (Т1) и двухставочному (Т2) розничному тарифам на электроэнергию для населения. Характеристики населенных пунктов, вводные параметры и результаты расчетов приведены в таблице 1.

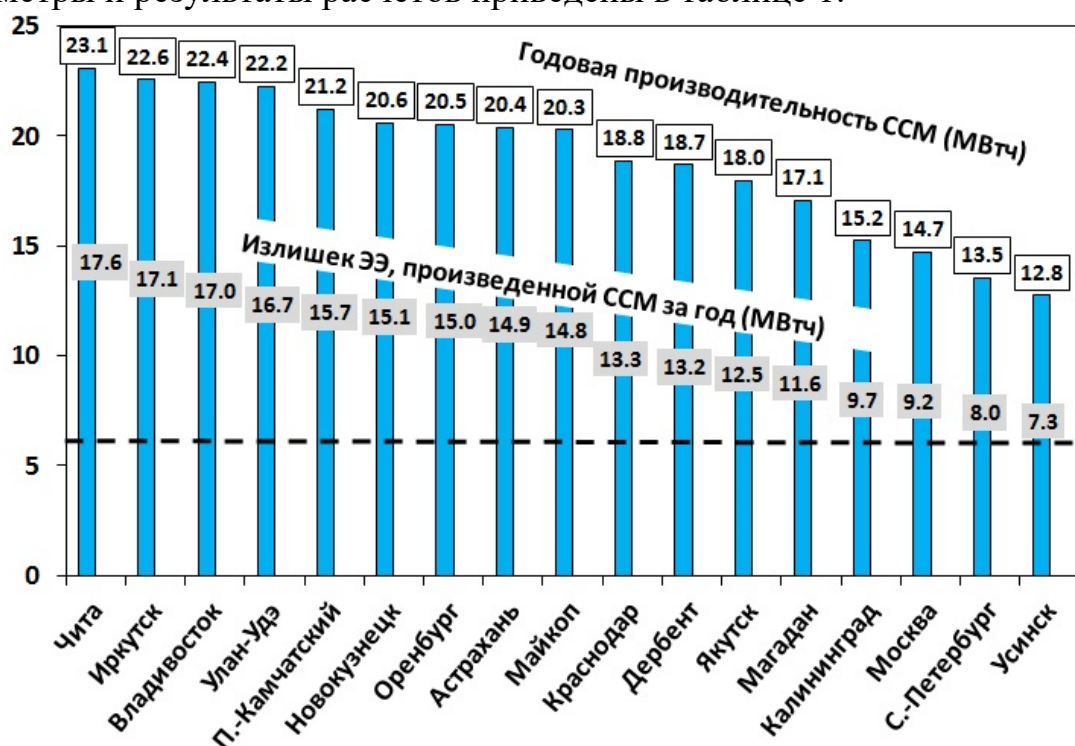


Рис.1. Суммарная годовая производительность электроэнергии (МВтч) ССМ мощностью 15 кВт в выбранных населенных пунктах. Также указаны величины излишков электроэнергии [11]

Таблица 1

Физико-географические и экономические характеристики, определяющие эффективность использования ССМ в районах РФ, выбранных для исследования

Город	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)	Угол наклона панели ССМ, используемый в расчетах (°)	Среднегодовая приходящая солнечная энергия (кВтч/(м ² ·день)) при оптимальном угле наклона приемной поверхности	Суммарная годовая выработка электроэнергии (производительность) (кВтч) ССМ мощностью 15 кВт в районах исследований по данным за 2010-2020 гг.	Одноставочный тариф для населения. Цена с НДС, руб. за кВтч с 01.01.2023	Многотарифный учет с применением тарифа, дифференцированного по зонам суток. Цена с НДС, руб. за кВтч с 01.01.2023 г.		Среднегодная цена закупки электроэнергии на оптовом рынке ЕЭС РФ, руб./кВтч	Оптимальный тариф на продажу излишков электроэнергии от ССМ для достижения срока окупаемости 10 лет (руб./кВтч)			
							Пиковая зона «День»	Ночная зона «Ночь»		Тип расчета			
										Дом-Т1	Дом-Т2	Офис-Т1	Офис-Т2
Астрахань	46,3	48,0	46	4,21	20377	5,94	6,72	4,31	1,14	3,35	3,20	2,21	2,01
Владивосток	43,1	131,9	43	4,47	22448	4,69	6,05	2,21	1,43	2,95	2,72	2,18	1,86
Дербент	42,1	48,3	42	4,37	18678	3,23	3,71	2,58	0,96	3,66	3,58	3,24	3,11
Иркутск	52,3	104,3	52	3,75	22568	1,42	1,633	0,945	0,81	2,93	2,89	2,93	2,89
Калининград	54,7	20,5	54	3,28	15215	4,73	5,44	2,84	2,87	4,75	4,55	3,92	3,70
Краснодар	45,0	39,0	45	4,02	18846	6	6,73	3,61	1,37	3,67	3,45	2,45	2,25
Магадан	59,6	150,8	59	3,5	17051	6,12	7,04	4,9	3,71	4,22	4,09	3,08	2,86
Майкоп	44,6	40,1	44	4,25	20264	6	6,73	3,61	1,37	3,38	3,07	2,05	1,69
Москва	55,8	37,6	55	3,57	14724	6,73	8,21	3,24	1,28	5,05	4,66	3,52	3,07
Новокузнецк	53,8	87,1	53	3,84	20581	4,31	4,95	2,8	0,91	3,31	3,18	2,64	2,49
Оренбург	51,8	55,1	51	3,98	20521	3,77	4,32	2,7	1,19	3,30	3,20	2,76	2,63
Петропавловск-Камчатский	53,0	158,6	53	3,57	21197	6,94	7,98	4,86	3,37	3,23	3,06	1,94	1,71
Санкт-Петербург	59,9	30,3	59	3,4	13526	5,7	6,51	3,56	1,14	5,58	5,35	4,53	4,31
Улан-Удэ	51,8	107,6	51	3,99	22228	4,95	5,69	2,97	0,43	3,02	2,87	2,22	2,06
Усинск	66,0	57,6	65	2,84	12750	5,75	6,62	3,45	2,41	6,09	5,88	5,20	5,02
Чита	52,0	113,5	52	4,3	23076	3,8	4,37	2,58	0,85	2,88	2,79	2,35	2,24
Якутск	62,0	129,7	62	3,38	17976	7,88	7,94	5,13	1,08	4,09	3,90	2,65	2,64

Суммарная годовая производительность ССМ в выбранных регионах варьирует от 12.8 до 23МВтч (Рис. 1). С учетом годового потребления на уровне 5.5 МВтч, в каждом выбранном регионе наблюдается излишек электроэнергии от 7 до 17 МВтч, который может быть направлен просьюмером в централизованную сеть с получением оплаты от гарантирующих поставщиков.

Согласно закону «О микрогенерации» стоимость поставки электрической энергии (мощности) по договору купли-продажи

электрической энергии, произведенной на объектах микрогенерации складывается из средневзвешенной нерегулируемой цены на электрическую энергию, а также средневзвешенной нерегулируемой цены на мощность на оптовом рынке, определяемых коммерческим оператором для соответствующего гарантирующего поставщика [12, 8].

Нами была определена оптимальная стоимость поставки излишков электроэнергии от просьюмера гарантирующему поставщику, при которой окупаемость ССМ составит 10 лет. Для большинства выбранных регионов оптимальные тарифы варьируют на уровне 2-3 руб./кВтч. Более высокий уровень тарифов (4-6 руб./кВтч) необходим для окупаемости станций в регионах с относительно низким уровнем производительности солнечных электростанций (Усинск, Москва, Калининград, Магадан, Санкт-Петербург) (рис. 2, табл.1).

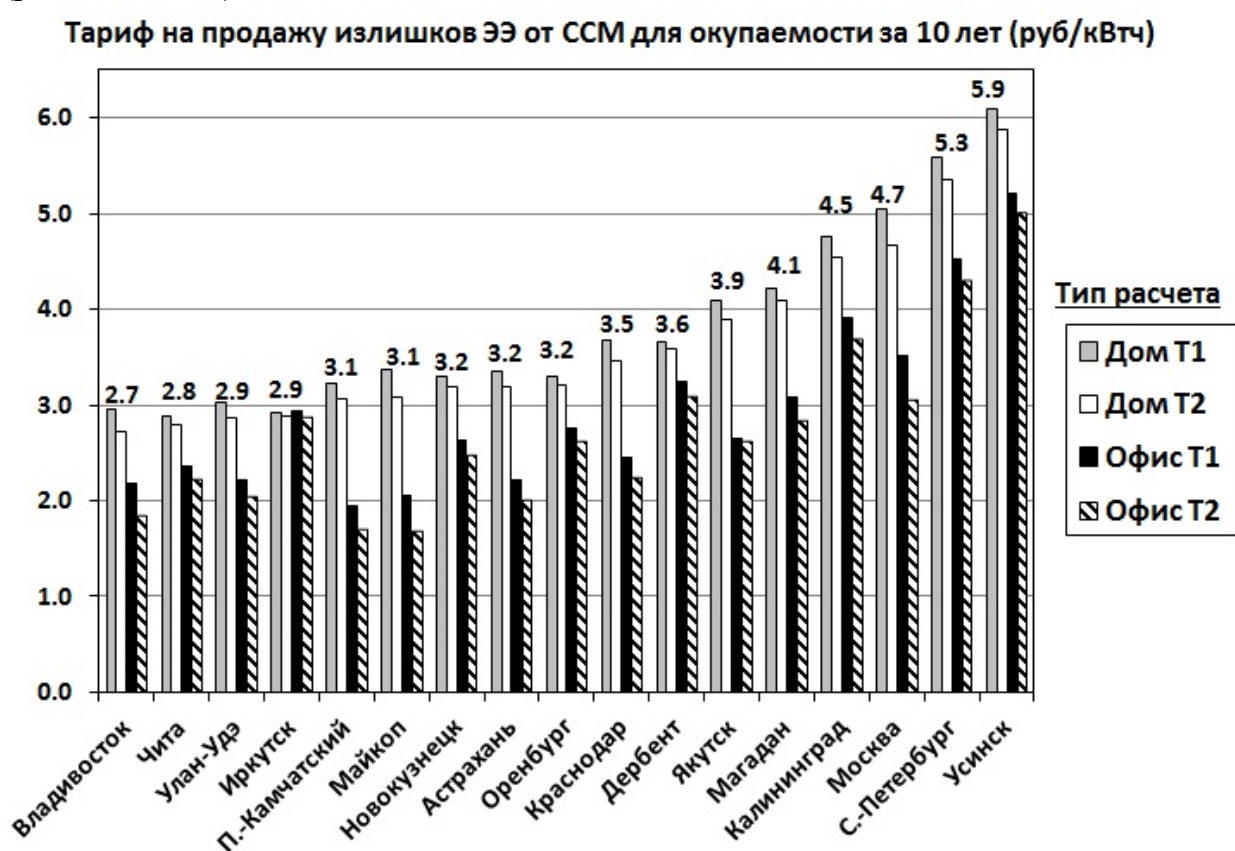


Рис.2. Рассчитанная стоимость поставки излишков электроэнергии от просьюмера гарантирующему поставщику, при которой окупаемость ССМ составит 10 лет. Показаны результаты для четырех видов расчетов с учетом разных графиков нагрузки и тарификации для населения. Значения приведены для варианта Дом-Т2

К настоящему моменту в ряде регионов России уже осуществлены подключения объектов микрогенерации, в том числе малых солнечных электростанций. Некоторые гарантирующие поставщики в открытом доступе раскрывают размер средневзвешенной цены покупки электроэнергии у просьюмеров. Например, ПАО «ТНС энерго Кубань» в отчетной документации указывает, что в марте 2023 года объем покупки электрической

энергии (мощности) в отношении потребителей электрической энергии, владеющих на праве собственности или на ином законном основании объектом микрогенерации составил 4,432 МВтч, а средневзвешенная цена составила 5.73 руб. за кВтч.

Нами был проведен расчет окупаемости ССМ для населенных пунктов Майкоп и Краснодар, относящихся к сфере деятельности ПАО «ТНС энерго Кубань». С учетом достаточно высокой производительности ССМ, характерной для регионов европейского юга России, и действующих на данный момент тарифов на электроэнергию для населения, годовая доходность от использования ССМ в выбранных городах составил от 100 до 120 тысяч руб./год, что соответствует срокам окупаемости 4.8 - 6.5 лет. Таким образом, существующие тарифы покупки электроэнергии в Краснодарском крае и Республике Адыгея обеспечивают быструю окупаемость ССМ, что должно способствовать росту введения фотоэлектрических установок в частных домохозяйствах.

Еще одним фактором, который может способствовать увеличению использования установок ВИЭ в частных домохозяйствах может являться постоянный рост тарифов на электроэнергию для населения. За семь лет, с 2016 по 2023 год в большинстве из выбранных для исследования регионов рост тарифов на электроэнергию составил от 44 до 55 отн. % (Рис.3). Таким образом, установка собственной СЭС, при условии достаточно быстрой окупаемости за счет экономии на покупке электроэнергии из сети, и дохода от продажи излишков, может помочь домохозяйствам в экономии расходов. Кроме того, наличие собственного объекта электрогенерации, позволяет снизить зависимость от перебоев централизованных поставок электроэнергии.

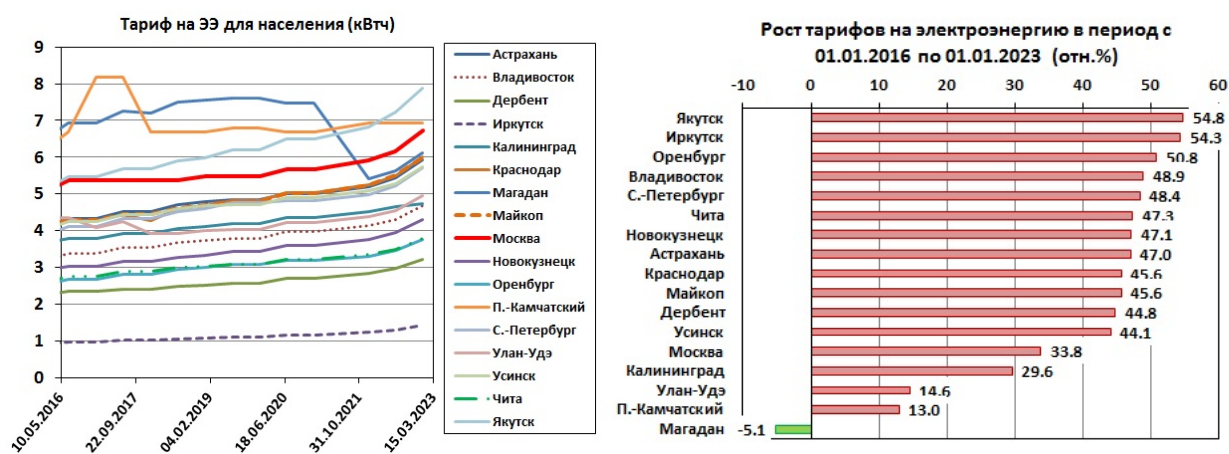


Рис. 3. Рост тарифов на электроэнергию для населения, проживающего в городских населенных пунктах в домах, оборудованных газовыми плитами с 2016 по 2023 год

Таким образом, проведенная оценка тарифов на продажу излишков электроэнергии, произведенной на объектах солнечной микрогенерации, для достижения приемлемых сроков окупаемости (10 лет) показала, что для многих регионов с достаточно высоким уровнем производительности ССМ, достаточно установить тарифы на уровне 2-3 руб./кВтч. Более высокий

уровень тарифов (4-6 руб./кВтч) необходим для окупаемости станций в регионах с относительно низким уровнем производительности солнечных электростанций (Усинск, Москва, Калининград, Магадан, Санкт-Петербург)

По существующим данным на 2022 год, с начала действия Закона «О микрогенерации» в России было подано всего 118 заявок на технологическое присоединение объектов микрогенерации общей мощностью 1,23 МВт [10]. Ожидается, что объемы ввода мощности микрогенерации могут составить 15-30 МВт в год. Для увеличения прироста установок станций микрогенерации населением или юридическими лицами необходимо более широкое распространение информации о возможности подобного подключения, упрощение оформления документов и прохождения процедур на подключение, предложение оптимальной тарификации, способствующей быстрой окупаемости объектов микрогенерации. Дополнительным положительным эффектом от роста спроса на установки СЭС может стать ответный рост производства фотоэлектрических элементов и других комплектующих для СЭС (и ВЭС) в нашей стране, что будет способствовать увеличению создания рабочих мест, и в целом иметь положительный экономический эффект.

Список литературы

1. EEG, Закон о развитии возобновляемых источников энергии ФРГ, https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/BJNR106610014.html
2. Global Electricity Review 2023, Ember, 2023, 163 p. [Электронный ресурс]. Доступно по ссылке: <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2023/#supporting-material-downloads>. Дата обращения 18.04.2023
3. How China Ensured 55 GW Of Rooftop Solar In 2022 [Электронный ресурс] Доступно по ссылке: URL: <https://www.saurenergy.com/solar-energy-blog/lessons-for-the-future-an-insight-into-chinas-dominance-in-rooftop-solar-and-indias-road-ahead>. Дата обращения 26.04.2023
4. Renewable capacity statistics 2023, International Renewable Energy Agency, IRENA (2023), Abu Dhabi, 69 p., [Электронный ресурс]. Доступно по ссылке: <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>. Дата обращения 18.04.2023
5. Renewables 2020 Analysis and forecast to 2025/ International Energy Agency (IEA), 2020 [Электронный ресурс]. Доступно по ссылке: <https://www.iea.org/reports/renewables-2020> (дата обращения: 12.05.2021).
6. Габдерахманова Т.С. Исследование энергетической и экономической эффективности фотоэлектрических систем микрогенерации в условиях Российской Федерации. дис. канд. техн. наук: 05.14.01. – Москва – 152 с.
7. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2022 году [Электронный ресурс] // Официальный сайт Системного оператора Единой энергетической системы. Доступно по ссылке: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2023/ups_rep2022.pdf Дата обращения 18.04.2023
8. Постановление Правительства РФ от 2 марта 2021 года №299 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации» // СПС ГАРАНТ
9. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 года N 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года»

10. Возобновляемая энергетика в России и мире, РЭА МинЭнерго РФ, Москва, 2022, 105 с. [Электронный ресурс]. Доступно по ссылке: https://rosenergo.gov.ru/vie-report/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4_%D0%92%D0%98%D0%AD.pdf Дата обращения 18.04.2023

11. Скафарик, Киселева (2023) Ресурсная обеспеченность и экономическая эффективность сетевых солнечных станций малой мощности в регионах России, Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2023. № 2. С. 36–50

12. Федеральный закон N 471-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об электроэнергетике" в части развития микрогенерации" от 27 декабря 2019 года // СПС ГАРАНТ

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ СЕВЕРО-КРЫМСКОГО КАНАЛА ПОСЛЕ ЕГО НАПОЛНЕНИЯ ВЕСНОЙ 2022 ГОДА

О.В. Соловьёва, Н.Ю. Мирзоева, Е.А. Тихонова, Ю.В. Дорошенко,
Н.В. Бурдиян

*kozl_ya_oly@mail.ru; natmirz@mail.ru; tihonoval@mail.ru;
julia_doroshenko@mail.ru; burdiyan@mail.ru*

*Институт биологии южных морей имени А.О Ковалевского РАН,
Россия, г. Севастополь*

Аннотация. *Контроль качества воды в Северо-Крымском канале (СКК) является необходимым, т.к. она используется в системах орошения сельскохозяйственных земель и питьевого водоснабжения. В настоящем исследовании проведена оценка современного экологического состояния водной экосистемы СКК по концентрации органических загрязнений и численности микробиологических деструкторов органических соединений в весенний паводковый период после восьмилетнего перерыва в эксплуатации канала. Воду из СКК по полученным микробиологическим параметрам и концентрации углеводов (УВ) можно отнести к олигосапробной, слабозагрязнённой. Большая часть биогеохимических маркеров указывает на смешанную природу УВ с преобладанием природных компонентов. При этом, отмечено присутствие УВ нефтяного происхождения ($Pr/Pn < 1$).*

Ключевые слова. *Углеводы, бактерии, вода, биогеохимические маркеры, Северо-Крымский канал.*

В мае 2014 г. была перекрыта вода, поступающая в Крым из Херсонской области по Северо-Крымскому каналу, который обеспечивал 85% потребностей полуострова. Восемь лет жители и предприятия региона получали воду только из местных источников. В 2020 г. ситуация с водоснабжением в Крыму была близка к критической, поскольку небольшое количество осадков и малоснежная зима привели к засухе. В городах Симферополе, Ялте и Алуште были введены графики подачи питьевой воды населению, действовавшие до первой половины лета 2021 г., когда на полуострове прошли сильные ливни [1].

3 марта 2022 г. была вновь запущена днепровская вода в русло Северо-Крымского канала. С одной стороны, полуостров на постоянной основе стал обеспечен водой, с другой, - вместе с водами возможно поступление загрязняющих веществ различной природы. Например, в воду могут попадать вещества из реки Припять, протекающей около Чернобыльской АЭС. Поэтому требуется постоянный контроль качества поступающих в канал вод, которые используются, в том числе, для сельскохозяйственных целей.

В 2022 г. впервые после запуска воды засеивался рис и получен первый урожай. По сравнению с урожаями до 2014 г. и теми площадями, которые засеивались прежде, пока объемы невелики: было 13,5 тыс. га, а в настоящее время только 600 га. Но, данное направление является перспективным и будет развиваться в ближайшем будущем [2].

Судьба применения днепровской воды для хозяйственных нужд находится в прямой зависимости от результатов лабораторных исследований. Важными показателями являются концентрации органических веществ, в том числе углеводов, и микробиологические показатели воды.

Целью проводимых исследований является определение современного экологического состояния водной экосистемы СКК по концентрации органических соединений и численности микробиологических деструкторов органических соединений в весенний паводковый период; оценка по исследуемым параметрам возможности безопасного её использования в хозяйственной деятельности полуострова.

Материалом для исследования послужили пробы воды, отобранные весной 2022 г. Станции пробоотбора расположены с учётом путей поступления углеводов в канал: с днепровской водой при её сезонной подаче, выпадением с атмосферными осадками и со смывом с близлежащих территорий. В соответствии с данными факторами отбор проб воды проводился вдоль канала по ходу движения воды с двух разрезов, приуроченных к крупным промышленным городам Крыма г. Армянску и г. Джанкою (рис. 1). Кроме того, данный участок является самотёчным, а возле г. Джанкоя заканчивается его самотёчная часть. Поперечный разрез включал три станции отбора воды, с учётом смыва с обоих берегов и интенсивного потока воды в канале: (1) – правый берег, (2) – серединная часть и (3) – левый берег. Транспортировка материала осуществлялась в день отбора в специальных емкостях.



Рис. 1. Карта-схема отбора проб воды в Северо-Крымском канале, весна 2022 г.

В соответствующим образом подготовленных пробах воды определяли качественный и количественный состав УВ методом газовой спектрометрии на базе НОЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ. Для выявления вероятных источников поступления УВ в воду канала были рассчитаны следующие диагностические индексы (маркеры): LWH/HWH, CPI₁, CPI₂, Pr/Pn, C₃₁/C₁₉, TMD, C₃₁/C₂₉.

Пробы воды для микробиологического анализа отбирали в стерильные пробирки. Определение численности бактерий проводили методом предельных разведений с использованием соответствующих питательных сред: для гетеротрофных (ГБ) – пептон [3], углеводородокисляющих (УОБ) – среда Ворошиловой-Диановой [4], в качестве единственного источника углерода и энергии добавляли стерильную нефть (1% от объёма). Липолитические бактерии (ЛБ) выделяли по [5]. Наиболее вероятное число микроорганизмов в единице объёма рассчитано по таблице Мак-Креди (в трёх повторностях) [6].

Проведённые микробиологические исследования воды СКК весной 2022 г. показали следующие результаты. Численность ГБ в районе г. Армянска не превышала третьего порядка (табл. 1), УОБ высеяны из всех проб воды, в широком диапазоне: от 10 до 150 кл./мл (табл. 1), причём их количество составляло 0,1-3,3 % от общей численности ГБ.

Таблица 2

Численность индикаторных групп бактерий и концентрации углеводов в воде исследуемых участков Северо-Крымского канала, весна 2022 г.

Место отбора проб	ГБ, кл./мл	ЛБ, кл./мл	УОБ, кл./мл	УВ, мг/л
г. Армянск				
Правый берег	$4,5 \cdot 10^3$	$>2,5 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^2$	0,035
Срединная часть	$9,5 \cdot 10^3$	$>2,5 \cdot 10^3$	10,0	0,04
Левый берег	$9,5 \cdot 10^3$	$>9,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10$	0,02
г. Джанкой				
Правый берег	$9,5 \cdot 10^3$	н/о	$4,5 \cdot 10$	0,04
Срединная часть	$2,0 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^2$	$4,5 \cdot 10$	0,048
Левый берег	$7,5 \cdot 10^2$	н/о	10,0	0,016

Липолитическая группа бактерий выделена повсеместно (табл. 1), отмечен значительный рост данной группы во всех пробах. Равнозначная численность ЛБ выявлена на правом берегу и в срединной части канала, на порядок ниже – на левом берегу. Следует отметить, что процессы самоочищения от липидных компонентов активно протекают в воде СКК. Численность этой группы составляла 10-55 % от общей численности ГБ.

Относительно высокая численность всех исследуемых групп бактерий отмечена у правого берега СКК. Минимальная численность УОБ зафиксирована в воде центральной части СКК в районе г. Армянска.

В воде Джанкойского района отмечено, что численность гетеротрофной группы бактерий также не превышает третьего порядка (табл. 1). Максимальное значение ГБ (9500 кл./мл) соответствует воде у правого берега, а минимальное (750 кл./мл) - левому берегу СКК.

Численность УОБ составляла 0,5-12,7 % от общей численности гетеротрофных бактерий, что свидетельствует о протекающих процессах микробного разложения НУ, особенно у левого берега СКК в Джанкойском районе.

Липолитические бактерии определяли только в воде центральной части СКК. Численность этой группы бактерий на порядок превышала численность УОБ и составляла 250 кл./мл.

Концентрация углеводов в воде исследуемого участка СКК весной 2022 г. в среднем составляла 0,032 мг/л в районе г. Армянска и 0,035 мг/л в Джанкойском районе (табл. 1). Полученные показатели ниже предельно-допустимых концентраций (ПДК) для рыбохозяйственных водоёмов (0,05 мг/л) [7].

Рассчитанный индекс LWH/HWH (соотношение УВ с низкой и высокой молекулярной массой) составлял в среднем 0,35 (рис. 2), что указывает на биогенную природу УВ [8].

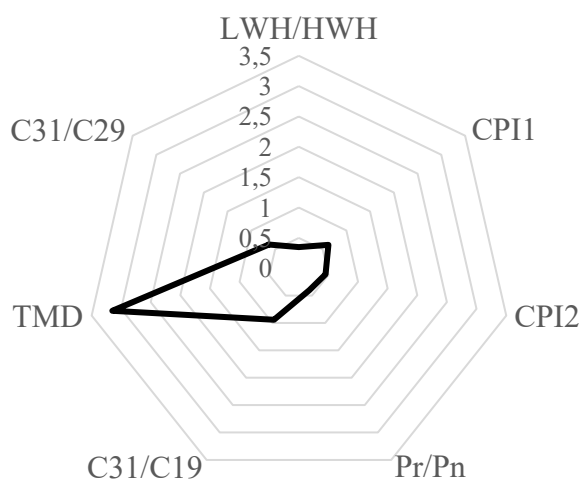


Рис. 2. Рассчитанные диагностические индексы для анализа происхождения углеводов в воде Северо-Крымского канала, весна 2022 г.

Индекс нечётности CPI (соотношение нечётных и чётных n-алканов) может свидетельствовать как о биогенном, так и о нефтяном происхождении УВ. Среднее значения CPI₁ составляло 0,62, CPI₂ – 0,45, что меньше 1 и свидетельствует о биогенном происхождении УВ (рис. 2).

Значение индекса C₃₁/C₁₉, демонстрирующего соотношение аллохтонных и автохтонных компонентов, составляет в среднем 0,94, что указывает на аллохтонную природу УВ. Соотношение C₃₁/C₂₉=0,63 – на преобладание в составе аллохтонных соединений травянистой растительности [9].

Соотношение терригенного вещества с автохтонным оценивает индекс TMD [10]. В настоящем исследовании среднее значение этого показателя составляло 3,15, что превышает 1 и указывает на интенсивное поступление терригенного вещества, продуцируемого высшей наземной растительностью (рис. 2).

Важным диагностическим индексом является отношение пристана, имеющего, преимущественно природное происхождение, к фитану, в большей мере, присутствующего в нефтях [11]. Данное соотношение колебалось в диапазоне от 0,22 до 0,82, при среднем 0,40, что, вероятнее всего, говорит о наличии в воде нефтепродуктов.

Заключение. Полученные показатели численности различных групп бактерий указывают на активизацию процессов микробного самоочищения вод СКК. В целом воды СКК по полученным микробиологическим параметрам и концентрации УВ можно отнести к олигосапробной, слабозагрязнённой зоне. Большая часть рассчитанных индексов для воды в СКК указывает на смешанную природу происхождения УВ с преобладанием природных компонентов. При этом, отмечено присутствие УВ нефтяного происхождения ($Pr/Pn < 1$).

Настоящая работа выполнена в рамках гранта РНФ "Роль оросительной системы Северо-Крымского канала в процессах переноса долгоживущих радионуклидов чернобыльского происхождения, тяжелых металлов, а также углеводов с днепровской водой на поливные сельхозугодья Крыма" № 23-26-00128. Авторы выражают благодарность ведущим инженерам отдела радиационной и химической биологии ФИЦ ИнБЮМ Мосейченко И. Н. и Евтушенко Д. Б. за помощь в отборе проб.

Список литературы

1. <https://tass.ru/obschestvo/14089619>
2. <https://crimea.mk.ru/science/2023/03/26/uchenye-tshhatelno-sledyat-za-kachestvom-vody-severokrymskogo-kanala.html>
3. Георга-Копулос Л. А., Дивавин И. А., Кирюхина Л. Н., Копытов Ю. П., Лебедь А. А., Миловидова Н. Ю., Цымбал И. М., Щекатурина Т. Л., Миронов О. Г. Биологические аспекты нефтяного загрязнения морской среды. – Киев: Наук. думка, 1988. – 248 с.
4. Дианова Е. В., Ворошилова А. А. Окисляющие нефть бактерии – показатели интенсивности биологического окисления нефти в природных условиях // Микробиология. – 1952. – 20, 34. – С. 408.
5. ГОСТ 17.1.3.08-82. Охран природы. Гидросфера. Правила контроля качества морских вод.
6. Нетрусова А. И. Практикум по микробиологии. М.: Издательский центр «Академия». – 2005. – 608 с.
7. Руденко Б. А., Федоров К. П., Виноградов Б. А., Белов В. Ф. Газохроматографическое определение содержания углеводов в морской воде // Журнал аналитической химии. – 1981. – № 36. – С. 1575 – 1581.
8. Wang C., Wang W., He S., Du J., Sun Z. Sources and distribution of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in Yellow River Delta Nature Reserve, China // Applied Geochemistry. – 2011. – Vol. 26, iss.8. – P.1330–1336.
9. Soloveva O. V., Tikhonova E. A., Mironov O. A., Alyomova T. E. Origin of hydrocarbons in the water of the river–sea mixing zone: A case study from the Chernaya River – The Sevastopol bay, Black Sea // Regional Studies in Marine Science. – 2021. – Vol. 45. – Article no. 101870 (10 p.).
10. Syakti A.D., Hidayati N.V., Hilmi E., Piram A., Doumenq P. Source apportionment of sedimentary hydrocarbons in the Segara Anakan Nature Reserve, Indonesia // Marine Pollution Bulletin. – 2013. – Vol. 74. – P. 141–148.
11. AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). Chapter 4. Sources, Inputs and Concentrations of Petroleum Hydrocarbons, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and other Contaminants Related to Oil and Gas Activities in the Arctic. – Oslo: AMAP, 2007. – 87 p.

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ РТУТИ ВЗВЕШЕННЫМ ВЕЩЕСТВОМ И ДОННЫМИ ОСАДКАМИ В РАЙОНАХ МЕТАНОВЫХ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ СО ДНА ЧЕРНОГО МОРЯ

¹А.П. Стецюк, ¹Т.В. Малахова, ²М.В. Иванов

alex-ra-777@mail.ru

¹Институт биологии южных морей

им. А.О. Ковалевского РАН, Россия, г. Севастополь

²Тихоокеанский океанологический институт

им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Россия, г. Владивосток

Аннотация. Рассчитаны коэффициенты накопления ртути взвешенным веществом морской воды, а также донными осадками прибрежной акватории Южного берега Крыма. Коэффициент накопления ртути взвешенным веществом ($K_{нвзв}$) изменялся в диапазоне от $n \cdot 10^4$ до $n \cdot 10^7$. Коэффициент накопления ртути верхним слоем донных осадков варьировал от $n \cdot 10^2$ до $n \cdot 10^4$. Высокие значения коэффициента накопления ртути взвешенным веществом свидетельствуют о превалировании седиментации над другими биогеохимическими механизмами самоочищения вод в изученный период времени.

Ключевые слова. Ртуть, коэффициенты накопления ртути, метан, Чёрное море, Крым.

Ртуть – один из наиболее опасных химических загрязнителей морской среды – обладает высокой способностью сорбироваться на коллоидных и взвешенных частицах, участвует в процессах миграции, седиментации, трансформации [13]. Поступление ртути в море происходит в результате естественных природных процессов или вследствие антропогенного загрязнения. К природным источникам относятся атмосферные выпадения, извержения вулканов, поступление с поверхностными и подземными стоками, а также выщелачивание горных пород. В морских районах нередко встречаются ртутные аномалии природного происхождения, возникновение которых обусловлено активным участием ртути во всех стадиях глубинных геологических процессов. Особенности пространственно-временной изменчивости содержания Hg^0 в приземной атмосфере и результаты анализа природных процессов, определяющих ее поступление и миграцию, свидетельствуют о наличии локальных геологических источников ртути на морском дне [5]. Повышенное содержание ртути сопутствует районам грязевых вулканов и местам струйных метановых газовыделений [2; 6; 7]. Выявлены признаки поступления и рассеяния ртути в водной толще и атмосфере над гидротермальными источниками подводного вулкана [1]. Водные толщи в местах газовыделений характеризуются широким диапазоном концентрации общей ртути: от 30 до 2676 нг/л [6].

Часть ртути в морской воде связана с взвешенным веществом минерального и органического происхождения. Основным биогеохимическим механизмом самоочищения Чёрного моря от ртути является

седиментационное самоочищение его вод взвешенным веществом [3]. Представляющее собой частицы живой и неживой материи, взвешенное вещество может сорбировать ртуть до высоких уровней. Ранее было установлено, что в шельфовых районах, подверженных большому антропогенному влиянию, значительная роль в формировании полей ртутного загрязнения принадлежит взвешенному веществу [6]. Содержание металлов в различных гранулометрических фракциях взвешенного вещества увеличивается с уменьшением размера фракций за счет роста удельной поверхности частиц, что способствует выведению тяжелых металлов из водного раствора и увеличению их сорбции на поверхности материала взвеси [10]. Опускаясь в результате гравитации, часть взвешенных частиц выносит загрязнения из поверхностного слоя Черного моря, депонируя их в толще донных отложений [11].

Изучение закономерностей распределения различных физико-химических форм ртути в Чёрном море показало приуроченность потоков ртути в водную среду к местам газовой разгрузки недр [6]. Однако при этом не учитывали такие показатели биогеохимической миграции ртути, как коэффициенты накопления ртути взвесями морской воды и донными осадками.

Для контроля экологического состояния прибрежных зон моря необходимо изучение распределения ртути в воде и изучение закономерностей её концентрирования во взвешенном веществе морской воды и донных осадках Чёрного моря. Важным является вопрос разработки отдельных предельно-допустимых нормативов для зон повышенного природного или антропогенного поступления ртути в акваторию Чёрного моря.

Цель работы – изучить закономерности концентрирования ртути взвешенным веществом и донными осадками в местах локализации струйных метановых газовыделений со дна Чёрного моря.

Задачи: определение концентраций ртути в воде и донных осадках Чёрного моря; сравнительное изучение концентрирования ртути в толще морской воды и на её поверхности, а также в верхнем слое донных осадков.

Методы исследования

Пробы для определения концентрации ртути в толще морской воды отбирались батометрами STD-зонда в ходе экспедиционных работ в рейсе 125-1 НИС «Профессор Водяницкий» (рис. 1). Карта выполнена с помощью программы «Гидролог» [16]. Разделение морской воды объёмом 1 литр на фильтрат и взвесь осуществляли путём фильтрации через ядерные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм на борту судна. Для определения ртути был использован метод непламенной атомно-абсорбционной спектрометрии. Измерения проводили на анализаторе ртути «Хиранума» с чувствительностью $1 \cdot 10^{-3}$ мкг. В фильтрате определяли растворённую форму ртути, а на фильтре – взвешенной. Концентрация ртути в воде определялась в пересчёте на литр, а во взвешенном веществе – на литр и на грамм сухой массы. Концентрацию ртути в донных осадках определяли с помощью анализатора Люмэкс Пиро

915+ с пиролитической приставкой ПИРО-915+. Нижний предел обнаружения – 0,5 нг/г. Погрешность анализа составляла 2-3%. Стандартными образцами на ртуть служили ГСО 7183-95, СПДС-1,2,3, HISS-1, MESS-4, PACS-3, BCR-277R. Внешний контроль ежегодно выполнялся в лаборатории фирмы-производителя (ООО Люмэкс, г. Санкт-Петербург).

Коэффициент накопления ртути взвешенным веществом и донными осадками (Кн) рассчитывался по формуле [11]:

$$K_{н(взв \text{ или } до)} = 1000 C_{(взв \text{ или } до)} / C_w \quad (1)$$

где $C_{(взв \text{ или } до)}$ – концентрация ртути во взвешенном веществе или донных осадках, нг/г; C_w – концентрация растворённой формы ртути в воде, нг/л.

Пул ртути на взвеси (процент извлечения ртути взвешенным веществом из водной среды) рассчитывался по формуле [4; 12]:

$$P_{взв} (\%) = \frac{m_{уд} K_{нвзв}}{(m_{уд} K_{нвзв} + 1)} \cdot 100 \quad (2)$$

где $m_{уд}$ – удельная масса взвешенного вещества морской воды ($г/м^3$ или мг/л сухой массы).

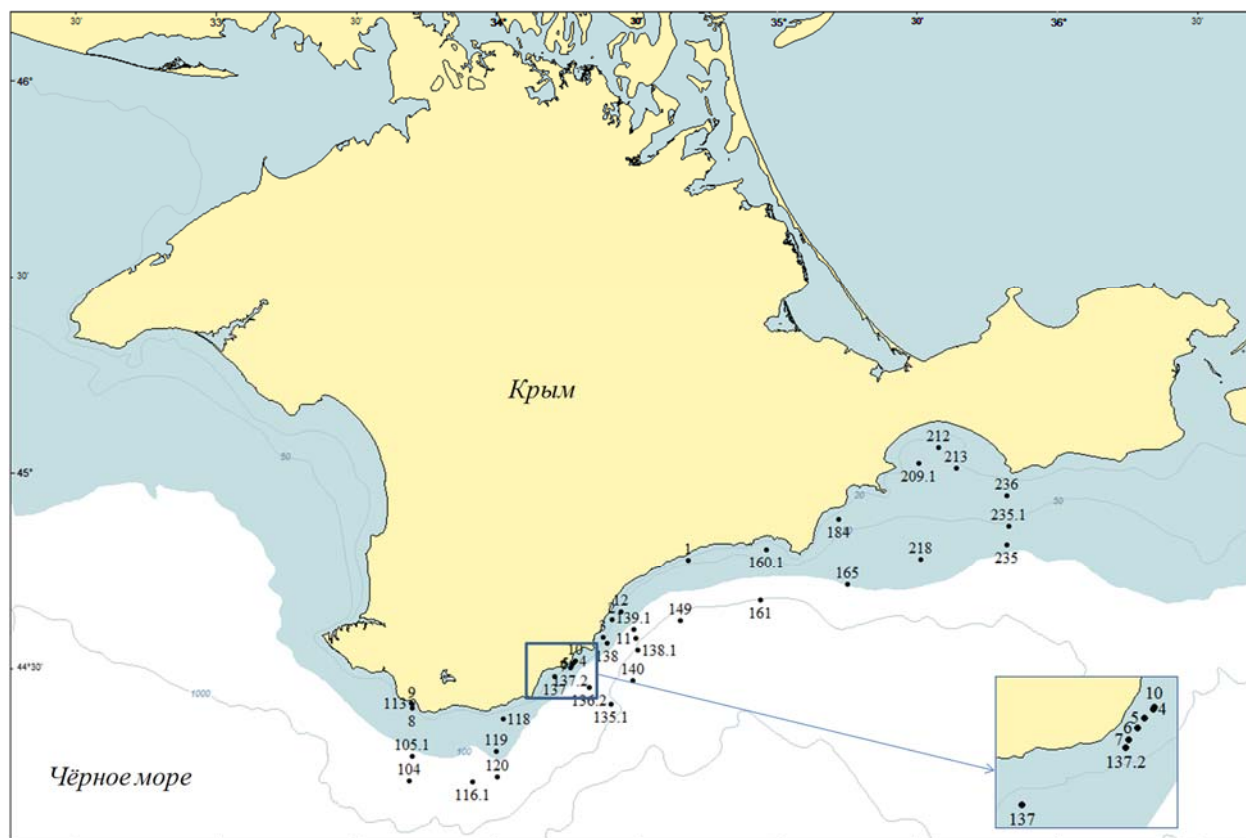


Рис. 1. Карта отбора проб

Результаты и их обсуждение

Согласно первым исследованиям содержания ртути в районах струйных газовыделений со дна Чёрного моря, концентрация ртути во всей водной толще этих районов в 2,5 раза превышала таковую на фоновой станции [6]. При этом максимальные значения концентрации общей формы ртути, более чем в 2 раза превышающие ПДК ртути для морской воды (100 нг/л [9]), были

отмечены в проекции сипов. Наши исследования показали, что общее содержание ртути (сумма растворённой и взвешенной форм) варьировало от 11 до 61 нг/л (рис. 2). Наибольшая концентрация ртути обнаружена на станции 236. Предельно-допустимая концентрации ртути для морских вод не была превышена ни на одной станции. На некоторых станциях, помимо проб поверхностной воды, были отобраны пробы с глубинных горизонтов. За исключением станций 5 и 6 у мыса Мартьян, концентрация ртути была выше в придонных слоях воды и на глубине 16-52 см, чем в поверхностном слое моря. Для сравнения, по данным Костовой, концентрация ртути в 2 с лишним раза была выше в толще воды, чем на поверхности. Содержание ртути в придонных слоях воды в месте локализации газовыделений было почти в 7 раз выше, чем в воде поверхностного горизонта и сопредельного фонового района, находящегося на удалении около 1 км [6].



Рис. 2. Содержание ртути в акватории Чёрного моря в ноябре 2022 г. (Белым цветом обозначена поверхностная вода. Серым цветом отмечены глубинные воды)

Концентрирование ртути взвешенным веществом ($K_{НВЗВ}$) варьировало в диапазоне от $n \cdot 10^4$ до $n \cdot 10^7$ (рис. 3-а). Максимальные значения $K_{НВЗВ}$ соответствовали преобладающим концентрациям взвешенной формы ртути (нг/л) на станциях 138 и 235.1. Значения $K_{НВЗВ} > 10^6$ свидетельствуют о высокой концентрирующей способности взвешенного вещества морской воды и преобладании седиментации над другими биогеохимическими механизмами самоочищения вод [15]. Расчёты показали, что коэффициенты накопления донными осадками ($K_{Ндо}$) лежали в пределах от $n \cdot 10^2$ до $n \cdot 10^4$ (рис. 3-а). При этом концентрация ртути в верхнем слое донных осадков варьировала от 18 до 111 нг/г сухого веса, что не превышает нормативов по «голландским листам» [16].

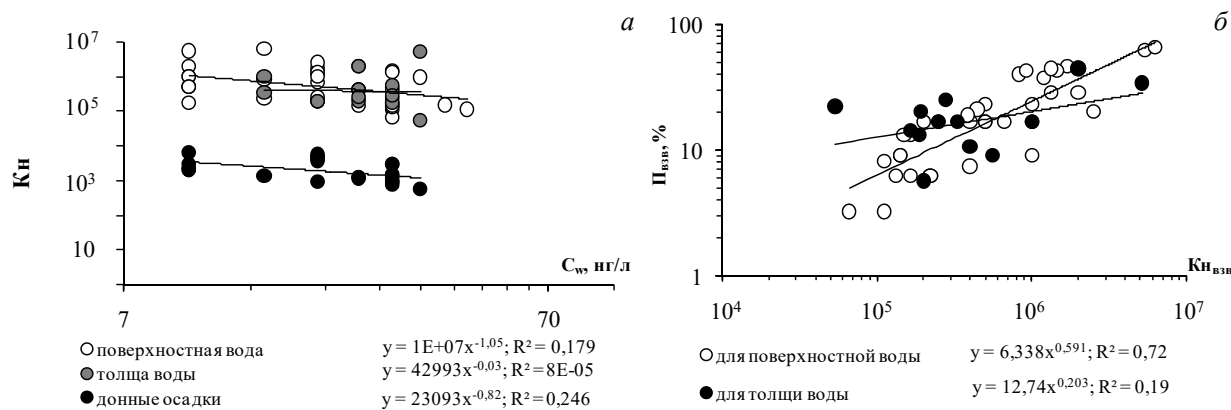


Рис. 3. *а* – зависимость коэффициентов накопления ртути от концентрации растворённой формы ртути в поверхностной воде (C_w); *б* – зависимость процентного пула во взвеси ($P_{взв}$) от коэффициента накопления ртути взвешенным веществом

В исследованиях, также проведённых в осенний период, закономерность изменения коэффициентов накопления ртути взвешенным веществом прибрежной акватории Чёрного моря в зависимости от изменения её концентрации в поверхностной воде соответствовала степени статистической обеспеченности $R^2 = 0,64$ [14]. При этом процентная величина извлечения ртути взвесью с увеличением $K_{нвзв}$, изменялась с $R^2 = 0,84$, а при снижении концентрации ртути в воде, – с $R^2 = 0,57$. В период 2018-2019 гг., процент извлечения ртути взвешенным веществом в зависимости от $K_{нвзв}$ в осенний период для прибрежной акватории, имел достоверность аппроксимации $R^2 = 0,35$ [15]. В данном исследовании, процент извлечения ртути взвесью в зависимости от концентрации ртути в воде имел слабую статистическую значимость как в толще воды, так и в её поверхностном слое. Однако процент извлечения ртути с увеличением $K_{нвзв}$, изменялся с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,72$ для поверхностного слоя и $R^2 = 0,19$ – для толщи воды (рис. 3-б). Варьирование величины процента извлечения составило – от 3,2 до 65,1% – для поверхности и от 5,7 до 44,4% – для толщи воды. Судя по полученным результатам, более интенсивные изменения, варьирующие в широком диапазоне, происходили в поверхностном слое воды, а в толще воды закономерности концентрирования ртути были более стабильными. Это можно объяснить тем, что в изученный период, концентрация ртути в толще воды и в верхнем слое донных осадков находилась в достаточно низком диапазоне и более интенсивные процессы накопления ртути в донных осадках произошли ранее. О последнем свидетельствует то, что в донных осадках районов газовыделений концентрация ртути была в 2 и более раз выше по сравнению с условными фоновыми районами [8]. Максимум концентрации достигал 170 нг/г в осадках бухты Ласпи на глубине 50 м.

Выводы

Концентрации ртути в толще морской воды и на её поверхности, а также в верхнем слое донных осадков, не превышали установленных предельно-допустимых нормативов.

Коэффициент накопления ртути взвешенным веществом изменялся в более широком диапазоне ($K_{нвзв} = n \cdot 10^4 - n \cdot 10^7$), в отличие от коэффициента

накопления ртути верхним слоем донных осадков ($K_{ндо} = n \cdot 10^2 - n \cdot 10^4$). Высокие значения коэффициента накопления ртути взвешенным веществом ($K_{нвзв} > 10^6$) могут свидетельствовать о превалировании седиментации над другими биогеохимическими механизмами самоочищения вод в изученный период времени. Согласно полученным результатам, коэффициент накопления является важным показателем биогеохимической миграции ртути в морской акватории. Пределы изменения коэффициента накопления могут быть определяющими показателями в самоочищении морской среды.

Работа выполнена по теме государственного задания «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (проект 121031500515-8).

Проведенные исследования были выполнены в Центре коллективного пользования «НИС Профессор Водяницкий» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН».

Список литературы

1. Астахов А.С., Иванов М.В., Ли Б.Я. Гидрохимические и атмосферические ореолы рассеяния ртути над гидротермальными источниками подводного вулкана Пийпа (Берингово море) // *Океанология*. – 2011. – Т. 51. – № 5. – С. 879-888.

2. Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Гулин С.Б. и др. Современные представления о средообразующей и экологической роли струйных метановых газовыделений со дна Чёрного моря // *Морской экологический журнал*. – 2003. – Т. 2. – №3. – С. 5-26.

3. Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Светашева С.К. Загрязнение Черного моря ртутью с речным стоком и способность его вод к самоочищению в результате протекания биохимических циклов // *Материалы Международной конференции «Оценка расположенных на суше источников загрязнения морей, омывающих государства СНГ»*. – Севастополь, 1992. – С. 61-62.

4. Егоров В.Н. Биогеохимические механизмы реализации компенсационного гомеостаза в черноморских экосистемах // *Морской экологический журнал*. – 2012. – Т. 11. – № 4. – С. 5–17.

5. Калинин В.В., Астахов А.С. Атмосферические ореолы рассеяния ртути над активными геологическими структурами северной части Японского моря // *Геология и геофизика*. – 2014. – Т. 55. – № 12. – С. 1728-1737

6. Костова С.К., Поповичев В.Н., Егоров В.Н., Плотицына О.В., Артёмов Ю.Г. Распределение ртути в воде и донных отложениях в местах локализации струйных метановых газовыделений со дна Чёрного моря // *Морской экологический журнал*. – 2006. – Т. 5. – № 2. – С. 47-56.

7. Костова С.К., Егоров В.Н., Поповичев В.Н. Экологические аспекты изучения загрязнения Чёрного моря ртутью // *Чтения памяти Н.В. Тимофеева-Ресовского: 100-летию со дня рожд. Н.В. Тимофеева-Ресовского посвящается*. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000. – Гл. 8. – С. 250–257.

8. Малахова Т.В., Макаров М.М., Сырбу Н.С., Стецюк А.П., Будников А.А., Хурчак А.И., Кучер К.М., Заговенкова А.Д., Легкодимов А.А., Иванов М.В. Новые районы струйных газовыделений на шельфе Чёрного моря у Южного берега Крыма: результаты исследований 1-ого этапа 125 рейса НИС «Профессор Водяницкий» // *Материалы X конференции молодых ученых «Океанологические исследования»*. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2023 (в печати).

9. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно-допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ Министерства сельского

хозяйства РФ № 552 от 13.12.2016 [электронный ресурс]. Режим доступа: www.pravo.gov.ru (дата обращения: 10.12.18.).

10. Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем // Экология. Сер. аналит. обзоров мировой лит-ры. – 2001. – № 62. – С. 1-58.

11. Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н. Морская динамическая радиохемозология. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 176 с.

12. Поликарпов Г.Г. Радиозология морских организмов. – М.: Атомиздат, 1964. – 295 с.

13. Светашева С.К., Егоров В.Н., Гулин М.Б., Жерко Н.В. Трансформация физико-химических форм ртути и её распределение в аэробной и анаэробной зонах Черного моря: в кн. Молисмология Черного моря. – К: Наукова думка, 1992. – С. 108-122.

14. Стецюк А.П. Концентрирование ртути во взвешенном веществе пены и воды Чёрного моря // Морской биологический журнал. – 2020. – Т. 5. – № 3. – С.74-84.

15. Стецюк А.П., Поповичев В.Н. Распределение ртути в поверхностной воде Черного моря и её концентрирование во взвешенном веществе // Химия в интересах устойчивого развития. – 2022. – Т. 30. – № 2. – С. 192-201. <https://doi.org/10.15372/KhUR2022373>

16. Belokopytov V.N. «Oceanographer»: applied software for oceanographic surveys // Internat. Symp. on Information Technology in Oceanography. – Goa, 1998. – P.79.

17. Neue NiederlandischeListe // Altlasten Spektrum 3/95.

ВЛИЯНИЕ БИОЧАРА И МИКРООРГАНИЗМОВ НА РЕМЕДИАЦИЮ ПОЧВ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ

С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина, Т.С. Дудникова, Е.Г. Шуваев,
Г.М. Бакоева

Snsushkova@sfedu.ru

Южный Федеральный университет, Россия, г. Ростов-на-Дону

Аннотация. В связи с масштабностью загрязнения почвенного покрова опасными органическими поллютантами - полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ), необходимо разработка современных и эффективных методов ремедиации загрязненных территорий. В результате проведенного модельного эксперимента с внесением биочара, инокулированного микроорганизмами-деструкторами ПАУ в техногенно загрязненную почву установлено снижение суммарного содержания 16 приоритетных ПАУ в 5,8 раз и бенз(а)пирена (БаП) в 6 раз. При этом прогнозируемый период разложения (T_{50}) составил 136 дней для суммы ПАУ и 139 дней для БаП, что в 1,2-1,4 раза быстрее, чем при внесении микроорганизмов и биочара по отдельности, соответственно.

Ключевые слова. ПАУ, хемозем, штаммы-деструкторы, бенз(а)пирен.

Почва является неотъемлемой составляющей любой экосистемы, которая выполняет ряд важнейших экологических функций, и служит основным депоном загрязняющих веществ. К группе токсичных, распространенных поллютантов относятся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), проявляющие по отношению ко всем живым организмам канцерогенную и мутагенную активность [1, 2]. При этом при исследовании влияния ПАУ на биокосные системы принято учитывать 16 ПАУ, входящих в список приоритетных поллютантов агентства по охране окружающей среды США. Наиболее опасным из них является бенз(а)пирен – (БаП) – канцероген 1-го класса опасности [3]. Вследствие опасности и повсеместного распространения загрязнения почв ПАУ требуется разработка мер, направленных на их ремедиацию.

Наиболее перспективным является способ ремедиации с использованием углеродистых сорбентов – биочаров, который показал себя как эффективное средство для снижения содержания поллютантов в почвах, в том числе ПАУ [4]. Доказана эффективность внесения биочара в почву, загрязненную дизельным топливом путем активизации естественных микроорганизмов-деструкторов углеводородов, а также разработаны основы сорбционной биоремедиации нефтезагрязненных почв [5-7]. Еще одним способом ремедиации почвы является внесение микроорганизмов-деструкторов ПАУ, использующих их в качестве источника углерода [8]. Пористая структура биочара способствует улучшению химических, физических и биологических свойств почв, усиливает буферную способность

почвы по отношению к поллютантам и является средой для стимуляции роста природных микроорганизмов-деструкторов ПАУ [9, 10].

Целью данной работы являлось изучение влияния биочара и микроорганизмов на ремедиацию почв техногенно загрязненных полициклическими ароматическими углеводородами.

Объекты и методы исследования. Для изучения эффективности совместного применения биочара и штаммов-деструкторов ПАУ на разложение полиаренов в почве заложен модельный вегетационный опыт с техногенно загрязненной почвой территории бывшего шламонакопителя – пересохшего озера Атаманского, которое долгие годы (с 1950 по 1990 гг.) служило резервуаром для сброса химических стоков. Почва исследуемой территории относится к хемоземам [11] со следующими свойствами: содержание физической глины – 48,3%, ила - 29,8%, органического углерода – 3,8%, рН – 7,4.

Схема опыта включала варианты с внесением в хемозем штаммов-деструкторов ПАУ как отдельно, так и совместно с 5% биочара: 1) Контроль; 2) Хемозем; 3) Хемозем + 5% биочара; 4) Хемозем + бактерии; 5) Хемозем + 5% биочара+ бактерии. Анализ содержания ПАУ в почвах выполнен с использованием метода субкритической водной экстракции [12]. Для анализа полиаренов в почвах использованы хроматографические методы в комплексе с высокочувствительными масс-спектрометрическими методами с последующим анализом соединений на высокоэффективном гибридном масс-спектрометре на базе тройного квадруполя с линейной ионной ловушкой LC/MS/MS (3200 modelQTrap, ABSciex, Singapore, 2015) с ВЭЖХ системой с диодноматричным детектированием (Agilent Model 1260, США, 2015).

Константа разложения ПАУ в почве (K_p , г-1) рассчитана по уравнению (1):

$$K_p = -\ln (C_t/C_{исх})/t, \quad (1)$$

где $C_{исх}$ - исходная концентрации БаП в почве; C_t - концентрации БаП в почве в момент отбора образцов модельного эксперимента; t - время.

Период полуразложения ПАУ почве (T_{50}) вычисляли по уравнению (2):
 $T_{50}=0,693/ K_p*364$ (дней) (2)

Сырьем для получения биочара служила лузга подсолнечника. Биоуголь был получен в результате термического разложения в стальной реторте лузги подсолнечника при температуре 700°C.

Для выделения ПАУ-деградирующих микроорганизмов готовили накопительную культуру. Культивирование проводили в шейкере-инкубаторе Innova 40R (New Brunswick Scientific, США) при 30°C, 170 об/мин в течение недели. После этого накопительную культуру пересевали на чашки Петри с агаризованной минеральной средой, в которую добавляли с внесением нафталина, и культивировали в термостате при температуре 30°C в течение недели. Посевы производили в трех повторностях. Чистые культуры ПАУ-деградирующих микроорганизмов выделяли из однотипных изолированных колоний, выросших на чашках в большом количестве. Идентификация выделенных штаммов проводилась с использованием генотипической и

фенотипической характеристикой штаммов. Генотипическая характеристика штаммов была основана на секвенировании гена 16S рРНК, фенотипическая – с помощью масс-спектрометрии MALDI-TOF. Изучены особенности бактериальных сообществ в почвах с применением методов просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (на микроскопе Теспаі G2 Spirit BioTWIN).

Результаты и обсуждения. В результате заложенного модельного опыта, доказана эффективность применения комплексного метода ремедиации при помощи биочара и бактерий-деструкторов ПАУ. Установлено, что в целом внесение штаммов микроорганизмов-деструкторов эффективнее влияет на снижение ПАУ в почве, чем биочара. Наилучший эффект достигнут при совместном применении бактерий и биочара на хемоземе, где суммарное содержание 16 ПАУ и БаП снижается в 5.8-6,0 раз, соответственно (рис. 1). С уменьшением количества бензольных колец в молекуле ПАУ степень снижения поллютантов усиливается (рис. 2).

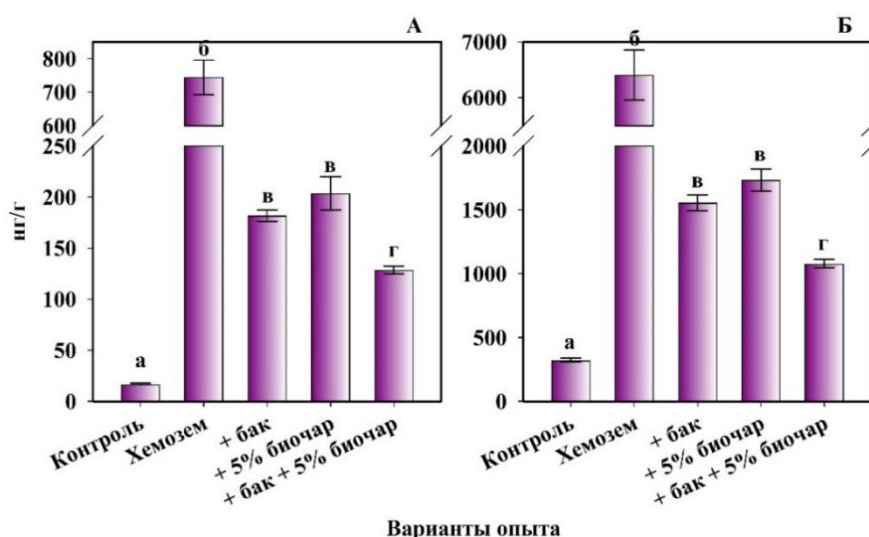


Рис. 1. Содержание бенз(а)пирена (А) и суммарное содержание 16 приоритетных ПАУ в хемоземе при внесении бактерий отдельно и совместно с биочаром
Примечание: бак – бактерии; буквами отмечены достоверные различия ($p < 0,05$), полученные в результате расчета критерия Стьюдента

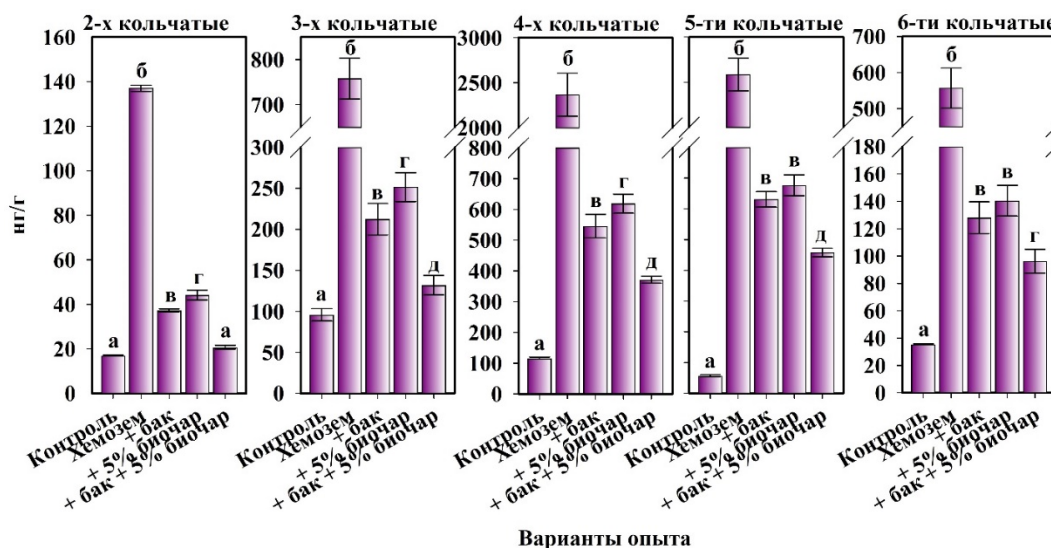


Рис. 2. Содержание ПАУ различной кольчатости в хемоземе при внесении бактерий отдельно и совместно с биочаром

Примечание: бак – бактерии; буквами отмечены достоверные различия ($p < 0,05$), полученные в результате расчета критерия Стьюдента

Константа разложения БаП при внесении биочара, инокулированного микроорганизмами ПАУ-деструкторами достигает значения $1,8 \text{ г}^{-1}$, что соответствует периоду полуразложения (T_{50}) 137 дней (табл. 1). Установлено, что снижение содержания БаП в хемоземе зависит от метода биоремедиации почвы и по T_{50} образует следующую последовательность: «хемозем + бактерии + биочар» (139 дней) > «хемозем + бактерии» (172 дня) > «хемозем + биочар» (187 дней) > «хемозем» (2567 дней).

Таблица 1

Константа разложения (K_p) и период полуразложения (T_{50}) БаП и суммы 16 ПАУ в хемоземе при внесении бактерий отдельно и совместно с биочаром

Вариант опыта	Бенз(а)пирен		16 ПАУ	
	$K_p, \text{ г}^{-1}$	$T_{50}, \text{ дней}$	$K_p, \text{ г}^{-1}$	$T_{50}, \text{ дней}$
Контроль	0,02	14922	0,04	6465
Хемозем	0,06	2567	0,07	1511
Хемозем + бактерии	1,46	172	1,49	170
Хемозем + 5% биочар	1,35	187	1,38	183
хемозем + бактерии + 5% биочар	1,80	139	1,85	136

Выводы. Показано, что снижение содержания полиаренов в почве зависит от типа ремедиации и образует следующую последовательность: «хемозем + бактерии + биочар» > «хемозем + бактерии» > «хемозем + биочар» > «хемозем» > «контроль». При этом использовании наиболее эффективного способа ремедиации (хемозем + бактерии + биочар) прогнозируемый период полуразложения (T_{50}) 16 полиаренов в хемоземах составляет 136 дней, а для наиболее опасного ПАУ – БаП - 139 дней, что в

1,2-1,3 раза лучше, чем в вариантах с внесением бактерий и биочара по отдельности.

Исследование выполнено в лаборатории «Здоровье почв» Южного федерального университета при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2022-1122, проекта Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории “Агробиотехнологии для повышения плодородия почв и качества сельскохозяйственной продукции” в рамках программы развития межрегионального научно-образовательного центра Юга России (№ ЛабНОЦ-21-01АБ, FENW-2021-0014), РНФ № 19-74-10046.

Список литературы

1. Касимов Н. С., Кошелева Н. Е., Алексеенко А. В. Загрязнение почв соединениями ПАУ при открытой добыче бурого угля (месторождение Шарынгол, Северная Монголия) // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов: Труды IV Международной научно-практической конференции 7. – 2016. – С. 135.
2. Яковлева Е. В., Безносиков В. А., Кондратенок Б. М., Габов Д. Н. Закономерности биоаккумуляции полициклических ароматических углеводородов в системе почва – растения биоценозов северной тайги // Почвоведение. – 2012. – №. 3. – С. 356–367.
3. US EPA (US Environmental Protection Agency), 2020. Integrated Risk Information System (IRIS). Washington, DC, Office of Research and Development. URL: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris_drafts/AtoZ.cfm.
4. Васильева Г. К., Стрижакова Е. Р. Использование активированного угля при биоремедиации загрязненных почв и седиментов (обзор) // Вестник РФФИ. – 2008. – №. 4. – С. 32.
5. Vasilyeva G. K., Bakhaeva L. P., Strijakova E. R., Shea P. J. Biodegradation of 3,4-dichloroaniline and 2,4,6-trinitritoluene in soil in the presence of natural adsorbents // Environmental Chemistry Letters. – 2003. – Vol. 1(3). – P. 176-183.
6. Vasilyeva, G. K., Strijakova E. R., Shea P. J. Use of activated carbon for soil bioremediation // Soil and water pollution monitoring, protection and remediation. – Springer, Dordrecht, 2006. – P. 309-322.
7. Semenyuk N. N., Yatsenko V. S., Strijakova E. R., Filonov A. E., Petrikov K. V., Zavgorodnyaya Y. A., Vasilyeva G. K. Effect of activated charcoal on bioremediation of diesel fuel-contaminated soil // Microbiology. – 2014. – Vol. 83(5) P. 589-598.
8. Zhang H., Kallimanis A., Koukkou A. I., Drainas C. Isolation and characterization of novel bacteria degrading polycyclic aromatic hydrocarbons from polluted Greek soils // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2004. – V. 65. – P. 124-131.
9. Sohi S. P., Krull E., Lopez-Capel E., Bol R. A review of biochar and its use and function in soil // Advances in agronomy. – 2010. – V. 105. – P. 47-82.
10. Zimmerman A. R. Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar) // Environmental Science & Technology. – 2010. – V. 44(4). – P. 1295-1301.
11. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
12. Sushkova S., Minkina T., Mandzhieva S., Borisenko N., Vasilyeva G., Kizilkaya R., Aşkin T. Approbation of express-method for benzo[a]pyrene extraction from soils in the technogenic emission zone territories // Eurasian Journal of Soil Science. – 2015. – V. 4. – №. 1. – P. 15-21.

ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОСФЕРЫ НЕВСКОЙ ГУБЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

¹ В.И. Сычев, ^{1,2} М.Б. Шилин
sychev@rshu.ru; shilin@rshu.ru

¹Российский государственный гидрометеорологический университет,
Россия, г. Санкт-Петербург

²Межправительственная океанографическая комиссия ЮНЕСКО

Аннотация. *Обобщены результаты многолетних наблюдений за формированием и развитием техносферы в береговой зоне Невской. Для изучения пространственной и временной изменчивости состояния Невской губы и её прибрежной зоны под влиянием процессов седиментации и техногенного воздействия использованы спутниковые данные высокого и среднего разрешения. Результаты исследований объектов техносферы по отношению к гидротехническим работам и перемещению донного грунта. могут быть использованы в интересах морского пространственного планирования.*

Ключевые слова. *Невская губа, техносфера, спутниковые данные, высокое, среднее разрешение, донные осадки, экологическая уязвимость.*

Невская губа – верхний эстуарий Невы, наибольшей по расходу воды реки бассейна Балтийского моря (в устье в среднем 2530 м³/с) [7], – представляет собой полузамкнутый мелководный водоём со средней глубиной 3,5–4 м. Площадь водного зеркала губы составляет около 329 км². Дно преимущественно песчаное и плоское. Низкая солёность воды (менее 1 ‰) позволяет считать Невскую губу пресноводным объектом [3, 7].

Побережье Невской губы на значительной части урбанизировано. Санкт-Петербург расширяет свои границы, к настоящему времени охватил все побережье Невской губы и представляет собой крупнейший в Балтийском регионе мегаполис, численность населения которого превышает 5 млн жителей [5, 7].

Восточной естественной границей губы является бар реки Невы, представляющий собой систему отмелей, расчленённых ложбинами – фарватерами. С запада граница губы с восточной частью Финского залива проходит по «дамбей» Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС). Официальное введение КЗС в рабочий режим 12 августа 2011 г. ознаменовало преобразование Невской губы из естественного пресноводного водоёма в природно-техническую систему (ПТС), в которой вещественно-энергетические потоки в значительной степени управляются путём оперирования водо- и судопропускными сооружениями.

Оставив вне целей работы описание компонентов биологических сообществ Невской губы, отметим, что сравнительная мелководность Невской губы, хороший прогрев воды и наличие на побережье «пятен» зарослей водной растительности создают благоприятные условия для развития и нагула рыб.

Наличие нерестилищ и продуктивных пастбищ для молоди рыб позволяет считать Невскую губу природным рыбопитомником.

К основным видам антропогенного воздействия на биологические сообщества Невской губы могут быть отнесены: гидротехнические работы и дноуглубление; химическое загрязнение водной среды органическими и неорганическими соединениями; перелов рыбы; развитие транспортного сообщения и туризма; добыча полезных ископаемых (песка); строительство берегозащитных сооружений; сезонное рыболовство и охота; сезонная рекреационная нагрузка; военная деятельность. Наиболее выраженное стрессовое воздействие на гидробионты оказывают гидротехнические работы, прежде всего дноуглубление, перемещение грунта (дреджинг) и его сброс в подводные отвалы.

В результате интенсивной антропогенной деятельности в Невской губе к настоящему времени образовалась береговая техносфера, основными компонентами которой являются портовые сооружения с подходными путями и фарватерами и искусственно сформированные прибрежные территории. Доля последних в ПТС Невской губы постоянно увеличивается (рис. 1).

На искусственно сформированных территориях в Невской губе размещены антропогенные макрообъекты – Большой порт и Морской фасад Санкт-Петербурга, аванпорт Бронка, Лахта-Центр, парк 300-летия Санкт-Петербурга многофункциональные комплексы жилищного и делового назначения, элементы инфраструктуры Газпром-Арены и др. Во время реализации гидротехнических проектов по формированию искусственных территорий для размещения на них техносферных макрообъектов, сопровождавшейся сбросом больших объёмов извлеченного грунта в подводные отвалы Северной и Южной Лахты, значительное число экологически ценных прибрежных местообитаний было частично или полностью разрушено.

Быстрое изменение геоэкологической ситуации в береговой зоне Невской губы укладывается в общую картину «береговой революции», заключающейся в техногенном развитии и экономическом росте прибрежных поселений с развивающейся или уже развитой портовой инфраструктурой и соответствующим увеличением грузо- и пассажироперевозок водными видами транспорта, увеличении численности населения, объёмов сельскохозяйственного и промышленного производства. Развивающаяся антропогенная деятельность приводит к изменению естественных ландшафтов, трансформируя их и оказывая стрессовое воздействие на природную прибрежную среду, биологически богатую, но уязвимую к антропогенной деятельности, формируя комплекс ПТС и в целом береговую техносферу.

В работе исследуются примеры использования спутниковой информации для описания процессов формирования в Невской губе береговой техносферы и её воздействия на прибрежные биологические сообщества и дальнейшей оценки возможности снижения его негативных последствий.

Оценки приведены в период с 2005 г. по настоящее время в ходе мониторинга гидротехнических портостроительных и дреджинговых работ и включены в комплекс мониторинговых исследований гидротехнических и дреджинговых проектов наряду со следующими видами работ: гидрологические исследования – инструментальные измерения характеристик течений, морского волнения, температуры, солёности и прозрачности воды; гидрохимические исследования, основанные на химическом анализе проб воды с поверхностных и придонных горизонтов; геоэкологические исследования на основе химического и гранулометрического анализа проб поверхностных донных отложений, а также комплексной геофизической съемки; гидробиологические исследования состава и численности гидробиоты (фито- и зоопланктон, бентос, ихтиофауна); геоботанические исследования – состояние водной и прибрежной растительности; ландшафтные исследования – геоморфология берегов и литодинамика подводного берегового склона и др. [6]

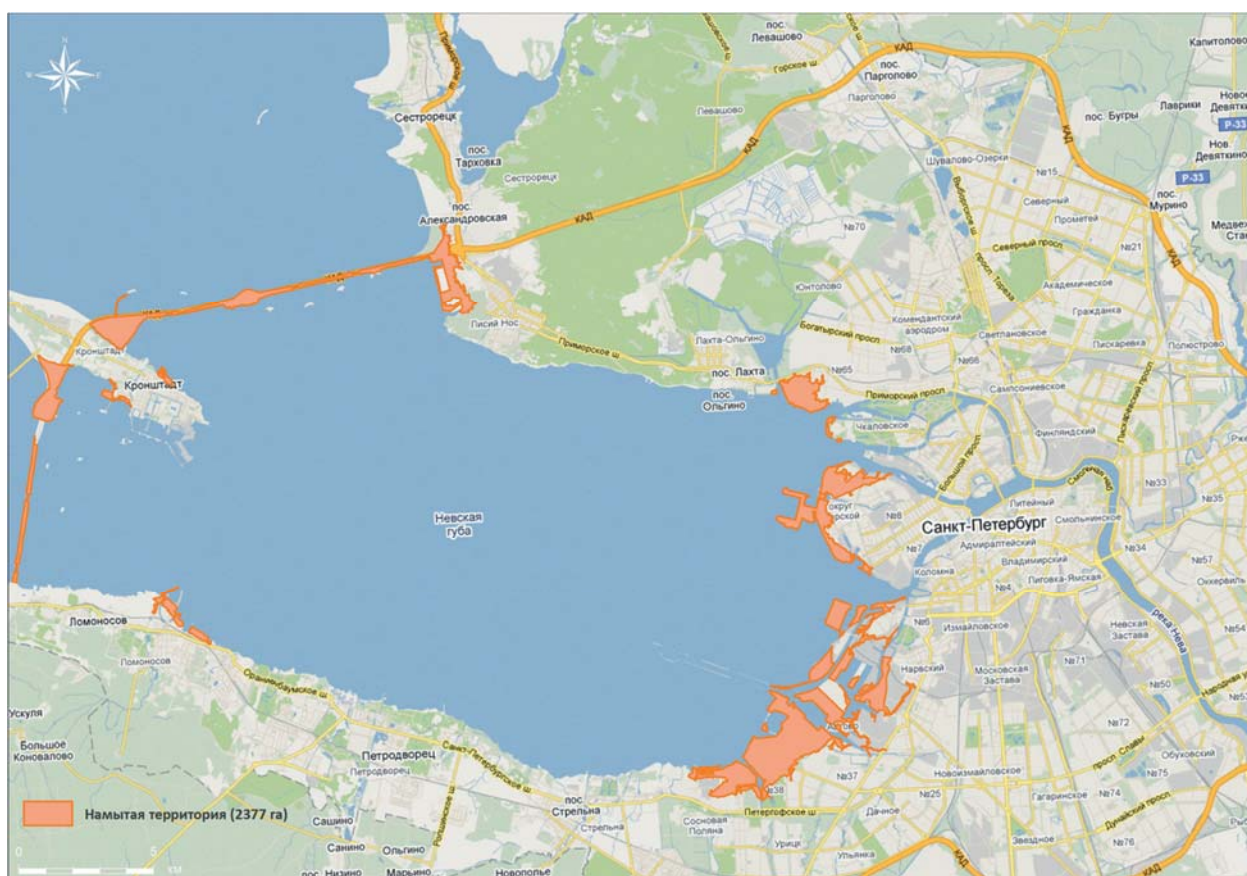


Рис. 1. Береговая техносфера Невской губы [6]. Оранжевым цветом показаны искусственно сформированные прибрежные территории

Для получения обобщённой визуализированной информации использовались данные спутниковых приборов в пределах оптического спектрального диапазона разных масштабов: 0,4–0,5; 0,5–0,6; 0,7–1,3; 8–12 мкм. Динамика абиотической среды оценивалась при анализе спутниковых снимков, целесообразность использования которых обусловлена

возможностью одновременного информационного охвата всей акватории или её крупных частей с периодичностью в несколько дней. Результаты дешифрирования, подтверждённые данными контактных наблюдений, позволили получить пространственно-временные изменения гидроэкологических характеристик акватории и береговой зоны.

Заметим, что полученные результаты использовались для оценки динамики гидробиологических сообществ по результатам многолетних мониторинговых наблюдений за изменением их основных структурных показателей – численности и биомассы. Для оценки риска причинения ущерба биологическим сообществам применялся интегральный показатель экологической уязвимости, характеризующий вероятность попадания в зону воздействия гидротехнических работ особо ценных биологических объектов и степень их чувствительности по отношению к подвижкам грунта и увеличению мутности [2].

Результаты исследований воздействия техносферы на абиотическую среду, например, показали, что воздействие КЗС на гидродинамику вод в Невской губе началось уже на этапе строительства «дамбы», ещё до введения комплекса в эксплуатацию. Летом 2001 г. было отмечено довольно редкое явление начала движения клина относительно холодной и солёной воды через судопропускное сооружение С-1 недостроенного тогда КЗС на главном фарватере. Во время наблюдений на расстоянии несколько сотен метров разность температуры воды в придонном слое достигала почти 7 °С, а разность солёности превышала 2 ‰. Скорость движения придонного плотностного клина на восток (против стока Невы) составляла 42 см/с.

В 2006–2008 гг., одновременно с продолжавшимся строительством КЗС, в восточной части при сооружении Морского фасада Санкт-Петербурга шли масштабные работы по созданию новых территорий с использованием технологии гидронамыва. Изъятый при дноуглублении грунт складировался в подводные отвалы Северной и Южной Лахты.

В результате антропогенных изменений седиментационных процессов к 2007 г. песчаные мелководья северной береговой зоны Невской губы покрылись тонкозернистыми техногенными осадками. На рис. 2 приведен пример переноса взвешенных минеральных веществ в восточной части Финского залива 12 сентября 2006 г. по данным прибора Terra/MODIS с разрешением 250 м. Увеличение содержания взвеси в воде было связано с одновременным осуществлением работ по намыву новых территорий, дноуглублению в пределах фарватеров и сбросу грунта («дреджингового материала») в отвалы Южной и Северной Лахты.

В 2005–2008 гг. в отвалы Северной и Южной Лахты было сброшено 21,39 млн м³ грунта, изъятых при реконструкции фарватеров вблизи восточных берегов Невской губы и при реализации проекта «Морской фасад Санкт-Петербурга» (в 2005 г. – 1,23 млн м³; в 2006 г. – 12,20 млн м³; в 2007 г. – 7,53 млн м³; в 2008 – 0,43 млн м³) [1]. Сброс грунта производился с помощью пульпопроводов, оборудованных специальными рассеивателями для равномерного распределения сбросов по площади. Это более экономичный

способ, чем перевозка баржами, но менее приемлемый с точки зрения ущерба, причинённого экосистеме именно данного района, который является транзитной зоной эстуария Невы.

Взмученные лёгкие фракции глинистого грунта распространялись со шлейфами мутных вод далеко от зоны сброса, поэтому зона рассеяния на порядки превышала площадь отвалов. Высокие значения концентрации взвешенных осадков наблюдались по спутниковым данным на расстоянии более 100–120 км от источников их образования. Особо выделялся шлейф в отвале Северной Лахты в 2006 г., когда сброс при строительстве Морского фасада достигал максимальных объёмов.

В настоящее время дно Невской губы полностью антропогенно трансформировано и фактически является хаотичной мозаикой из мелководий, подводных возвышенностей и искусственно сформированных каньонов (в основном вследствие извлечения значительных объёмов песка). В изначально мелководных отвалах Северной и Южной Лахты появились зоны переполнения (уменьшения глубины менее проектной отметки), которые могут представлять собой опасность для судоходства. В районах отвалов грунта количественные показатели макрозообентоса чрезвычайно низкие, естественная сукцессия сообществ нарушена. В целом районы отвалов следует характеризовать как низкопродуктивные и малокормные для рыб-бентофагов.

Наряду с сооружением Морского Фасада в 2010–2011 гг. завершились работы в районе южного створа КЗС и началось строительство глубоководного терминала «Бронка».

На рис. 3 представлены этапы сооружения КЗС, а восточнее его южного створа – строительства нового порта.

Спутниковые данные показали, что в этой части акватории масштабы загрязнения минеральной взвесью также были очень велики (рис. 4).

В декабре 2013 г. аванпорт был подключён к кольцевой автодороге. В 2015 г. состоялся ввод в эксплуатацию первой очереди порта. Снимки 27 июля 2013 г. и 2 июля 2015 г. (см. рис. 4) иллюстрируют поведение шлейфа мутных вод во время продолжения строительства этого объекта [4].

В настоящее время «Бронка» – единственный глубоководный терминал порта Санкт-Петербург, который может принимать суда длиной до 347 м, шириной до 50 м и осадкой до 13 м. Мощность терминала по перевалке грузов составляла до 3,2 млн. т в год. Под санкционным давлением объём перевалки грузов на терминале в январе-феврале 2023 года продолжал сокращаться.

К 2003 г. было закончено берегоукрепление искусственного пляжа парка им. 300-летия Санкт-Петербурга, заложенного в 1995 г. Весной 2016 г. внимание общественности и средств массовой информации привлекла к себе проблема размыва пляжа после серии декабрьских штормов 2015 г. Пляж находится к востоку от Лахтинского разлива в береговой зоне, которая на протяжении последних 200 лет характеризовалась активной литодинамикой в подводной части. С 1960-х по 1990-е годы здесь производилась добыча песчаного материала, прежде всего с целью создания новых территорий методом гидронамыва. В результате этих работ рельеф дна непосредственно

перед современным парком 300-летия Санкт-Петербурга был полностью трансформирован: на значительной площади образовались подводные карьеры глубиной до 10–12 м, разделённые отдельными останцами ненарушенного рельефа, глубина над которыми не превышает 1–2 м (рис. 5). Подобная структура подводного ландшафта не способствует устойчивости береговой линии пляжа парка. Её отступление за период с 2006 по 2019 г. по данным дистанционного зондирования составило от 32 до 72 м, а скорость ежегодного размыва достигала 3–6 м/год.

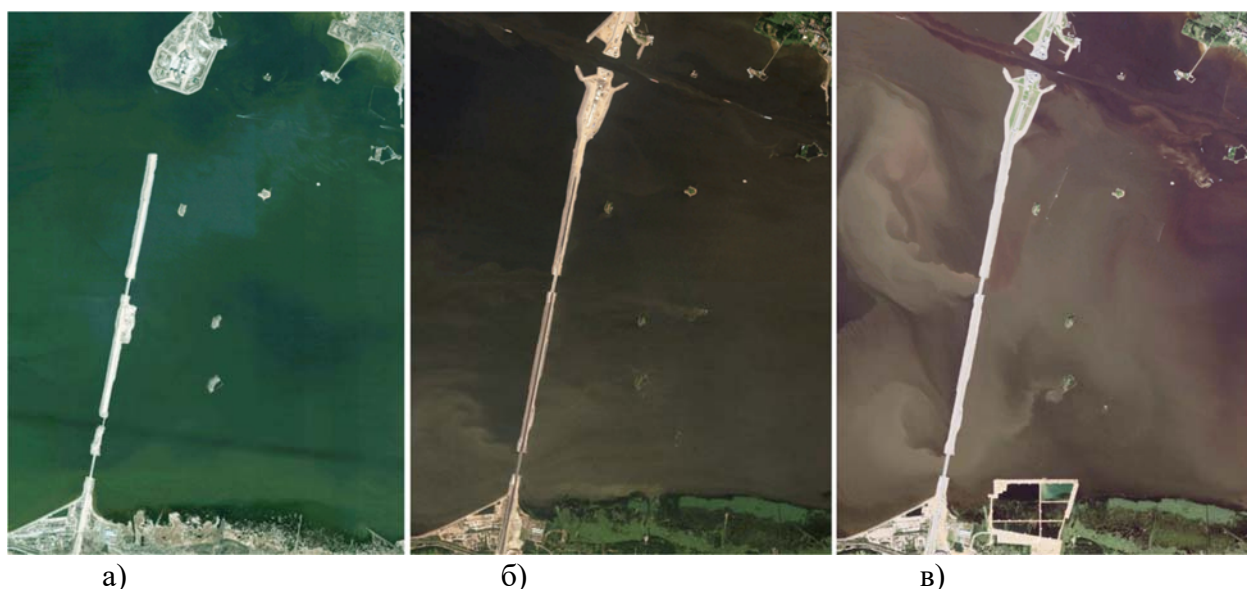


Рис. 3. Этапы сооружения КЗС по спутниковым данным высокого разрешения (Image DigitalGlobe), а – 26 апреля 2004 г., б – 12 июля 2010 г., в – 27 июля 2013 г.

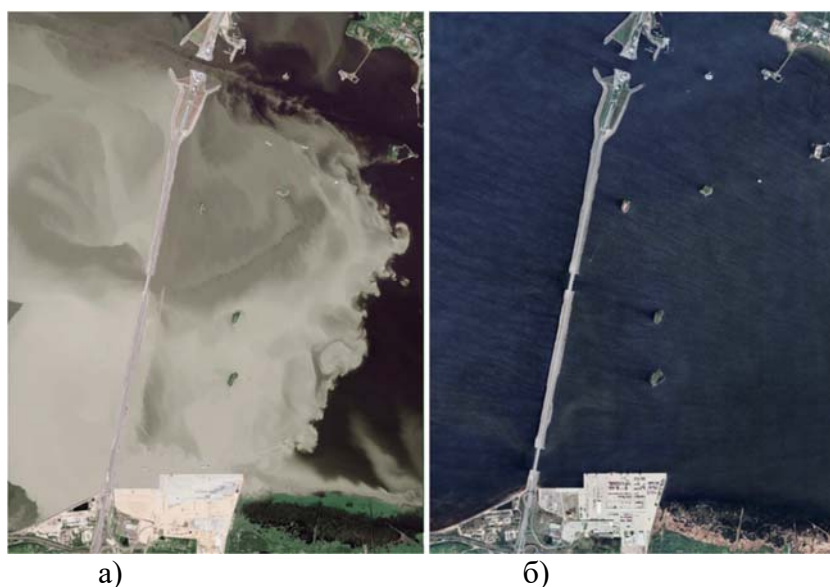


Рис. 4. Этапы сооружения глубоководного терминала «Бронка» по спутниковым данным высокого разрешения (Image DigitalGlobe), а – 2 июля 2015 г., б – 20 мая 2022 г.

В пределах городской черты Санкт-Петербурга на намытой береговой территории к настоящему времени построено здание Лахта-Центра – важный элемент инфраструктуры города (рис. 6). Участок находится на береговой территории. Береговая полоса, являющаяся южной границей участка, имеет

искусственное (антропогенное) происхождение и укреплена каменными валунами, в основании которых уложены бетонные блоки. Валунно-глыбовая отсыпка в настоящее время предотвращает размыв и отступление берега у Лахта-Центра, однако резко снижает его рекреационный потенциал и эстетическую ценность.

Сравнение результатов спутниковой съёмки рассматриваемого участка в 2009 г. (до введения в эксплуатационный режим КЗС), в 2015 и 2022 гг. (после начала функционирования КЗС) позволяет сделать заключение об относительной стабильности береговой линии (рис. 6). По результатам данных спутников высокого разрешения сервиса Google Earth значительных смещений береговой линии в последнее время не произошло.

В настоящее время техногенная нагрузка на Невскую губу продолжает оставаться высокой. Это обусловлено изолирующим воздействием КЗС, реконструкцией стадиона на Крестовском острове (рис. 7), строительством жилых комплексов в непосредственной близости береговой зоны, плановыми работами на Морском канале, продолжающимся намывом территорий на Васильевском острове (рис. 8).

Стрессовое воздействие на экосистему Невской губы оказывают также работы по строительству пассажирского терминала на Васильевском острове и подходов морских путей к нему.

Комплекс мероприятий по восстановлению и стабилизации береговой зоны для проектно-изыскательских работ нуждается в данных на основе спутниковой информации высокого разрешения, их обобщении, оценке, систематизации и прогнозного анализа современной геолого-геофизической, геоморфологической, гидрометеорологической, биологической ландшафтной и др. информации о береговой зоне, включающей прибрежное мелководье и береговую полосу суши. Для мониторинга в условиях облачности могут быть привлечены данные микроволновых радиометров и радаров с синтезированной апертурой. Однако для повышения точности определений их необходимо верифицировать с использованием данных в видимой части диапазона измерений [4].

По результатам проведённых исследований установлено, что наибольшее воздействие в целом на прибрежную зону Невской губы оказывает проведение гидротехнических и дреджинговых работ. Их негативное воздействие связано преимущественно с трансформацией прибрежной зоны, физическим нарушением среды обитания гидробионтов, частичным или полным отчуждением, или изменением прибрежных биотопов, ранее доступных для комплексного использования водными и околотовными организмами, а также с резким увеличением содержания в водной толще механической взвеси.

Негативное воздействие гидротехнических работ на абиотический компонент геосистемы береговой зоны осуществляется по следующим каналам: перемещение грунта, изменение батиметрических характеристик, нарушение структуры донных отложений, увеличение концентрации взвешенных частиц в водной толще, увеличение мутности, рассеяние и

осаждение взмученных отложений, уменьшение содержания кислорода, шумовое загрязнение.



Рис. 5. Спутниковый снимок северной части Невской губы, включая парк 300-летия Санкт-Петербурга (Image DigitalGlobe), а – 25 августа 2009 г., б – 23 августа 2022 г.

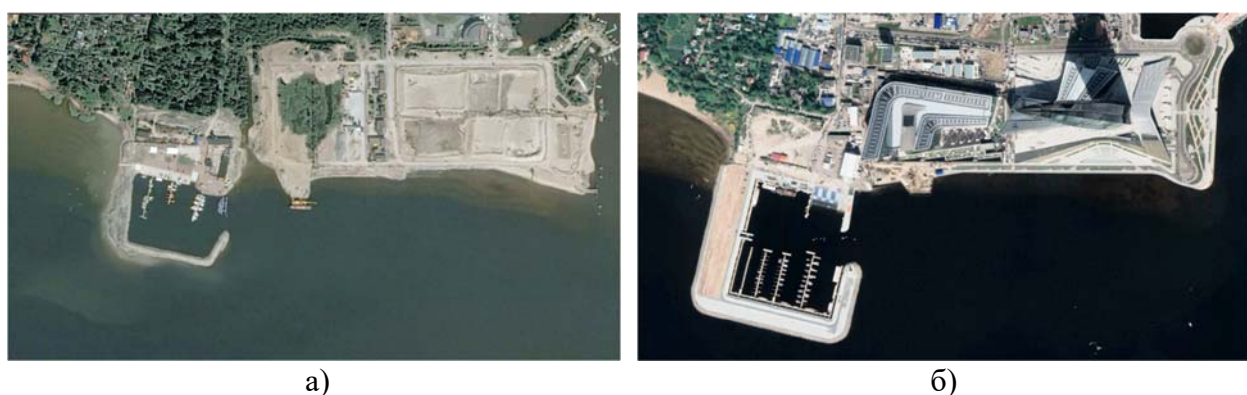


Рис. 6. Увеличенный фрагмент участка Лахта-Центра (Image DigitalGlobe). а – 25 августа 2009 г., б – 23 августа 2022 г.



Рис. 7. Изменение площади намывной территории у стадиона «Газпром Арена» в Санкт-Петербурге на спутниковых снимках (Image DigitalGlobe). а – 25 августа 2009 г., б – 23 августа 2022 г.

В качестве примера приведены два кластера. До начала работ по строительству аванпорта «Бронка» основные гнездовые колонии и миграционные стоянки водно-болотных птиц располагались напротив пос. Кронштадтская колония, где существовала протока Ольгин канал. Распределение глубин и характер растительности на этом участке были чрезвычайно благоприятны как для пролётных, так и для местных птиц. В настоящее время Ольгин канал засыпан, а прилегавшая часть плавней

уничтожена. Вследствие этого основные колонии, места гнездования и миграционные стоянки птиц переместились в восточную часть плавней.



Рис. 8. Изменение площади намывной территории Морского фасада Санкт-Петербурга на спутниковых снимках (Image DigitalGlobe).

а – 22 июня 2009, б – 24 сентября 2017, в – 12 мая 2018, г – 29 июля 2018.

Расположенные на территории заказника «Южное побережье Невской губы» плавни и прилегающая к ним акватория активно используются водно-болотными птицами, как для гнездования, так и в качестве мест миграционных и линочных скоплений, а также как русло транзитного пролёта водоплавающих птиц. Численность птиц в скоплениях более чем в два раза превышает число транзитных мигрантов, что говорит о большой кормовой ёмкости угодья.

Приведённые данные использованы в целях определения мероприятий по снижению негативного воздействия береговой техносферы на прибрежные биологические сообщества, а также для проведения различных компенсационных мероприятий, в том числе организации в береговой зоне особо охраняемых природных территорий (ООПТ), обеспечивающих комплексный природоохранный эффект. Из их числа, например, заказник «Южное побережье Невской губы» в настоящее время играет ключевую роль в обеспечении сохранения стабильной экологической обстановки в береговой зоне Невской губы на участке от дамбы КЗС до музея-заповедника Петергоф.

Площадь намывных территорий в пределах Невской губы продолжает увеличиваться. Несколько лет назад было предложено намыть девять круглых островов общей площадью намытой территории около 4,7 тыс. га. При их реализации произошло бы дальнейшее уменьшение объёма вод Невской губы. Появление дополнительных намывных территорий Морского фасада, у Кронштадта, Сестрорецка, у посёлка Ольгино и других сократит время её наполнения при катастрофических наводнениях и приведёт к быстрому росту уровня в пределах губы. А негативное воздействие на морскую среду может значительно превысить ожидания.

Список литературы

1. Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы / Под ред. А.Ф. Алимова и С.М. Голубкова. – СПб, М., – 2008. – 477 с.
2. Слепян Э.И. Невская губа // Жизнь и безопасность, – 1996. – № 4. – С. 140-148.

3. Чусов А.Н., Шилин М.Б., Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Тимошина А.В. Использование намытой береговой территории в Невской губе для строительства Лахта-Центра // Учёные записки РГГМУ. – 2014. – № 35. – С. 7-30.
4. Шилин М.Б., Сычев В.И., Михеев В.Л. [и др.] // Результаты исследований техносферы Невской губы в РГГМУ / Гидрометеорология и экология. – 2020. – № 60. – С. 351-370.
5. Природоохранный атлас российской части Финского залива / Под ред. В.Б. Погребова, Р.А. Сагитова, Н.В. Дмитриева. – СПб: Тускарора, – 2006. – 48 с.
6. Голубев Д.А., Зайцев В.М., Клеванный К.А., Леднова Ю.А., Лукьянов С.В., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А., Шилин М.Б. Комплексные экологические исследования состояния районов отвала грунта в Невской губе и в восточной части Финского залива // Инженерные изыскания. – 2010. – № 5. – С. 36-42.
7. Сычев В.И. История и современное состояние Невской губы по спутниковым данным // Экология и городское хозяйство Санкт-Петербурга и Ленинградской области: история и современное состояние / Сборник научных трудов по материалам секции V историко-краеведческих чтений. – СПб: Культурно-просветительское товарищество. – 2019. – С. 5–19.

УДК [556.535.8:546] (597)

ХЕМОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ВОД В РЕКЕ ХАМЛУОНГ В ОТНОШЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОИДОВ (ДЕЛЬТА РЕКИ МЕКОНГ, ВЬЕТНАМ)

¹Т.Н. Терещенко, ¹В.Ю. Проскурнин, ¹О.Д. Чужикова-Проскурнина,
²Чонг Хиеп Нгуен

ntereshchenko@yandex.ru

¹ФИЦ Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН,
Россия, г. Севастополь

²Южное отделение Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра, Вьетнам, г. Хошимин

***Аннотация.** В работе представлены результаты определения концентрации тяжелых металлов и металлоидов в поверхностной и придонной воде речных акваторий рукава Хамлуонг в дельте реки Меконг. Измерение микроэлементов выполнены после химической обработки проб на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой. Концентрации девяти микроэлементов, из числа изученных (Ni, Fe, V, As, Se, Be, Cd, Sb, Tl) не превышали ни один из рассматриваемых показателей. Но для шести микроэлементов было установлено превышение их концентраций над нормативными значениями. Самое высокое превышение ПДК (в 3 раза) определено для Zn на станции 6. Среди изученных 15 микроэлементов выделены критические и потенциально критические элементы, которые подлежат первостепенному мониторинговому контролю.*

***Ключевые слова.** Тяжелые металлы и металлоиды, вода, Вьетнам, дельта Меконга, р. Хамлуонг.*

Дельта реки Меконг – одна из самых важных речных систем Вьетнама. Площадь дельты Меконга составляет около 39 000 км², что составляет 13% от территории страны. Население, проживающее в дельте Меконга, составляет 19 % от населения страны (18 млн. человек) [1]. Дельта Меконга служит источником обеспечения продовольствием: рисом, рыбопродуктами, фруктами, которые также составляют значительную часть экспортной продукции государства [2]. Годовой сток реки Меконг составляет порядка 475 млн. м³. Река Меконг берет начало в Китае и протекает по территории Бирмы, Лаоса, Таиланда, Камбоджи прежде чем входит на территорию Вьетнама в виде 2-х рукавов (р. Хау и р. Тьен) длиной 200-250 км. Обе реки разветвляются в обширную дельту, рукава которой впадают в Южно-китайское море. Река Тьен образует 4 рукава (рр. Митхо, Балай (разветвляется у моря на Кыадай и Кыатьеу), Хамлуонг и Кочьен) [2]. Рукава дельты Меконга служат источником питьевого водоснабжения и для водообеспечения сельскохозяйственных угодий. При этом эти водотоки служат транспортной системой в регионе и приемником сточных вод от промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых источников. Поэтому оценка экологического состояния вод в реках дельты актуальна в современный период – время

ускоряющегося развития экономики страны. Поэтому целью работы было изучить уровни концентраций тяжелых металлов и металлоидов на протяжении всего русла р. Хамлуонг в дельте Меконга и определить качество вод по нормативным показателям для природных вод во влажный сезон.

Материалы и методы

Река Хамлуонг была выбрана в качестве объекта исследований как наибольший по водности рукав р. Тьен длиной порядка 70 км, с шириной 2800 м и средней глубиной 11,3 м (рис. 1) [2].

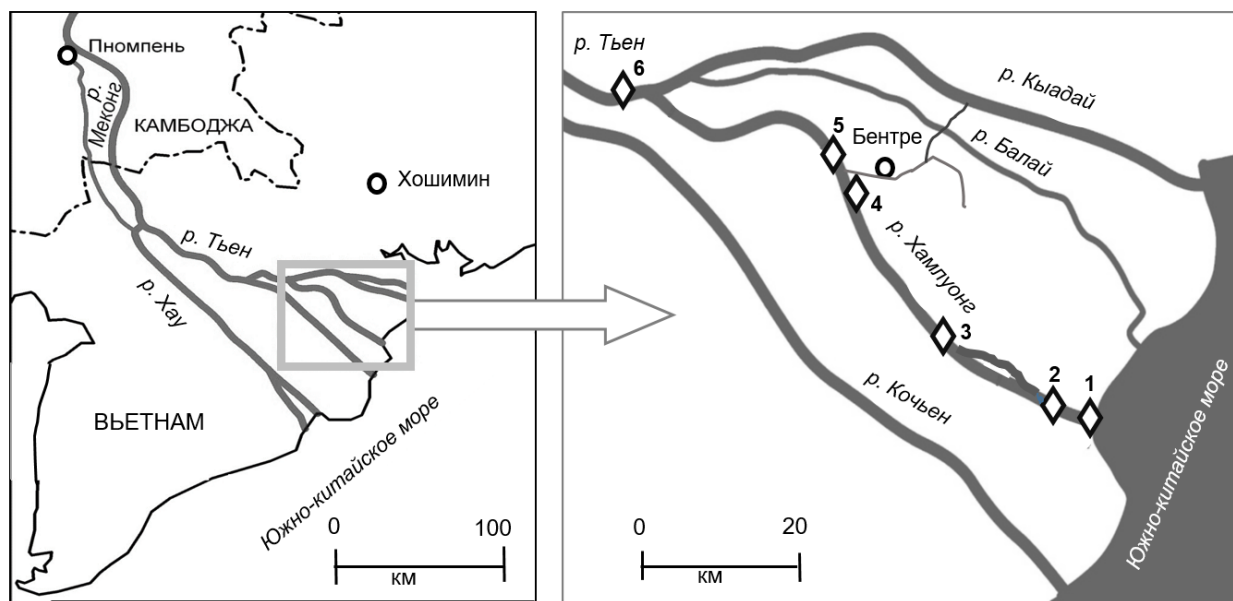


Рис. 1. Карта-схема района исследований в дельте р. Меконг на р. Хамлуонг, где ромбами обозначены станции отбора проб

Пробы воды отбирались на протяжении всего русла р. Хамлуонг от мористой части до р. Тьен на станциях 1-6 (Рис. 1) в ноябре-декабре 2022 г. Пробы на каждой станции отбирали на поперечном разрезе русла в 3-х точках (у каждого берега и по центру русла реки) в 2-х повторностях. Таким образом, для каждой станции среднее значение концентрации микроэлементов в поверхностной воде определяли из 6 проб. Образцы поверхностной воды для анализа отбирали на каждой станции во всех точках, а придонную воду – только в точке в центре русла. Отбор проб осуществляли в период отлива. На ст.1 пробы были отобраны в период отлива и прилива.

В воде определяли 15 микроэлементов – тяжелых металлов и металлоидов (Be, V, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Tl) в растворенной форме. В их число вошли одни из самых токсичных элементов, рекомендованных для мониторинга в природных водах, а также перечень элементов, определяемый возможностями использованного аналитического метода для химического количественного определения микроэлементного состава вод [3].

Для определения растворенной формы микроэлементов в воде пробы фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм.

Фильтрованную воду обрабатывали в лаборатории в соответствии с методическими рекомендациями, изложенными в руководящем документе [3]. Метод пробоподготовки основан на экстракционном отделении и концентрировании следовых количеств микроэлементов с помощью диэтилдитиокарбаматов и четыреххлористого углерода (CCl_4). С последующим измерением микроэлементов в подготовленных кислотных экстрактах проб на масс-спектрометре [4]. Измерение проб проводили в центре коллективного пользования “Спектрометрия и хроматография” ФИЦ ИнБЮМ на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) Plasma Quant MS Elite (Analytik Jena AG) [5]. Градуировку масс-спектрометра производили по стандартному раствору «Калибровочный стандарт многоэлементный IV-28, HNO_3/HF , 125 мл» (Inorganic Ventures). Вычисление и оформление результатов измерений выполняли согласно нормативным документам [3, 5]. Средняя относительная ошибка определения микроэлементов составляла не более $\pm 10\%$ для всех исследованных тяжелых металлов и металлоидов в образцах природной речной воды.

Оценку хемотрофического состояния в акваториях проводили путем сравнения полученных уровней концентраций микроэлементов с нормативными показателями качества воды: их предельно допустимыми концентрациями (ПДК), национальными – Национальный технический регламент качества поверхностных вод во Вьетнаме (далее Регламент Вьетнама – $\text{РВ}_{\text{пв}}$) [6] и нормативными значениями концентраций, применяемыми в других странах: ПДК_{рх} – водоемов рыбохозяйственного назначения (Российская Федерация) [7]; ПБК – предел безопасной концентрации, не превышение которого обеспечивает отсутствие негативного воздействия на биоту и ПДК – пределом допустимой концентрации, превышение которой приводит к значимому негативному воздействию поллютантов на биоту (Нидерланды) [8]. Согласно Регламенту Вьетнама, использовали нормативные значения для источников поверхностных вод категории А1 – источники для хозяйственно-бытового использования и сохранения флоры и фауны [6].

Результаты исследований и обсуждение

Полученные данные по определению концентрации растворенной формы микроэлементов в поверхностной воде р. Хамлуонг представлены в таблице 1, где приведены средние для станции величины концентраций.

Анализ значений концентраций элементов, представленных в таблице 1, показал, что в целом для большинства микроэлементов (Ni, Co, V, Cu, Se, Ag, Be, Sb) они характеризовались ограниченной изменчивостью, отличаясь между собой на разных станциях в 2-3 раза в пределах одного порядка величин. Для другой группы изученных микроэлементов (Fe, Pb, As, Zn, Cd, As, Tl) изменчивость была более выражена и значения концентраций на отдельных станциях превышали таковые на остальных станциях на порядок величин. При этом было отмечено, что для Fe, Cd, Tl, Pb, и Zn, самые высокие концентрации были встречены на станции 6, т.е. в русле р. Тьен перед ответвлением из нее

р. Хамлуонг. Что указывает на поступление повышенного количества этих элементов с вышерасположенных участков водосборного бассейна р. Меконг.

Таблица 1

Уровни концентраций тяжелых металлов и металлоидов в поверхностной воде р. Хамлуонг в ноябре-декабре 2022 г. во время отлива во влажный сезон, где п.д. – предел детектирования

№ станции	Концентрация микроэлементов в поверхностной воде, мкг/л				
	V	Fe	Co	Ni	Cu
	п.д. = 0,01	п.д. = 0,1	п.д. = 0,001	п.д. = 0,01	п.д. = 0,01
1	0,37 ± 0,04	2,6 ± 0,31	0,013 ± 0,0060	0,60 ± 0,088	0,91 ± 0,21
2	0,28 ± 0,03	5,3 ± 0,66	0,285 ± 0,0351	0,58 ± 0,075	0,86 ± 0,093
3	0,24 ± 0,04	11,8 ± 1,09	0,053 ± 0,0067	0,67 ± 0,073	0,78 ± 0,146
4	0,29 ± 0,04	14,7 ± 1,83	0,034 ± 0,0041	0,43 ± 0,052	0,75 ± 0,112
5	0,26 ± 0,02	16,4 ± 3,12	0,015 ± 0,0025	0,51 ± 0,070	0,80 ± 0,138
6	0,18 ± 0,03	30,0 ± 4,37	0,011 ± 0,0320	1,31 ± 0,203	0,72 ± 0,090
№ станции	Zn	As	Se	Mo	Ag
	п.д. = 0,1	п.д. = 0,001	п.д. = 0,01	п.д. = 0,01	п.д. = 0,0001
	1	1,71 ± 0,26	0,135 ± 0,033	0,032 ±	0,10 ± 0,04
2	2,86 ± 0,47	0,075 ± 0,014	<0,002	0,03 ± 0,02	<0,004
3	6,67 ± 1,01	0,053 ± 0,010	<0,002	0,07 ± 0,03	0,004 ± 0,002
4	3,08 ± 0,65	0,124 ± 0,027	<0,002	0,07 ± 0,03	0,015 ± 0,005
5	1,64 ± 0,52	0,129 ± 0,026	<0,002	0,07 ± 0,04	0,007 ± 0,002
6	17,71 ± 8,51	0,057 ± 0,010	<0,002	0,05 ± 0,02	0,004 ± 0,001

№ станции	Cd	Sb	Tl	Pb	Be
	п.д. = 0,001	п.д. = 0,0001	п.д. = 0,0001	п.д. = 0,01	п.д. = 0,001
1	0,003 ± 0,001	0,0039 ± 0,0005	0,0035 ± 0,0005	0,03 ± 0,005	<0,003
2	0,008 ± 0,003	0,0036 ± 0,0008	0,0027 ± 0,0002	0,07 ± 0,006	<0,003
3	0,004 ± 0,002	0,0056 ± 0,0010	0,0031 ± 0,0003	0,04 ± 0,005	<0,003
4	0,003 ± 0,002	0,0041 ± 0,0009	0,0036 ± 0,0006	0,03 ± 0,003	<0,003
5	0,003 ± 0,001	0,0027 ± 0,0008	0,0038 ± 0,0005	0,04 ± 0,005	<0,003
6	0,022 ± 0,006	0,0051 ± 0,0006	0,0127 ± 0,0003	0,53 ± 0,124	<0,003

Сравнение концентраций тяжелых металлов и металлоидов на станции 3 и 4, которые были выбраны, чтобы отследить возможное влияние города Бенче – столицы провинции, на химический состав поверхностных вод р. Хамлуонг показало, что значительного загрязнения микроэлементами поверхностных вод р. Хамлуонг стоками из города Бенче не происходит, что очевидно связано с тем, что в провинции развит в основном аграрный сектор экономики и промышленность в Бенче занимает около 30 % экономики города. Там развита в основном кондитерская и швейная промышленность [9].

Так же были исследованы придонные воды на содержание микроэлементов. Результаты определения концентрации микроэлементов в придонном слое вод р. Хамлуонг представлены в таблице 2.

В целом концентрации микроэлементов в придонном слое между станциями изменялись в более узком диапазоне, чем концентрации в поверхностной воде, за исключением Fe, концентрация которого на станции 6 на порядок величин превышала таковую на станции 1. При этом концентрации в придонном слое вод превышали концентрации в поверхностном слое для

таких элементов, как Zn, Cd, Ni, Co, Mo, Tl, а для As и Pb – наоборот, более высокие концентрации были определены в поверхностном слое вод (табл. 3).

Таблица 2

Уровни концентраций тяжелых металлов и металлоидов в придонном слое воде
р. Хамлуонг в ноябре-декабре 2022 г. во влажный сезон во время отлива,
где п.д. – предел детектирования

№ станции	Концентрация микроэлементов в придонной воде, мкг/л				
	V	Fe	Co	Ni	Cu
	п.д. = 0,01	п.д. = 0,1	п.д. = 0,001	п.д. = 0,01	п.д. = 0,01
1	0,32 ± 0,028	2,5 ± 0, 22	0,003 ± 0,0003	0,98 ± 0,094	0,95 ± 0,091
2	0,21 ± 0,020	2,4 ± 0,23	0,013 ± 0,0012	0,75 ± 0,073	0,78 ± 0,077
3	0,22 ± 0,021	5,1 ± 0,36	0,013 ± 0,0013	0,89 ± 0,083	0,79 ± 0,076
4	0,30 ± 0,027	16,0 ± 1,03	0,016 ± 0,0015	0,77 ± 0,076	1,03 ± 0,092
5	0,29 ± 0, 25	14,4 ± 1,10	< 0,002	0,98 ± 0,094	0,80 ± 0,076
6	0,13 ± 0,013	27,0 ± 2,17	0,007 ± 0,0068	1,28 ± 0,107	1,17 ± 0,099
№ станции	Zn	As	Se	Mo	Ag
	п.д. = 0,1	п.д. = 0,001	п.д. = 0,01	п.д. = 0,01	п.д. = 0,0001
	1	0,32 ± 0,028	0,135 ± 0,012	0,03 ± 0,003	0,10 ± 0,01
2	0,21 ± 0,020	0,075 ± 0,007	<0, 002	0,03 ± 0,003	<0, 004
3	0,22 ± 0,021	0,053 ± 0,005	<0, 002	0,07 ± 0,006	0, 004 ± 0,0004
4	0,30 ± 0,027	0,124 ± 0, 012	<0, 002	0,07 ± 0,006	0,015 ± 0,0015
5	0,29 ± 0, 25	0,129 ± 0,012	<0, 002	0,07 ± 0,006	0,007 ± 0,006
6	0,13 ± 0,013	0,057 ± 0,006	<0, 002	0,05 ± 0,005	0,004 ± 0,0004
№ станции	Cd	Sb	Tl	Pb	Be
	п.д. = 0,001	п.д. = 0,0001	п.д. = 0,0001	п.д. = 0,01	п.д. = 0,001
	1	0,006 ± 0,0006	0,004 ± 0,0004	0,005 ± 0,0005	0,018 ± 0,002
2	0,013 ± 0,001	0,003 ± 0,0003	0,004 ± 0,0004	0,022 ± 0,002	<0, 003
3	<0, 002	0,006 ± 0,0006	0,002 ± 0,0002	0,010 ± 0,001	<0, 003
4	<0, 002	0,004 ± 0,0004	0,004 ± 0,0004	0,045 ± 0,004	<0, 003
5	<0, 002	0,003 ± 0,0003	0,004 ± 0,0004	0,014 ± 0,001	<0, 003
6	0,016 ± 0,0016	0,004 ± 0,0004	0,003 ± 0,0003	0,054 ± 0,005	<0, 003

Таблица 3

Концентрации микроэлементов в поверхностном и придонном слое вод
в период отлива и в период прилива на станции 1

Период отбора проб, слой воды	Концентрация микроэлементов в воде на станции 1, мкг/л							
	Be	V	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As
ОТЛИВ								
Поверхностный	<0, 003	0,37	2,65	0,013	0,60	0,91	1,71	0,135
Придонный	<0, 003	0,32	2,48	0,030	0,98	0,95	3,01	0,033
ПРИЛИВ								
Поверхностный	<0, 003	0,69	1,27	0,019	0,54	0,85	0,91	0,130
Придонный	<0, 003	0,74	1,40	0,065	0,79	0,79	4,38	0,138
ОТЛИВ								
Поверхностный	0,032	0,100	0,027	0,003	0,033	0,0035	0,0039	
Придонный	0,039	0,160	0,018	0,006	0,018	0,0053	0,0037	
ПРИЛИВ								
Поверхностный	0,032	0,869	0,011	0,028	0,078	0,0059	0,0051	
Придонный	0,040	1,383	0,014	0,003	0,094	0,0070	0,0088	

Рассмотрение уровней концентраций микроэлементов в период прилива и отлива свидетельствует о том, что концентрация ряда элементов (Co, V, Zn, Mo, Pb, Tl, Sb) была выше в период прилива, особенно в придонном слое, что указывает на соленые морские воды,двигающиеся по низу русла во время прилива, как источник этих элементов (табл. 3).

Полученные уровни концентраций микроэлементов показали, что согласно РВ_{пв}, в котором регламентируются 6 микроэлементов: Pb, Zn, Cu, As, Cd, Ni, Fe в поверхностной воде р. Хамлуонг установленные нормативные значения концентраций для источников воды категории А1 не были превышены. Следует отметить, что нормативные значения РВ_{пв} от 2-х до 10-и раз превышают нормативы, принятые в других странах. В связи с этим было установлено превышение по отдельным элементам ПБК, ПДК и ПДК_{рх}. Концентрации девяти микроэлементов, из числа изученных (Ni, Fe, V, As, Se, Be, Cd, Sb, Tl) не превышали ни один из рассматриваемых нормативных показателей. Но для шести микроэлементов было установлено превышение их концентраций над нормативными значениями (табл. 5). Самые высокое превышение ПДК определено для Zn. Его концентрация на станции 6 была более, чем в 3 раза выше ПДК и более, чем в 10 раз выше ПБК. Кроме Zn на станции 6 ПБК превысили концентрации Cu и Pb. Превышение ПБК для Zn и Cu было отмечено на всех шести исследованных станциях. Превышение ПБК по Ag зафиксировано на 4 станциях, а Co – на одной станции 3 (табл. 4).

Таблица 4

Диапазон концентрации микроэлементов в воде (Св) в реке Хамлуонг в сравнении с нормативными показателями качества поверхностных природных вод (жирным шрифтом выделены данные, превышающие одно из нормативных значений и этот норматив; н.д. – нет данных)

Химический элемент	Диапазон Св значений для 6 станций, мкг/л	ПДК _{рх} , мкг/л [7] (номер станции с повышенной Св, мкг/л)	ПДК, мкг/л [8] (номер станции с повышенной Св, мкг/л)	ПБК, мкг/л [8] (номер станции с повышенной Св, мкг/л)	РВ _{пв} для источников категории А1, мкг/л [6]
Pb	0,010–1,333	10	11	0.3 (ст. 6)	20
Cu	0,68–1,17	5	1.5	0.5 (ст. 1-6)	100
Zn	1,01–8,07–31,61	50	9.4 (ст. 6)	2.9 (ст. 1-5)	500
Ni	0,39–1,28	10	5.1	3.3.	100
Co	0,002–0,482	10	2.8	0.2 (ст. 3)	н. д.
V	0,13–0,87	1	4.3	0.9	н. д.
As	0,007–0,255	10	25	1.0	10
Ag	0,012–0,043	н. д.	1.2	0.01 (ст. 1,2,4,5)	н. д.
Mo	0,014–1,383	1	290	4.3	н. д.
Cd	< 0,002–0,061	10	0.4	0.08	5
Se	< 0,002–0,042	2	5.3	0.09	н. д.
Sb	0,0024–0,0088	н. д.	6.5	0.4	н. д.
Fe	0,46–32,35	100	н.д.	н. д	500
Be	< 0.003	0.3	0.2	0.02	н. д.
Tl	0,0024–0.0070	н. д.	1.6	0.06	н. д

Превышение допустимой концентрации для рыбохозяйственных водоемов – ПДК_{рх} наблюдали только в отношении Мо.

Заключение

Таким образом к критическим элементам необходимо отнести Zn и Mo, как элементы, превысившие ПДК и ПДК_{рх} и требующие принятия мер по уменьшению их поступления в русло р. Хамлуонг и снижению уровня современных концентраций этих элементов. А к потенциально-критическим отнесены элементы (Pb, Cu, Co, Ag) превысившие ПБК и требующие первоочередного мониторинга для отслеживания дальнейшего изменения уровня их концентрации в водах реки и принятия мер по улучшению хемотрологического состояния вод для обеспечения надлежащего качества биологических ресурсов реки, широко используемых в качестве продуктов питания и продовольственного сырья как для удовлетворения внутренних потребностей страны, так и для экспорта продукции.

Самые высокие концентрации микроэлементов, встреченные на станции 6, указывают на верхнюю часть водосборного бассейна р. Меконг как источник микроэлементов, особенно Zn, Pb, Ni, Fe, Tl.

Повышенные концентрации микроэлементов (Co, V, Zn, Mo, Pb, Tl, Sb) в воде в период прилива, особенно в придонных водах свидетельствуют о том, что морские воды также приносили свой вклад в поступление микроэлементов в речное русло.

В целом экологическое состояние вод реки Хамлуонг требует регулярного мониторинга содержания тяжелых металлов и металлоидов в речной воде, исследований в верхней части дельты реки Меконг, а также хемотрологических исследований в сухой сезон.

Исследование выполнено по теме госзадания ФИЦ ИнБЮМ номер гос. регистрации темы 121031500515-8 и в рамках темы НИР Российско-Вьетнамского Тропического центра «Эколан Э-3.4».

Список литературы

1. Знаменитые реки Вьетнама [Электронный ресурс]. zen.yandex.ru (дата обращения 27.03.2023)
2. Фунг Тхай Зыонг. Эколого-геохимическое состояние дельты реки Меконг (республика Вьетнам) по результатам изучения донных отложений. Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Томск: НИТПУ, 2015. 26 с.
3. РД 52.10.243-92 Руководство по химическому анализу морских вод. [Электронный ресурс]. URL <http://docs.cntd.ru/document/1200042955> (дата обращения 27.03.2023)
4. Мирзоева Н.Ю., Терещенко Н.Н., Параскив А.А., Проскурнин В.Ю., Морозов Е.Г. Тяжёлые металлы в поверхностной воде Атлантического сектора Антарктики в 79-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» // Морской биологический журнал. 2020. Т. 5. № 4. С. 56–68.
5. ГОСТ Р 56219–2014. Определение содержания 62 элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. М.: Стандартинформ, 2015. 36 с.
6. 14QCVN 08-MT:2015/BTNMT. QUY CHUẨN KỸ THUẬT QUỐC GIA VỀ CHẤT LƯỢNG NƯỚC MẶT. National Technical Regulation on Surface Water Quality. HÀ NỘI – 2015. 13 tr. [Электронный ресурс] <http://cem.gov.vn/storage/documents/5d6f3ecb26484qcvn-08-mt2015btnmt.pdf>. (дата обращения: 15.04.2022) (Вьетнам. язык)

7. Справочник. Характеристики загрязняющих веществ. Раздел II. Для водных объектов. Пермь: Издательство ФГБУ УралНИИ «Экология», 2016. 296 с.
8. Warmer Henk, Ronald van Dokkum Water pollution control in the Netherlands. Policy and practice the Netherlands, 2002. RIZA report 2002.009. 76 p.
9. Город и провинция Бенче во Вьетнам. <http://www.map-vietnam.ru> (дата обращения 17.04.2023)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В РЕЧНЫХ НАНОСАХ МАНГРОВЫХ УЧАСТКОВ БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА КАНЗЁ (ВЬЕТНАМ)

¹Е.А. Тихонова, ¹О.В. Соловьёва, ¹И.Г. Сидоров, ²Нгуен Чонг Хиеп
tihonoval@mail.ru; kozl_ya_oly@mail.ru; sidorov.imbr@yandex.ru;
hiepnguyen@vrtc.org.vn

¹Институт биологии южных морей имени А.О Ковалевского РАН,
Россия, г. Севастополь

²Совместный Российско-Вьетнамский Тропический центр (Южное отделение),
Вьетнам, г. Хошимин

Аннотация. В зоне смешения «река-море» в донных наносах могут происходить изменения содержания органических соединений, в т.ч. и поллютантов. Значимость такого рода переноса для формирования уровней загрязнения акватории остаётся мало изученной, особенно в прибрежных акваториях заповедных территорий. В настоящей работе проведена оценка содержания органических веществ, в том числе нефтяных, и влияния динамики вод на концентрации данных веществ в донных наносах контактной зоны «река-море» рек Кагау и Лонгтау, протекающих по территории биосферного заповедника Канзё (Вьетнам). Зафиксированные в донных наносах исследуемых акваторий концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ и нефтяных углеводородов близки к следовым количествам. В результате активной циркуляции вод в эстуарных районах мангровых рек в период прилива физико-химические показатели среды (рН, Eh, солёность) претерпевали определённые изменения, однако тесной зависимости этих изменений с содержанием исследуемых органических соединений не выявлено.

Ключевые слова. Хлороформ-экстрагируемые вещества, нефтяные углеводороды, речные наносы, заповедник Канзё, Вьетнам.

В 2000 г. мангровый лес Канзё (Can Gio Mangrove) был признан ЮНЕСКО «Биосферным заповедником» [1]. Он расположен в прибрежном районе к юго-востоку от Хошимина. Мангровые леса Канзё имеют особые экологические условия, они представляют собой промежуточную экосистему между водными и наземными, пресноводными и морскими экосистемами. В лес попадает большое количество наносов из реки Донг Най, наряду с влиянием соседнего моря и приливных волн. Таким образом, мангровый лес является не только «легкими», но и «почкой» с функцией очистки воздуха и сточных вод промышленных городов от верхнего течения реки Донг-Сайгон до Восточного моря. Мангровые заросли помогают уменьшить ущерб, причиненный штормами и наводнениями, снижая до 50 % энергию удара волн, предотвращая повышение уровня моря и способствуя защите населения и инфраструктуре в прибрежных районах [2].

При перемещении водных масс в пределах приливного цикла неизбежен перенос влекомых донных отложений, индуцируемый движением водных

масс. При этом, характер движения наносов зависит от физических характеристик (размера и формы, удельного веса и т.д.), гранулометрического состава, а также скорости и глубины потока. В естественных условиях различные фазы переноса наносов обычно протекают одновременно и между ними нельзя провести чёткой границы [3]. Известно, что в результате приливов происходит перемещение частиц диаметром до 2-х мм [4], при преимущественной транспортировке частиц диаметром до 0,5 мм. Именно эта фракция донных отложений способна наиболее активно аккумулировать органические молекулы [5; 6]. Таким образом, вероятно, ожидать изменение содержания органических соединений, в т.ч. и поллютантов, в донных наносах нижнего течения рек, в зоне смешения «река-море». Значимость такого рода переноса для формирования уровней загрязнения акватории остаётся мало изученной.

С учётом вышеизложенного, целью настоящей работы стала оценка содержания органических веществ, в том числе нефтяных, и влияния динамики вод на концентрации данных веществ в донных наносах контактной зоны «река-море» рек Кагау и Лонгтау, протекающих по территории биосферного заповедника Канзё (Вьетнам).

Материалом для исследования послужили пробы речных наносов, отобранные на мангровых участках в реках Кагау и Лонгтау на территории биосферного заповедника Канзё (рис. 1). На каждой станции отбор речного грунта производили в трех точках, расположенных поперек русла рек: две прибрежные точки у правого и левого берега и по середине русла реки. Пробы отбирали в два временных периода: отлив (при низком уровне воды - R) и прилив (при высоком уровне воды - L). Химико-физические характеристики воды (рН, Eh, солёность) на станциях отбора проб в реках были определены в лаборатории анализа окружающей среды Южного отделения Совместного российско-вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра.

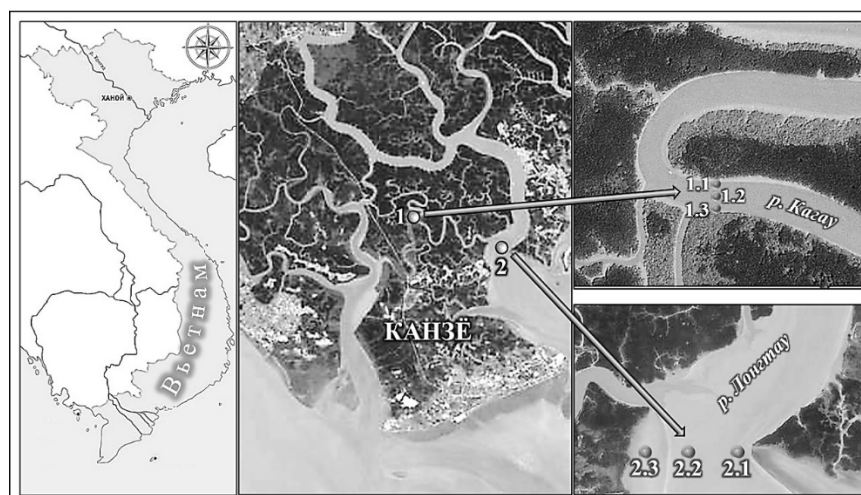


Рис. 1. Карта-схема отбора проб донных отложений в реках Кагау (А) и Лонгтау (Б) в биосферном заповеднике Канзё, май 2021 г.

В предварительно подготовленных пробах речных наносов определяли концентрацию хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) весовым методом, нефтяных углеводородов (НУ) методом инфракрасной спектроскопии на спектрофотометре ФСМ-1201 [7].

В период прилива было отмечено повышение солёности воды на ст.1 (р. Кагау) на 1 епс, на ст. 2, расположенной практически в устье реки Лонгтау – на 5 епс. Вслед за градиентом солёности, изменялись физико-химические характеристики воды: водородный показатель менялся в сторону ощелачивания; окислительно-восстановительный потенциал несколько снижался [8].

Концентрация ХЭВ в речных наносах прибрежной акватории заповедника Канзё колебалась от 54 до 90 мг/100 г (рис. 2). В районе ст.1 максимальные величины ХЭВ отмечены на ст. 1.3 R, минимальные – на ст. 1.2 R; в районе ст.2 – на ст. 2.3 L и ст. 2.3 R, соответственно. Повышенное содержание ХЭВ в речных наносах р. Кагау относительно наносов р. Лонгтау, может быть связано с тем, что первый район расположен в глубине мангровой речной системы, а второй – в месте непосредственного впадения реки в море, где происходит разбавление богатых органическим веществом речных вод морскими [9].

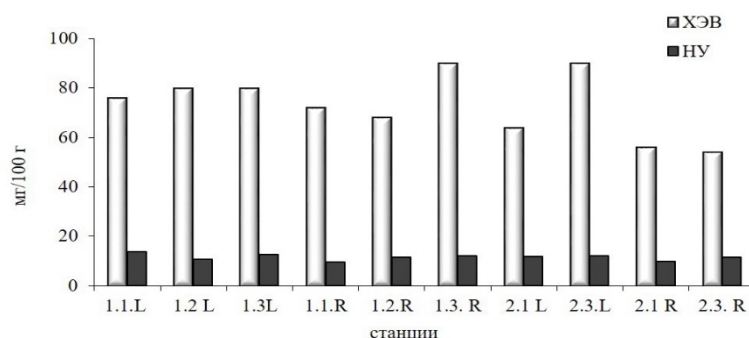


Рис. 2. Концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ и нефтяных углеводородов в речных наносах р. Кагау и р. Лонгтау биосферного заповедника Канзё, май 2021 г.

Известно [10], что на границе раздела «вода-дно» идут наиболее активные процессы первичного диагенеза органического вещества, поэтому отмеченные ранее изменяющиеся показатели рН и Eh воды, непосредственно влияющие на ход указанных процессов, могут влиять на количественные показатели накопленного в речных наносах и перемещаемого приливными течениями органического вещества. Однако, тесной корреляционной зависимости между концентрацией органических веществ и физико-химическими показателями воды в настоящем исследовании не отмечено, за исключением слабой положительной связи для солёности ($r=0,48$). Вероятно, проследить влияние указанных факторов не удаётся в результате их изменчивости в небольшом диапазоне времени, что не позволяет проследить специфику седиментационных условий.

Сравнение уровней содержания ХЭВ в речных наносах, изменяющихся вследствие активного перемещения при поступлении морских вод, показало, что во время отлива происходило снижение общего содержания ХЭВ. Причем,

в акватории района 1, расположенного в глубине заповедника, данное снижение было незначительным. В то время, как в районе 2, находящегося в эстуарной части реки Лонгтау этот показатель снижался почти на 30 %. Вероятно, это связано с тем, что, в целом, для эстуарных районов характерна интенсивная циркуляция [11] и осаждение [9] различных веществ, обусловленная динамикой вод. Для НУ существовала подобная тенденция, однако, она не носила достоверного характера. Вероятно, это связано с низким уровнем НУ и отсутствием значимых различий в их содержании и в речных, и в морских отложениях.

Концентрация НУ колебалась в пределах от 9,6 до 13,8 мг/100 г (рис. 2). Если полученные результаты сравнивать с нормативами из так называемых «Голландских листов» [12], то показатели были достаточно низкими, превышающими только порог концентраций, при которых воздействие при хроническом загрязнении незначимо (5 мг/100 г), в 1,9-2,8 раза. Процентное содержание НУ в ХЭВ, которое указывает на «степень углеводородности», колебалось от 13 до 21 %. Полученные показатели указывают на низкий уровень нефтяного загрязнения, а, следовательно, зафиксированные углеводороды имеют, преимущественно, природное происхождение.

Таким образом, зафиксированные в донных наносах р. Кагау и р. Лонгтау (биосферный заповедник Канзё) концентрации ХЭВ (от 54 до 90 мг/100 г) и НУ (от 9,6 до 13,8 мг/100 г) близки к следовым количествам. Данный компонент исследуемых речных экосистем является благополучным относительно органического и нефтяного загрязнения. В результате активной циркуляции вод в эстуарных районах мангровых рек в период прилива физико-химические показатели среды претерпевали изменения: рост солёности (увеличивалась на 1–5 епс), повышение показателей рН (в среднем на 0,24–0,31 единицы), снижение окислительно-восстановительного потенциала (на 9–18 мВ). Однако тесной зависимости изменения физико-химических характеристик среды с содержанием ХЭВ и НУ не выявлено. Данное явление, вероятно, связано с перемещением влекомых донных отложений, и носит достоверный характер только для хлороформ-экстрагируемых веществ в эстуарной части р. Лонгтау. В остальных случаях можно говорить лишь о тенденции.

Работа выполнена в рамках НИР Российско-Вьетнамского Тропического центра «Эколан Э-3.4. Экосистема реки Меконг в условиях глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия», темы гос. задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 0556-2021-0001, № гос. регистрации: 121031500515-8).

Список литературы

1. <https://en.unesco.org/biosphere/aspac/can-gio>
2. Gugliotta M., Saito Y., Ta Th. K. O., Nguyen V. L. Valley-Confinement and River-Tidal Controls on Channel Morphology Along the Fluvial to Marine Transition Zone of the Đòng Nai River System, Vietnam // *Frontiers in Earth Science*. – 2019. – Vol. 7. – P. 202. (10 p.).

3. Чалов Р. В. Пространственно-временные закономерности соотношений и изменчивости проявления русловых процессов // Вестник МГУ. Серия 5: География. – 2009.– № 6. – С. 10-18.
4. Gorbunov A.O., Kovalev D. P., Kovalev P. D. The sediment transported by the flow in the eroding area of the Mordvinov Gulf coast (Sakhalin Island) // Geosystems of Transition Zones. – 2019. – Vol. 3, no. 2. – P. 209-218.
5. Krein A., Schorer M. Road runoff pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons and its contribution to river sediments // Water Research. – 2000. – Vol. 34, iss. 16. – P. 4110-4115.
6. Burgess R. M., Terletsкая A. V., Milyukin M. V., Povolotskii M., Demchenko V. Y. Bogoslavskaya T. A., Topkin Yu. V., Vorobyova T. V., Petrov A. N., Lyashenko A. and Ho K. T. Concentration and Distribution of Hydrophobic Organic Contaminants and Metals in the Estuaries of Ukraine // Marine Pollution Bulletin. – 2009. – Vol. 58, iss. 8. – P. 1103-1115.
7. РД 52.10.803-2013 Массовая доля нефтяных углеводородов в пробах морских донных отложений. Методика измерений методом инфракрасной спектроскопии. – М.: 2014. – 24 с.
8. Тихонова Е. А., Соловьева О. В., Нгуен Чонг Хиен. Органическое вещество донных наносов рек Кагау и Лонгтау в биосферном заповеднике Канзё (Вьетнам) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2022. – № 3. – С. 117-127.
9. Tam N. F. Y., Wong Y. S. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps // Environmental Pollution. – 2000. – Vol. 110, iss. 2. – P. 195-205.
10. Белкина Н. А. Роль донных отложений в формировании химического состава поверхностных вод гумидной зоны (на примере озер Карелии) // Научное обеспечение реализации "Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года": сборник научных трудов, Петрозаводск, 06–11 июля 2015 года. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. – С. 395-400.
11. Экология: Учебное пособие для вузов (под ред. Денисова В. В.) Изд. 2-е, испр., доп. - издательство: Ростов: ИЦ МарТ М. – 2004. – 672 с.
12. URL:esdat.net/Environmental%20Standards/Dutch/annexS_I2000Dutch%20Environmental%20Standards.pdf.

РАСЧЕТ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВРЕДНЫМИ ВЫБРОСАМИ АВТОТРАНСПОРТОМ НА МАГИСТРАЛЬНОЙ УЛИЦЕ Г. МАЙКОПА

Я.С. Ткачева

tkachev4@mail.ru

Майкопский государственный технологический университет,

Россия, г. Майкоп

Аннотация. В 21 веке одной из самых актуальных проблем городов является загрязнение атмосферного воздуха автотранспортом, как одним из важнейших элементов функционирования города. Целью данной статьи является расчет уровня загрязнения окружающей среды вредными выбросами автотранспортом на магистральной улице г. Майкопа. Путем анализа и обработки информации из разных источников были выявлены причины и следствия загрязнения воздуха автотранспортом. Автомобильный транспорт загрязняет атмосферу выхлопными газами, твердыми частицами, нефтепродуктами и другими токсичными веществами. Рост количества автомобилей способствует увеличению концентрации вредных веществ в атмосфере. Наибольшее скопление вредных веществ сосредоточено на перекрестках, т.к. именно в этих местах наблюдается массовое количество разгонов и торможений, при которых происходит максимальный выброс выхлопных газов и твердых частиц.

Ключевые слова. Загрязнение воздуха, экологическая безопасность, автотранспорт, магистраль, г. Майкоп.

Одной из острых экологических проблем настоящего времени является загрязнение атмосферного воздуха. Один из основных источников загрязнения атмосферного воздуха является автотранспорт. Отходящие газы двигателей содержат сложную смесь из более двухсот компонентов, среди которых немало канцерогенов. Вредные вещества поступают в воздух практически в зоне дыхания человека. Поэтому автомобильный транспорт следует отнести к наиболее опасным источникам загрязнения атмосферного воздуха - 60 - 90 %.

Экологическая безопасность - это свойство автомобиля, позволяющее уменьшать вред, наносимый участникам движения и окружающей среде в процессе его нормальной эксплуатации. Мероприятиями по уменьшению вредного воздействия автомобилей на окружающую среду следует считать снижение токсичности отработавших газов [2].

Основными загрязняющими веществами при эксплуатации автотранспорта являются:

- ✓ выхлопные газы;
- ✓ нефтепродукты при их испарении;
- ✓ пыль;
- ✓ продукты истирания шин, тормозных колодок и дисков сцепления, асфальтовых и бетонных покрытий.

Оценка воздействия на окружающую среду ведется по общей эмиссии, по распространению выбросов на прилегающей к трассе территории. Санитарными нормами установлены предельно - допустимые концентрации (ПДК) вышеперечисленных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Для расчета рассеивания загрязняющих веществ в воздухе принята интенсивность движения на перспективу, с учетом ее роста.

Особенно сильное загрязнение воздуха у земли может наблюдаться, когда выбросы сопровождаются слабым ветром или его отсутствием. В этом случае концентрации примесей могут во много раз превышать концентрации при нормальных условиях.

Безопасность дорожного движения может быть достигнута только при условии одновременного проведения комплекса мероприятий:

- ✓ совершенствования конструкции транспортных средств (ТС);
- ✓ содержания ТС в надлежащем техническом состоянии;
- ✓ строгого соблюдения водителями и пешеходами Правил дорожного движения;
- ✓ качественной организацией режимов дорожного движения путем установки дорожных знаков, нанесения дорожной разметки и задания циклов работы светофорной сигнализации, способствующих уменьшению очереди ожидания ТС на перекрестках.

На магистральной улице улично-дорожной сети (УДС) г. Майкопа наблюдается средняя интенсивность и плотность транспортного потока, образующиеся транспортные задержки, в связи с которыми снижается скорость движения, повышается расход топлива, негативно сказываются на загрязнении воздушного бассейна.

Одна из задач расчета, не только безопасность, но и улучшение экологического состояния окружающей среды, путем устранения вышеперечисленных проблем совершенствованием ОДД на рассматриваемом участке.

Для поддержания хорошего экологического состояния окружающей среды необходимо вдоль улиц сохранять имеющиеся и производить новые зеленые насаждения.

Для расчета уровня загрязнения воздушного бассейна по магистральной улице ул. Хакурате, необходимо знать интенсивность движения, доли грузовых автомобилей, автобусов в общем потоке, метеоусловия и многие другие параметры УДС [2].

Необходимые исходные данные для расчета, приведены в таблице 1. К рассматриваемому участку УДС г. Майкопа.

Таблица 1

Факторы, обуславливающие процесс загрязнения воздушного бассейна городских улиц и дорог

Наименование фактора	Участок ул. Хакурате
Максимальная интенсивность движения (главной / втор. дороги), авт/ч	1124/328
Доля грузового транспорта, %	30
Доля автобусов, %	10
Доля легкового транспорта, %	60
Средняя скорость, км/ч	50
Ширина проезжей части, м	14 (6)
Продольный уклон, град	0
Состояние дорожного покрытия	Сухое
Ширина улицы в линиях застройки, м	60
Этажность застройки, эт	1-4
Тип и плотность застройки	Линейная
Скорость ветра, м/с	5
Температура воздуха, С0	15
Влажность, %	75
Атмосферное давление, мм.рт.ст.	768
Наличие осадков	-
Наличие инверсии	-
Степень изоляции	7

Далее приведена методика расчета уровня загрязнения окисью углерода (СО) воздушного бассейна городских улиц и дорог [2].

Начальная концентрация СО в воздухе на перегоне между перекрестками определяются по формуле [1]:

$$C_p = \frac{k_1 * k_2 * k_3 * C_0}{(V_0 * \frac{H}{30})^{\frac{1}{3}}},$$

где C_p – расчетная максимально разовая концентрация СО на проезжей части, мг/м³; V_0 – Скорость ветра на улице (м/с); H – ширина улицы в линиях застройки (м); k_1 – коэффициент снижения концентрации СО за счет нормирования состава ОГ и улучшения технического обслуживания автомобиля; k_2 – коэффициент снижения концентрации СО за счет применения нейтрализаторов и новых видов топлива; k_3 – коэффициент снижения концентрации СО за счет внедрения малотоксичных рабочих процессов и конструктивных улучшений двигателя.

Таблица 2

Коэффициенты, учитывающие количество автомобилей, охваченных мероприятиями по снижению токсичности выбросов

Коэффициенты	Количество автомобилей, %									
	0	20	30	40	50	60	70	80	90	100
k_1	1,00	0,85	0,78	0,71	0,63	0,56	0,48	0,41	0,33	0,25
K_2	1,00	0,87	0,81	0,74	0,67	0,61	0,54	0,47	0,41	0,35
K_3	1,00	0,92	0,88	0,84	0,80	0,76	0,72	0,68	0,63	0,60

$$C_0 = 7,38 + 0,026 * N + \Sigma A,$$

где N – интенсивность движения автомобилей в двух направлениях; $\Sigma A_1, A_2, A_3$ - сумма поправок, учитывающих отклонение заданных условий движения от принимаемых, определяемая по формуле [9]:

$$\Sigma A = A_1 + A_2 + A_3,$$

где A_1 – изменение количества грузовых автомобилей и автобусов в общем потоке от принятого 70% на каждые 10 % $\pm 4-6$; A_2 – изменение средней скорости движения транспортного потока от принятой 40 км/ч (таблица 3); A_3 – изменение продольного уклона дороги от 0 на каждые 2% ± 2 .

Произведем расчет максимально-разовой концентрации на данном пересечении по формуле [1]:

$$C_0 = 7,38 + 0,026 * 1452 + (16 - 9 + 0) = 52,132.$$

Расчет уровня загрязнения произведем по формуле.

В соответствие с таблицей 3 примем следующие значения коэффициентов, учитывающих количество автомобилей, охваченных мероприятиями по снижению токсичности выбросов: $K_1 = 0,56$; $K_2 = 0,61$; $K_3 = 0,68$.

Таблица 3

Поправки на изменение скорости движения (A_2)

Доля грузового транспорта и автобусов в общем потоке, %	Скорость движения, км/ч						
	20	30	40	50	60	70	80
80	12	6	0	-14	-3	6	16
70	14	8	0	-13	-5	4	12
60	17	9	0	-12	-6	-2	8
50	20	10	0	-10	-7	-1	4
40	23	11	0	-9	-9	-8	-1
30	26	13	0	-8	-12	-16	-6
20	28	14	0	-7	-15	-20	-10
10	30	15	0	-7	-18	-20	-17

Уровень загрязнения CO, на магистральной улице УДС г. Майкопа, мг/м³:

$$C_p = \frac{0,56 * 0,61 * 0,68 * 52,132}{(5 * \frac{50}{30})^{\frac{1}{3}}} = 1,9.$$

Вывод. Участок магистральной улицы Хакурате УДС г. Майкопа, CO в атмосфере не превышает максимальную разовую предельно допустимую концентрацию (ПДК, max 5 мг/м³).

Значение концентрации CO на пересечении рассчитывается по формуле [2]:

$$C_{рп} = \alpha * C_p,$$

где α – числовой коэффициент приведения, который находится по формуле:

$$\alpha = 1 + \frac{N_2}{N_1},$$

где N_1 – интенсивность движения транспортного потока по главной дороге;
 N_2 – интенсивность движения транспортного потока на второстепенной дороге.

Уровень загрязнения воздушного бассейна участок ул. Хакурате, мг/м³:

$$C_{\text{рп}} = 1,229 * 1,9 = 2,45$$

Выводы. Исходя из данных расчетах можно сделать вывод, что на данном УДС г. Майкопа, концентрация СО в атмосфере не превышает ПДК. Повышение средней скорости движения по рассматриваемом участке, уменьшение очередей простаивающих автомобилей и времени задержек положительно сказывается на повышении экологичности данного участка. Это обосновывается тем, что, как известно, двигатели внутреннего сгорания выделяют наиболее токсичные отработавшие газы (как по составу, так и по количеству вредных веществ) на холостых (и близких к ним) оборотах двигателя, на которых двигатель работает при простое и движении с низкой скоростью.

Список литературы

1. Гукетлев Ю.Х., Пассажирский транспорт в социально-культурном пространстве городов и регионов / Ю.Х. Гукетлев, Я.С. Ткачева, Э.Ю. Гукетлев // Новые технологии. 2016. № 4. С. 22-26.
2. Шарков Т.А., Влияние автотранспорта на окружающую среду и поиск путей решения проблемы снижения загрязнения воздуха / Шарков Т.А., Гулиев З.З., Герасимов В.А. // География и геоэкология: проблемы науки, практики и образования: материалы международной научно-практической конференции. 2016. С. 204-209.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

^{1,2}И.Д. Третьяк, ^{1,2,3}С.А. Лебедев

tretyak0id@gmail.com, sergey_a_lebedev@mail.ru

¹Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Россия, г. Москва

²Геофизический центр Российской академии наук, Россия, г. Москва

³Майкопский государственный технический университет, Россия, г. Майкоп

Аннотация. Исследованы изменения температуры приземного воздуха (ТПВ) акватории Белого моря и территории Мурманской и Архангельской областей и Республики Карелия, а также температура почвы на четырех горизонтах. Анализировались среднемесячные данные реанализа NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis (Версия 3) за период 1948–2015 гг. Оцененный с помощью линейного тренда средний рост ТВП на высоте 2 м составил $+0,028^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Для температуры почвы рост составил: $+0,0137^{\circ}\text{C}/\text{год}$ на поверхности (0 см), $+0,0136^{\circ}\text{C}/\text{год}$ на глубине 10 см, $+0,0142^{\circ}\text{C}/\text{год}$ на глубине 40 см и $+0,0133^{\circ}\text{C}/\text{год}$ на глубине 100 см. Аналогичная картина наблюдается и для климатической изменчивости площади петли гистерезиса температуры почвы для разных слоев

Ключевые слова. Температура воздуха, температура почвы, реанализ NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis V3, климатические изменения.

Субарктическая зона России особенно уязвима к изменению климата, поскольку в зоне вечной мерзлоты расположена инфраструктура на сотни миллиардов долларов. В то же время, по данным наблюдений с середины 1970-х годов средние температуры здесь растут в 2,5 раза быстрее, чем в целом по планете [1]. В таких условиях происходит изменения состояния вечной мерзлоты. Островковые зоны вечной мерзлоты в арктической зоне северо-запада России находятся на Кольском полуострове, где инфраструктура ОАО «РЖД» особенно уязвима перед негативными факторами регионального изменения климата.

Для анализа межгодовой изменчивости состояния атмосферы и почвы в арктической зоне северо-запада России был выбран реанализ NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis (Версия 3) [2] за период 1948–2015 гг. с пространственным разрешением 1° по долготе и широте. Расчёты линейного тренда проводились для региона 28° – 45° в.д. и 61° – 70° с.ш. по среднемесячным данным температуры приземного воздуха (ТПВ) и температуры почвы (ТП) на четырех горизонтах: 0, 10, 40 и 100 см.

Линей тренд для ТПВ на высоте 2 м в целом для региона составил $+0,028^{\circ}\text{C}/\text{год}$, а рост ТП составил: $+0,0137^{\circ}\text{C}/\text{год}$ на поверхности (0 см), $+0,0136^{\circ}\text{C}/\text{год}$ на глубине 10 см, $+0,0142^{\circ}\text{C}/\text{год}$ на глубине 40 см и $+0,0133^{\circ}\text{C}/\text{год}$ на глубине 100 см (Рис.1).

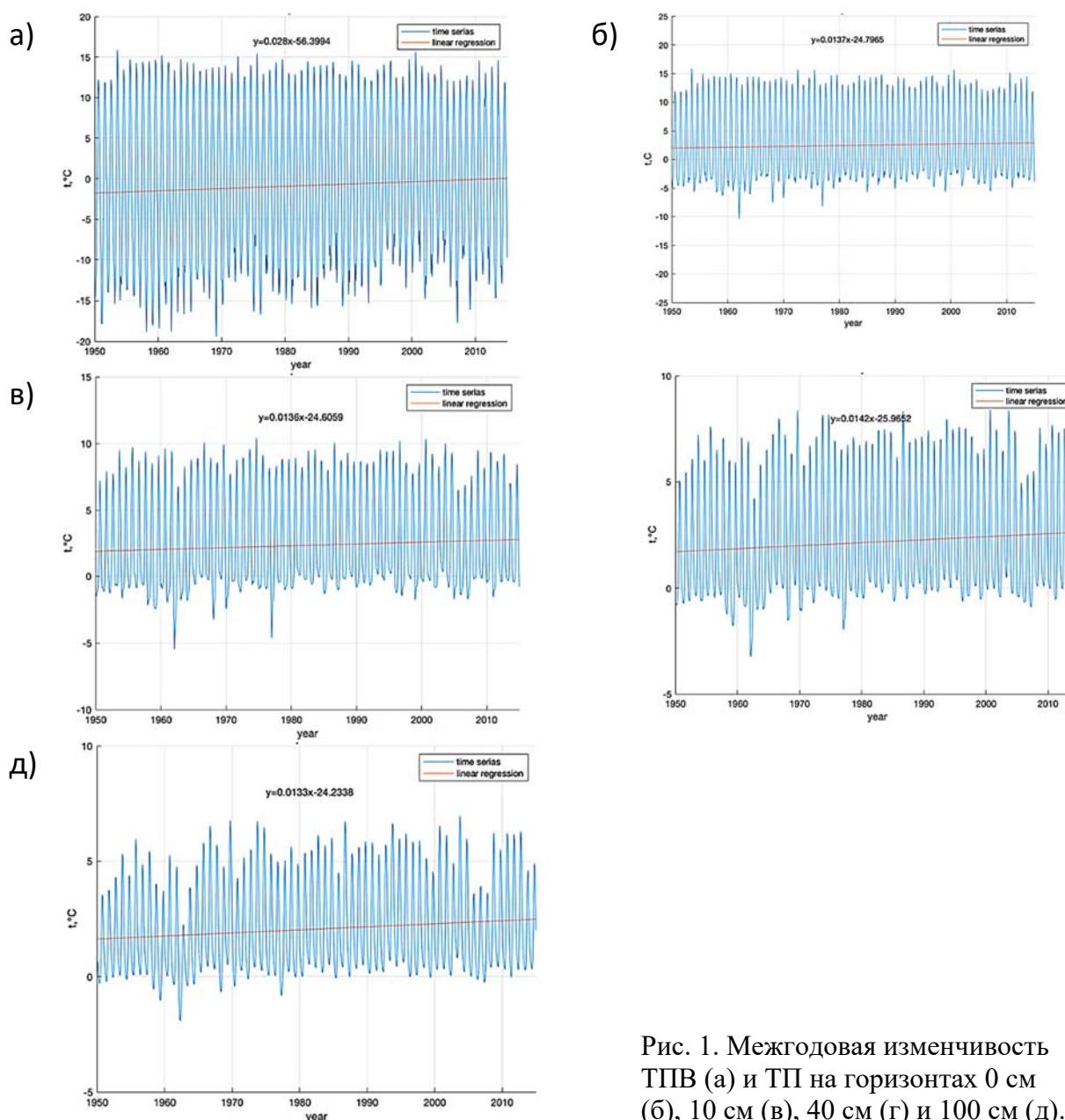


Рис. 1. Межгодовая изменчивость ТПВ (а) и ТП на горизонтах 0 см (б), 10 см (в), 40 см (г) и 100 см (д).

Эти данные хорошо согласуются с величинами, рассчитанными по данным объектов термического мониторинга вечной мерзлоты с продолжительностью функционирования 25–35 лет. Согласно работе [3] годовые линейные ТПВ и ТП за 1961–2003 гг. на севере европейской части России соответственно составили $+0,026^{\circ}\text{C}/\text{год}$ и $+0,018^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Временной интервал расчета межгодовых трендов во Втором оценочном докладе Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [1] был расширен с 1961–2010 гг. Величины, представленные в нем, стали выше: $+0,033^{\circ}\text{C}/\text{год}$ и $+0,024^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Отношения межгодовых трендов ТП к ТПВ соответственно составили 0,69 [3] и 0,73 [1]. По нашим данным этот коэффициент составил $0,49 \pm 0,01$. Такое различие связано с тем, что максимальная глубина по данным о температуре почвы в данных реанализа составляет 1 м, а термический мониторинг вечной мерзлоты предполагает измерения температуры грунта на глубине 10 м.

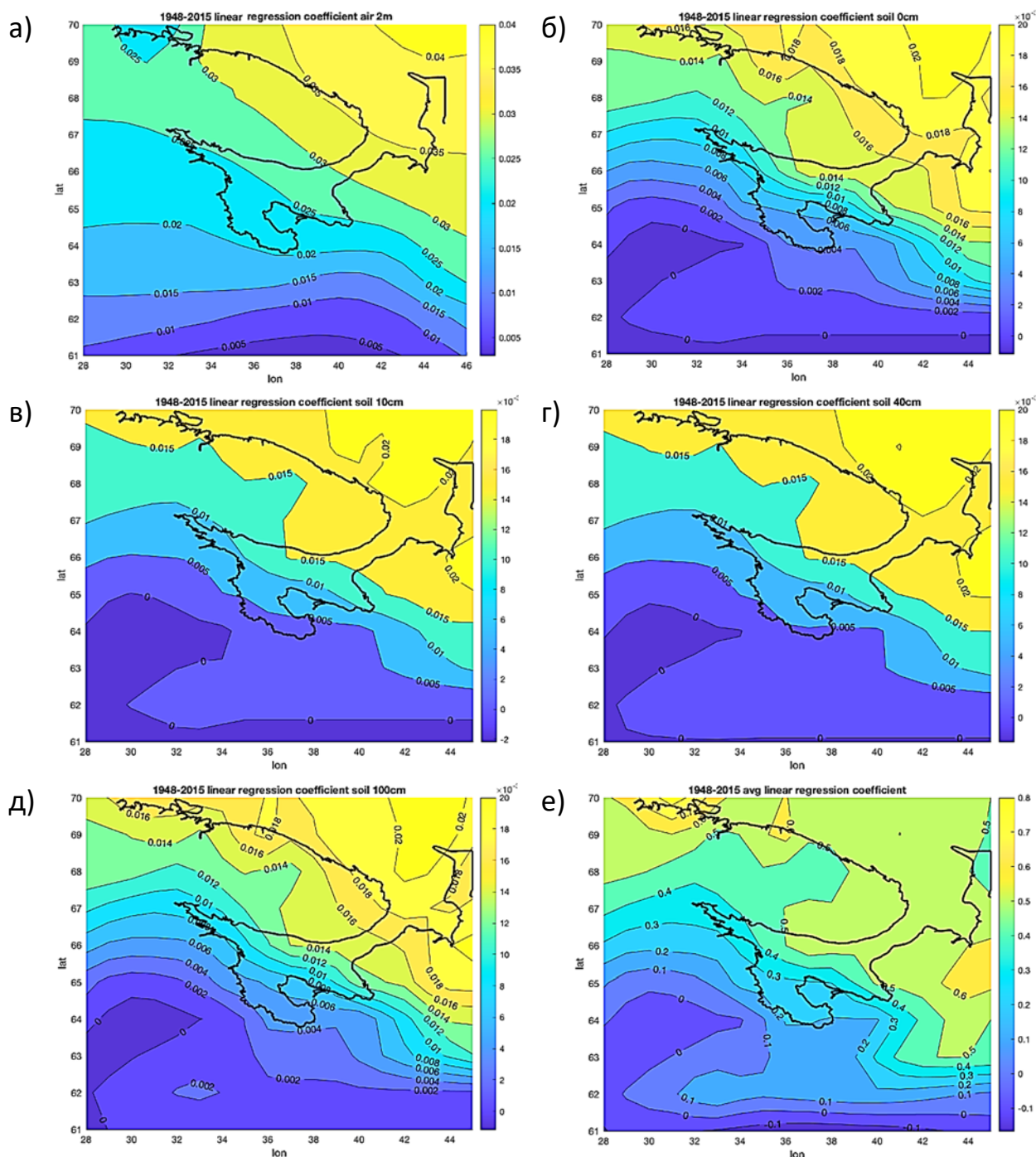


Рис. 2. Пространственная неоднородность межгодовой изменчивости ТПВ (а) и ТП на горизонтах 0 см (б), 10 см (в), 40 см (г) и 100 см (д) и соотношения линейного тренда ТП слоя 0–100 см к линейному тренду ТПВ (е).

Анализ пространственного распределения межгодовых трендов (Рис. 2) показывает, что линейный тренд ТПВ начинает расти с $+0,005^{\circ}\text{C}/\text{год}$ с севера на юг до Онежской губы Белого моря. Далее рост межгодового тренда растет в северо-восточном направлении.

На Кольском полуострове и восточном побережье Белого моря (Зимний и Канинский берег и Мезенская губа) его величина превышает $+0,025^{\circ}\text{C}/\text{год}$ (Рис. 2а). Линейный тренд ТП на всех горизонтах ведет себя одинаково. В южной части региона (южнее широты $61,5^{\circ}$) он имеет отрицательные значения.

На территории республики Коми выделяется область отрицательных значений, вытянутая в северо-восточном направлении в сторону Печерского берега (Рис. 2б, 2в, 2г, 2д). Для Кольского полуострова межгодовой тренд ТП составляет более $+0,01^{\circ}\text{C}/\text{год}$ на всех 4 горизонтах. Аналогичная картина наблюдается на восточном побережье Белого моря севернее дельты Северной Двины.

Более информативным является соотношение линейного тренда ТП слоя 0–100 см к линейному тренду ТПВ (Рис. 2е). Для Кольского полуострова и восточного побережья Белого моря севернее дельты Северной Двины его величина составляет более 0,4. При этом в районе п-ва Рыбачий и Териберки (северное побережье Кольского полуострова) и севернее Беломорско-Кулойского плато (восточное побережье Белого моря) наблюдаются области максимальных значения данного соотношения более 0,6. Именно в этих районах наблюдаются островковые зоны вечной мерзлоты, которые подвержены большому риску разрушения.

Годовое распределение температур между различными слоями почвы имеет вид петли гистерезиса. Такая структура моментально откликается на внешнее воздействие, приложенное к системе. Таким образом, анализируя структуру петли в различные года можно сделать вывод о изменчивости температурного режима в тех или иных зонах региона. На рисунке 3 приведены петли гистерезиса за все года (1948–2015), а на рисунке 4 – линейный тренд площади петли гистерезиса за год.

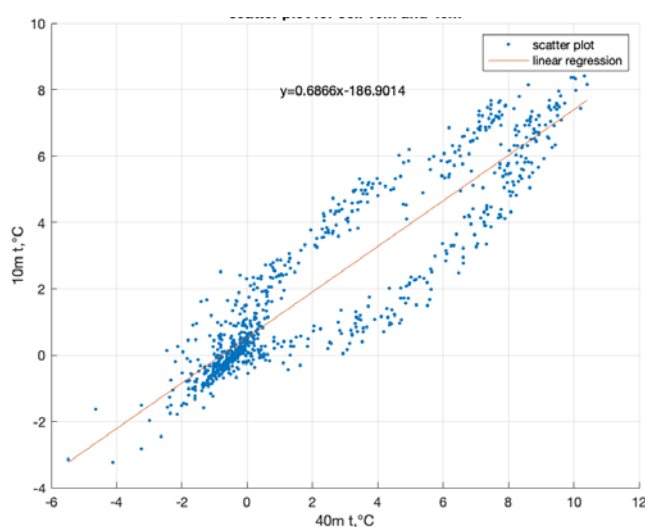


Рис. 3. Диаграмма рассеивания температуры почвы для слоя 10–40 см.

Изменчивость интегральной характеристики петель гистерезиса слоя почвы 0–10 см. достигает минимального значения на Кольском полуострове, а минимального севернее дельты Северной Двины. Другая картина наблюдается между слоями почвы 10–40 м. и 40–100 см. Минимум изменчивости интегральной характеристики соответствует северному направлению от дельты Северной Двины, а максимум районам Кольского полуострова и Беломорско-Кулойскому плато.

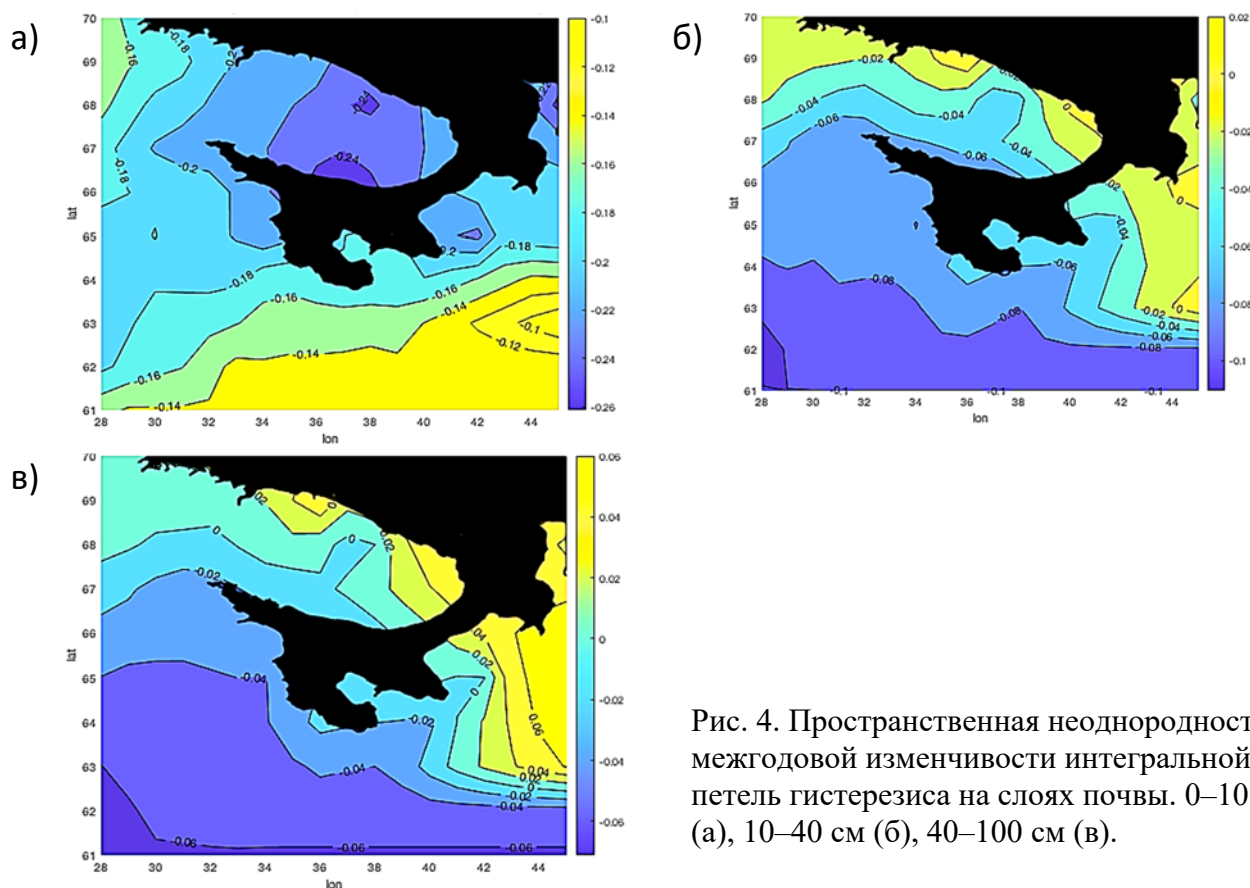


Рис. 4. Пространственная неоднородность межгодовой изменчивости интегральной петлей гистерезиса на слоях почвы. 0–10 см (а), 10–40 см (б), 40–100 см (в).

Работа выполнена в рамках гранта РФФ N 21-77-30010 (2021-2024) «Системный анализ динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействие на развитие и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта».

Список литературы

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М: Росгидромет, 2014 – 1008 с.
2. Slivinski L.C., Compo G.P., Whitaker J.S. et al. Towards a more reliable historical reanalysis: Improvements for version 3 of the Twentieth Century Reanalysis system. // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2019. – V. 145. – №. 724. – P. 2876-2908. doi:10.1002/qj.3598.
3. Павлов А.В. Тренды современных изменений температуры почвы на севере России // Криосфера Земли. – 2008. – Т. 12. – №. 3. – С. 22-27.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ МИКРОБОЦЕНОЗА ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО К ЗАГРЯЗНЕНИЮ ОКСИТЕТРАЦИКЛИНОМ ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОЧАРА

Фастова А.С., Акименко Ю.В.

fastovaa2604@mail.ru

*Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии
им. Д.И. Ивановского, Россия, г. Ростов-на-Дону*

Аннотация. В модельных лабораторных экспериментах проведена оценка влияния загрязнения антибактериальным препаратом окситетрациклином в концентрации 1000 мг/кг на микробоценоз чернозема обыкновенного, дана оценка степени его восстановления после внесения Биочара. Установлено достоверное ингибирование общей численности бактерий и бактерий р.*Azotobacter* при загрязнении чернозема окситетрациклином. Внесение биочара приводит к восстановлению общей численности бактерий, однако препарат не эффективен в отношении бактерий р.*Azotobacter*.

Ключевые слова. Антибиотики, загрязнение, почва, окситетрациклин, биочар.

Актуальность исследования обусловлена тем, что в современном мире в связи с все более частым применением больших доз антибиотиков во многих сферах жизни резко возросла потребность восстановления почв после ухудшения их свойств из-за накопления в них антибиотиков, приводящее к нарушению функционирования, в первую очередь, почвенного микробоценоза. Восстановление почвенного микробоценоза играет важную роль для поддержания целостности экосистем.

Известно большое количество препаратов, которые используются для восстановления почвы после химического загрязнения. В качестве одного из таких препаратов используется углеродистый сорбент биочар, который применяется для повышения плодородия почв. Это препарат, полученный путем сжигания биомассы с помощью кислорода, другими словами, с помощью пиролиза. В качестве сырья для получения данного препарата может использоваться различное органосодержащее сырье, являющееся отходами агропромышленного и лесного комплексов (низкотоварная древесина, навоз, листья, солома, гречневая шелуха и т.п.) [6, 7].

Биочар, или биоуголь, играет важную роль в защите почв и климата планеты [7]. Биочар – высокопористый препарат, что в свою очередь позволяет, при его использовании, лучше задерживать влагу и питательные вещества в почве.

Сейчас активно проводится изучение данного препарата как в нашей стране, так и зарубежом. Проводят различные исследования для выявления технологий получения Биочара, изучения его свойств и оценке его влияния на плодородие почв [11]. Но при этом у ученых часто возникают трудности в

процессе изучения биоугля, так как он может обладать совершенно разными свойствами, которые зависят от температурного режима пиролиза и изначально взятого биоматериала [10]. Даже несмотря на то, что препарат имеет такие многогранные свойства, все ученые-исследователи отмечают только положительное влияние на улучшение качества почвы [8, 9].

Цель исследования – оценить влияние Биочара на микробоценоз чернозема обыкновенного, загрязненного антибиотиком окситетрациклином в высокой концентрации (1000 мг/кг почвы).

В лабораторных условиях моделировали загрязнение почвы (чернозем обыкновенный, Ботанический сад ЮФУ, Ростов-на-Дону) окситетрациклином. Антибиотик вносили в образцы почвы в виде растворов в концентрации 1000 мг/кг. Анализ проводили через 30 суток после загрязнения, согласно разработанной методике. Контролем служили не загрязненные образцы почвы. После инкубации, в загрязненные образцы вносили биочар (1% от массы почвы) и через 10 суток повторно проводили анализы. Концентрации и сроки инкубации были выбраны на основе литературных данных [1-5].

В качестве исследуемых микробиологических показателей были выбраны обилие бактерий *p.Azotobacter* и общая численность бактерий, определенная методом люминесцентной микроскопии. Самым важным при диагностике почв является определение микробиологической активности. Люминесцентная микроскопия в падающем свете – это один из новейших методов, при котором можно подсчитать общее количество бактериальных клеток, светящихся ярким желтым светом, в том числе и адсорбируемых. Бактерии *p.Azotobacter* являются аэробными бактериями, которые переводят азот атмосферы в связанный азот, в виде ионов аммония, которые становятся доступными для поглощения растениями, что говорит о важном и необходимом присутствии данных бактерий в почве.

В ходе исследования загрязнения окситетрациклином (концентрация 1000 мг/кг почвы) чернозема обыкновенного установлено снижение общей численности бактерий на 24% от контрольных значений. После добавления биоугля в загрязненную почву наблюдается положительный эффект, т.к. общая численность бактерий увеличивается до 89%, но, полного восстановления до контрольных значений не наблюдается, что вероятно связано с коротким действием биоремедианта (10 суток) (рис.). Похожие результаты наблюдались при исследовании влияния антибиотика тилозина на чернозем обыкновенный [3].

Также установлено, что при загрязнении окситетрациклином в высокой концентрации наблюдается полное достоверное подавление обилия бактерий *p.Azotobacter*, что связано с бактерицидным действием данного антибиотика в высоких концентрациях. Внесение Биочара оказалось не эффективно в целях восстановления жизнедеятельности бактерий данного рода.

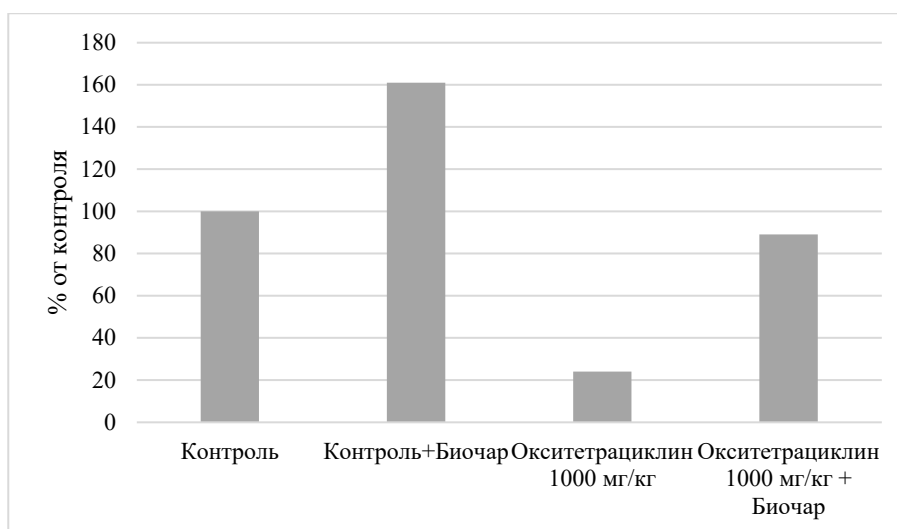


Рис. Изменение общей численности бактерий загрязненного окситетрациклином чернозема при внесении биочара (% от контроля)

Таким образом, по результатам проведенных исследований, можно рекомендовать Биочар к использованию в целях восстановления общей численности бактерий в черноземе обыкновенном, однако препарат не эффективен в отношении бактерий *p.Azotobacter*. Для полного восстановления микробоценоза чернозема после загрязнения окситетрациклином в высоких концентрациях, требуются дальнейшие исследования по изучению влияния продолжительности действия Биочара в почве.

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых - кандидатов наук (МК 2085.2022.1.4).

Список литературы

1. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние загрязнения антибиотиками на биологические свойства чернозема обыкновенного: монография / Ю.В. Акименко, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников; Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. - 154 с.
2. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Козунь Ю.С., Мясникова М.А., Одабашьян М.Ю., Николаева К.Н., Тимошенко А.Н. Устойчивость микроорганизмов чернозема к загрязнению антибиотиками в условиях полевого модельного опыта // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 104. С. 135-148.
3. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Козунь Ю.С., Мясникова М.А. Изменение биологических свойств чернозема обыкновенного североприазовского при загрязнении современными биоцидами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 18, №2 (2), 2016. С. 276-279.
4. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Мазанко М.С. Экологические последствия загрязнения почв антибиотиками // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т.15. № 3. С. 1196.
5. Акименко Ю.В., Чуvaraева О.В., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Минникова Т.В. Оценка экологического состояния основных почв юга России в условиях загрязнения антибиотиками: монография / Ю. В. Акименко, О. В. Чуvaraева, С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, Т.В. Минникова; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2019. – 114 с.

6. Павлов В.М., Саубанов Р.Р., Исрафилов И.Х. Влияние биоугля на качественное восстановление почво-ресурса в Республике Татарстан // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация, 61, 1, 41-46 (2012).
7. Разумов Е.Ю. Биоуголь: современное представление // Вестник Казанского технологического университета. - 2015. - Т. 18. - № 2. - С. 220-222
8. Соколик Г.А., Овсянникова С.В., Иванова Т.Г., Попеня М.В., Войникова Е.В. Характеристики дерново-подзолистых почв после внесения биоугля // Вестник Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук, 2, 87-94 (2015).
9. Amonette J.E., Joseph S., Characteristics of Biochar: Microchemical Properties. In: J. Lehmann, Joseph, S. (Editor), Biochar for Environmental Management Science and Technology. Earthscan, London, P. 241-250. (2009).
10. Gashikovich G.K., Vasilyevna S.E., Rubenovich G.B., Valeeva A.A. The possibility of use research methods of soil organic matter for assess the biochar properties // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 6, 4, 194-201 (2015).
11. Hunt J., DuPont M., Sato D., Kawabata A. Soil and Crop Management Dec. SCM-30. P. 1-2 (2010).

**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО – АНАТОМИЧЕСКОЙ
ОРГАНИЗАЦИИ РАСТЕНИЙ-МАКРОФИТОВ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ
ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОЧВ УГОЛЬНЫМИ ОТВАЛАМИ ДОНЕЦКОГО
БАССЕЙНА**

¹Г.М.Федоренко, ¹А.Г.Федоренко, ¹Т.М.Минкина, ¹Д.Г. Невидомская,
²Т.Н. Польшина

afedorenko@mail.ru; gfedorenko@mail.ru

¹Южный федеральный университет, Россия, г. Ростов-на-Дону

²ФИЦ Южный научный центр Российской академии наук,
Россия, г. Ростов-на-Дону

Аннотация. Рассмотрена проблема химического загрязнения почв и доминантных видов растений в районах развития угольной промышленности. Показано влияние последствий угледобычи на свойства почв, морфологические и структурно-анатомические параметры растения-доминанта мезофильных сообществ – тростника южного (*Phragmites australis* Cav). В почвах территорий, подверженных влиянию углеотвалов выявлено превышение ПДК и/ ОД, установленные для Pb, Zn, Cu и As. Выявлена взаимосвязь между фитотоксичным эффектом от накопления и распределением элементов в растениях и особенностями тканевой и ультраструктурной организацией их корней и листьев. На тканевом и внутриклеточном уровнях наблюдения детально изучена структура растений-макрофитов *Phragmites australis* Cav., выросших в условиях химического загрязнения углеотвалов.

Ключевые слова. Тяжелые металлы и металлоиды, макрофиты, фитотоксическое действие, ультраструктура клеточных органелл.

Геосистемы в пределах углепромышленных территорий на протяжении многих десятилетий подвергались интенсивному техногенному воздействию [1]. Неподвижность макрофитов делает их эффективными биоиндикаторами антропогенного загрязнения природных сред неорганическими поллютантами, поскольку они активно накапливают тяжелые металлы (ТМ), снижая их концентрацию в воде и субстрате [2,3]. Цель настоящего исследования – изучение влияния химического загрязнения на анатомо-морфологические характеристики растений *Phragmites australis* Cav. в условиях углепромышленных территорий Донецкого угольного бассейна (Ростовская область, Россия). Проведено геоботаническое описание площадок мониторинга, заложенных вокруг и непосредственно на территории шахтных углеотвалов, относящихся к предприятиям угледобывающей отрасли, ранее входящих в состав угольных предприятий региона. Были обследованы породные углеотвалы шахт «Аютинская» и «Юбилейная». Установлена взаимосвязь фитотоксического эффекта накопления и распределения ТМ по частям растений с наблюдаемыми морфометрическими характеристиками. Морфометрические исследования показали, что растения *Phragmites australis*,

произрастающие на территориях шахт, отличаются от растений контрольной площадки менее крупными размерами листьев и соцветий. В растениях мезофильных сукцессий, территорий, прилегающих к породным углетвалам наблюдались видимые изменения в развитии побегов *Phragmites australis*, выражающиеся в повреждении и недоразвитии соцветий растений. На площадке мониторинга шахты «Юбилейная» диагностированы минимальные морфометрические значения для вегетативных и генеративных побегов. Светооптические наблюдения показали дезорганизацию и нарушение целостности паренхимных слоёв корня. А также выявили увеличение диаметра корней, и толщины листовых пластин у растений, произрастающих в техногенных гидроморфных экосистемах по сравнению с фоновыми растениями. Подобные структурные изменения в корнях, непосредственно контактирующих с растворенными соединениями, очевидно, позволяют растениям- макрофитам адаптироваться к меняющимся условиям внешней среды [3]. В хлоропластах растений загрязнённых участков отмечено почти полное отсутствие крахмальных зёрен. Выявлены изменения ультраструктурной организации клеточных органелл: нарушение процесса гранаобразования в хлоропластах, которое сопровождается увеличением количества пластоглобул; сокращение числа митохондриальных крист и уменьшение электронной плотности матрикса в пероксисомах и митохондриях, а также снижение плотности контакта между этими органеллами. Характерной особенностью структуры клеток листьев растений участка шахты «Юбилейная» является наличие в клеточных вакуолях многочисленных фрагментов мембран и огромных по своим размерам электронно-плотных включений. Эти включения, представляют собой продукт реакции ряда веществ (танинов, белков, антоцианинов и др.) с фиксатором (OsO_4), возникающих в результате процессов локального автолиза цитоплазмы при участии лизосомальной системы [4]. Вероятно, уровень локальной автофагии в клетках растений участка шахты «Юбилейная» является наиболее высоким среди других изученных нами форм.

Таким образом, особенности ультраструктурной клеточной организации клеток могут свидетельствовать о наличии устойчивых морфологических признаков при длительной адаптации в естественных местообитаниях исследованных трех экотипов *Phragmites australis* Cav. и могут быть использованы в качестве ультраструктурных показателей токсичности внешней среды на растения- макрофиты.

Исследование выполнено в лаборатории «Здоровье почв» Южного федерального университета при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2022-1122

Список литературы

1. Алексеенко В.А., Беч Ю., Алексеенко А.В., Швыдкая Н.В., Рока Н. Экологическое воздействие размещения отходов угледобычи на почвы и растения в Ростовской области, Россия. // Геохимические исследования. 2017. doi: 10.1016/j.gexplo.2017.06.003

2. Minkina T., Fedorenko G., Nevidomskaya D., Fedorenko A., Chaplygin V., Mandzhieva, S. Morphological and anatomical changes of *Phragmites australis* Cav. due to the uptake and accumulation of heavy metals from polluted soils // Science of the Total Environment. 2018. V. 636. P. 392-401. DOI: 10.1016/j.scitotenv. 2018.04.306

3. Minkina, T., Fedorenko, G., Nevidomskaya, D., Konstantinova E., Pol'shina T., Fedorenko A., Chaplygin, V., Mandzhieva S., Dudnikova, T. Hassan, T. The morphological and functional organization of cattails *Typha laxmannii* lepech. and *Typha australis* Schum. and Thonn. under soil pollution by potentially toxic elements // Water (Switzerland). 2021. V. 13. No. 2. DOI: 10.3390/w13020227

4. Васильев, Проблемы эндоцитоза и автофагии в растительной клетке. – В сб.: Ультраструктура растительной клетки. - Л, «Наука», 1972.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА В КАРАДАГСКОМ ПРИРОДНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

¹Е.И. Федорова, ²В.А. Лапченко, ¹Н.Ф. Еланский, ¹В.С. Ракитин,
¹А.И. Скороход, ¹А.В. Васильева

fedorova@ifaran.ru

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук,
Россия, г. Москва

²Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского - природный заповедник
РАН филиал ФИЦ «Институт биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского РАН», Россия, г. Феодосия

Аннотация. В работе представлены результаты исследования изменчивости концентрации приземного озона в Крыму на станции фоновое экологического мониторинга Государственного природного заповедника «Карадагский» за 2016-2021 гг. Проанализированы внутригодовые вариации приземного озона, установлены факторы, вызывающие локальный летний минимум концентрации O_3 в отдельные годы. С использованием модели NOAA HYSPLIT проведен статистический траекторный анализ картины атмосферной циркуляции в регионе; оценена повторяемость эпизодов превышения концентрации озона 100 мкг/м^3 в течение 8-ми часов и более (рекомендация ВОЗ) и проведен анализ возможных причин этих эпизодов.

Тренды приземной концентрации озона в период 2012-2021 гг. оценены как статистически незначимые.

Ключевые слова. Приземный озон, обратные траектории, направление ветра, дальний перенос

Введение

Озон (O_3) представляет собой высокореактивный токсичный газ, считающийся также парниковым. В нижних слоях тропосферы озон образуется в череде фотохимических реакций под воздействием УФ-излучения в присутствии так называемых газов предшественников – оксидов азота NO_x ($NO+NO_2$), углеводородов (например, метан CH_4), монооксида углерода (CO) и пр. – которые в свою очередь могут переноситься с воздушными массами на дальние расстояния [1].

В работе использовались непрерывные ряды измерений станции фоновое экологического мониторинга (СФЭМ), которая находится в Карадагском природном заповеднике на юго-восточном побережье Крымского полуострова ($44^\circ 55'$ с.ш., $35^\circ 14'$ в.д.; 180 м. над уровнем моря) в километре от береговой зоны на северо-восточном склоне горы Святая [2].

Массовая концентрация озона на станции измеряется оптическим методом по поглощению в УФ-области спектра электромагнитного излучения с помощью газоанализатора АРОА-370 (HORIBA, Япония) с погрешностью не более 15 мкг/м^3 [2].

Результаты и обсуждение

Анализ внутригодовых вариаций сезонного хода концентрации озона в период 2016-2021 гг. на СФЭМ показал, что озон имеет ярко выраженный сезонный ход. Минимум наблюдается в зимние месяцы (среднесезонные значения колеблются в районе 49-54 мкг/м³), максимум приходится на весенне-летний период (71-90 мкг/м³), что соответствует другим оценкам на СФЭМ [3,4].

Выделены два характерных типа сезонного хода – одномодальный и бимодальный.

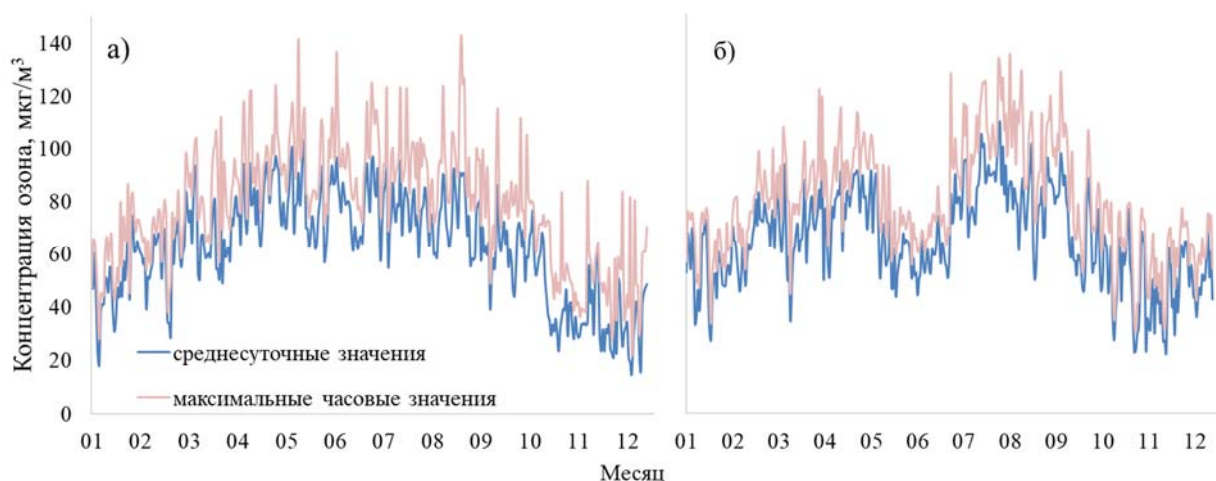


Рис. 1. Внутригодовые вариации приземной массовой концентрации озона на СФЭМ (мкг/м³, усреднение за сутки), примеры: а) - 2020 г.; б) – 2017 г.

Представленные на рис.1 измерительные ряды 2017 и 2020 гг., с одной стороны, характеризуются непрерывностью, а с другой – наиболее ярко отражают различия внутригодовых вариаций. Бимодальный сезонный ход проявился в 2017, 2018 и 2021 гг., одномодальный, когда два локальных максимума сглажены или отсутствуют – в 2016, 2019 и 2020 гг.

Локальный минимум концентрации О₃ различной степени выраженности все три раза фиксировался в одно и то же время года, примерно с 15 мая по 30 июня. Как выяснилось в результате проведенного дополнительного анализа, наличие или отсутствие весенне-летнего минимума не соотносится с особенностями метеорологических характеристик - температурой, влажностью и количеством солнечных дней. Уточним, что рассматриваемые 2017 и 2020 годы оказались практически идентичными по всем указанным параметрам (2-4%).

Несмотря на наличие в целом в период 2016-2021 гг. прямой корреляции приземной концентрации О₃ с температурой и обратной корреляции с влажностью (величина коэффициента корреляции R колеблется около 0.6, достигая в некоторые годы 0.7 для обоих параметров), в период 15 мая - 30 июня 2017 и 2020 гг. какая-либо значимая корреляция отсутствует. Таким образом, выяснилось, что наличие локального весенне-летнего минимума в

некоторые годы не связано с локальными различиями метеопараметров и может объясняться характером атмосферной циркуляции в регионе.

На рис. 2 представлены обратные траектории движения воздушных масс по модели NOAA HYSPLIT [5] на высоте 200 м (местное время 12:00, траектории 96 ч) за период 15.04-30.06, а также розы ветров и распределение скорости ветра на основе метеополей ERA5 REANALYSIS [6] на уровне 900 мбар для 2017 и 2020 гг.

В случае бимодального сезонного хода прослеживается ярко выраженный меридиональный северный перенос с большим вкладом приземной компоненты ветра (рис 2 б). В то же время для одномодального хода характерен смешанный тип циркуляции воздушных масс со значительным числом нисходящих траекторий, что указывает на возможность более интенсивного стратосферно-тропосферного обмена в 2020 г. (рис 2 а).

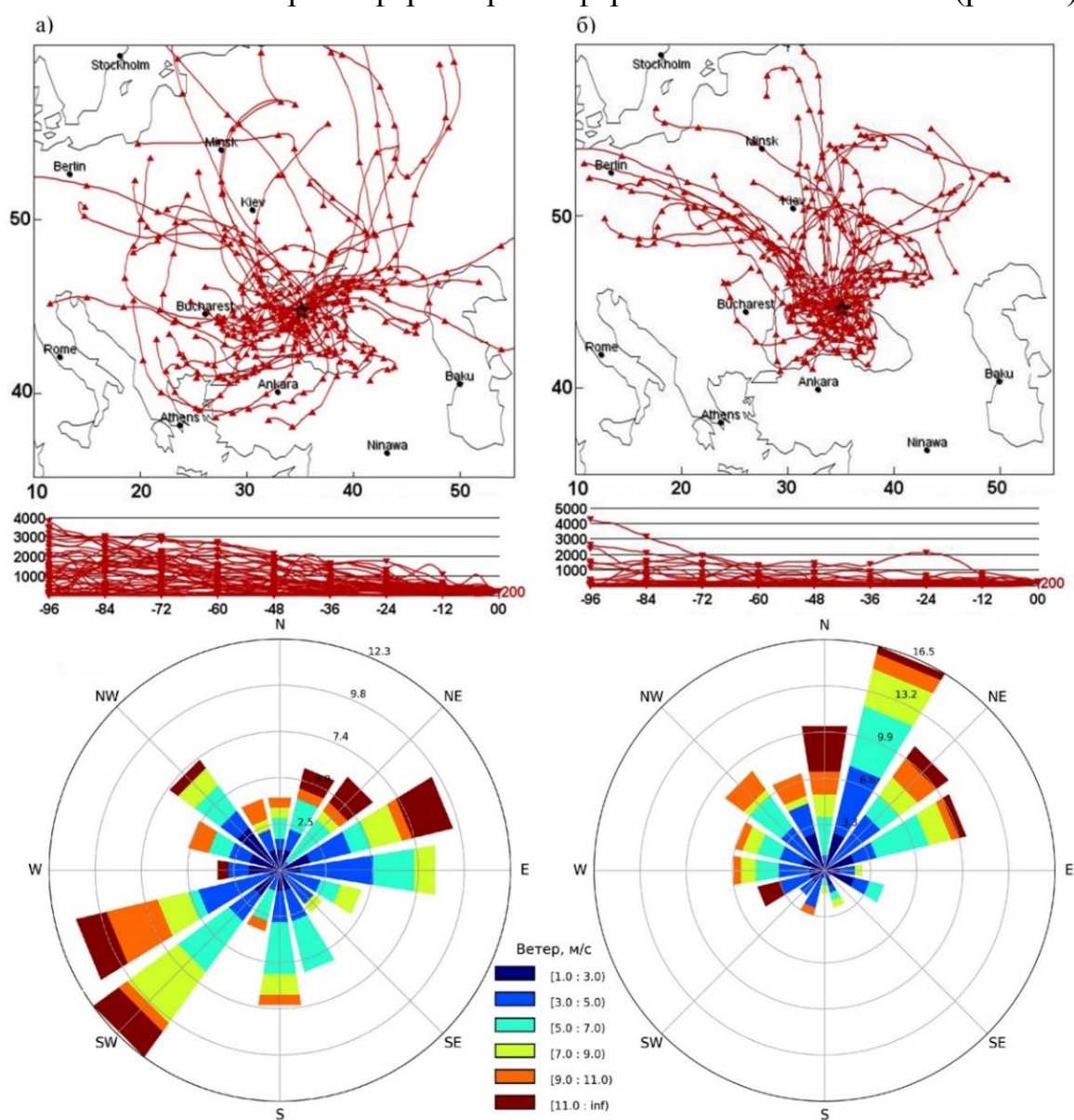


Рис 2 Обратные траектории движения воздушных масс по модели NOAA HYSPLIT на высоте 200 м (местное время 12:00, траектории 96 ч), а также розы ветров и распределение скорости ветра на основе метеополей ERA5 REANALYSIS, 900 мбар с 15.05 по 30.06: а) - 2020 г.; б) - 2017 г.

Заметим, что максимальная высота горы Святая, на склоне которой расположена СФЭМ, составляет 577 м. Отстроенные по модели ERA5 REANALYSIS [6] розы ветров для уровня 900 мбар (соответствует высоте около 1000 м. над уровнем моря и исключает влияние сложного ландшафта района измерений), подтверждают результаты траекторного анализа.

Несмотря на отсутствие локальных источников загрязнений (станция удалена от промышленных районов), общий уровень концентрации озона на СФЭМ довольно высок. В месте измерений практически не фиксируются случаи превышения максимальной разовой ПДК [7] (160 мкг/м^3), а максимальная среднечасовая концентрация озона, равная 195 мкг/м^3 , была зафиксирована 25.08.2018. При этом эпизоды превышения ПДК среднего за 8 часов (100 мкг/м^3 , далее «норматив») наблюдаются достаточно регулярно (около 5% случаев от всех измерительных дней 2016-2021 гг.), а среднесуточные значения концентрации в весенне-летний сезон приближаются к выбранному нормативу. Такие оценки согласуются с результатами подобных измерений в близком по характеру регионе (Болгарское Черноморское побережье) [8].

Анализ приземного ветра показал, что на СФЭМ практически отсутствуют штилевые дни (8.4 %); чаще всего наблюдается умеренный ветер скоростью 1-3 м/с (83%). Ветер свыше 3 м/с фиксируется лишь в 8.6% случаев. Также, статистическое распределение указывает на то, что до 50% случаев превышения норматива связаны с эпизодами южного и юго-восточного ветра (в связи со сложностью ландшафта оба случая относятся к ветру с моря).

Траекторный анализ на основании модели NOAA HYSPLIT показал, что весной движение воздушных масс в большей степени происходит над акваторией Черного моря и характеризуется заносом с северного и северо-западного направлений со стороны центральной Украины, Турции, Румынии и Болгарии. В летние месяцы преобладает атмосферный перенос над сушей с восточного направления (Украина, юг России).

Расчитанные тренды озона для периода с 2012 по 2021 гг. (2016 г. исключен из расчетов, так как отсутствуют измерения за зимне-весенние месяцы), имеют около нулевые значения; для сезонных оценок выделен слабopоложительный тренд для зимнего периода ($0.77 \pm 0.68 \text{ \% /год}$, величина тренда и доверительный интервал 95%) и слабо отрицательный для летнего сезона ($-0.59 \pm 0.39 \text{ \% /год}$). Остальные сезоны характеризуются близкими к нулю значениями тренда.

Выводы

1. Озон имеет ярко выраженный сезонный ход. Минимум наблюдается в зимние месяцы, максимум приходится на весенне-летний сезон (один или два). Установлено, что в отдельные годы этот сезонный ход может иметь локальный минимум в конце весны и начале лета.

2. Различия между двумя типами вариаций концентрации озона в весенне-летний период не зависят от температуры, влажности или числа солнечных дней. Установлена зависимость от режима атмосферной циркуляции.

3. Траекторный анализ показал, что весной движение воздушных масс происходит над акваторией Черного моря, преобладает занос с северного - северо-западного направления со стороны центральной Украины, Турции, Румынии и Болгарии; в летние месяцы преобладает перенос над сушей с восточного направления (Украина, юг России).

4. Несмотря на отсутствие вблизи станции локальных источников загрязнений, общий уровень концентрации озона на СФЭМ довольно высок, особенно в эпизодах, сопровождающихся южным и юго-восточным приземным ветром (ветер с моря). Частота превышения ПДК (среднего значения за 8 часов) составляет около 5%.

5. Тренды озона в целом за период 2012-2021 гг. имеют около нулевые значения и статистически незначимы. В рамках сезонных оценок выделен слабopоложительный тренд для зимнего периода и слабо отрицательный для летнего. Остальные сезоны имеют близкие к нулю значения тренда.

Работа выполнена в рамках договора о сотрудничестве №12 от 16.02.2016.

Измерения приземной концентрации озона и их обработка проведены научным сотрудником Лапченко В.А. в рамках темы Гос. задания №121032300023-7, работа выполнена на УНУ ГПЗ "Карадагский".

Статистический траекторный анализ и интерпретация результатов измерений выполнены в рамках Проекта Российского Научного фонда, проект 20-17-00200.

Список литературы

1. Белан, Б. Д. Озон в тропосфере. Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2010. 487 с.
2. Лапченко В.А., Звягинцев А.М. Малые газовые составляющие атмосферы в Карадагском природном заповеднике в Крыму // Оптика атмосферы и океана, 28, №2 (2015), с.178-181
3. Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Лапченко В.А. Режим приземного озона на станции Карадаг в Крыму по наблюдениям 2009-2018 гг. // Гидрометеорологические исследования и прогнозы, 2019. № 2(372), с. 102-113
4. Андреев В.В., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Еланский Н.Ф., Жамсуева Г.С., Заяханов А.С., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Котельников С.Н., Кузнецова И.Н., Лапченко В.А., Лезина Е.А., Постыляков О.В., Савкин Д.Е., Сенник И.А., Степанов Е.В., Толмачев Г.Н., Фофанов А.В., Челибанов И.В., Челибанов В.П., Широков В.В. Приземная концентрация озона на территории России в первом полугодии 2020 г. // Оптика атмосферы и океана, 2020 г, № 9, с. 710-721
5. Модель NOAA HYSPLIT, электронный ресурс. URL: <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>
6. ERA5 REANALYSIS, электронный ресурс. URL: <https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis>
7. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест. Гигиенические нормативы 2.1.6.1338-03. Министерство здравоохранения Российской Федерации. ПОСТАНОВЛЕНИЕ от 30 мая 2003 года N 114, электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901865554>
8. Barantiev D., Veltchev, K., Batchvarova, E., Georgieva, E., Novitzky, M. Turbulence, ozone and wind profile at a background site on the Bulgarian black sea coast. WMO/GAW Symposium, 18-20 March 2013, Geneva, Switzerland.

ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ НА ОСНОВЕ ИСТОРИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

А.А. Халиева, Н.А. Яицкая

azakhaliyeva@mail.ru, yaitskayan@vniisubtrop.ru

*ФИЦ Субтропический научный центр Российской академии наук,
Россия, г. Сочи*

***Аннотация.** В статье рассмотрены результаты работы по оценке многолетней динамики береговой линии в районе Сочинского Причерноморья, выполненной, с использованием географических информационных систем на основе данных дистанционного зондирования Земли и открытых картографических сервисов.*

Цель работы – повышение достоверности прогнозирования изменений береговой линии Сочинского Причерноморья, на основе совершенствования методологии использованием ГИС технологий. В качестве основы взяты данные радиолокационной топографической миссии (SRTM) в сочетании с космическими снимками спутников: Corona, Spot-1, Sentinel 2, Landsat 8-9 и ПО «Google Earth». Для обработки изображений применялось ГИС «SAGA», для постпроцессинга и трехмерной визуализации поверхности отклика ПО «Gnipplot».

Приведены параметры состояния прибрежной окружающей среды (протяженность, пространственное положение и его изменение во времени), оценены изменения береговой линии с течением времени (соотношение стабильности, расширения и отступления, подверженность эрозии и разрушению прибрежных экосистем), временные, а также пространственные различия этих изменений.

Реализация предложенной методологии обеспечит создание комплексной базы данных прибрежной зоны на примере Большого Сочи, что позволит на новом уровне производить геоэкологический мониторинг природно-технических систем для повышения качества управления прибрежными зонами.

***Ключевые слова.** Береговая линия, устойчивое развитие прибрежной территории, мониторинг прибрежных территорий, опасные природные явления.*

Для карты высот местности с построением изолиний использованы данные радиолокационной топографической миссии (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM). Это международный исследовательский проект по созданию цифровой модели высот Земли с помощью радарной топографической съёмки её поверхности. Полученная цифровая модель охватила 80% земной суши (от 56° ю. ш. до 60° с. ш.).

Источниками информации о положении береговой линии в разные годы стали архивные данные дистанционного зондирования Corona, снимки искусственных спутников Земли (ИСЗ): Spot-1, Sentinel 2, Landsat 8-9.

На первом этапе исследования формировалась карта высот местности, а также выделение профиля береговой линии производилось двумя способами: автоматическим и полуавтоматическим. Прежде всего, вычерчивалась линия бровки обрывов береговой зоны, а также топографической карты высот. Затем, данные о рельефе обрабатывались в автоматизированной системе геопространственного научного анализа (System for Automated Geoscientific Analyses). В ГИС «SAGA» (хорошо зарекомендовавшая себя при решении задач гидрологии [1]) формировалась интерактивная карта цифровой модели высот (с шагом изолиний = 15 м). После объединения был получен один фрагмент карты с данными о пространственном и высотном положении. В результате получен набор изолиний для региона Сочинского Причерноморья, представленная на рисунке 1.



Рис. 1. Изолинии поверхности в масштабе 1:100 000

На втором этапе полученные данные выгружались в ПО ArcGIS, в котором, производилось сравнение береговых линий, построенных автоматическим и ручным способами.

При использовании ручного способа построение производилось в среде ArcGIS. Исходными данными служили интерактивные базовые топографические карты, карта Генштаба. Вычерчивание линии пляжа производилось созданием векторных слоев для отдельных снимков с общим

временным интервалом 36 лет. Наложение данных слоев позволило, вдоль всего исследуемого профиля, оценить динамику смещений береговой линии во времени (в соответствии с рисунком 2). Кроме того, сравнивалось качество векторизации растров ручным и автоматическим способами.

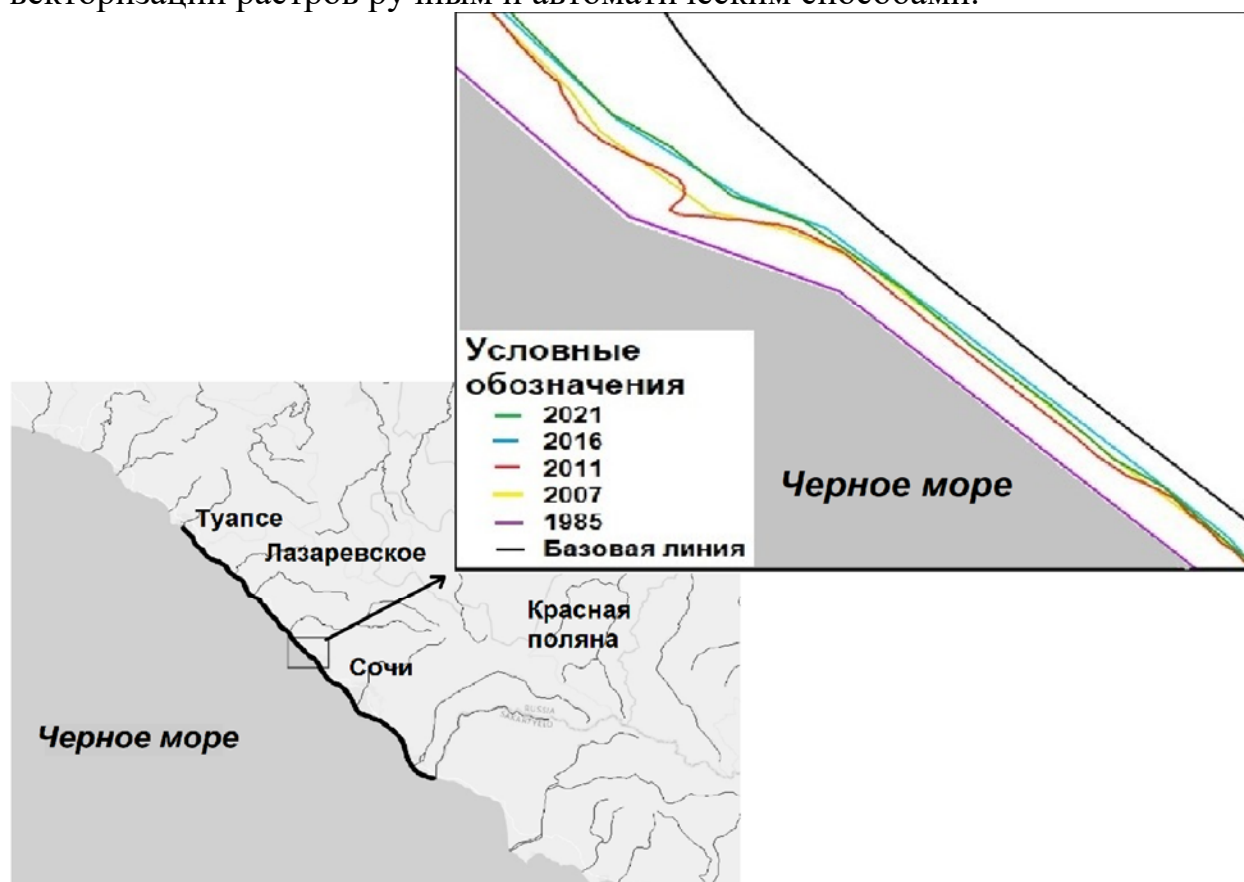


Рис. 2. Эволюция береговой линии, а также качество векторизации автоматическим и ручным способами

На следующем этапе, на основе космических снимков и топографической карты 2022 года, производился сравнительный анализ ручного и автоматического способов построения береговой линии. На участке прибрежной территории Большого Сочи от реки Псоу до реки Туапсе, протяженностью по прямой 109 км.

Максимальное расхождение при использовании ручного способа составляет 12,5 м, а минимальное 0,1 м, тогда как при автоматическом максимум – 129,06 м и минимум – 4,5 м. Исходя из этого сделан вывод, что ручной способ является более предпочтительным за счет своей точности по сравнению с автоматическим.

На исследуемом участке для анализа многолетней динамики и скорости пространственно-временного смещения береговой линии Большого Сочи произведено вычерчивание береговых линий с 1985 по 2021 гг., через каждые $7\text{ км} \pm 500\text{ м}$ закреплено 16 точек (пикетов), в которых измерялись величины смещений относительно базовой. За основу базовой линии была взята железная дорога вдоль исследуемого участка. Результаты представлены на рисунке 3.

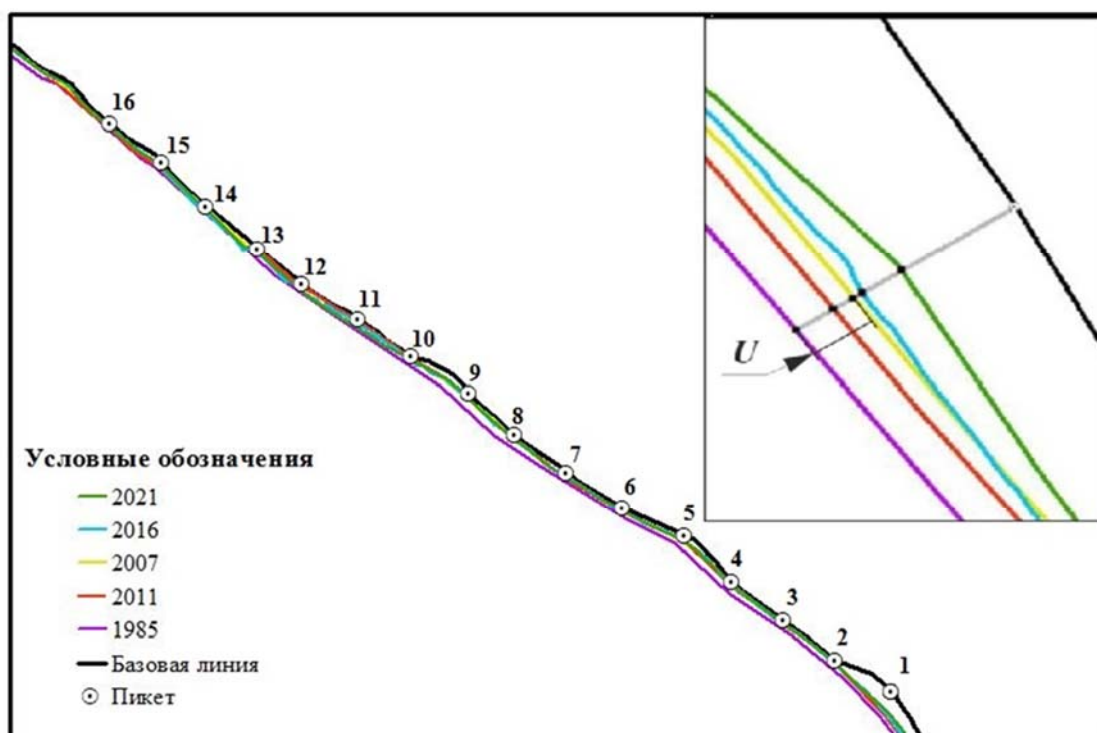


Рис. 3. Схема исследуемого участка

Максимальное смещение в сторону суши за весь рассматриваемый период 1985-2021 гг. составляет 60 м для пикета 2, а минимальное – 1 м для пикета 13, так как присутствуют участки, для которых не происходило смещение в определенные периоды времени. На некоторых участках наблюдается смещение береговой линии в сторону моря и соответственно наращивание ширины пляжа. Максимальное смещение в сторону моря в период 2011-2016г составляет 24м для пикета 11, а минимальное равно 2 м для пикета 6 и 10 (Рисунок 4). В многолетней динамике присутствует ярко выраженная неравномерность протекания исследуемого процесса во времени.

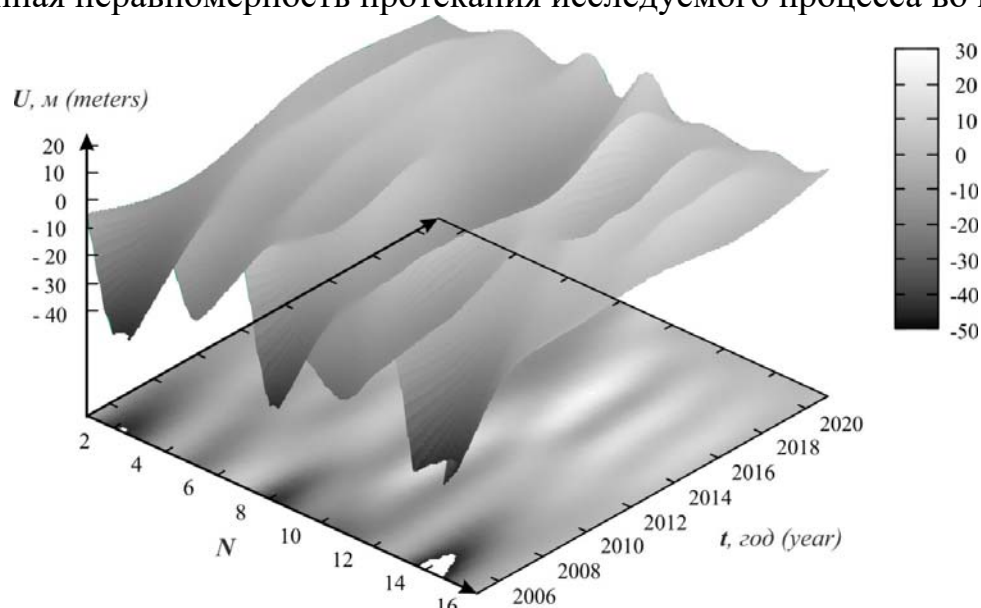


Рис. 4. Смещения береговых линий (U) относительно базовой линии для реперных точек (N) на исследуемом участке с 1985 по 2021 гг.

Далее вычислили скорость абразии вдоль всего исследуемого профиля участка Сочинского Причерноморья. Выяснено, что суммарное смещение береговой линии на протяжении всего исследуемого участка за весь период с 1985 по 2021 гг., составляет 628 м. Суммарная величина отступления береговой линии в сторону суши за 36 лет на протяжении всего исследуемого профиля составляет 386 метров, однако стоит отметить, что в период с 2011-2016 гг. происходило нарастание берега суммарно на всем протяжении на 27 метров в сторону моря.

Среднее смещение береговой линии протяженностью 109 км за 36 лет составляет 24,2 м, и соответственно, средняя скорость абразии для всего временного промежутка равна 0,67 м/год.

Далее для более детального исследования был взят экспериментальный участок береговой линии, расположенный на территории Лазаревского района между точками №8 и №9, общая протяженность участка 8 км. Произведено его деление на 16 равных участков по 500 метров. Затем произведено измерение величины его смещения относительно базовой линии за период с 1985 по 2021 гг.

Вычислено, что средняя скорость абразии на опытном участке равна 0,97 метров в год, при этом также стоит отметить, что в расчет взята как положительная, так и отрицательная абразия. Поверхность отклика для влияния времени и протяженности побережья на скорость смещения береговой линии представлена на рис. 5

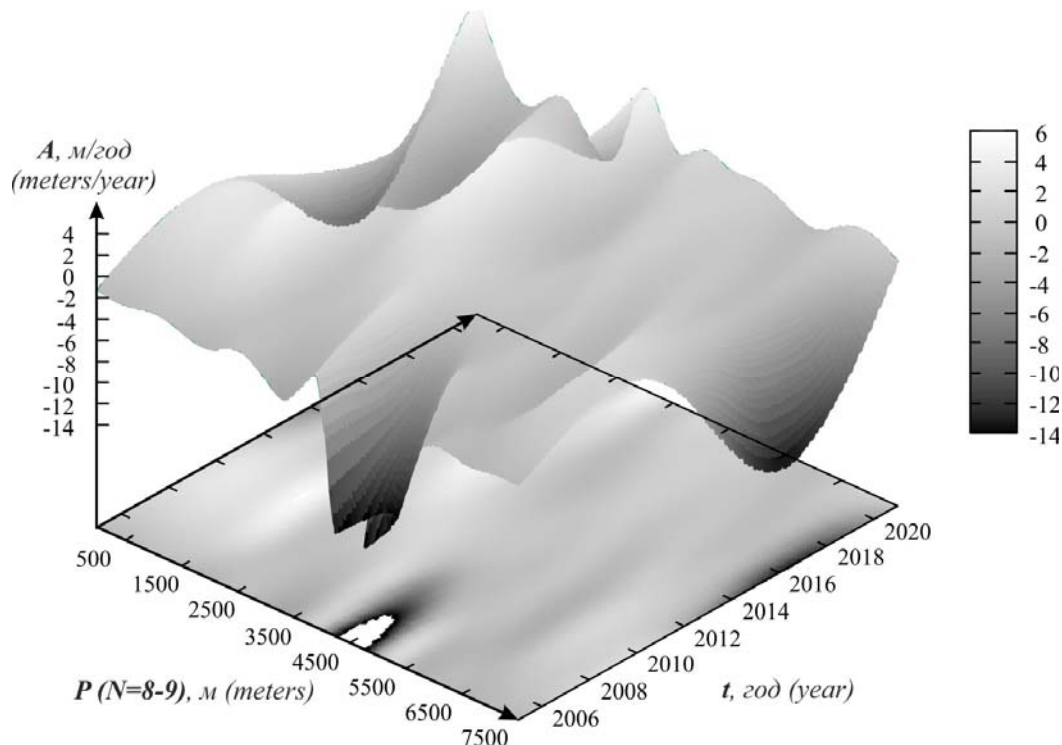


Рис. 5. Скорость смещения линии берега (А) относительно реперных точек (Р отмеченных внутри участка N от 8 до 9) за исследуемый период

Из анализа поверхности представленной на рис. 4 следует, что даже на небольшой протяженности исследуемого участка наблюдается крайне неравномерная динамика скорости смещений береговой линии.

Из анализа полученных данных следует, что суммарное смещение береговой линии на локальном участке N(8-9) за 36 лет наблюдений может более чем на 50 % (1,04 против 0,67 м/год) превышать данный параметр для всех 109 м исследуемого участка береговой линии. Данный факт актуализирует необходимость поиска оптимального шага разбиения береговой зоны на экспериментальные участки для повышения качества получаемых прогнозов.

Список литературы

1. Abu Zed A.A., Soliman M.R., Yassin A.A. Evaluation of using satellite image in detecting long term shoreline change along El-Arish coastal zone // Egypt, Alexandria Engineering Journal. – 2018. – V. 57(4). P. 2687–2702.

2. Ali G., Sajjad M., Kanwal S., Xiao T, KhalibSh, Shoaib F., Gul H.N. Spatial–temporal characterization of rainfall in Pakistan during the past half-century (1961–2020) // Scientific Report. – 2021. – Vol. 11, No 1. 6935.

3. Montano J., Coco G., Antolinez J.A.A., Beuzen T., Bryan K.R., Cagigal L., Castelle B., Davidson M.A., Goldstein E.B., Ibaceta R., Idier D., Ludka B.C., Masoud-Ansari S., Méndez F.J., Murray A.B., Plant N.G., Ratliff K.M., Robinet A., Rueda A., Sénéchal N., Simmons J.A., Splinter K.D., Stephens S., Townend I., Vitousek S., Vos K. Blind testing of shoreline evolution models. // Scientific Reports. – 2020. No.10. Article No 2137.

4. Chicco D., Warrens M.J., Jurman G. The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. // Peer J. Computer Science. – 2021. – Article No 7:e623.

5. Legates D.R., McCabe Jr., G.J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. // Water Resources Research. – 1999. – Vol. 35. No.1. – pp. 233–241.

6. Яицкая Н.А., Бригида В.С. Геоинформационные технологии при решении трехмерных геоэкологических задач: пространственная интерполяция данных // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12 (1): – С. 162—173.

**СТРУКТУРА И БИОДЕГРАДИРУЕМОСТЬ
ПЕКТИНОСОДЕРЖАЩИХ ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР**
З.Н. Хатко, С.К. Кудайнетова, Т.А. Белявцева, Д.М. Бегеретова

znkhatko@mail.ru

*Майкопский государственный технологический университет,
Россия, г. Майкоп*

Аннотация. В данной статье исследованы структуры и биodeградируемость инновационных пектиносодержащих пленочных структур пищевого и косметического назначения для расширения области применения. Установлено, что они стабильны, сохраняют свою форму, структуру и имеют технологический потенциал, в том числе для разработки капсулированных форм, в основе которых лежат и механизмы пленкообразования, для применения в различных отраслях народного хозяйства.

Ключевые слова. Структура, биodeградируемость, инновационные пектиносодержащие пленочные структуры.

Как известно, под природопользованием, с научной точки зрения, понимают комплексные меры человечества по рациональному использованию природных ресурсов – возобновляемых и невозобновляемых.

Среди принципов рационального природопользования значится принцип безотходности – замкнутый производственный цикл, когда одно производство перерабатывает или утилизирует отходы другого.

Реализации таких подходов посвящены программные документы федерального уровня: Доктрина продовольственной безопасности РФ, утвержденная Указом Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20; Пищевая биотехнология с подпрограммами - «Глубокая переработка пищевого сырья», «Функциональные пищевые продукты, включая лечебные, профилактические и детские», «Пищевые ингредиенты, включая витамины и функциональные смеси» и др. [5].

К основным проблемам, характерным для всех отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности, относятся, в том числе: слабая эффективность используемых технологий, не обеспечивающих глубокую и комплексную переработку сельскохозяйственного сырья; низкий уровень конкурентоспособности продукции российских производителей перерабатывающей промышленности на внутреннем и внешнем продовольственных рынках.

В последние десятилетия предметом интенсивных исследований являются полимеры природного происхождения. Биополимеры используют в качестве пищевых пленок, которые инкапсулируют пищевые продукты. Эти пленки могут содержать антиоксиданты, ферменты, минеральные вещества, витамины и др. Потребляемая пища, инкапсулированная в биополимерную пленку, может поставлять эти вещества в организм [2].

Среди них особо выделяются такие полимеры как пектины, функциональные ингредиенты, представляющие собой многофункциональные биологические активные вещества [3]. Это обусловлено комплексом их уникальных свойств – способности к биодеструкции, гипоаллергенностью, совместимостью с тканями живых организмов и др. Указанные свойства определяют широкое применение пектинов в косметической, медицинской, пищевой, текстильной промышленности, сельском хозяйстве и водоочистке. Перспективным является применение систем на основе пектина в биоинкапсулировании – получении полимерных систем в виде микрокапсул с целью адресной доставки, хранения, защиты и контролируемого высвобождения как высокомолекулярных, так и низкомолекулярных биологически активных соединений [1,4].

Производство пектинов и пектинопродуктов – это технологии рационального природопользования – соответствуют, актуальным на современном этапе развития общества, подходам в организации пищевых производств, обеспечивающих эффективную переработку пищевого сырья, использование отходов основного производства в качестве вторичных ресурсов (пектиносодержащего сырья - яблочные и цитрусовые выжимки, свекловичный жом и др.) для получения целевых продуктов и структур заданного состава и различного народнохозяйственного применения [3].

Цель работы заключалась в исследовании структуры и биodeградируемости инновационных пектиносодержащих пленочных структур пищевого и косметического назначения для расширения области применения.

В решении данной проблемы применялся комплексный подход, включающий: формирование высокотехнологичных пектиносодержащих структур, развитие механизмов защитного влияния на организм человека, анализ функционирования технологических процессов, производство средств с заданными свойствами.

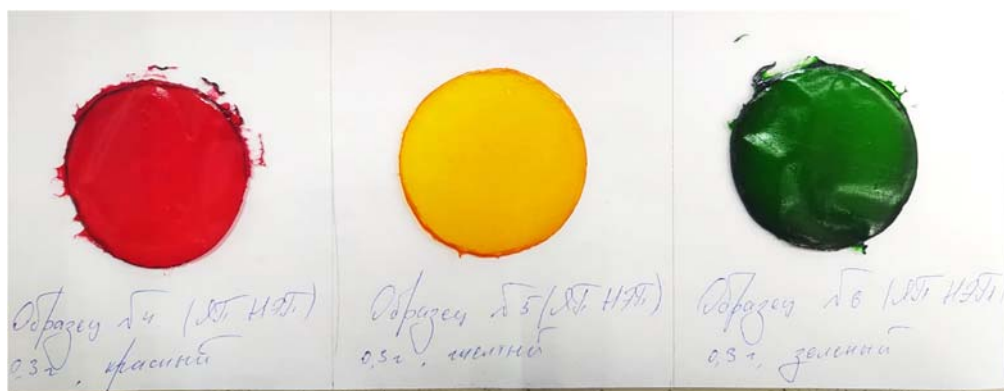
Характеристика используемых пектинов приведена в таблице 1.

Таблица 1

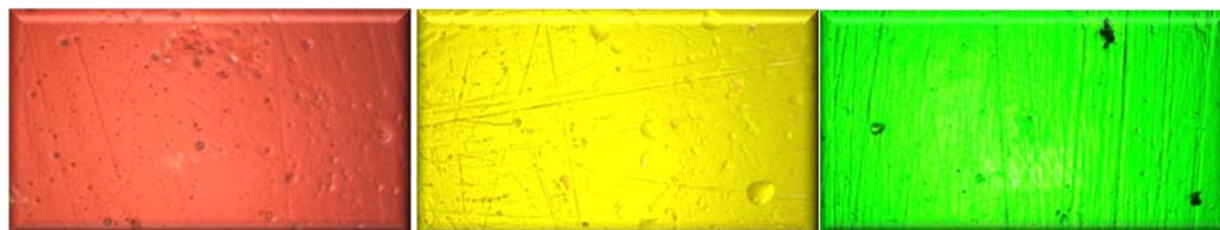
Характеристика пектиновых веществ

Вид пектинов	Производитель	Степень этерификации, %	pH 2 %-го раствора
Яблочный низкоэтерифицированный	Китай	45...49	3,8...4,5
Яблочный высокоэтерифицированный	Китай	62...66	2,8...3,8

Разработаны пищевые пектиносодержащие пленкообразующие структуры, содержащие пищевые гелевые красители (рисунок 1).



а



б

Рис. 1. Пищевые пленкообразующие структуры, содержащие пищевые гелевые красители: внешний вид (а), микроструктура (б)

Растворимость (биodeградируемость) пищевых пектиносодержащих пленочных структур приведена в таблице 2.

Таблица 2

Растворимость (биodeградируемость) пищевых пектиносодержащих пленочных структур

Пектин	Растворимость (биodeградируемость) пленок с пищевым гелевым красителем, %		
	красный	желтый	зеленый
Яблочный низкоэтерифицированный	97,06	96,53	99,39
Яблочный высокоэтерифицированный	99,56	99,83	99,01

Скорость растворения пленки варьировала от 0,0047 до 0,0061 г/мин.

Разработаны косметические пектиносодержащие пленочные структуры в виде маски и патчей, растворимость (биodeградируемость) которых представлена в таблице 3.

Таблица 3

Растворимость (биodeградируемость) косметических пектиносодержащих пленочных структур

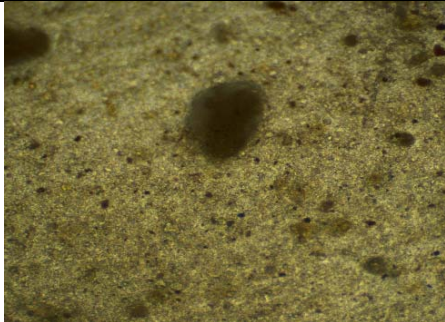
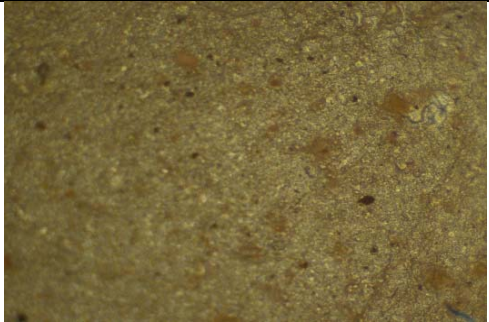
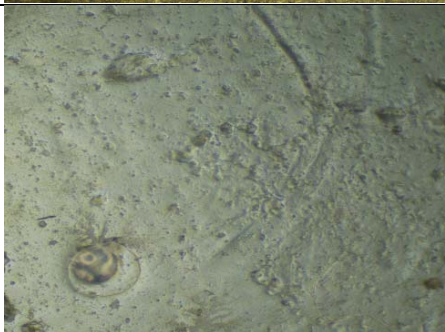
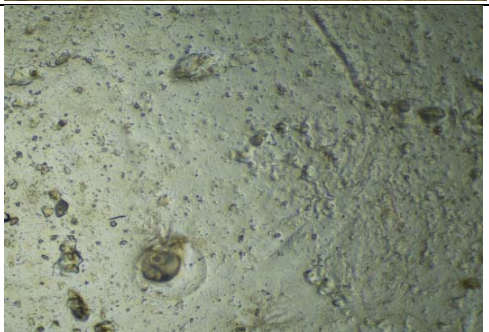
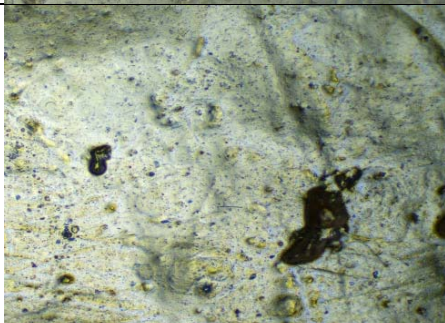
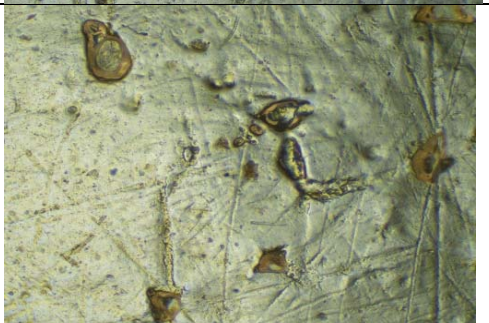
Пектин	Растворимость (биodeградируемость) косметических пленок, %		
	Маска-пленка с очищающим эффектом	Патчи против угревой сыпи	Патчи с тонизирующим эффектом
Яблочный низкоэтерифицированный	99,80	98,3	99,01
Яблочный высокоэтерифицированный	99,91	99,45	99,00

Скорость растворения пленки варьировала от 0,0113 до 0,0975 г/мин.

Косметические пектиносодержащие пленочные структуры увлажняли и выдерживали в течение 10, 30 и 60 мин. (таблица 4).

Таблица 4

Косметические пектиносодержащие пленочные структуры после увлажнения и выдержки

Наименование	Продолжительность выдержки после увлажнения, мин.	
	10	60
Маска-пленка с очищающим эффектом		
Патчи против угревой сыпи		
Патчи с тонизирующим эффектом		

Таким образом, исследование структуры и биodeградируемости инновационных пектиносодержащих пленочных структур пищевого и косметического назначения показало, что они стабильны, сохраняют свою форму, структуру и имеют технологический потенциал, в том числе для разработки капсулированных форм, в основе которого лежат и механизмы пленкообразования, для применения в различных отраслях народного хозяйства.

Список литературы

1. Патент РФ № 2694956 Пленкообразующая композиция пищевого назначения / З.Н. Хатко, А.А. Ашинова; патентообладатель: Майкопский государственный технологический университет, опубл. 2019.

2. Семчиков Ю.Д., Жильцов С.Ф., Зайцев С.Д. Введение в химию полимеров: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012. – 224 с.

3. Хатко З.Н. Свекловичный пектин полифункционального назначения: свойства, технологии, применение: монография. Монография. - Майкоп: изд-во МГТУ, 2012. - 244 с.

4. Хатко З.Н., Ашинова А.А. Пектиносодержащие пленочные структуры. Монография. – Майкоп. – Майкоп: изд-во МГТУ, 2019. – 112 с.

5. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106>.

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЬБРУССКОГО РАЙОНА
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

¹Б.М. Хучунаев, ²О.О. Дахова, ¹З.М. Керефова, ¹Н.В. Юрченко
buzgigit@mail.ru; dakhva@rambler.ru; zknyaz-kbsu@mail.ru;
ynatalya64@mail.ru

¹Высокогорный геофизический институт, Россия, г. Нальчик

*²Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова,
Россия, г. Нальчик*

***Аннотация.** В данной научной работе рассмотрено геоэкологическое состояние одного из районов Кабардино-Балкарии. В Эльбрусском районе расположены хвостохранилище и отстойник Тырнаузского вольфрамо-молибденового комбината (ТВМК). В работе исследовано влияние комбината на окружающую природную среду. Результаты исследования приведены в виде таблиц и рисунков.*

***Ключевые слова.** Водные объекты, гигиенические нормативы, загрязняющие вещества, земельные ресурсы, окружающая среда, предельно-допустимая концентрация, экологическая опасность.*

Введение. Взаимодействие человека и природы особо остро проявляются в экологических проблемах горнодобывающей промышленности. Технологические процессы горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности загрязняют окружающую природную среду. При эксплуатации месторождений происходит нарушение целостности ландшафта, загрязнение литосферы, сброс сточных вод в водоемы, выбросы пыли и газов, различного химического состава, в атмосферу, что негативно влияет не только на окружающую среду, но и на здоровье человека.

Эльбрусский район расположен в юго-западной части Кабардино-Балкарской Республики. Площадь территории района составляет 1850,4 км². Рельеф территории района – горный. Основной земельный массив расположен в высокогорной зоне, непригодный для проживания людей. Через территорию района проходят Главный Кавказский хребет и Боковой хребет. Также на территории района находится самая высокая точка России – гора Эльбрус [1-3]. Экологическое состояние в районе Приэльбрусья относительно благополучное.

Рассматриваемая территория расположена в Предкавказской восточноклиматической области, которая охватывает высокогорье. Условия высокогорья оказывают влияние на климат, создавая вертикальную климатическую зональность, неравномерное распределение осадков и температур, сильное прогревание воздуха в долинах и возникновение ветров и фенів.

Климат района формируется под воздействием сезонной циркуляции воздушных масс, при этом велико влияние горного рельефа. Горные хребты задерживают или отклоняют воздушные потоки.

В Эльбрусском районе расположены месторождения различных минерально-сырьевых ресурсов. Здесь находится крупнейшее Тырныаузское вольфрамо-молибденовое месторождение, разрабатывавшееся с 1940 года. Недра территории городского поселения Тырныауз (административный центр Эльбрусского района) богаты месторождениями строительного гипса, различного вида мрамора (в том числе чёрного), высокопрочных гранитогнейсов, облицовочных гранитов, талька, полевошпатного сырья, кровельных сланцев, аплита (фарфорового камня), аргаллитовых глин, извести и других полезных ископаемых.

Целью данной работы является исследование территории Эльбрусского района и выявление влияния хвостохранилища ТВМК на окружающую природную среду.

Объекты хвостохранилища расположены в ущелье речки Гижгит в нижнем течении, левого притока р. Баксан. Высота намывной дамбы 168 м, состоит из песков и отходов производства. Этот район является сейсмоопасным.

Участок работ находится в районе Былымского озера (отстойника ТВМК), что расположено в 2,7 км от западной окраины с. Былым. Участок представляет собой наклонную площадку береговой линии озера. Селение расположено в восточной части Эльбрусского района, на правом берегу реки Баксан. Находится в 16 км к северу от районного центра города Тырныауз. Через село проходит федеральная трасса «Баксан-Эльбрус», ведущая в Национальный парк «Приэльбрусье» и восточный склон горы Эльбрус [4-7].

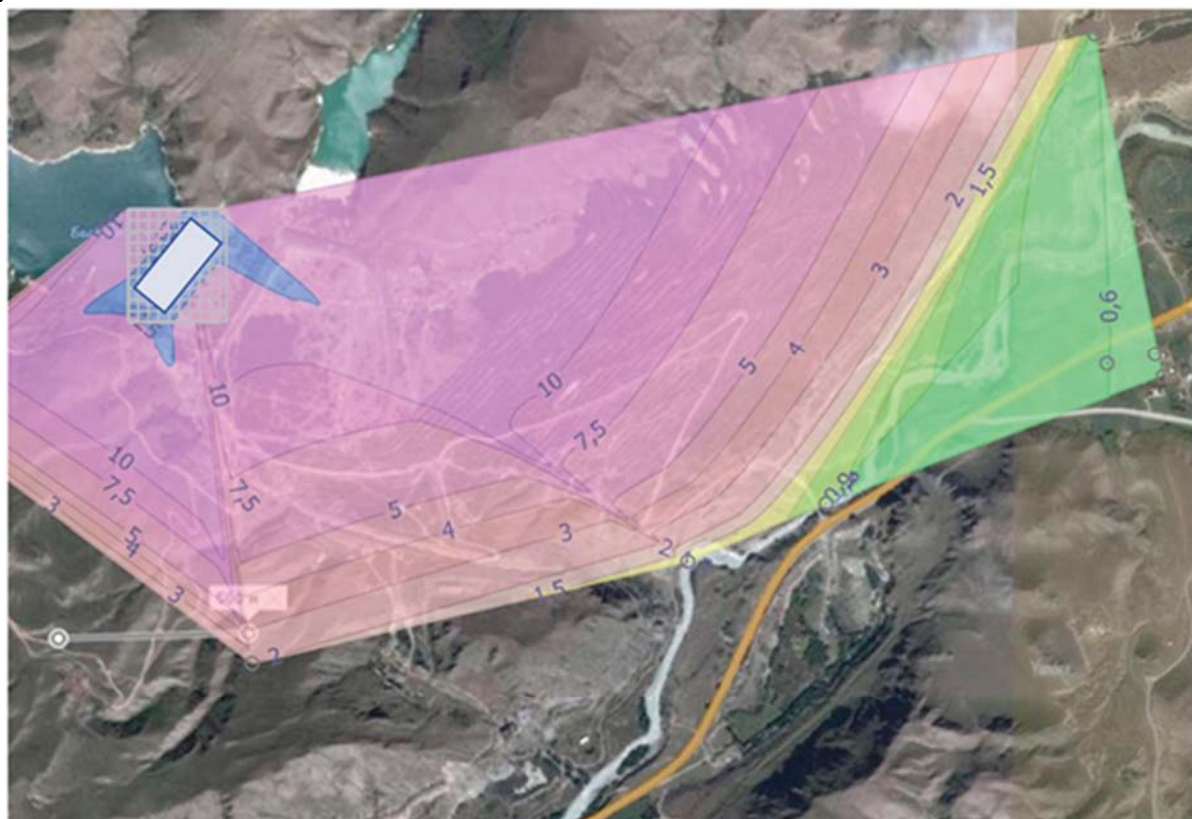
Методы исследования. Расчет выявления загрязняющих веществ был проведен с применением методических пособий по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности [7-8].

Расчет рассеяния загрязняющих веществ был проведен при помощи программных средств УПРЗ «Эколог».

Выбросы пыли от хвостохранилища состоят из многих веществ. Сложность нормирования многокомпонентных пыли, образующихся на различных этапах металлургического производства, заключается в том, что химический состав пыли колеблется в широких пределах и имеет значительные различия вследствие специфики технологических процессов и иных факторов. При нормировании данной пыли необходимо учитывать токсичность и содержание каждого компонента и установленные для них гигиенические нормативы.

Результаты и обсуждения. Комбинат не работает с 2001 года и в хвостохранилище перестали поступать продукты отмывов руды. Это привело к обмелению озера и как следствие увеличению сухого пляжа озера, на дне которого находятся пылевидные элементы (отходы ТВМК), которые ветрами разносятся на прилегающие пастбищные угодья и к населенным пунктам, тем самым загрязняя пастбища и атмосферный воздух прилегающей территории.

Расчет рассеяния пыли неорганической выполненного при помощи программных средств серии УПРЗ «Эколог» версия 4,5 приводится на рисунке 1.



Масштаб 1:20000
Scale 1:20000

Цветовая схема
Color scheme

□ 0 и ниже ПДК / МРС	□ (0,05 - 0,1] ПДК / МРС	□ (0,1 - 0,2] ПДК / МРС	□ (0,2 - 0,3] ПДК / МРС
□ (0,3 - 0,4] ПДК / МРС	□ (0,4 - 0,5] ПДК / МРС	□ (0,5 - 0,6] ПДК / МРС	□ (0,6 - 0,7] ПДК / МРС
□ (0,7 - 0,8] ПДК / МРС	□ (0,8 - 0,9] ПДК / МРС	□ (0,9 - 1] ПДК / МРС	□ (1 - 1,5] ПДК / МРС
□ (1,5 - 2] ПДК / МРС	□ (2 - 3] ПДК / МРС	□ (3 - 4] ПДК / МРС	□ (4 - 5] ПДК / МРС
□ (5 - 7,5] ПДК / МРС	□ (7,5 - 10] ПДК / МРС	□ (10 - 25] ПДК / МРС	□ (25 - 50] ПДК / МРС
□ (50 - 100] ПДК / МРС	□ (100 - 250] ПДК / МРС	□ (250 - 500] ПДК / МРС	□ (500 - 1000] ПДК / МРС
□ (1000 - 5000] ПДК / МРС	□ (5000 - 10000] ПДК / МРС	□ (10000 - 100000] ПДК / МРС	□ выше 100000 ПДК / МРС

Рис. 1. Рассеивание материала сухого пляжа хвостохранилища комбината

Содержание химических элементов в отходах ТВМК приведены в таблице 1.

Для оценки влияние хвостохранилище ТВМК близ расположенных водных объектов были проведены исследования поверхностей рекультивированных и нереккультивированных участков хвостохранилищ ТВМК, прилегающих к ним пастбищ и сельхозугодий, а также воды в р. Баксан и в охранных озерах, с целью оценки степени их возможного загрязнения тяжелыми металлами и канцерогенными элементами из захороненных

промышленных отходов ТВМК. Хвостохранилище комбината приведено на рисунке 2.

Таблица 1

Содержание химических элементов в отходах ТВМК

№ п/п	Определяемые показатели	Результаты исследований	Гигиенический норматив
1	Цинк, валовое содержание, мг/кг	237,0	Не более 20
2	Свинец, валовое содержание, мг/кг	19,8	Не более 130
3	Мышьяк	33,4	Не более 10
4	Никель, мг/кг	32,3	80
5	Медь, валовое содержание, мг/кг	55,2	Не более 132
Донные отложения			
1	Цинк, валовое содержание, мг/кг	446,7	Не более 20
2	Свинец, валовое содержание, мг/кг	31,8	Не более 130
3	Никель	36,3	80
4	Ванадий	97,4	150



Рис. 2. Озеро Гижгит (хвостохранилище комбината)

Аналитические исследования показали, что вода в большом, частично проточном, защитном «озере» обогащена по сравнению с фоновой пробой: марганцем (Mn), медью (Cu) - в 2-3 раза; молибденом (Mo) - в 5-10 раз; кадмием (Cd) в 3-6 раз и вольфрамом (W) - в 2-5 раз.

Высокая концентрация соединений тяжёлых металлов в воде р. Баксан, превышающая ПДК, обусловлена близостью минеральных руд на водосборных территориях, что подтверждается многолетними наблюдениями

(молибдена - 3,4-16 ПДК, железа до 2,3 ПДК, алюминия 11,8-16,5 ПДК, меди 1,2 -1,5 ПДК).

Качество воды выше г. Тырнауз удовлетворительное по всем гидрохимическим показателям [3]

Состояние почв и дернины сельхозугодий поселка Былым в отношении элементов, которые могут быть привнесены из материала хвостохранилищ, является удовлетворительным. Это может быть объяснено тем, что поселок находится на расширении долины р. Баксан, где отсутствуют перегибы склонов.

На пастбищах района ситуация в отношении элементов, которые могут быть привнесены из материала хвостохранилищ, является удовлетворительной. Отмечены единичные пробы с большим содержанием молибдена, вольфрама и олова, с превышением ПДК примерно в 2 раза меди и цинка. Эти пробы были отобраны в участках резкого перегиба рельефа, где мог накапливаться переносимый ветром материал хвостохранилищ.

В зимний период были отобраны пробы воды из-под льда отстойника. Результаты анализа проб воды приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Концентрация тяжелых металлов в водах отстойника ТВМК			
№	Определяемые показатели	Результаты исследований, [мг/л]	Гигиенический норматив, [мг/л]
1	2	3	4
1	Свинец	менее 0,0005	не более 0,01
2	Мышьяк	менее 0,001	не более 0,01
3-	Кадмий	менее 0,0005	не более 0,001
4	Ртуть	менее 0,0005	не более 0,0005
5	Медь	менее 0.0005	1
6	Цинк	менее 0.001	1
7	Никель	менее 0,003	0.02
8	Хром (6+)	менее 0,001	не более 0,05
9	Молибден	менее 0,0025	не более 0,25
10	Магний	8,5	не более 50
11	Кальций	11,0 ± 1,1	не нормируется

Как видно из таблицы, концентрации тяжелых металлов в воде из-под льда из вод отстойника не превышает гигиенические нормативы, следовательно, ее можно сбрасывать в водные объекты.

Выводы. Было выявлено, что концентрация загрязняющих веществ в районе превышает ПДК в 1,3 раз, концентрация загрязняющих веществ в отдельных местах, близко расположенных к хвостохранилищу, пастбищах и водных объектах превышает допустимые нормативы. Для уменьшения вредного воздействия отходов и отстойника комбината рекомендуется проведение рекультивации сухого пляжа хвостохранилища, который образуется при отступлении вод отстойника и обеспечение сброса вод отстойника в зимний период, когда поверхность воды его покроется льдом.

Также необходимо, постоянно, контролировать концентрации тяжелых металлов в сбрасываемых водах.

Список литературы

1. Каирова Л.Л., Дахова О.О., Хучунаев Б.М., Куповых Г.Б. Геоэкологическое картографирование Кабардино-Балкарской Республики // Известия высших учебных заведений, Северо-Кавказский регион, серия: Естественные науки, №1, 2020. – С.47-52.

2. Дахова О.О., Хучунаев Б.М., Мустафаева З.А., Куповых Г.В., Даов И.С. Экологические проблемы Кабардино-Балкарской Республики // Известия высших учебных заведений Северо-Кавказский регион, серия: Естественные науки, №4, 2018 – С. 72-76.

3. Дахова О.О. Экогеохимическое состояние аквальных ландшафтов (на примере реки Баксан) // Проблемы региональной экологии, № 4, 2022. – С. 58-63.

4. Uzdenova A.V., Kanametova F.E., Dakhova O.O., Tatarenko N.V., Miskarova R.G., Otarova A.S., Gergokova Z.Zh Natural risks in the Kabardino-Balkar Republic's landscape zones // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 663, Issue 1, 29 November 2019.

5. Huchunayev B. M., Dakhova O.O., Bekkiyeva S.A., Hatefova S. B Impact of the Slurry Pond of the Tyrnauz Tungsten-Molybdenum Complex on the Mountain Territories Environment // Materials and Technologies in Construction and Architecture, Vol. 931, 2018. – P. 1070-1075.

6. Дахова О.О., Татаренко Н. В., Кумыкова А. М. Агроэкологическое состояние почв КБР // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы опустынивания: динамика, оценка, решение» (13-14 декабря 2019г, г. Самарканд, Узбекистан), 2019. – С. 200-206.

7. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, Интеграл, г. Санкт – Петербург, 2012 г.

8. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов, НПО «СОЮЗСТРОМЭКОЛОГИЯ», Новороссийск, 1989 г.

РЕАБИЛИТАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, НАРУШЕННЫХ НАКОПИТЕЛЯМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ОТХОДОВ ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА)

Е.А. Цешковская

elena_tsesh@mail.ru

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова

Казахстан, г. Караганда

Аннотация. Реабилитация земель, нарушенных в результате деятельности горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленности, является одним из актуальных научных вопросов и прикладных природоохранных мероприятий. В статье рассмотрены возможности предотвращения дальнейшей деградации земель и восстановления их утраченной хозяйственной ценности. Для решения поставленной задачи проанализированы возможные пути реабилитации на примере накопителей отходов обогащения Улытауского региона Республики Казахстан.

Ключевые слова. Восстановление, рекультивация, отвалы, хвостохранилище, биологический этап, нарушенные территории.

Горнодобывающая деятельность связана с накопителями отходов добычи и переработки различных руд, для которых изымаются значительные площади земель сельскохозяйственного назначения путем их перевода в земли промышленности. Кроме того, воздействие на компоненты окружающей среды сопровождаются процессами пыления отвалов и загрязнения прилегающих территорий.

Цель настоящего исследования – поиск оптимального решения восстановления и сохранения ландшафтов, нарушенных горнодобывающей промышленностью. В качестве объектов исследования выбраны территории хвостохранилищ обогащения медных руд. Рассматриваемые техногенные территории находятся в Улытауского региона Центрального Казахстана (до июня 2022 года территория входила в состав Карагандинской области).

Помимо крупного промышленного центра территория Центрального Казахстана известна благодаря Сарыарке (желтый хребет), называемой также еще Казахским мелкосопочником, представляющем собой степь с небольшими сопками. Таким образом, задача восстановления нарушенных территорий помимо экологической направленности имеет и прямое социальное, культурное и историческое значение не только для нынешнего, но и для будущих поколений.

Исследуемые накопители представляют собой хвостохранилища наливного типа. Хвосты в виде пульпы направляются в ложе накопителя, где твердая фаза хвостов осаждается и складывается. Жидкая фаза отстаивается, осветленная вода возвращается на фабрику для использования в технологическом процессе. Хвосты обогащения (первоначально – технологическая пульпа) представляют собой смесь тонкозернистого

пылеватого песка и супеси сизовато-серого и чёрного цвета. В составе отвальных хвостов содержатся ряд химических элементов, преобладающее значение содержания приходится на SiO_2 , основной состав отходов представлен на рисунке 1.

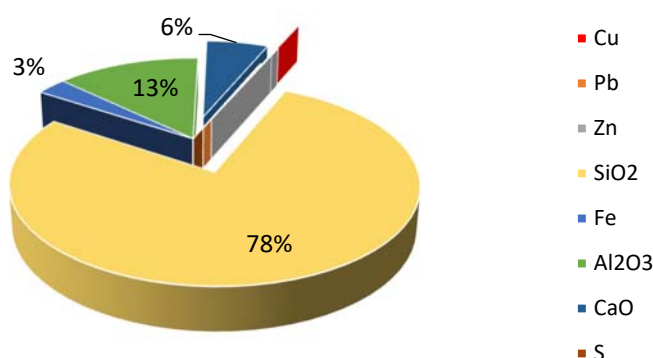


Рис. 1. Усредненный состав отходов обогащения

Падение уровня воды в накопителе вызывает высыхание мелкодисперсных фракций отходов и их пыление. Высокие температуры, малое количество осадков и сильный ветер, характерные для исследуемого региона ускоряют процессы загрязнения атмосферы и прилегающих земель.

Техногенно-нарушенные территории проходят в своем развитии две фазы: техногенного формирования и посттехногенную фазу развития. Ведущими механизмами трансформации техногенных ландшафтов в приближенные к природным являются биологические процессы, приводящие к восстановлению и развитию биогеоценоза [1].

Рассматриваемые промышленные отвалы по происхождению относятся к отвалам наливного типа, по возрасту – средневозрастные (свыше 25 лет), по форме - чашевидные, по высоте средние порядка 25 м. По механическому составу поверхностного субстрата - крупнопылевидные (частицы до 0,1 мм), по утилизации – не перерабатываемые в настоящее время.

Восстановление территорий накопителей отходов необходимо решать в двух направлениях: исключение пыления сухих пляжей на поверхности хвостохранилищ и с откосов дамб; дальнейшая рекультивация обработанных участков хвостохранилищ, на которых не будет дальнейшего намыва хвостов. С этой целью, рассматривались различные методы снижения пыления: химические, биологические, аэродинамические, гидротехнические, механические и технологические [2, 3, 4, 5]. Наиболее эффективными для изучаемых нарушенных территорий являются последовательно проводимые химический и биологический методы.

Химический метод включает в себя использование реагентов для орошения пылящих поверхностей. Для исключения пыления химическим методом применялись реагенты – покрытия на основе полимеров. При нанесении реагентов образуется пленка, которая временно покрывает сухие участки и не дает подниматься пыли. После нанесения экспериментальных

пылеподавляющих покрытий проводился мониторинг состояния участков. Пылевыведение на обработанных реагентом участках не происходило.

Для проведения биологического этапа рекультивации, в качестве заменителя плодородного слоя почвы, были опробованы биологические материалы в виде биоматов (рис.2). Применение биоматов было вызвано отсутствием плодородного слоя почвы на накопителях отходов. Кроме того, не имелось возможности доставки потенциально-плодородной почвы с каких-либо иных территорий в данном районе. Имеющийся техногенный грунт, представленный хвостами обогащения, не мог служить растительным субстратом – заменителем почвы для посадки растений.

При этом также помимо замены отсутствующей почвы на накопителях, биоматериал способствует формированию почвенного слоя за счет последующего разложения природных волокон, входящих в состав биомата.

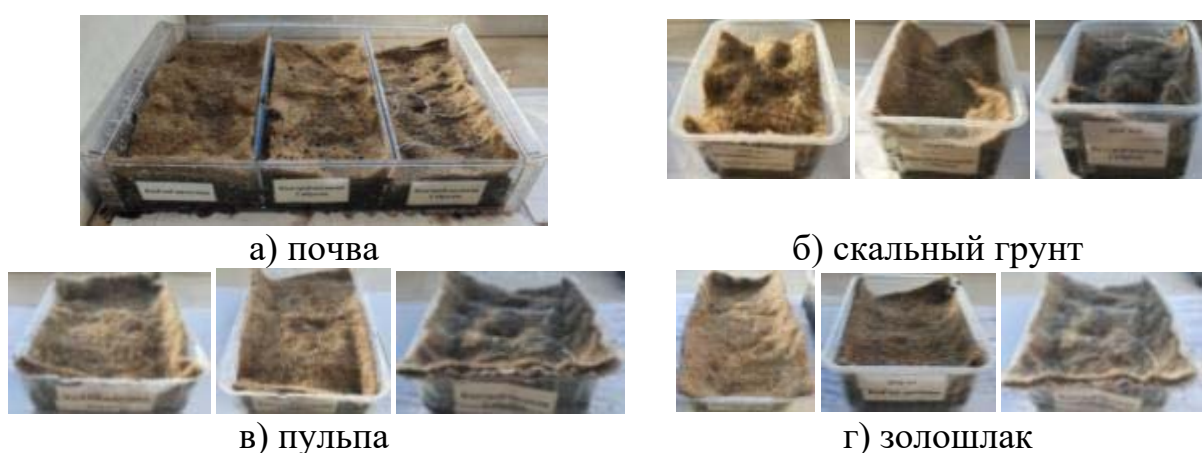


Рис. 2. Лабораторные исследования биоматов на различных грунтах, взятых с накопителей отходов

Лабораторные исследования биоматов на техногенных грунтах показали некоторые положительные результаты для проведения полевого испытания. Исследования проводились в условиях, созданных максимально соответствующими естественным (температура, влажность воздуха, частота полива, солнечный свет). Наиболее эффективно прорастание ростков происходило на биоматах, уложенных на пульпе перемешанной с золошлаком; медленнее на пульпе без каких-либо примесей и наиболее поздние ростки появились на скальном грунте, взятом с откосов дамб.

В качестве вывода было установлено, что при рекультивации на техногенных субстратах возможно применение биологических растительных материалов. Однако, набор растений должен быть адаптирован к условиям изучаемого региона: сильный ветер, сухое жаркое лето, высокая солнечная активность. Предварительный состав набора трав, который целесообразно варьировать в зависимости от условий местности: овсяница красная, овсяница тростниковая, мятлик луговой, житняк, костреч безостый.

Очевидно, что естественное зарастание хвостохранилищ невозможно в связи с высокой плотностью субстрата, отсутствия содержания питательных

веществ. Все это сопровождается неблагоприятными климатическими условиями для естественного роста растений: высокой температурой летом, отсутствием дождей, малоснежным покровом зимой, ветровой эрозией, которая выносит пыль с хвостохранилищ. Таким образом, создание травяного покрова на поверхности накопителей отходов улучшит состояние, позволит удерживать влагу и наращивать корнеобитаемый слой.

В свою очередь восстановленные земли позволят в целом реабилитировать промышленные районы, сформировать пастбищные территории и/или создать территории туризма и спорта (конный спорт). Данные природовосстановительные мероприятия являются реальным показателем возможности снижения негативного воздействия предприятий по добыче и переработке полезных ископаемых. Кроме природоохранного эффекта реабилитационные работы несут социальную значимость в виде восстановления степных массивов, создания зон рекреации.

Список литературы

1. Водолеев А.С., Андреева О.С., Захарова М.А., Таргаева Е.Е. Реабилитация техногенно – нарушенных территорий агломерационного производства // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. - 2018. - №8 - С. 92-98.

2. Гурин А.А., Домничев Н.В., Ляшенко В.И. Природоохранные технологии пылеподавления на хвостохранилищах горно-металлургического производства // Экология и промышленность. - 2010. - № 4. - С. 24-30.

3. Ляшенко В.И., Гурин А.А. Обоснование природоохранных технологий и средств для пылеподавления поверхностей хвостохранилищ гидрометаллургического производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2018. - № 9. - С. 58–72.

4. Немировский А.В. Разработка способа предотвращения пыления наливного хвостохранилища горного предприятия с использованием глинокомпозиционных адгезионных хвостов // Международный научно-исследовательский журнал. Екатеринбург. - 2013. - № 9-1(16). - С. 34 – 38.

5. Никифоров А.А., Миронова С.И., Петров А.А., Данилов П.П., Гаврильева Л.Д. Использование метода гидропосева для биологической рекультивации отвалов Айхальского ГОКа. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2015. - № 6 (часть 3). - С. 411-412.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АПВЕЛЛИНГА С РЕЧНЫМ ПЛЮМОМ НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

М.В. Цыганова, Е.М. Лемешко, Ю.Н. Рябцев

m.tsyganova@mhi-ras.ru

Морской гидрофизический институт РАН, Россия, г. Севастополь

Аннотация. На гидрологическую структуру прибрежных вод западного побережья Черного моря оказывает влияние сток рек. При южном ветре в данном районе наблюдается проявление прибрежного апвеллинга. Целью данной работы является изучение эволюции плюма на северо-западном шельфе Черного моря и его взаимодействие с апвеллингом на основе численного моделирования. Проведены численные эксперименты с помощью трехмерной сигма-координатной численной модели ROM-типа, предварительно адаптированной к данному району. Расчеты проведены для прямоугольной области для двух случаев стратификации вод шельфа: однородной по глубине и типичной для мая месяца стратификации вод рассматриваемого района. Получено, что развитие апвеллинга влияет на распространение речных вод и меняет режим их трансформации на шельфе.

Ключевые слова. Черное море, речной плюм, апвеллинг, численное моделирование, шельф, прибрежная зона, речной сток

Апвеллинг – это подъем глубинных вод в морях и океанах, вызывающий значительное охлаждение поверхности моря. В результате поверхностные воды обогащаются биогенными элементами, и в образовавшемся слое холодных вод создается богатая питательная среда для фито- и зоопланктона [1]. Помимо этого, апвеллинг в пограничных областях может влиять также на метеорологические условия в районе прибрежной суши: низкие поверхностные температуры подавляют атмосферную конвекцию и испарение. При южном ветре вдоль западного побережья Черного моря наблюдается проявление апвеллинга. На гидрологическую структуру вод этого района сильное влияние оказывает сток рек. В случае вдольберегового апвеллинга в летний период в прибрежной зоне происходит снижение содержания кислорода, что может вызвать замор рыбы [2]. Оба этих явления тесно связаны с динамикой плюма, который образуется в море в районе устья реки. Поэтому необходимо понимать, как распространение речных вод меняется при развитии прибрежного апвеллинга.

Для исследования апвеллинга в Черном море используются контактные и спутниковые данные [3-7], которые позволяют регистрировать более холодные воды, но облачность и высокая изменчивость транспорта речных вод затрудняют изучение процессов такими способами [8]. Поэтому для изучения развития апвеллинга и его взаимодействия с плюмом речных вод необходимо использовать численное моделирование динамики вод шельфа [9-14].

Развитие апвеллинга у северо-западного берега Черного моря происходит под действием ветров южных направлений. Многолетняя

статистика образования апвеллингов, полученная на основе анализа данных дистанционного зондирования о температуре поверхности моря, показала, что в период расширенного лета происходит от 3 до 10 интенсивных апвеллингов общей продолжительностью по времени от 35 до 65 % от протяженности летнего периода соответственно [5]. Из сопоставления анализа контактных и спутниковых данных сделан вывод о значительном влиянии эволюции апвеллинга на распространение речного плюма [13]. Поэтому данная работа посвящена изучению совместной динамики развития апвеллинга и речного плюма.

Из базы гидрологических данных МГИ (URL: <http://bod-mhi.ru/>) были отобраны поля температуры и солёности для ветровых условий со значениями скорости ветра менее $3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. По пространственному распределению изолиний температуры и солёности оценивалась эволюция речного плюма в районе дельты Дуная и изучалась динамика вод шельфа, которые рассматривались как фоновые характеристики в отсутствие воздействия ветра [14]. Характерное время, за которое плюм достигает южной границы северо-западного шельфа в отсутствие воздействия ветра, составляет около пяти дней, что соответствует оценкам, полученным на основании подхода [15].

Влияние развития апвеллинга под действием ветра южных румбов на распространение плюма исследовалось с помощью численного моделирования на основе ранее адаптированной и протестированной для северо-западного шельфа Черного моря трехмерной сигма-координатной численной модели *ROM*-типа для расчета циркуляции в прибрежной зоне с учетом стока реки [14-17]. Расчеты проведены для прямоугольной области для случаев как однородной по глубине, так и типичной для мая (когда в среднем наблюдается максимальное развитие плюма Дуная) стратификации вод северо-западного шельфа.

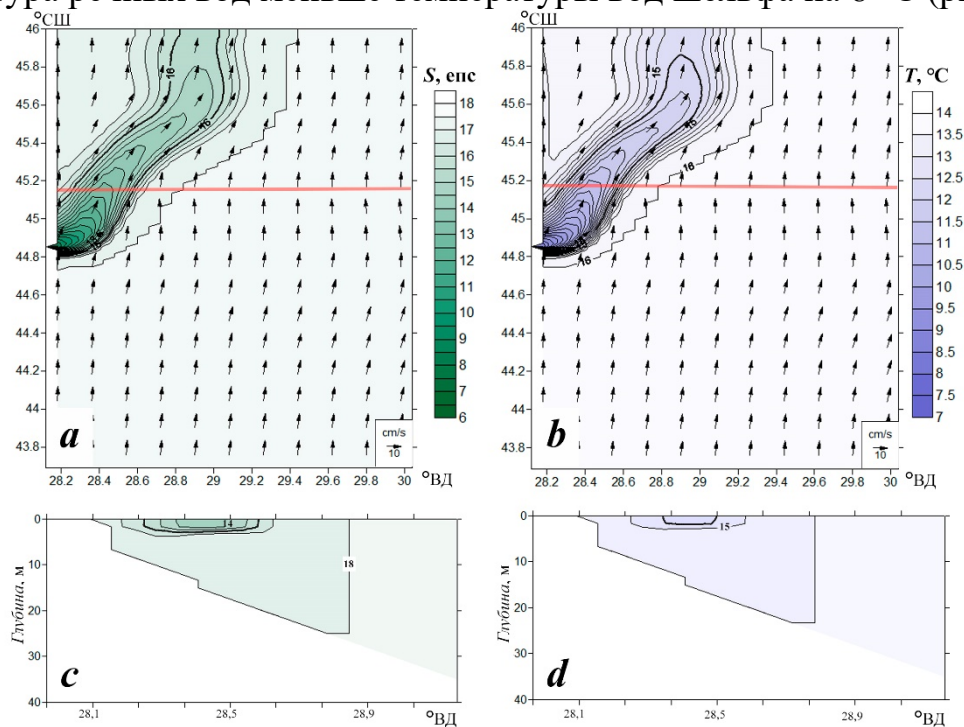
Параметры модели были подобраны таким образом, чтобы они соответствовали району впадения Дуная в Черное море. Модель была адаптирована для прямоугольной области и условий северо-западного шельфа Черного моря [14, 17-18]. Координаты расчетной области: 28° – 31° в. д. и 43° – 46° с. ш., число узлов сетки по оси X равно 51, число узлов сетки по оси Y – 171, шаг сетки – 2 км, шаг по времени – 2 мин, количество сигма-горизонтов – 25. В начальный момент времени расчета включается поступление пресной воды в районе устья Дуная.

Для первого варианта расчетов задавалась однородная стратификация: солёность вод шельфа – 18 ЕПС, температура 18°C , а солёность втекающей воды в районе устья Дуная – 6 ЕПС, температура воды в устье 10°C , расходы реки соответствовали климатическим значениям для апреля – мая ($8000 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$). На шельфе задавалось фоновое стационарное течение, направленное на юг, его скорость составляла $5 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ [14, 16-17]. Для второго варианта расчета использовались климатические значения температуры и солёности для мая в приустьевой области: на поверхности задавалась температура воды шельфа 15.75°C , солёность 12 ЕПС, температура у дна 6.5°C , солёность 18.25 ЕПС

[18]. Термоклин находился на глубине 20 м, а галоклин – 12 м, глубина дна 40 м. Расход реки, температура и соленость такие же, как и в первом варианте расчета [17].

Результаты

При действии южного ветра со скоростью $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ и при расходе реки Q , равном $8000 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, на 10-е сутки плюм вытягивается от берега в северо-восточном направлении (рис. 1). При этом развитие прибрежного апвеллинга блокирует распространение вдольберегового течения распресненных вод из области плюма в южном направлении. Чтобы понять роль стратификации, проведено сопоставление результатов расчетов для вариантов без стратификации (рис. 1) и со стратификацией (рис. 2). Для случая без стратификации апвеллинг развивается через 3–5 дней, но он не проявляется в поле поверхностной температуры в силу однородности ее распределения по вертикали (рис. 1, *b*). Тем не менее развивается вдольбереговое течение со скоростями $5\text{--}10 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$, направленное на север, которое блокирует первоначальное распространение плюма на юг, и с течением времени плюм вытягивается во внутреннюю область шельфа, что трассируется как по солености (рис. 1, *a*), так и по температуре поверхности воды, поскольку температура речных вод меньше температуры вод шельфа на $8 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 1, *b*).



Р и с . 1. Поверхностная соленость (*a*) и температура (*b*) воды по данным моделирования на 10-е сутки для однородной стратификации при воздействии южного ветра со скоростью $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Красной линией (*a*, *b*) обозначены зональные разрезы полей солености (*c*) и температуры (*d*) вдоль широты $45.18^\circ \text{ с. ш.}$

Ширина плюма, определяемая по положению изохалины 16 ЕПС вдоль линии разреза по широте $45.18^\circ \text{ с. ш.}$, составляет примерно 25 км, в поле температуры это соответствует границе плюма по изотерме $16 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 1, *a*, *b*).

При этом толщина плюма около 5 м, что видно на зональных разрезах полей солёности (рис. 1, *c*) и температуры (рис. 1, *d*).

Для случая со стратификацией на 10-е сутки апвеллинг приобретает хорошо развитую форму: изотерма 8 °С, которая характеризует придонные воды, на 10-е сутки выходит на поверхность до 28.6° в. д. (~ 20 км от берега), кроме области в районе дельты реки (рис. 2, *b*). Апвеллинг отодвигает плюм в сторону шельфа, положение изотермы 10 °С сдвигается на восток, и она достигает на 10-е сутки долготы 28.9° в. д. (рис. 2, *b*) – ~ 55 км от берега, что в поле солёности соответствует положению изохалины 17 ЕПС, характеризующей придонные воды шельфа (рис. 2, *a*).

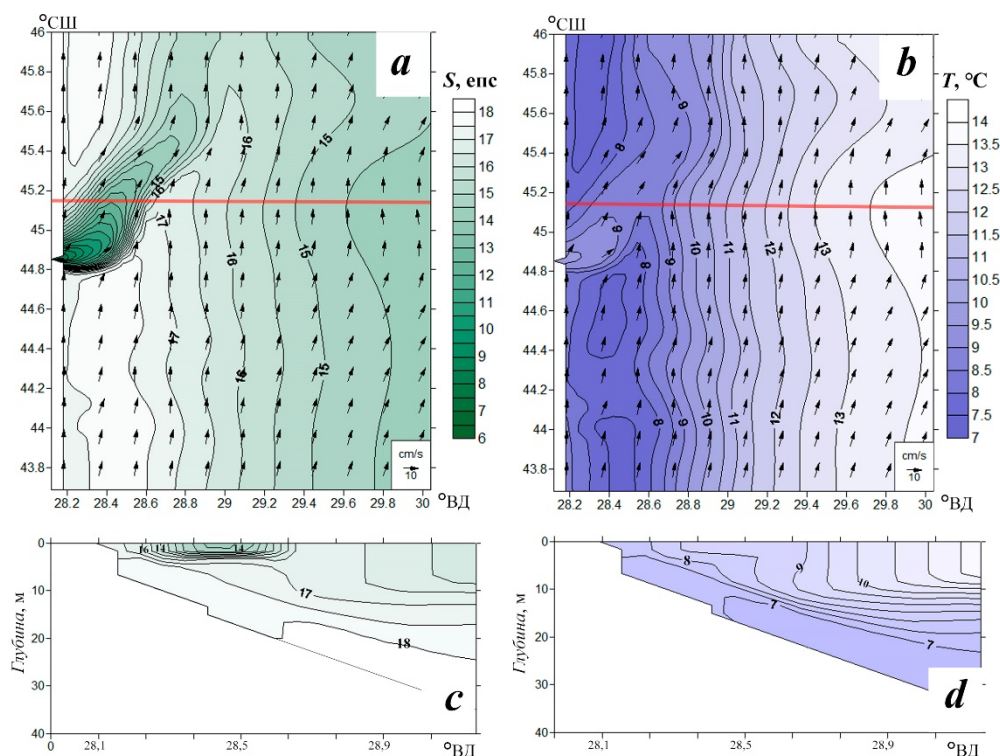


Рис. 2. Поверхностная солёность (*a*) и температура (*b*) воды по данным моделирования на 10-е сутки со стратификацией вод шельфа при воздействии южного ветра со скоростью 5 м·с⁻¹. Красной линией (*a*, *b*) обозначены зональные разрезы полей солёности (*c*) и температуры (*d*) вдоль широты 45.18° с. ш.

При анализе результатов численного моделирования в этом случае используется поле солёности. Кроме того, в отличие от первого случая без стратификации (рис. 1, *d*), плюм не выделяется в поле температуры и на зональном разрезе (рис. 2, *d*). На 10-е сутки плюм вытягивается в северо-восточном направлении, ширина плюма по изохалине 16 ЕПС увеличивается по сравнению с первым случаем и составляет 30 км.

На зональном разрезе вдоль широты 45.18° с. ш. видно, что на 10-е сутки поднятие придонных вод (изохалина 18 ЕПС) достигает глубины 17 м, изохалина 17 ЕПС выходит на поверхность на расстоянии от берега ~ 8 км (рис. 2, *c*). В отличие от вод плюма, положение придонных вод хорошо выделяется на зональных разрезах в поле температуры: изотерма 7 °С

достигает глубины 10 м, а изотерма 8 °С выходит на поверхность на расстоянии 8–10 км от берега (рис. 2, *d*).

Выводы

Таким образом, стратификация вод шельфа влияет на совместную динамику речного плюма и апвеллинга. Тонкий слой распресненных вод для варианта нестратифицированных прибрежных вод усиливает апвеллинг вокруг области плюма. Интенсивность апвеллинга увеличивается, когда плюм достигает его границы. При этом максимум транспорта вод в сторону шельфа в 1.5 раза превосходит экмановский перенос. После прохождения плюмом области апвеллинга транспорт вод регулируется вдольбереговыми вариациями плотности.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0005.

Список литературы

1. Иванов В.А., Михайлова Э.Н. Апвеллинг в черном море. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 92 с.
2. Кондратьев С. И. Три характерные гидролого-гидрохимические ситуации возле устья Дуная по данным экспедиционных исследований Морского гидрофизического института в 1997–2013 годах // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 4. С. 367–383. EDN VTJNWV. doi:10.22449/0233-7584-2019-4-367-383
3. Прибрежный черноморский апвеллинг и межгодовая изменчивость его интенсивности / Р. В. Боровская [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. Вып. 12. С. 42–48. EDN YUCFPP.
4. Прибрежный апвеллинг в северо-западной части Черного моря / А. И. Гинзбург [и др.] // Исследование Земли из космоса. 1997. № 6. С. 61–72. EDN LFUSLJ.
5. Станичная Р. Р., Станичный С. В. Апвеллинги Черного моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 4. С. 195–207. EDN BNEFXX. doi:10.21046/2070-7401-2021-18-4-195-207
6. Наблюдение цикла интенсивного прибрежного апвеллинга и даунвеллинга на гидрофизическом полигоне ИО РАН в Черном море / А. Г. Зацепин [и др.] // Океанология. 2016. Т. 56, № 2. С. 203–214. EDN VRYSTZ. doi:10.7868/S0030157416020222
7. Сильвестрова К. П., Мысленков С. А., Репков Д. С. Система прогноза ветровых апвеллингов для российского побережья Черного моря // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2022. № 1 (383). С. 89–107. EDN AMWBXE. <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-1-89-107>
8. Осадчиев А. А. Речные плюмы. М.: Научный мир, 2021. 286 с.
9. Дивинский Б. В., Куклев С. Б., Зацепин А. Г. Численное моделирование события полного апвеллинга в северо-восточной части Черного моря на гидрофизическом полигоне ИО РАН // Океанология. 2017. Т. 57, № 5. С. 683–689. EDN ZMDPIV. doi:10.7868/S0030157417050021
10. Oguz T., La Violette P. E., Unluata U. The upper layer circulation of the Black Sea: its variability as inferred from hydrographic and satellite observations // Journal of Geophysical Research: Oceans. 1992. Vol. 97, iss. C8. P. 12569–12584.
11. Пространственно-временная изменчивость характеристик апвеллинга в северо-западной части Черного моря и у побережья Крыма в 2005–2008 гг. / Э. Н. Михайлова [и др.] // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. Вып. 12. С. 318–321.

12. Гидрофизические и гидрохимические характеристики морских акваторий у устьев малых рек российского побережья Черного моря / П. О. Завьялов [и др.] // *Океанология*. 2014. Т. 54, № 3. С. 293–308. EDN SEEDFF. doi:10.7868/S0030157414030150
13. Kubryakov A. A., Stanichny S. V., Zatsepin A. G. Interannual variability of Danube waters propagation in summer period of 1992–2015 and its influence on the Black Sea ecosystem // *Journal of Marine Systems*. 2018. Vol. 179. P. 10–30. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2017.11.001>
14. Цыганова М. В., Лемешко Е. М., Рябцев Ю. Н. Влияние апвеллинга на развитие речного плюма в прибрежной зоне северо-западного шельфа Черного моря на основе численного моделирования // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2023. № 1. С. 20–30. EDN SYKFPE. doi:10.22449/2413-5577-2023-1-20-30
15. Лемешко Е. М., Цыганова М. В. Исследование формирования и распространения речного плюма Дуная на основе численного моделирования // *ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Географический факультет МГУ, 2021. Т. 27, ч. 3. С. 32–41. EDN FDPWAN. doi:10.35595/2414-9179-2021-3-27-32-41*
16. Иванов В. А., Фомин В. В. Математическое моделирование динамических процессов в зоне море – суша. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 363 с.
17. Цыганова М. В., Лемешко Е. М., Рябцев Ю. Н. Моделирование формирования гидрофронта в районе устья Дуная // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2016. № 3. С. 26–31. EDN XAHQUX.
18. Иванов В. А., Белокопытов В. Н. *Океанография Черного моря*. Севастополь: Морской гидрофизический институт НАН Украины, 2011. 212 с. EDN XPERZR.

ТОКСИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА НА ЛЕКАРСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ ИМПАКТНОЙ ЗОНЫ НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС

¹Н.П. Черникова, ¹В.А. Чаплыгин, ²Т.И. Сиромля, ¹С.С. Манджиева,
¹Ю.А. Литвинов, ¹Е.С. Лацынник, ¹А.Ю. Яковленко, ¹Т.А. Мальцева
nat.tchernikova2013@yandex.ru; otshelnic87.ru@mail.ru

¹Южный федеральный университет, Россия, г. Ростов-на-Дону

²Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, г. Новосибирск

Аннотация. Исследования химического состава дикорастущих лекарственных растений являются актуальными в настоящее время ввиду увеличения техногенной нагрузки вблизи промышленных предприятий и отсутствия нормативных показателей химических элементов в лекарственном сырье. В данной работе проводили исследования содержания тяжелых металлов (ТМ) в почвах и лекарственных растениях импактной территории Новочеркасской ГРЭС. Основное внимание уделяется видовому распределению ТМ в органах растений и почвах в зависимости от удаления источника загрязнения.

Ключевые слова. Тяжелые металлы, лекарственные растения, загрязнение, аккумуляция.

В процессе сжигания угля на тепловых электростанциях в атмосферу выбрасываются твердые и газообразные продукты, содержащие различные соединения тяжелых металлов (ТМ). Вблизи предприятий топливно-энергетического комплекса происходят прогрессирующие процессы техногенного загрязнения почв и растений, в результате корневого и внекорневого путей поступления загрязняющих веществ [9]. Особый интерес для анализа влияния техногенного загрязнения ТМ представляют дикорастущие лекарственные травянистые растения, которые используют в фармакологии без должного контроля экологического состояния сырья. На данный момент предельно допустимые концентрации (ПДК) ТМ в лекарственном сырье установлены лишь для некоторых элементов: Рb (6 мг/кг), Cd (1 мг/кг), Hg (0,1 мг/кг) и As (0,5 мг/кг) [6]. По этой причине исследования химического состава дикорастущих лекарственных растений являются актуальными в настоящее время.

На залежных участках на разном расстоянии (от 1 до 15 км) в направлении преобладающих ветров (СЗ-ССЗ) от предприятия первого класса опасности ПАО, филиал «ОГК-2» Новочеркасская ГРЭС (НчГРЭС) заложено 5 мониторинговых площадок. Отбор почвенных образцов проводился с верхнего 20-сантиметрового слоя, а образцы растений (надземная часть и корни) отбирались в фазу массового цветения (ГОСТ 27262-87). Почвы мониторинговых площадок представлены черноземом обыкновенным тяжелосуглинистым (Т. 1 (1.2 км), 2 (1.6 км), 4 (6.9 км), 5 (15.0 км)) и

легкоглинистым (Т.3 5.7 км). В качестве лекарственных растений были выбраны *Cichorium intybus* и *Artemisia absinthium*, легко визуально отличимые и встречающиеся на всех площадках мониторинга.

Валовое содержание металлов в исследуемых почвах определяли рентген-флюоресцентным методом. Для оценки доступных растениям соединений ТМ в почве рассчитано содержание их непрочно связанных соединений как сумма обменных, комплексных и специфически сорбированных форм металла [4].

Определение металлов в растениях осуществляли методом сухого озоления с последующей кислотной экстракцией ТМ из золы 20% HCl и определением на атомно-адсорбционном спектрофотометре [3]. Оценка загрязнения лекарственных растений проводилась путем сравнения концентрации элементов в них с максимально допустимым уровнем (МДУ) содержания металлов в кормах сельскохозяйственных животных [2] и ПДК в лекарственном сырье [6].

В зависимости от расстояния и расположения мониторинговых площадок установлены различия в содержании ТМ в почвах территории НчГРЭС (табл. 1). Максимальное содержание изучаемых металлов наблюдается на площадках, расположенных наиболее близко к источнику загрязнения (№ 1–2). Валовое содержание ТМ наиболее загрязненной площадки мониторинга №2 (1.6 км СЗ) превышает кларковые значения по Pb в 7 раз, Cu и Cd – в 4 раза, Zn – в 3 раза, Cr и Ni – в 2 раза и Mn – в 1 раз. А содержание подвижных форм металлов превышает фоновые значения по Cd в 20 раз, Cr и Ni – в 13-14 раз, Zn – в 11 раз, Pb и Cu – в 9-10 раз и Mn – в 7 раз. ТМ по степени повышения содержания их подвижных соединений в почвах импактной зоны НчГРЭС составляют следующий убывающий ряд: Cd > Zn > Pb ≥ Mn > Cu > Ni > Cr. Распределение металлов в группе НС следующее: специфически сорбированные (53-69%) > обменные (17-31%) > комплексные (10-24%). С увеличением расстояния от НчГРЭС по линии преобладающих ветров наблюдается постепенное снижение как валовых, так и подвижных форм ТМ.

Выявлена положительная средняя и тесная корреляционная связь между содержанием ТМ в растениях и НС почвы, в то время как между валовым содержанием и содержанием ТМ в растениях существенной корреляционной связи не установлено. Отмечается средняя отрицательная корреляция между содержанием Ni, Pb и Cd в надземных частях растений и расстоянием по линии преобладающих ветров от источника выбросов НчГРЭС.

Металлы по их абсолютному содержанию в корнях *Cichorium intybus* располагаются в убывающем ряду: Zn > Mn > Pb ≥ Cr > Cu > Ni > Cd; а в *Artemisia absinthium*: Zn ≥ Mn > Cr > Cu ≥ Pb > Ni > Cd (рис.1B,D). Интенсивность поступления Zn, Pb, Cu и Cd увеличивалась по мере удаления

от НчГРЭС, что связано с проявлением морфофизиологических барьеров лекарственных растений наряду со снижением техногенной нагрузки [5].

Таблица 3

Общее содержание и непрочно связанные соединения ТМ в почвах импактной зоны НчГРЭС (0-20 см), мг/кг

Расположение пл. мониторинга	Mn	Zn	Ni	Pb	Cu	Cd	Cr
Т1 (1.2 км ССЗ)	<u>1046±71</u>	<u>135±9</u>	<u>87±5</u>	<u>65±8</u>	<u>69±9</u>	<u>1,6±0,1</u>	<u>141±9</u>
	508±43	71±6	36±5	32±3	30±3	0,9±0,04	55±4
Т2 (1.6 км СЗ)	<u>1044±73</u>	<u>155±12</u>	<u>91±12</u>	<u>73±9</u>	<u>80±10</u>	<u>1,9±0,1</u>	<u>154±13</u>
	539±33	89±10	41±4	37±3	38±3	1,2±0,1	63±5
Т3 (5.7 км ССЗ)	<u>754±47</u>	<u>98±11</u>	<u>43±7</u>	<u>28±2</u>	<u>48±3</u>	<u>0,3±0,004</u>	<u>96±12</u>
	235±28	35±5	14±2	12±2	18±2	0,1±0,01	28±3
Т4 (6.9 км СЗ)	<u>816±43</u>	<u>115±8</u>	<u>57±3</u>	<u>31±2</u>	<u>56±7</u>	<u>0,6±0,02</u>	<u>116±9</u>
	200±18	42±4	16±2	13±2	20±3	0,2±0,01	26±4
Т5 (15.0 км СЗ)	<u>647±36</u>	<u>89±6</u>	<u>38±2</u>	<u>25±3</u>	<u>41±3</u>	<u>0,5±0,002</u>	<u>105±9</u>
	113±10	13±1	7±1	7±1	8±1	0,1±0,004	23±4
Фоновое содержание	<u>710±34</u>	<u>69±4</u>	<u>33±2</u>	<u>22±1</u>	<u>43±2</u>	<u>0,2±0,01</u>	<u>90±4</u>
	77±5	8±1	3±0,2	4±0,3	4±0,3	0,1±0,004	10±1
Кларк почв [1]	800	50	40	10	20	0,5	70

Примечание. В числителе - валовое содержание, в знаменателе - подвижные формы элементов в почве

В надземных частях *Cichorium intybus* и *Artemisia absinthium* выявлено превышение МДУ по Pb в 1-6 раза, по Ni и Zn – в 1-2 раза и по Cd – в 2-4 раза (рис. 1А, С). Отмечается базипетальный характер распределения Mn, Zn, Cu и Cr на всех площадках мониторинга, а для Ni, Pb и Cd установлен переход от базипетального характера распределения на акропетальный при уменьшении техногенной нагрузки на почву. Согласно СанПиН 2.3.2. 1078–01 содержание Pb и Cd в *Cichorium intybus* превышает 1ПДК, а содержание Pb в *Artemisia absinthium* 5ПДК. *Artemisia absinthium* характеризуется наибольшим накоплением Ni, Pb и Cr, а *Cichorium intybus* – Zn и Cd, при этом значительной разницы по Mn и Cu между видами не обнаружено. Видовая специфика накопления ТМ растениями при равной концентрации их в почве обусловлена избирательностью поглощения корневыми системами и метаболическими процессами в тканях [7,8].

Таким образом, было отмечено превышение валового содержания Pb, Cu, Cd, Zn, Cr, Ni и Mn, а также увеличение их подвижности в почвах территории НчГРЭС. Установлена взаимосвязь между НС ТМ почвы и накоплением элементов растениями. Наибольшее содержание ТМ в почве и лекарственных растениях обнаружено вблизи источника загрязнения на расстоянии 1.2-1.6 км. По мере удаления от НчГРЭС подвижность элементов снижалась и барьерные функции растений ослабевали. Преобладающими

загрязнителями *Cichorium intybus* и *Artemisia absinthium* являлись Pb и Cd, содержание которых составляло до 6 МДУ и 4 МДУ. Выявлены видовые особенности распределения ТМ в лекарственных растениях.

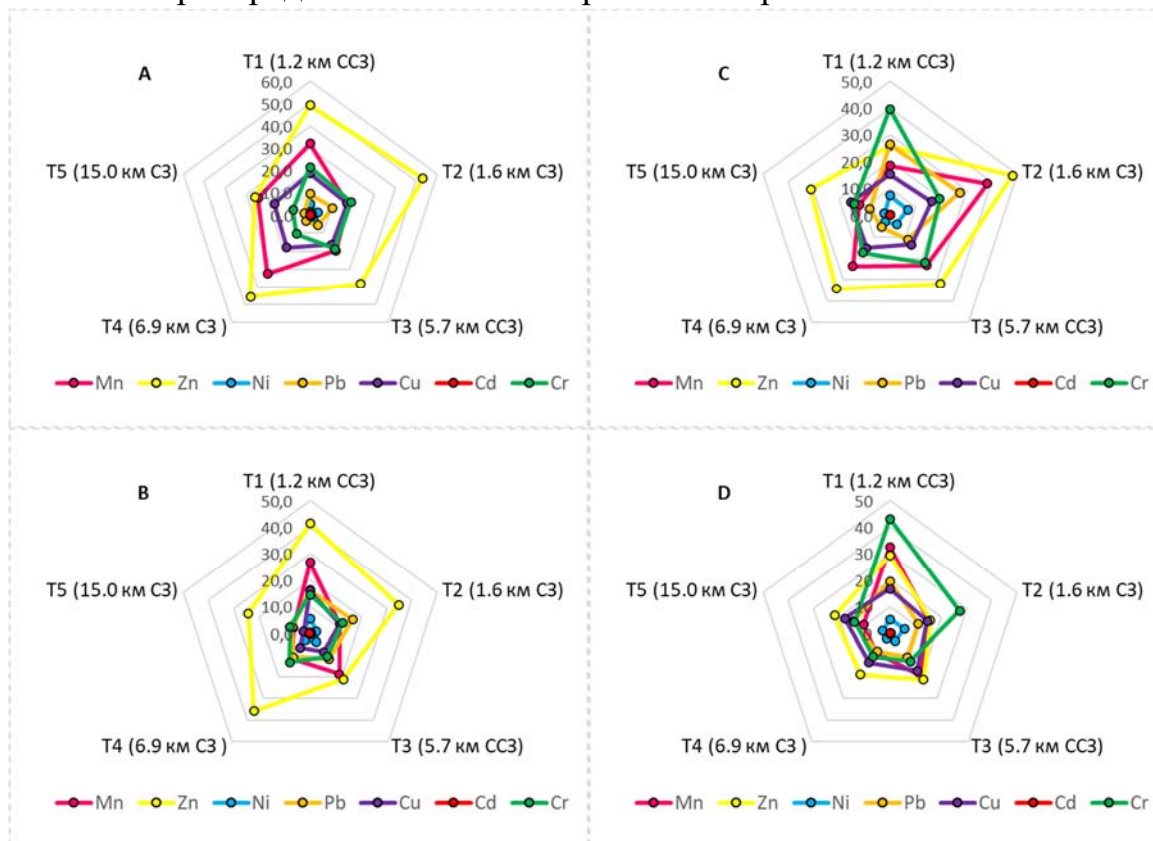


Рис. 1. Содержание ТМ в *Cichorium intybus* (А,В) и *Artemisia absinthium* (С,Д) импактной зоны НчГРЭС. А,С – надземная часть; В,Д – подземная часть

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-77-10097) в Южном федеральном университете

Список литературы

1. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – 1957.
2. МДУ 123-4/281-8-87. Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках //Справочник. Лабораторные исследования в ветеринарии. Химико-токсикологические методы / под ред. Б.И. Антонова. – Введ. 1987–08–07. – М.: Агропромиздат, 1989. – С. 301–303.
3. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО. – 1992. – С. 61.
4. Минкина Т. М., Федоров Ю. А., Невидомская Д.Г., Манджиева С.С., Козлова М. Н. Особенности содержания и подвижность тяжелых металлов в почвах поймы реки Дон //Аридные экосистемы. – 2016. – Т. 22. – №. 1 (66). – С. 86-98.
5. Минкина Т. М., Мотузова Г. В., Манджиева С. С. Барьерные функции системы почва-растение //Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2008. – № 2. – С. 3–8.
6. СанПиН 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – М: Федеральный центр Госсанэпиднадзора МЗ РФ, 2001.

7. Серегин И. В., Кожевникова А. Д. Роль тканей корня в транспорте и накоплении кадмия, свинца, никеля и стронция // Физиология растений. – 2008. – Т. 55. – №1. – С. 3–26.
8. Alexeeva-Popova N. V., Drozdova I. V. Micronutrient composition of plants in the Polar Urals under contrasting geochemical conditions // Russian Journal of Ecology. – 2013. – Vol. 44. – P. 100-107.
9. Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Chaplgin V.A., Motuzova G.A., Sushkova S.N., Bauer T.V., Nevidomskaya D. Plant contamination by heavy metals in the impact zone of Novocherkassk Power Station in the south of Russia // Journal of soils and sediments. – 2016. – Vol. 16. – P. 1383-1391.

ПОТЕНЦИАЛ УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА МИКРООВОДОРОСЛЯМИ

¹Н.И. Чернова, ¹С.В.Киселева, ^{1,2}Е.А. Чунжук, ²М.С. Власкин,
²А.В. Григоренко.

chernova_nadegda@mail.ru, k_sophia_v@mail.ru

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, географический факультет, Россия, г. Москва

²Объединенный институт высоких температур РАН, Россия, г.Москва,

Аннотация. Воздействие объектов энергетики на окружающую среду вызывает все большую озабоченность во многих странах мира. Это, а также климатические изменения, которые в общественном дискурсе все в большей степени связывают с поступлениями парниковых газов в атмосферу, определяют актуальность исследований как ограничения выбросов от станций и установок тепловой энергетики, так и эффективного поглощения этих выбросов. В статье представлены экспериментальные результаты оценки эффективности микроводорослевых технологий для поглощения углекислого газа из окружающей среды.

Ключевые слова. Микроводоросли, углекислый газ, экспериментальная установка, продуктивность микроводорослей, эффективность поглощения CO₂.

Введение

Климатические изменения, причину которых, несмотря на продолжающиеся дискуссии в научной среде, все в большей степени связывают с ростом содержания парниковых газов в атмосфере, определили актуальность широкого ряда исследований и разработок методов сокращения выбросов в окружающую среду этих газов. Одним из значимых парниковых газов является углекислый (CO₂), выбросы которого определяются производством энергии путем сжигания ископаемого топлива. Энергетика, однако, является основой развития, поэтому сокращение производства энергии ради достижения климатических целей не может быть приемлемым, особенно для государств с развивающейся экономикой. Следовательно, необходимо искать технические решения, которые могут обеспечить либо снижение использования топливных ресурсов и предотвращение выбросов в атмосферу, либо поглощение уже выброшенных парниковых газов. В рамках первого подхода предлагаются технологии возобновляемой энергетики и расширенное использование атомной энергетики. Вследствие реализации этого подхода в мире происходит динамичный рост установленной мощности солнечных, ветровых, биоэнергетических и других станций на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). Многие страны приняли обязательства по повышению доли станций на ВИЭ в энергобалансах. В рамках второго подхода рассматриваются различные стратегии поглощения парниковых газов: захоронение их в закрытых полостях на суше или морском дне, расширение лесных посадок и др. В этом же ряду находятся поиски фотосинтезирующих микроорганизмов (микроводорослей (МКВ) и

цианобактерий), способных обеспечить быстрый прирост биомассы и, следовательно, масштабное поглощение углекислого газа, как из атмосферы, так и непосредственно из выбросов тепловых электростанций. Показано, что 1,83–1,88 кг CO₂ может быть поглощено в 1 кг биомассы микроводорослей [1, 2]. При этом немаловажным вопросом является дальнейшее обращение с полученной биомассой, а именно средне- или долгосрочное ее депонирование для предотвращения обратного выхода CO₂ в атмосферу. Одним из наиболее прагматичных подходов к решению этой задачи является преобразование биомассы в биотопливо с его последующей интеграцией в существующую инфраструктуру углеводородных топлив. Еще одним перспективным подходом к утилизации биомассы, полученной в результате утилизации парниковых газов, может оказаться ее депонирование на полигонах, шахтах или в почвах (грунтах). Представляется также целесообразным конверсия биомассы в инертный биоуголь и дальнейшее захоронение полученного биоугля.

Фотосинтезирующие микроорганизмы за счет большей удельной поверхности существенно более эффективно, чем листовые растения преобразуют энергию солнечного света, углекислый газ и воду в биомассу и кислород в процессе фотосинтеза. Масштабное их выращивание может быть организовано на непригодных для иной хозяйственной деятельности территории. В случае, если полученная биомасса не будет использована для кормовых/пищевых целей, она может быть произведена с использованием сточных вод хозяйственно-бытового и промышленного сектора. В настоящее время МКВ выращиваются в промышленных масштабах в основном для получения высокоценных рыночных продуктов. Кроме того, микроводоросли также используются для очистки сточных вод [3, 4]. Промышленная утилизация дымовых газов для выращивания микроводорослей уже применялась в пилотных проектах на пивоваренных, цементных заводах и газовых электростанциях, поскольку эти предприятия производят газы с относительно низкими концентрациями SO_x и NO_x [5]. Дымовой газ, полученный от сжигания угля, также использовался для выращивания МКВ, но при его разбавлении воздухом или незначительных добавках в фотобиореакторы (ФБР), где проводилось культивирование МКВ [6, 7, 8, 9].

В этих и более ранних лабораторных исследованиях было подтверждено, что повышение содержания диоксида углерода относительно его природного содержания в воздухе позволяет увеличить удельную скорость роста микроводорослей. В то же время экспериментально выявлен целый ряд проблем культивирования микроорганизмов с использованием дымовых газов теплоэлектростанций и других промышленных объектов. Типичная концентрация CO₂ в дымовых газах составляет до 12 – 15 об. %, что примерно в 400 раз выше по сравнению с концентрацией CO₂ в атмосфере [10, 11]. Прямая подача дымовых газов в фотобиореактор может приводить к изменению pH питательных сред и выводить условия роста микроводорослей за пределы оптимальных [12]. Помимо CO₂, дымовые газы, образующиеся в процессе сжигания углеводородного топлива, содержат токсичные

соединения (SO_x , NO_x и др.), высокие концентрации которых также могут негативно сказываться на росте МКВ [13]. Поэтому для эффективной утилизации дымовых газов необходимо выявить устойчивые к такого рода стрессовым условиям штаммы фотосинтезирующих микроорганизмов. Данная задача является в настоящее время научно значимой и актуальной. Целью представленной работы является экспериментальное исследование устойчивости различных штаммов микроводорослей к повышенной концентрации CO_2 при их культивировании; оценка продуктивности МКВ и поглощения углекислого газа.

Материалы и методы

Эксперименты были проведены в два этапа. На первом этапе в качестве модельного организма был использован штамм (МКВ) *Arthrospira platensis* rsemsu P (Bios) с прямыми трихомами, образовавшимся в результате естественной морфологической изменчивости при многолетнем культивировании в Научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии Географического факультета МГУ (рис. 1). Микроводоросли *A. platensis* выращивались на питательной среде Заррука следующего состава (г/дм³): NaHCO_3 – 16.8; KNO_3 – 3.0; $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ – 0.66; K_2SO_4 – 1.0; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.2; NaCl – 1.0; CaCl_2 – 0.04; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.018; ЭДТА – 0.08, раствор микроэлементов в количестве 1 мг/дм³.

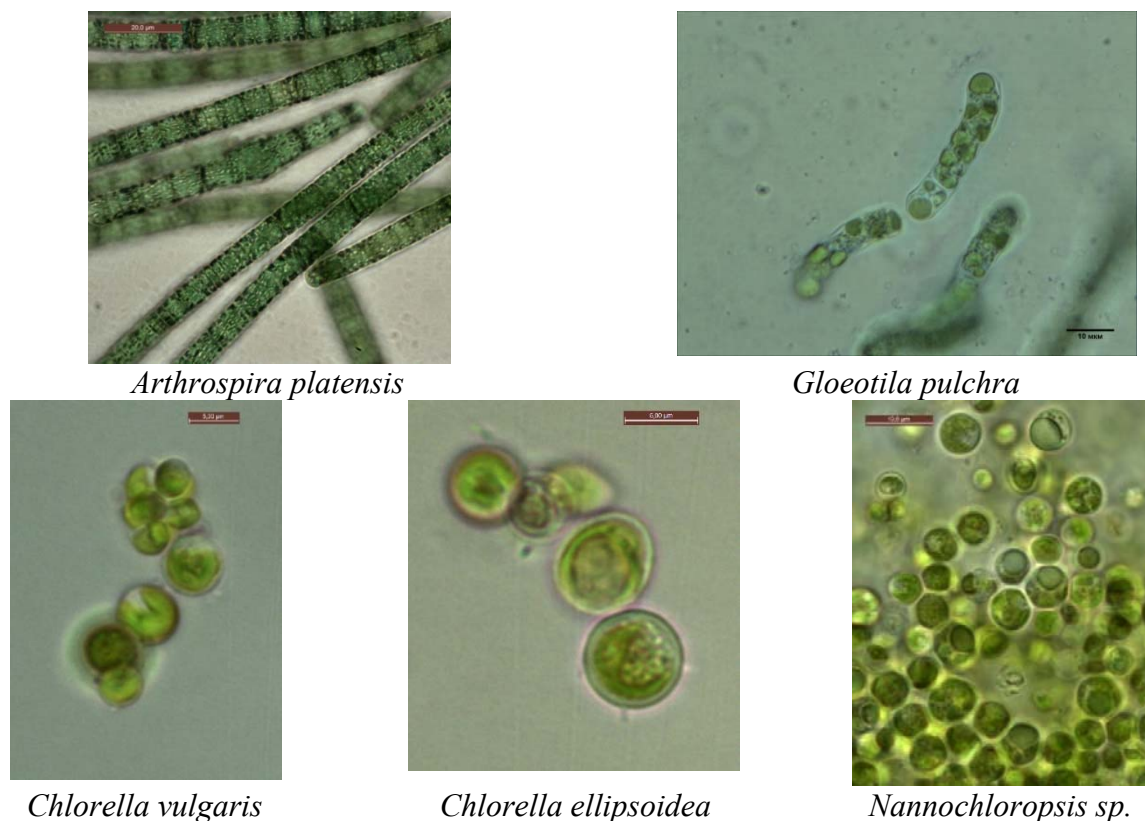


Рис. 1. Фото микроводорослей в световом микроскопе

Выращивание МКВ проводилось в ФБР, помещенном в герметичную камеру, внутри которой создавалась атмосфера с повышенным содержанием CO_2 . Объем ФБР составлял 100 дм³, камеры – 12 м³ (рис. 2 а). ФБР представляет

собой вертикальную трубу из акрилового оргстекла внутренним диаметром 30 см и высотой 150 см. По периметру реактора параллельно его оси и на расстоянии 20 см от внешней стороны расположены светодиодные ленты, закрепленные на зеркальном светоотражателе цилиндрической формы. Освещенность на внутренней границе (ФБР) можно варьировать от минимальной до 12–13 кЛк (или 160 – 175 мкмоль фотонов/м²/с). Газовоздушная смесь подавалась в ФБР снизу и распылялась на дне с помощью керамического распылителя. Расход газа, (компрессор HaileaV30) через ФБР, заполненный культуральной средой с микроводорослями, составлял 13 дм³/мин. Фотобиореактор был установлен в центре герметичной камеры, в которой создавалась атмосфера с заданной концентрацией CO₂ или дымовых газов. Состав атмосферы внутри камеры (концентрация CO₂, O₂, CO, NH₃, CH₄, SO₂, NO₂) регистрировался с помощью газоанализатора МАГ-6 Т-8-16А (АО “Эксис”, Россия). Концентрация CO₂ в экспериментальной газовоздушной смеси (6%) была выбрана на основе проведенных замеров состава дымовых газов от газопоршневых электростанций на базе мотор-генераторов Caterpillar G3520C (объект компании “Лукойл”).

ФБР позволяет проводить длительное культивирование биомассы МКВ с возможностью периодического отбора проб культуральной жидкости для определения скорости роста МКВ и контроля состава питательной среды.



а



б

Рис. 2. Камера для проведения экспериментов с газовоздушной атмосферой заданного состава и большой фотобиореактор в ней (а). Внешний вид малых фотобиореакторов в экспериментальной камере (б).

Для количественного определения продуктивности и скорости роста биомассы МКВ использовали значения плотности биомассы (или концентрации биомассы, г/л) на каждом этапе эксперимента. Плотность биомассы (г/л) определялся по оптической плотности пробы, измеренной при

длине волны 670 нм для сине-зеленых МКВ и при длине волны 750 нм для зеленых МКВ на спектрофотометре КФК-2-УХЛ 42 (Россия). Для контроля процесса культивирования МКВ проводилось определение pH и химический анализ компонентов питательных сред. Значение pH определяется pH-метром в пробе отфильтрованной культуральной жидкости (применялся портативный pH-метр HI 98100 Checkerplus). Калибровка прибора осуществляется по буферным растворам с pH= 6,86 и 9,18. Микроскопический контроль состояния культур МКВ проводят с помощью световых микроскопов (Leica DM 2500; и Микмед- 5 (ЛОМО)).

Было сделано предположение, что на первом этапе в качестве модельного объекта для определения эффективности утилизации CO₂ может быть использована культура сине-зеленой микроводоросли/цианобактерии *A. platensis*, представленная устойчивым консорциумом с гетеротрофными бактериями. Преимуществами МКВ *A. platensis* являются, их способность расти в открытых культиваторах без контаминации другими микроорганизмами вследствие высокой щелочности питательной среды для ее выращивания (pH=8,5–11,5), а также относительно простые и дешевые способы сбора биомассы гравитационным методом на ситах.

С использованием экспериментальной установки, включающей газовую камеру и ФБР, были проведены первичные эксперименты по определению реакции культуры микроводоросли *A. platensis* на повышенные концентрации CO₂ (6%). Культивирование МКВ проходило в полунепрерывном режиме, причем через каждые 7 суток проводился отбор проб для определения концентрации и скорости роста биомассы, а также остаточного содержания питательных веществ в культуральных жидкостях. После отбора части биомассы через каждые 14 суток культуральная жидкость с МКВ вновь загружалась в ФБР, а в газовой камере устанавливалась начальная концентрация CO₂ (6%). В таком режиме было проведено четыре эксперимента, каждый из которых начинался при одной и той же исходной концентрации биомассы МКВ в культуральной жидкости.

На втором этапе экспериментов был расширен спектр микроводорослей и проведено выращивание штаммов МКВ *Chlorella vulgaris* rsemsu Chv-20/11-Ps, *Chlorella ellipsoidea* rsemsu Chv-el, *Nannochloropsis* sp rsemsu N-1/11-B, *Gloeotila pulchra* rsemsu Pz-6 и устойчивый консорциум микроводорослей/цианобактерий *Arthrospira platensis* rsemsu P Bios с гетеротрофными бактериями, отобранных из рабочей коллекции НИЛ ВИЭ МГУ (Рис. 1). Штаммы *Chlorella* выращивались на среде Tamiya (KNO₃ – 5.0 г/л, KH₂PO₄ – 1.25 г/л, MgSO₄ * 7H₂O – 2.5 г/л, FeSO₄ * 7H₂O – 0.009 г/л, EDTA– 0.037 г/л, H₃BO₃ – 2.86 мг/л, MnCl₂ * 4H₂O – 1.81 мг/л, ZnSO₄ * 7H₂O – 0.22 мг/л, MnO₃ – 0.018 мг/л, NH₄VO₃ – 0.023 мг/л). Штаммы *Nannochloropsis* и *Gloeotila*– на среде BG-11 (NaNO₃-1,5г/л, K₂HPO₄*3H₂O-0,04г/л, MgSO₄*7H₂O-0,075г/л, CaCl₂*2H₂O-0,04 г/л, Na₂CO₃-0,02 г/л, лимонная кислота - 0,006 г/л, Na₂EDTA-0,001 г/л, аммонийный цитрат железа-0,006г/л, раствор микроэлементов-1мл/л). Выращивание МКВ проводилось в той же газовой камере, но в стеклянных цилиндрических фотобиореакторах малых объемов

(объем питательной среды 4 дм³) (рис. 2 б). Форма и материал стенок ФБР позволяли организовать равномерное освещение по периметру и высоте с помощью ленточных светодиодных светильников. Освещенность на внешней поверхности реактора при максимальной мощности светодиодной ленты составляла 10.0–13.0 кЛк (135 – 175 мкмоль фотонов/м²/с) и могла быть снижена до необходимой величины в зависимости от условий эксперимента. Газовоздушная смесь подавалась в фотобиореакторы через керамические распылители, установленные на дне ФБР. Расход газа, создававшийся компрессором через реактор, заполненный культуральной жидкостью с микроводорослями, составлял 1 дм³/мин.

Результаты и обсуждение

Задачами первого этапа экспериментов, проведенного на большом фотобиореакторе путем культивирования биомассы микроводорослей *A. platensis*, являлись подбор условий и параметров экспериментов, определение средней скорости роста биомассы и интенсивности поглощения CO₂ из газовой фазы; выявление условий, при которых наступает прекращение роста биомассы.

Было проведено 4 последовательных эксперимента. Во всех экспериментах фиксировали начальную, промежуточную (7-е сутки) и конечную (14-е сутки) плотность биомассы МКВ в фотобиореакторе. Начальная концентрация CO₂ в газовоздушной смеси в герметичной камере устанавливалась равной 6%. Интенсивность поглощения CO₂ оценивалась как расчетным способом по количественным показателям роста биомассы, так и по фактическому изменению концентрации углекислого газа в камере. Изменение плотности биомассы микроводорослей показана на рис. 4 для каждого эксперимента. Поскольку для каждого последующего эксперимента использовалась биомасса предыдущего, а состав питательных сред не пополнялся (за исключением одной подкормки во втором эксперименте в количестве 1/4 полного состава среды), то по мере роста биомассы в отдельных экспериментах происходило обеднение среды по биогенным элементам.

Скорость роста биомассы незначительно изменялась на различных стадиях эксперимента в связи с указанными выше особенностями его проведения, но в среднем составила 100 мг/дм³/сутки. Результаты анализа содержания питательных элементов в питательной среде в течение эксперимента представлены в таблице 5.

Видно, что произошло закономерное снижение содержания основных питательных веществ в среде на 25 – 50%, а также закономерное нарастание ХПК и БПК₅ вследствие накопления отмерших клеток микроводорослей и процессов разложения органического вещества. В то же время отсутствие заметного осадка (нерастворенные неорганические компоненты среды, отмершие клетки микроводорослей) в ФБР, и резкого защелачивания (увеличения рН до 12 и более) указывают на эффективность режима культивирования с барботажем объема культуральной жидкости газовой воздушной смесью, а также отсутствие ингибирования роста МКВ значительной концентрацией CO₂ в этой смеси.

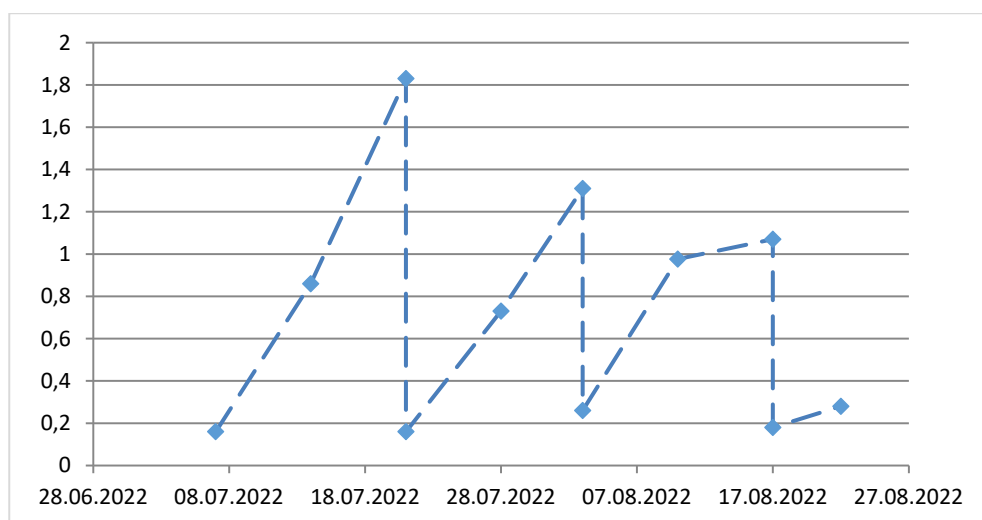


Рис. 4. Изменение плотности биомассы МКВ *A. platensis*, г/л в экспериментах 1 - 3. Шкала времени соответствует датам экспериментов

Таблица 5

Изменение содержания компонентов питательной среды	
Показатели	Изменение за весь период эксперимента, %
Гидрокарбонаты, г/л	-47,11
Карбонаты, г/л	
Фосфаты, г/л	-30,87
Нитраты, г/л	-63,77
Калий, г/л	-26,97
Сульфаты, г/л	-35,27

Для оценки эффективности поглощения CO_2 из газовой смеси путем барботажной культуры жидкости с МКВ были сделаны оценки удельного поглощения CO_2 биомассой МКВ. Оценки на основе изменения концентрации CO_2 в газовой камере показали (средние условия эксперимента 2) снижение массы углекислого газа в камере за 14 суток – 281 г. Оценки на основе измерений плотности биомассы и в предположении, что на 1 г биомассы расходуется 1,83 г углерода, дали величину 214 г. По порядку величины оценки удовлетворительно согласуются. Таким образом, удельное поглощение углекислого газа составило 8,8 г CO_2 /г биомассы *A. platensis* (по абсолютно сухому весу), или 0,13%/сутки.

На втором этапе эксперимента была поставлена задача исследовать особенности роста более широкого набора микроводорослей на высоких концентрациях CO_2 , а именно, при концентрациях углекислого газа в газовой смеси 0,04 (воздух), 6, 9, 12%. Выращивание проводилось в малых фотобиореакторах, помещенных в газовую камеру (рис. 2 б). Длительность культивирования МКВ – 12 суток при заданной концентрации CO_2 с отбором проб суспензии микроводорослей на 0, 3, 6, 9, 12 сутки для определения плотности биомассы и скорости ее роста, а также содержания

остаточных питательных веществ в культуральной жидкости. После окончания каждого эксперимента часть биомассы каждого штамма использовалась как источник инокулята для засева ФБР в следующем эксперименте. Таким образом, на данном этапе проводилась адаптация каждого штамма к нарастающей концентрации CO_2 в окружающей газовой среде.

Скорость роста биомассы различных штаммов МКВ приведена на рис. 5. Видно, что максимальную скорость роста продемонстрировали оба штамма *Chlorella* и *Nannochloropsis*. Минимальную скорость роста показал штамм *A. platensis*, причем эта скорость роста незначительно, но уменьшалась при увеличении концентрации CO_2 и в целом соответствовала скорости роста, которую показал этот штамм на первом этапе экспериментов ($0,1 \text{ г/дм}^3/\text{сутки}$ при $\text{CO}_2 = 6\%$). Еще более существенно упала скорость роста штамма *Gloeotila pulchra*, для которой максимальная скорость роста ($0,31 \text{ г/дм}^3/\text{сутки}$) была характерна при выращивании ее в воздушной атмосфере (концентрация $\text{CO}_2 = 0,04\%$).

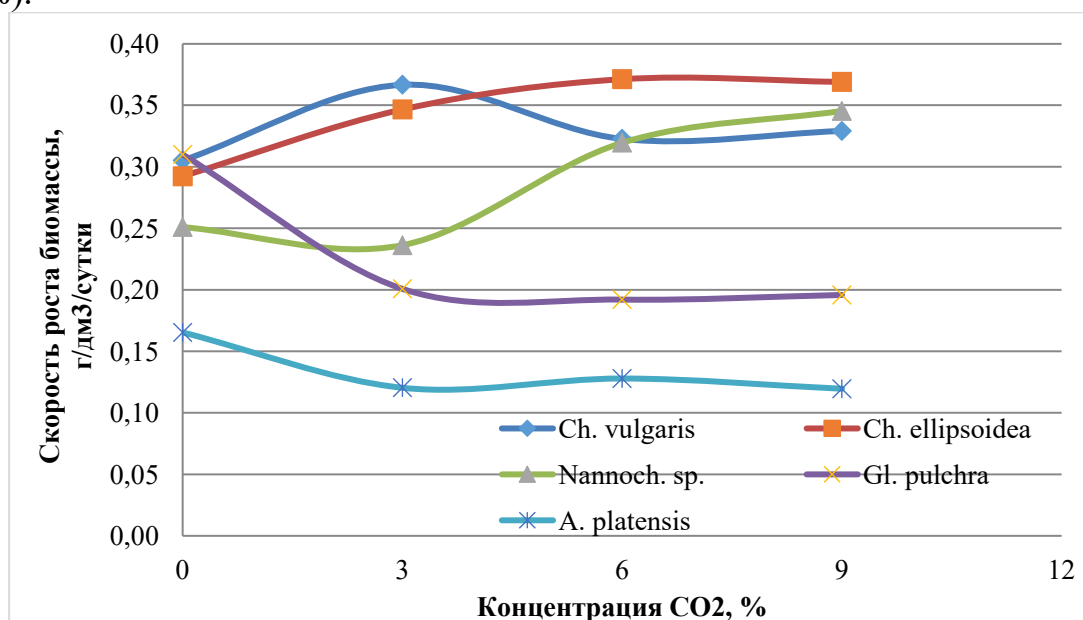


Рис. 5. Скорость роста биомассы штаммов МКВ при различных концентрациях CO_2 в газовой среде

Полученные результаты говорят о том, что эффективность поглощения CO_2 из газовой среды, достигнутые на 1 этапе экспериментов при культивировании *A. platensis*, может быть существенно увеличена при использовании штаммов – лидеров по скорости роста и толерантных к повышенным концентрациям CO_2 . Важно отметить два аспекта: возможно, адаптация штаммов ко всё более высоким концентрациям CO_2 происходит с различной интенсивностью, и для таких МКВ, как *A. platensis* и *Gloeotila pulchra* требуется более длительный период их роста при каждой концентрации CO_2 . Это предположение основано на ряде работ, где показан устойчивый рост биомассы *A. platensis* со скоростью $0,27$ [14] и даже $0,80 - 0,95 \text{ г/дм}^3/\text{сутки}$ [15] при концентрациях CO_2 более/порядка 10% . Увеличение

и выход на плато скорости роста штаммов *Chlorella* и *Nannochloropsis* по мере повышения концентрации CO_2 показывает, что для этих МКВ не достигнуты условия ингибирования, и, следовательно, возможно их выращивание в дымовых газах без разведения, что требует, однако, дополнительной экспериментальной проверки.

Микроскопический контроль за состоянием культур МКВ штаммов, выращенных при концентрации $\text{CO}_2 = 3$ и 6% , показало, что визуально клетки МКВ по морфометрическим параметрам не отличались от клеток в культуральных пробах из экспериментов при содержании $\text{CO}_2 = 0,04\%$ (воздух), а также от клеток из рабочей коллекции водорослей НИЛ ВИЭ МГУ, выращенных при обычных условиях без барботажа воздухом. Однако результаты, полученные на 12 сутки экспериментов при $\text{CO}_2 = 9\%$, показали незначительные, но заметные изменения в состоянии микроводорослей: в поле зрения на фоне живых клеток видны скопления окрашенных прижизненным красителем метиленовым синим мертвых клеток, хотя их доля невысока. Таким образом, обнаруживаются признаки постепенного угнетения клеток, которое выражается в отклонениях формы клеток от нормальной, удлинении (отсутствии деления) и нарастания количества мертвых клеток. При этом массовой гибели не наблюдается даже при значительной концентрации углекислого газа в газовой смеси. В ранее проведенных экспериментах [16], по выращиванию *Arthrospira platensis* на той же установке в ФБР с объемом питательной среды 70 л при высоких концентрациях CO_2 (9%), устойчивого роста достичь не удалось, на 4 сутки произошла массовая гибель клеток. По-видимому, выбранная в настоящей работе процедура частичной адаптации к CO_2 была более оптимальна и позволила поддерживать устойчивый рост микроводорослей при стрессовых условиях, создаваемых последовательным повышением концентрации углекислого газа.

Заключение

Проведены эксперимент по полунепрерывному культивированию МКВ *A. platensis* в газовой среде с повышенным содержанием $\text{CO}_2 = 6\%$. Получены количественные данные, позволяющие определить скорость прироста биомассы ($0,1 \text{ г/дм}^3/\text{сутки}$) и интенсивность поглощения CO_2 из газовой фазы ($8,8 \text{ г } \text{CO}_2/\text{г биомассы}$). Содержание основных питательных веществ в культуральной жидкости снизилось за весь период экспериментов на $25\text{--}50\%$. Расширение набора микроводорослей и проведение культивирования при концентрациях CO_2 в газовой смеси от $0,04$ (воздух) до 9% показали более высокую и устойчивую скорость роста ($0,33 - 0,37 \text{ г/дм}^3/\text{сутки}$) для микроводорослей штаммов *Chlorella* и *Nannochloropsis*. Такие результаты позволяют рассматривать возможность поглощения CO_2 из дымовых газов без разбавления, что требует дополнительной экспериментальной проверки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-49-02003).

Список литературы

1. Cheah W.Y., Show P.L., Chang J.-S., Ling T.C., Juan J.C. Biosequestration of atmospheric CO₂ and flue gas-containing CO₂ by microalgae // *Bioresour Technol.* – 2015. – Vol. 184. – p. 190-201.
2. Zhao B., Su Y. Process effect of microalgal-carbon dioxide fixation and biomass production: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* – 2014. – Vol. 31. – p. 121-132.
3. Kong W., Shen B., Lyu H., Kong J., Ma J., Wang Z., Feng S. Review on carbon dioxide fixation coupled with nutrients removal from wastewater by microalgae // *Journal of Cleaner Production.* – 2021. – Vol. 292. – p. 125975.
4. Maryjoseph S., Ketheesan B. Microalgae based wastewater treatment for the removal of emerging contaminants: A review of challenges and opportunities // *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering.* – 2020. – Vol. 2. – p. 100046.
5. Moreira D., Pires J.C.M. Atmospheric CO₂ capture by algae: Negative carbon dioxide emission path // *Bioresour Technol.* – 2016. – Vol. 215. – p. 371-379.
6. Van Den Hende S., Vervaeren H., Boon N. Flue gas compounds and microalgae: Biochemical interactions leading to biotechnological opportunities // *Biotechnol Adv.* – 2012. – Vol. 30. – № 6. – p. 1405-1424.
7. Kao C.-Y., Chen T.-Y., Chang Y.-B., Chiu T.-W., Lin H.-Y., Chen C.-D., Chang J.-S., et al. Utilization of carbon dioxide in industrial flue gases for the cultivation of microalga *Chlorella* sp // *Bioresour Technol.* – 2014. – Vol. 166. – p. 485-493.
8. Moheimani N.R. *Tetraselmis suecica* culture for CO₂ bioremediation of untreated flue gas from a coal-fired power station // *J Appl Phycol.* – Vol. 28. – № 4. – p. 2139-2146.
9. Aslam A., Thomas-Hall S.R., Mughal T.A., Schenk P.M. Selection and adaptation of microalgae to growth in 100% unfiltered coal-fired flue gas // *Bioresour Technol.* – 2017. – Vol. 233. – p. 271-283.
10. Lam M.K., Lee K.T. Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME): Win-win strategies toward better environmental protection // *Biotechnol Adv.* – 2011. – Vol. 29. – № 1. – p. 124-141.
11. McGinn P.J., Dickinson K.E., Bhatti S., Frigon J.-C., Guiot S.R., O'Leary S.J.B. Integration of microalgae cultivation with industrial waste remediation for biofuel and bioenergy production: opportunities and limitations // *Photosynth Res.* – 2011. – Vol. 109. – № 1. – p. 231-247.
12. Yahya L., Harun R., Abdullah L.C. Screening of native microalgae species for carbon fixation at the vicinity of Malaysian coal-fired power plant // *Scientific Reports.* – 2020. – Vol. 10. – № 1. – p. 22355.
13. Molitor H.R., Schnoor J.L. Using Simulated Flue Gas to Rapidly Grow Nutritious Microalgae with Enhanced Settability // *ACS Omega.* – 2020. – Vol. 5. – № 42. – p. 27269-27277.
14. B. Zhu, T. Xiao, H. Shen, Y. Li, X. Ma, Y. Zhao, K. Pan. Effects of CO₂ concentration on carbon fixation capability and production of valuable substances by *Spirulina* in a columnar photobioreactor // *Algal Res.* – 2021. – Vol. 56. – p. 102310.
15. F. Almomani, A.M.D. Al Ketife, S.J. Judd, M. Shurair, R.R. Bhosale, H. Znad, M. Tawalbeh. Impact of CO₂ concentration and ambient conditions on microalgal growth and nutrient removal from wastewater by a photobioreactor // *Sci. Total Environ.* – 2019. – Vol. 662. – p. 662–671.
16. E.A. Chunzhuk, A.V. Grigorenko, N.I. Chernova et al. Direct study of CO₂ capture efficiency during microalgae *Arthrospira platensis* cultivation at high CO₂ concentrations // *Energies.* - 2023. - Vol. 16, № 2. - p. 822.

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОЙ И СРЕДНЕЙ СТРУКТУРЫ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

¹Д.Г. Чечин, ¹А.Ю. Артамонов, ²Н.Е. Бодунков, ²М.Ю. Калягин,
³А.М. Шевченко

chechin@ifaran.ru

¹*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Россия, г. Москва*

²*Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), Россия, г. Москва*

³*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Россия, г. Новосибирск*

Ключевые слова. *Турбулентность, атмосферный пограничный слой, беспилотные летательные аппараты.*

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с измерительными комплексами на борту все более широко применяются при исследовании и мониторинге процессов в атмосфере. В докладе рассматриваются результаты разработки применения БПЛА для исследования атмосферного пограничного слоя. В частности, для исследования характеристик турбулентности был разработан БПЛА гибридного типа (с возможностью вертикального взлета и посадки), а также бортовой измерительный комплекс. В основу бортового комплекса входят многоканальный приемник воздушных давлений и инерциальная навигационная система, на основе данных которых рассчитываются три компонента скорости ветра с частотой 100 Гц. Турбулентные пульсации температуры измеряются с помощью термометра сопротивления, чувствительным элементом которого является тонкая (20-30 мкм) платиновая или вольфрамовая нить. Также бортовой комплекс дополнен более инерционным референсным датчиком температуры и влажности воздуха, ИК-термометром для определения температуры поверхности и пиранометром для определения альбедо поверхности. Были проведены тестовые измерения над степной поверхностью в Цимлянске, а также над полыней в Ладожском озере. Было получено хорошее согласие результатов измерений БПЛА с данными содаров и акустических анемометров. Для исследования конвективного пограничного слоя над полыней также применялись БПЛА мультикоптерного типа. Полученные профили температуры позволяют оценить высоту внутреннего пограничного слоя, а также оценить интегральный турбулентный поток тепла с поверхности полыни. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что использование БПЛА различного типа в качестве измерительной платформы является перспективным направлением развития измерительных технологий в метеорологии и может быть использовано для решения многих задач физики атмосферного пограничного слоя.

Исследование выполнено при поддержке грантов РФФИ № 18-77-10072 и РФФИ № 22-47-04408

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СУММАРНОГО БАЛАНСА ТРОПОСФЕРНОГО ОЗОНА В СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Ю. А. Штабкин, К.Б. Моисеенко, А.И. Скороход

yuryshtabkin@gmail.com

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

Аннотация. Представлены количественные оценки вклада процессов фотохимического производства, стока на подстилающую поверхность, зонального, меридионального и вертикального переноса в региональный баланс тропосферного озона на сезонном масштабе для отдельных регионов Северной Евразии, полученные на основе расчетов с использованием транспортно-химической модели GEOS-Chem. В теплый период основным источником озона в нижней тропосфере являются фотохимические процессы окисления его прекурсорных соединений, а суммарный перенос и осаждение являются стоком O_3 . В холодный период главным источником озона является вертикальный перенос из свободной тропосферы, в то время как процессы горизонтального переноса дают отрицательный вклад в суммарный баланс O_3 . Смена режимов генерации озона в умеренных и высоких широтах Северной Евразии происходит в апреле и октябре.

Ключевые слова. Тропосферный озон, Северная Евразия, численное моделирование, загрязнение атмосферы, дальний перенос, модель GEOS-Chem.

Введение

На субсезонном и сезонном масштабах региональный баланс озона в нижней тропосфере над континентом определяется совокупностью нескольких факторов: общим нисходящим потоком озона из стратосферы, крупномасштабной адвекцией, стоком на подстилающей поверхности, а также эффективностью его фотохимического производства в процессах окисления СО, метана, биогенных и антропогенных ЛОС при наличии заметных концентраций нечетного азота NO_x [1 – 3]. Несмотря на очевидную актуальность подобных исследований, надежные количественные оценки указанных факторов в балансе приземного озона в Северной Евразии отсутствуют, прежде всего, ввиду сильной ограниченности данных по комплексному мониторингу фонового состава воздуха.

Средний суммарный бюджет озона для конкретного рассматриваемого региона можно рассчитать, интегрируя по пространству и времени конечно-разностный аналог модельного уравнения адвекции/диффузии с правой частью, описывающей источники и стоки. Итоговое выражение имеет вид

$$\Delta M(O_3) = P_x + L_x + V_d + Z + H + W, \quad (1)$$

где все величины имеют размерность Тг ($=10^{12}$ г), левая часть выражения (1) $\Delta M(O_3) = M(O_3)|_{t_1} - M(O_3)|_{t_2}$ есть разность между конечным и начальным значениями суммарной массы озона в данном регионе за временной интервал от t_1 до t_2 , P_x (>0) и L_x (<0) – величины фотохимического производства и стока

озона, $V_d (<0)$ – суммарный сток на подстилающую поверхность, Z , W , H – величина зонального, меридионального и вертикального переноса, соответственно (последние три величины могут быть как положительными, так и отрицательными). В соответствии с первоначальным смыслом адвективных слагаемых в уравнении переноса, зональный (Z) перенос определен как интеграл по времени от разности между потоками озона на западной и восточной границах региона, меридиональный (W) – на южной и северной границах, соответственно. Горизонтальные потоки через границы области в восточном и южном направлениях приняты положительными. Вертикальный перенос (H) принят положительным, если воздушный поток через верхнюю границу области интегрирования направлен сверху вниз. Поскольку содержание озона обычно растет с высотой, условие $H > 0$ соответствует притоку озона в рассматриваемую область через её верхнюю границу [4].

Модельный эксперимент

Для проведения количественных оценок использовалась транспортно-химическая модель (ТХМ) GEOS-Chem 12–01 [5, 6] на сетке с горизонтальным разрешением $4^\circ \times 5^\circ$. Расчеты проводились с использованием метеорологических данных реанализа MERRA2. Для задания биогенных эмиссий биогенных ЛОС использовалась встроенная модель MEGAN 2.1 [7], для задания антропогенных эмиссий применялись данные CEDS [8], для задания эмиссий от природных пожаров – GFED4 [9].

Отдельные компоненты баланса озона для модельных регионов Западная Европа, ЕТР и Сибирь (Рис. 1) рассчитывались для «фотохимически активного» (апрель – сентябрь) и «зимнего» (октябрь – март) сезонов 2007 и 2012 гг. По данным Гидрометцентра РФ, выбранные годы существенно отличаются режимами циркуляции в тропосфере. Так, в 2007 г. в средних широтах Евразии зональный перенос был интенсивнее обычного (особенно в теплый период), а меридиональный ослаблен, при этом выпало нормальное количество осадков. В 2012 г. более значимую роль играл меридиональный перенос, зональный был ослаблен, осадков выпало мало, что привело в теплый период к многочисленным лесным пожарам, особенно интенсивным в Сибири (см.: <http://meteoinfo.ru>). Результаты расчетов бюджета озона в нижней тропосфере (слой от поверхности до 800 гПа) по отдельным регионам и периодам приведены в таблице 1 и составленной на её основе сводной таблице 2, в которой приведены суммы для сходных по своему физическому смыслу, в контексте решаемой задачи, составляющих баланса (1). Сравнительный анализ приведенных величин за 2007 и 2012 гг. позволяет оценить возможный размах междугодовой изменчивости отдельных составляющих баланса с учетом сезонных особенностей синоптических режимов, а также оценить вклад эмиссий от горения биомассы в величину фотохимической наработки озона в годы с высокой пожарной активностью.

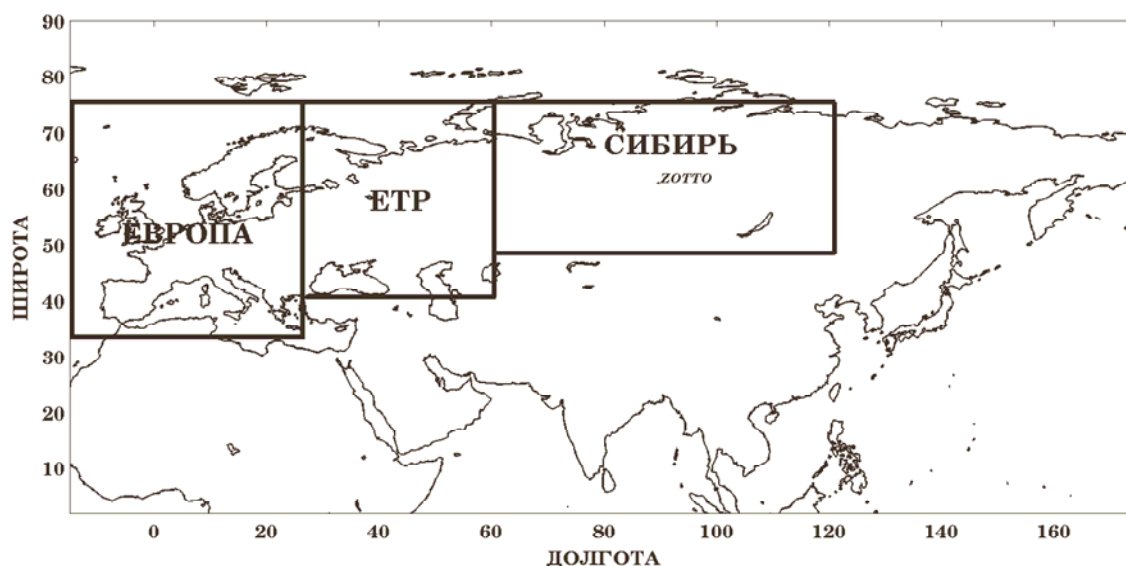


Рис. 1. Географические районы, выбранные для расчетов: Европа (ЗЕ, 35–75 N, 15W–27E), Европейская территория России – ЕТР (41–75 N, 27–60 E) и Сибирь (СИБ, 49–75 N, 60–120 E).

Результаты расчетов

Теплый период. Как следует из приведенных данных, суммарная фотохимическая наработка озона ($P_x + L_x$) в регионах ЗЕ, ЕТР и СИБ составляла 27.1, 20.4, 12.1 Тг в 2007 г. и 27.0, 20.9 и 13.6 Тг в 2012 г., соответственно. Последовательное уменьшение величины $P_x + L_x$ обусловлено меньшими объемами выбросов антропогенных загрязнителей, включая NO_x , на ЕТР и в Сибири по сравнению с Западной Европой. Как уже отмечалось выше, сравнительно невысокое время жизни NO_x ограничивает влияние антропогенных выбросов на фотохимическое производство озона на масштабах, соответствующих времени адвекции порядка 1–2 суток, т.е. порядка 1000 км, что и определяет пространственную корреляцию величины $P_x + L_x$ с полями эмиссий на сезонном масштабе.

При отсутствии антропогенных источников загрязнения концентрация NO_x остается низкой, величина $P_x + L_x$ мала и фоновое содержание озона на рассматриваемых высотах определяется из баланса между нисходящим потоком озона из стратосферы и стоком на подстилающую поверхность. Согласно таблице 1, разность между указанными величинами ($H - |V_d|$) всюду отрицательна и составляла примерно -7, -13.5 и -10 Тг в регионах ЗЕ, ЕТР и СИБ, соответственно, т.е. величина стока за счет осаждения преобладает над вертикальным переносом, выполняющим роль источника озона в нижней тропосфере. При интегрировании по достаточно большой территории, как это имеет место в рассматриваемом случае, превышение реального содержания озона над фоновым (величина среднего атмосферного отклика АО в поле озона на эмиссии прекурсоров и приток из стратосферы) определяется суммой $(P_x + L_x) + (H - |V_d|) = \text{АО}$ и составляло 20.9 Тг (ЗЕ), 6.9 Тг (ЕТР) и 2.1 Тг (СИБ) в 2007 г. и 19.1 Тг (ЗЕ), 7.4 Тг (ЕТР) и 4.6 Тг (СИБ) в 2012 г. Учитывая конечные размеры областей интегрирования, величина АО должна компенсироваться горизонтальной адвекцией ($Z+W$), обеспечивающей, в силу

положительности АО для всех трех регионов, в среднем за сезон сток озона, что и следует непосредственно из приведенных в таблице величин Z и W . Исходя из приведенных выше величин АО, регион ЗЕ в целом являлся регионом – экспортером озона для подветренных регионов ЕТР и Сибири, а ЕТР – для Сибири.

Перенос озона из Западной Европы на ЕТР и далее в Сибирь определялся в основном его зональной компонентой. Как следует из таблицы 1, строка Z , зональный перенос для региона ЗЕ в среднем обеспечивал убыль озона, как за счет положительной адвекции через его восточную границу, так и относительно меньшим содержанием озона в воздухе, поступающем со стороны Атлантического океана в теплый период. В то же время, вклад зонального переноса для подветренных регионов – ЕТР и Сибири – обеспечивал приток озона и последовательно возрастает с 2–4 Тг для ЕТР до 8–14 Тг для Сибири.

Холодный период. Средняя за холодный период величина $P_x + L_x$ в регионах ЗЕ, ЕТР и СИБ составляла 7.3, 3.4, 0.9 Тг в 2007 г. и 6.6, 3.1 и 0.9 Тг в 2012 г., соответственно. В Западной Европе, где объемы антропогенных выбросов высоки, величина фотохимической наработки озона в холодный период оказалась в 4 раза меньше по сравнению с фотохимически активным полугодьем (апрель–сентябрь). В Сибири, где объем антропогенных выбросов сравнительно мал, величина $P_x + L_x$ в летний период оказался в 15 раз выше по сравнению с аналогичной величиной для зимнего периода. Такое различие можно объяснить значительно большими объемами эмиссий биогенных ЛОС, окисление которых в присутствии антропогенных NO_x вносит определяющий вклад (см. [10]) в фотохимическое производство озона, в Западной Европе по сравнению с биогенными эмиссиями на ЕТР и в Сибири в холодный период года. Величина среднего атмосферного отклика без учета адвекции (сумма $(P_x + L_x) + (H - |V_d|)$) в холодный период составляла 9.3 (9.1), -8.1 (-4.7) и 9.5 (12.4) в 2007 г. (2012 г.) в ЗЕ, ЕТР и Сибири, соответственно. Большие положительные значения АО в ЗЕ и Сибири, обусловлены существенно меньшими, по сравнению с летним периодом, величинами скорости осаждения озона на подстилающую поверхность. Ввиду снежного покрова, величина сухого осаждения озона в Сибири оказывается на порядок меньше, чем в теплый период, тогда как для Европы отношение величин стока составляет примерно 2. Указанные величины АО компенсируются убылью озона за счет горизонтальной адвекции, имеющей отрицательный знак для данных регионов. Обратная ситуация наблюдалась на ЕТР, где в оба указанных года зимняя величина АО была отрицательной в силу отрицательного вклада вертикального переноса (H), тогда как горизонтальная адвекция, напротив, в среднем обеспечивала прирост озона ($Z+W>0$) (Таблица 1, строки Z , W , H). Можно предположить, что наблюдаемая последовательная смена знаков для горизонтального и вертикального потоков озона в исследуемых регионах обусловлена особенностями крупномасштабной структуры поля ветра над западной частью континента в холодный период

года, в т.ч. динамикой планетарных волн, однако подробный анализ данного вопроса выходит за рамки работы.

Таблица 1

Бюджет озона в нижней тропосфере в теплый (1 апреля – 30 сентября) и холодный (1 октября – 31 марта) периоды за 2007 и 2012 г. для регионов Западная Европа, Европейская территория России (ЕТР) и Сибирь

Вклад, Тг	Тёплый период					
	2007 г.			2012 г.		
	ЗЕ	ЕТР	СИБ	ЗЕ	ЕТР	СИБ
Хим. источники (P_x)	48.3	32.7	20.7	47.3	33.4	22.4
Хим. сток (L_x)	-21.2	-12.3	-8.6	-20.3	-12.5	-8.8
Осаждение* (V_d)	-32.5	-31.0	-29.0	-32.0	-31.2	-29.5
Перенос:						
Зональный (Z)	-2.1	2.1	7.9	-1.0	4.1	13.8
Меридиональный (W)	-19.0	-9.1	-9.8	-18.6	-11.6	-18.8
Вертикальный (H)	26.3	17.5	18.4	24.1	17.7	20.5
$M(O_3)$	2.2	1.4	1.5	2.5	1.4	1.5
$\Delta M(O_3)$	-0.2	-0.1	-0.4	-0.5	-0.1	-0.4

Вклад, Тг	Холодный период					
	2007 г.			2012 г.		
	ЗЕ	ЕТР	СИБ	ЗЕ	ЕТР	СИБ
Хим. источники (P_x)	14.7	6.5	2.2	14.1	6.1	2.1
Хим. сток (L_x)	-7.4	-3.1	-1.3	-7.5	-3.0	-1.2
Осаждение* (V_d)	-15.9	-8.1	-3.8	-16.0	-7.6	-3.5
Перенос:						
Зональный (Z)	7.0	3.2	4.1	12.7	8.1	3.1
Меридиональный (W)	-16.5	5.0	-9.7	-21.8	-3.4	-15.1
Вертикальный (H)	17.9	-3.4	8.6	18.5	-0.2	14.9
$M(O_3)$	2.2	1.3	1.4	2.2	1.2	1.5
$\Delta M(O_3)$	-0.2	0.1	0.1	0	0	0.3

* Включает не только сухое осаждение на поверхность, но и влажное осаждение связанных с O_3 веществ (т.е. HNO_3)

С целью упрощения анализа результатов на основе данных таблицы 1 построена таблица 2, в которой компоненты баланса сгруппированы в соответствии с современными представлениями об их роли в глобальной фотохимии тропосферного озона: фотохимическая наработка в нижней тропосфере ($PO_{x_net} = P_x + L_x$), вертикальный перенос ($V_d + H$), горизонтальная адвекция ($Z + W$) и средняя концентрация озона $\chi(O_3)$. Для удобства восприятия все величины усреднены и представлены в единицах измерения, эквивалентных ppbv.

На основании таблицы 2 можно сделать следующие выводы. (i) В теплый период года во всех модельных регионах имеет место фотохимическая наработка озона (в химических реакциях, производство озона преобладает над его стоком, $PO_{x_net} > 0$), величина которой оказывается наибольшей на ЕТР (3.2–3.3 ppbv/день) и наименьшей – в Сибири (1.8–2. ppbv/день). Достижения

максимума величины PO_{x_net} на ЕТР обусловлено значительно более низкими (почти в два раза), по сравнению с Западной Европой, скоростями фотохимического стока семейства нечетного кислорода (см. Таблицу 6), что и определяет, в конечном итоге, величину полного баланса. (ii) Если суммарный источник озона определить как сумму химического производства, вертикального переноса и стока (величина $PO_{x_net}+V_d+H$), его величина оказывается наибольшей в Западной Европе (2.0–2.1 ppbv/день), далее – на ЕТР (~1.1 ppbv/день), и наименьшей – в Сибири (0.2–0.6 ppbv/день). (iii) Определенный выше суммарный источник озона компенсируется горизонтальным переносом, при этом, как следует из приведенных выше величин ($PO_{x_net}+V_d+H$), все рассматриваемые регионы являются регионами–донорами для областей подветренного сноса. Учитывая преобладание зональной компоненты переноса над меридиональной, наличие регионов – доноров и определяет в конечном итоге повышенный уровень приземного озона над континентом в теплое время года, включая регионы с низкой антропогенной нагрузкой.

Таблица 2

Сводный баланс озона на основе таблицы 1 ($PO_{x_net} = (P_x + L_x)$ – суммарный вклад фотохимических источников и стоков)

Вклад, ppbv/день	Тёплый период					
	2007 г.			2012 г.		
	ЗЕ	ЕТР	СИБ	ЗЕ	ЕТР	СИБ
Хим. источники (PO_{x_net})	2.80	3.20	1.76	2.80	3.27	1.96
Верт. перенос $V_d + H$	-0.65	-2.11	-1.55	-0.81	-2.11	-1.31
Горизонт. перенос $W + Z$	-2.18	-1.09	-0.26	-2.02	-1.18	-0.72
Среднее содержание озона	40.8	39.5	36.7	43.5	36.7	37.5

Вклад, ppbv/день	Холодный период					
	2007 г.			2012 г.		
	ЗЕ	ЕТР	СИБ	ЗЕ	ЕТР	СИБ
Хим. источники (PO_{x_net})	0.75	0.54	0.13	0.69	0.48	0.13
Верт. перенос $V_d + H$	0.20	-1.80	0.70	0.25	-1.21	1.64
Горизонт. перенос $W + Z$	-0.97	1.28	-0.82	-0.94	0.72	-1.73
Среднее содержание озона	39.8	35.5	34.6	40.1	35.3	35.4

В холодный период величина фотохимической наработки озона закономерно убывает от Западной Европы (до 0.75 ppbv/день) к Сибири (0.13 ppbv/день) и для регионов ЕТР и Сибири оказывается примерно на порядок ниже по сравнению с летними значениями. Последовательная смена знаков величин горизонтальной адвекции и вертикального переноса при смещении к востоку, как уже упоминалось, может отражать волновой характер макроциркуляционных процессов, определяющих, в том числе и условия вертикального переноса озона для нижней тропосферы в целом. Таким образом, горизонтальный перенос воздуха в холодное время года выступает в роли источника озона (приносит более богатый озоном воздух) для ЕТР, и стока озона – для Западной Европы и Сибири.

Стоит отметить, что среднее содержание озона в 2012 году в Сибири выше, чем на ЕТР, причем как в теплый, так и в холодный период. Это может быть объяснено высокой чувствительностью фотохимической системы в Сибири (см. [10]), а также очень жарким и сухим летом, в которое происходило активное накопление в воздухе веществ–предшественников озона, в том числе в результате природных пожаров.

Выводы

Согласно результатам проведенных расчетов, в теплый период года (1 апреля - 30 сентября) в Европе, на ЕТР и в Сибири имеет место фотохимическая наработка озона, которая оказывается наибольшей на ЕТР (3.2–3.3 ppbv/день) и наименьшей – в Сибири (1.8–2. ppbv/день) ввиду меньших антропогенных эмиссий NO_x. Величина суммарного источника озона (фотохимическая наработка + вертикальный перенос) наибольшая в Западной Европе (2.0–2.1 ppbv/день), далее – на ЕТР (~1.1 ppbv/день), и наименьшей – в Сибири (0.2–0.6 ppbv/день). Суммарный источник озона компенсируется горизонтальным переносом, при этом все рассматриваемые регионы являются регионами–донорами для областей подветренного сноса. Таким образом, Европа, ЕТР и Сибирь являются источниками тропосферного озона для Северной Евразии и для средних широт Северного Полушария в целом. В холодный период (1 октября – 31 марта) величина фотохимической наработки озона закономерно убывает от Западной Европы (до 0.75 ppbv/день) к Сибири (0.13 ppbv/день) и для регионов ЕТР и Сибири оказывается примерно на порядок ниже по сравнению с летними значениями.

Работа выполнена при финансовой поддержке по проекту РНФ №21-17-00210.

Список литературы

1. Sillman, S. The relation between ozone, NO_x and hydrocarbons in urban and polluted rural environments // Millennial Review series, Atmos. Environ., 33, 12, 1821-1845, 1999.
2. Pierce T., Geron C., Bender L. et al. Influence of increased isoprene emissions on regional ozone modeling // Journal of Geophysical Research. 1998. V. 103. P. 25611–25629.
3. Monks P. S., Archibald A. T., Colette A. et al. Tropospheric ozone and its precursors from the urban to the global scale from air quality to short-lived climate forcer // Atmos. Chem. Phys. V. 15. PP. 8889–8973. 2015. doi:10.5194/acp-15-8889-2015
4. Auvray, M. and Bey I. Long-range transport to Europe: Seasonal variations and implications for the European ozone budget // J. Geophys. Res. 2005. V. 110. D11303. doi:10.1029/2004JD005503.
5. Bey I., Jacob D. J., Yantosca R. M., Logan J. A., Field B.D., Fiore A.M., Li Q.B., Liu H.G.Y., Mickley L.J. and Schultz M.G. Global modeling of tropospheric chemistry with assimilated meteorology: Model description and evaluation // J. Geophys. Res., 106, 23073–23095, doi:10.1029/2001JD000807. 2001.
6. Zhang, L., Jacob, D.J., Downey, N.V., Wood, D.A., Blewitt, D., Carouge, C.C., van Donkelaar, A., Jones, D.B.A., Murray, L.T., Wang, Y. Improved estimate of the policy-relevant background ozone in the United States using the GEOS-Chem global model with 1/2° x 2/3° horizontal resolution over North America // Atmospheric Environment. V. 45. I. 37. PP. 6769–6776. 2011.
7. Guenther, A. B., Jiang, X., Heald, C. L., Sakulyanontvittaya, T., Duhl, T., Emmons, L. K., and Wang, X. The Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature version 2.1 (MEGAN2.1): an extended and updated framework for modeling biogenic emissions // Geosci.

Model Dev., 5, 1471–1492, <https://doi.org/10.5194/gmd-5-1471-2012>, 2012.

8. Hoesly, R. M., Smith, S. J., Feng, L., Klimont, Z., Janssens-Maenhout, G., Pitkanen, T., Seibert, J. J., Vu, L., Andres, R. J., Bolt, R. M., Bond, T. C., Dawidowski, L., Kholod, N., Kurokawa, J.-I., Li, M., Liu, L., Lu, Z., Moura, M. C. P., Rourke, P. R., and Zhang, Q. Historical (1750–2014) anthropogenic emissions of reactive gases and aerosols from the Community Emissions Data System (CEDS) // *Geosci. Model Dev.*, 11, 369–408, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-369-2018>, 2018.

9. van der Werf G. R., Randerson J. T., Giglio L., Collatz G. J., Mu M., Kasibhatla P. S., Morton D. C., DeFries R. S., Jin Y., van Leeuwen T. T. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997 - 2009) // *Atmos. Chem. Phys.* 2010. V. 10. P. 11707-11735. doi:10.5194/acp-10- 11707-2010.

10. Моисеенко К.Б., Штабкин Ю.А., Березина Е.В., Скороход А.И. Региональные фотохимические источники приземного озона в Европе и западной Сибири // *Известия РАН. Физика Атмосферы и Океана*. 2018. Т. 54. № 6. С. 645-658.

ВЕРОЯТНОСТЬ ПОХОЛОДАНИЯ ПСВ В 21-М СТОЛЕТИИ В СЛЕДСТВИЕ СНИЖЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ ВУЛКАНОВ

¹ Я.А. Экба, ¹ А.К. Ахсалба, ² Л.В. Хинтуба

ekba-yan@yandex.ru, Asida_cen@mail.ru, LolitaKhintuba@yandex.ru

¹Институт экологии Академии наук Абхазии, Абхазия, г. Сухум

²Абхазский государственный университет, Абхазия, г. Сухум

***Аннотация.** Общепринятый ныне прогноз климатических изменений, предсказывающий монотонный рост глобальной температуры до конца 21 века, сделан в предположении об отсутствии существенного влияния солнечной активности, вулканической деятельности, океанических течений на климатическую систему планеты. К настоящему времени выяснено, что такое предположение является ошибочным. Прогнозы, построенные с учетом упомянутых связей, указывают на вероятное понижение глобальной температуры после 2010 года. Изложенные представления с высокой точностью подтверждаются многолетним трендом среднегодовой температуры не только на территории Абхазии, но и во всем Кавказском регионе. Экологические и геополитические последствия этого похолодания могут оказаться очень серьезными.*

***Ключевые слова.** Глобальное похолодание, климатические факторы, геополитические последствия.*

В последние годы прогноз глобального повышения температуры на нашей планете — монотонный ее рост на $+3,6^{\circ} \pm 2,2^{\circ}$ к концу текущего столетия — приобрел статус утверждения несомненного и бесспорного.

Отчеты Международного Комитета по климатическим изменениям при ООН [4, с.102] (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), регулярно суммирующие состояние дел в этой области, едва ли, казалось бы, подлежат критике, так как: они составляются при участии многих сотен экспертов (главным образом из США и Западной Европы) и примерно таким же числом правительственных экспертов рецензируются. Не менее сильное впечатление составляют и политические последствия этого уже почти массового движения. Киотский Протокол (1997) подписан представителями 150 стран и вокруг него не прекращаются научные дискуссии и политические маневры. Между тем, этот прогноз, скорее всего, является ошибочным, так как рост глобальной температуры на Земле в последние десятилетия 20-го и начала 21-го века не обусловлен антропогенными причинами; экстраполяция тенденции этого роста на весь 21 век не обоснована.

Столь же острая ситуация в недавнее время имела место по вопросу о динамике озоносферы. В одно время казалось, что озоносфера разрушается из-за неконтролируемого в глобальном масштабе химического производства, но

теперь мало кто сомневается, что уменьшение толщины стратосферного озона обусловлено почти целиком естественно протекающими атмосферно-циклическими процессами [15, с.151].

В публикациях [3, с.8, 16 с.201] на основании надёжного прогноза солнечной активности предполагается понижение глобальной температуры приповерхностного слоя атмосферы. При этом этот процесс не увязывается с антропогенной деятельностью.

Влияние изменений солнечной активности на климатическую систему

Деятельность человека, хотя и оказывает определённое влияние на атмосферные процессы, но не является решающим фактором. Оказалось, при переходе от максимума активности к минимуму изменения потока энергии, приходящей на Землю, составляют не более 0,1% и глобальная температура планеты по этой причине изменяется не более чем на 0,1°. Однако, из этих данных вывод о справедливости упомянутого тезиса вовсе не следует.

Долговременные климатические изменения (12 тыс. лет), как оказалось, связаны с вариациями магнитного момента планеты, т.е. параметрами магнитосферы [11, с.140]. Для более продолжительных солнечных циклов – 22 года, около 60 лет, вековых и т.д. пространственная организация динамики климатической системы упрощается. Они могут быть найдены в любых данных достаточной продолжительности.

Например, 60-летние осцилляции присутствуют и в глобальной температуре [5, с.253]. Отмечается, что в таком сценарии максимум повышения глобальной температуры уже пройден, что, похоже, и наблюдается современными точными измерениями.

Из анализа 200-летнего ряда ежедневных наблюдений температуры в Санкт-Петербурге следует, что летом температура значимо коррелирует с Числами Вольфа, а зимой с индексами магнитной активности [12, с.106]. Но сам факт такого воздействия теперь не подлежит сомнению. Во-первых, в настоящее время общепризнано, что динамика климатической системы включает в себя не только процессы в атмосфере и гидросфере. Здесь приходится иметь дело с проблемой междисциплинарной. Климат зависит также от процессов, протекающих и в биосфере, литосфере, ионосфере и магнитосфере. И специалистам в области солнечно-земных связей здесь тоже есть что сказать. Во-вторых, со стороны иногда лучше видно в какой степени используемые в прогностической работе модели адекватны реальности.

Согласно наблюдениям, в пределах семейства минимумы отстоят друг от друга приблизительно на 200 лет. Синхронно с этим циклом изменяется палеотемпература, уменьшаясь во время минимума на 0,3°- 0,5°. Раньше был известен только один такой достаточно большой минимум – минимум Маундера (1645-1715 гг.). Располагая новыми данными, можно построить и долгосрочный прогноз солнечной активности и температуры. Такой прогноз

был сделан с применением специально разработанной технологии [10]. Он показан на рис. 1.

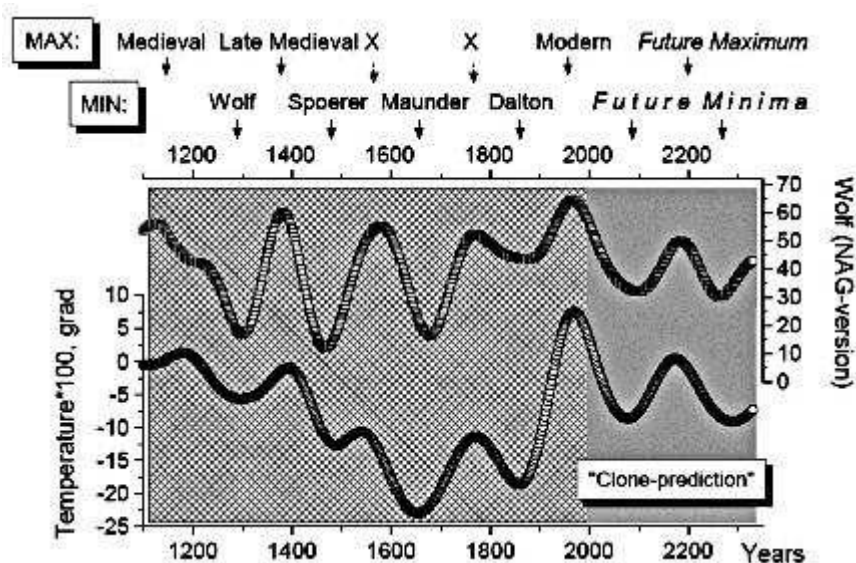


Рис. 1. Грандиозные минимумы и максимумы солнечной активности и глобальной температуры: последнее тысячелетие и прогноз на ближайшие три столетия (с любезного разрешения авторов работы [10, с.321])

Как видно, похолодания можно ожидать сразу после максимума 24-го цикла, т.е. около 2012 года. Сам этот максимум должен иметь относительно малую амплитуду (около 60 единиц в числах Вольфа, близкая оценка получилась и у некоторых других авторов, впрочем, полного единодушия здесь нет. Самое главное, что результат прогноза солнечной активности, представленный на рис. 1, совпадает с прогностическими оценками целого ряда других независимых авторов, использовавших в своих вычислениях самые разные подходы. Все эти данные сведены в таблице 1.

Следует обратить внимание на то, что тот же самый прогностический результат получается при рассмотрении вариации солнечной активности в связи с движением Солнца относительно барицентра Солнечной системы [3, с. 9].

Вне сомнения, замечательная согласованность данных (табл. 1) заставляет отнести к прогнозу локального температурного минимума с полной серьезностью.

Следует ожидать, что вследствие локального похолодания в отдельных регионах планеты существенно снизится продуктивность экосистем, что в первую очередь должно отразиться на состоянии отдельных отраслей экономики, которые используют природные ресурсы. Например, значительно может сократиться добыча рыбы и морепродуктов. В связи с похолоданиями можно ожидать падения сельскохозяйственного производства и общего ухудшения мировой продовольственной ситуации. Согласно некоторым расчетам, снижение среднегодовой температуры на 1° на территории Канады, России (со странами СНГ) приводит к понижению производства зернобобовых приблизительно на 2,5%. Одним из главных факторов,

способствующих понижению региональной и глобальной температуры приповерхностного слоя воздуха (ПСВ), является извержение мощных вулканов, тефра которых выносится в стратосферу.

Таблица 1

Прогнозируемый ход солнечной активности по данным различных авторов

<i>Автор</i>	<i>Основная идея прогностического подхода</i>	<i>Начало понижения активности</i>	<i>Примечания</i>
R. Fairbridge, I. Shirley [3]	Ориентация орбиты Солнца относительно барицентра Солнечной системы	2014 и 2050 гг.	Использованы косвенные данные о солнечной активности с 8-го века н.э.
О.Микущина etel. [3]	Анализ цикличности солнечной активности восстанов. по C^{14}	Начиная сразу после 2000 года	Найденные периоды подтверждены послед. работами
F. De Meyer [3]	Прогноз сделан посредством экстраполяции.	После 2015 г.	
В.Г. Сарычев [3]	Оригин. алгоритм восстановления сигнала из спектр. оценок классичес. ряда солнечной акт	После 2020 г.	Специально построенный прогноз
Б.П. Комитов, В.И. Кафитан [3]	Анализ долгопериодической цикличности солнечной активности	2012 и 2025 гг.	Специально построенный прогноз
Х. Абдусаматов [3]	Анализ вариаций светимости по данным последних десятилетий	2012-2013 гг.	
В.И. Ермаков [3]	Вариации солнечной активности согласно ряду Шове - экстраполяция	Первая половина 21-го века	
Ю.А.Наговицын, М.Г. Огурцов [10]	Спектральный анализ реставрированного хода солнечной активности последнего тысячелетия	2040 г.	

Влияние вулканических извержений на температуру приповерхностного слоя воздуха

Воздействия вулканического извержения на атмосферу состоит в уменьшении прозрачности атмосферы, загрязнении, уничтожении стратосферного озона, кислотных дождях, в нагревании верхних слоев атмосферы и охлаждении нижних. После извержений в стратосфере возникают облака мелких частиц, состоящих из вулканической пыли. Они могут заметно ослаблять поток коротковолновой радиации к поверхности и

почти не меняют поток длинноволнового уходящего излучения. Только некоторые типы вулканических извержений влияют на климат. Прежде всего они должны быть значительными, чтобы выбросить достаточно материала в нижние слои стратосферы (20–25 км) и находиться в низких широтах.

После крупных извержений происходит снижение радиации, которое зависит от мощности извержений, при этом снижение сохраняется от нескольких месяцев до 3-х и более лет. Вариации прямой солнечной радиации, по данным мировой сети актинометрических станций за период с 1883 по 1989 г. и по данным актинометрических станций России за последующий период до 2020 г., может достигать 13-15% [8, с.105]. В общем случае мощные извержения вулканов могут уменьшить прямую солнечную радиацию на 10–30 %, если это воздействие выразить в единицах «форсинга» – Вт/м², то эти оценки индекса радиационного воздействия аэрозолей на климат составят от –0,5 до –2,0 Вт/м², что сопоставимо с антропогенной эмиссией парниковых газов.

Сравнительная оценка уменьшения радиации по сезонам после извержения вулканов Агунг (1963), Фуэго (1974) и Эль-Чичон (1982) представлена в табл. 2 [9, с.308]. Следует отметить, что в зоне 40–50 °с. ш. Европейского сектора (юг ЕТР и Средняя Азия) уровень замутненности атмосферы очень большой, поэтому влияние вулканического аэрозоля на ослабление прямой радиации проявляется менее заметно.

В высоких широтах зимой после извержения вулканов аномалии прямой радиации достигали наибольшего значения 26,5 %, в низких широтах влияние меньше и находится в пределах 2,0–14,5 %, так как длина пути солнечного луча в северных широтах больше. В летние месяцы влияние вулканических аэрозолей ослабевает в 2–7 раз по сравнению с зимой, так как увеличивается общий уровень замутненности атмосферы и влагосодержания.

Многие исследователи проводили оценку влияния вулканического аэрозоля на региональную и глобальную температуру, и хотя очевидно, что за счет снижения радиации температура должна уменьшаться, но существует ряд особенностей, зависящих от местоположения вулкана на Земле, его мощности, циркуляции атмосферы и других. В основном похолодание в теплый сезон (март – октябрь) наблюдается в течение 2-х лет после извержения. Причем наибольшее похолодание имеет место на континентах и в средних – высоких широтах.

Влияние циркуляции атмосферы в распространении аэрозоля приводит к тому, что основные извержения, происходящие в низких широтах, достигают высоких широт обоих полушарий. Существует прямо пропорциональная зависимость между количеством выброшенного в атмосферу вулканического вещества и уменьшением глобальной температуры [8, с.118].

Помимо температуры атмосферы, извержения вулканов также влияют и на понижение температуры поверхности океана (ТПО) и температуры атмосферы над океаном (ТА) и океана (ТПО) за разные сезоны года. Период снижения ТПО и ТА совпал с интенсивной вулканической деятельностью в

Северном полушарии в начале XX в. (1902–1912 гг.). В табл.2 представлены значения ТПО и ТА, связанные с вулканическими извержениями [9, с.308].

Таблица 2

Разности (Δ) между аномалиями ТПО и ТА до и после вулканических извержений (в относительных единицах от естественной изменчивости)

Изменение	Южное полушарие						Северное полушарие				
	60-50°	50-40°	40-30°	30-20°	20-10°	10-0°	20-10°	10-20°	20-30°	30-40°	40-50°
Δ ТПО	0,06	0,05	0,12	0,21	0,17	0,12	0,11	0,26	0,22	0,28	0,28
Δ ТА	0,11	0,14	0,17	0,20	0,16	0,23	0,15	0,41	0,14	0,27	0,31

Из таблицы видно, что наибольшие изменения ТПО и ТА имеют место в Северном полушарии и в среднем изменения ТА больше, чем изменения ТПО, что обусловлено большей инерционностью температуры океана по сравнению с температурой воздуха. К другим климатическим характеристикам, для которых также оценивалось влияние вулканических извержений, относятся атмосферное давление и осадки. Анализ (табл. 3) показал, что для всех сезонов характерно повышение давления после вулканических извержений в субтропических широтах (20–40°). В высоких широтах (60–70°) зимой и весной давление после извержений понижается, а летом и осенью повышается, наиболее заметные изменения давления характерны для зимнего и весеннего сезонов. Дополнительное понижение давления в высоких широтах и повышение в субтропических усиливает градиент давления субтропики – полюс и, как следствие, рост зональных типов циркуляции. Усиление зональной циркуляции, особенно зимой, приводит к выносу теплого и влажного воздуха с океана, что приводит к формированию теплых зим после извержений. Летом и осенью изменение давления незначительно.

В табл.4 приведены среднеширотные разности давления до и после вулканических извержений также по сезонам. Из анализа данных табл.3 и 4 можно сделать следующие общие выводы по изменению давления и циркуляции атмосферы после извержений:

- зимой и весной усиливается зональная циркуляция;
- происходит ослабление муссонной циркуляции, что приводит зимой к затакам теплого воздуха, а летом – к ослаблению зональной циркуляции;
- сибирский центр действия ослаблен, что должно приводить к теплым зимам.

В связи с тем, что количество потенциальных ядер конденсации в атмосфере после вулканических извержений увеличивается, то это должно влиять на увеличение осадков. Анализ среднеширотных разностей сумм осадков (табл. 5) показал, что для всех сезонов года характерно увеличение осадков в высоких широтах. Зимой и весной в средних и низких широтах происходит уменьшение осадков. Летом осадков выпадает больше

практически во всех широтных зонах, а осенью их количество уменьшается лишь в зоне 25–35° с. ш.

Таблица 3

Разности давления в центрах действия атмосферы до и после вулканических извержений

Сезон	Центр действия			
	Азорский максимум	Исландский минимум	Тихоокеанский максимум	Алеутский минимум
Зима	0,7	-2,4	0,3	-8,3
Весна	1,3	-3,2	-0,7	0,7
Лето	0,06	0,9	0	-0,5
Осень	-0,9	1,2	0,1	0,1

Таблица 4

Среднеширотные разности давления (гПа) до и после вулканических извержений

Сезон	Широта										
	70°	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°	20°
Зима	-1,46	-1,20	-1,08	-0,84	-0,36	0,14	0,42	0,59	0,61	0,46	0,32
Весна	-1,29	-0,80	-0,22	0,30	0,71	0,98	0,90	0,75	0,48	0,26	0,14
Лето	0,42	0,18	-0,05	-0,23	-0,23	-0,10	-0,02	0,20	0,40	0,43	0,36
Осень	0,58	0,53	0,21	-0,18	-0,29	-0,02	0,14	0,20	0,22	0,19	0,23

Таблица 5

Среднеширотные разности сумм осадков (мм) до и после вулканических извержений

Сезон	Широта										
	70°	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°	20°
Зима	15,3	8,3	5,8	0,8	-6,0	-8,1	-11,3	-0,1	0,6	-2,7	3,9
Весна	9,4	1,0	1,0	-2,2	-0,6	-3,1	-1,3	4,6	-3,5	-2,0	0,4
Лето	20,5	14,1	6,0	0,3	0,2	2,8	-0,7	0,8	0,9	0,7	0,9
Осень	6,6	4,3	1,9	1,1	5,4	4,9	0,5	-0,9	-0,8	-1,9	1,1

Если рассмотреть климатические последствия вулканических извержений по результатам косвенных данных на протяжении всей нашей эры [8, с.86], то низкой вулканической активности соответствуют частые засухи и периоды потепления в связи с повышенной прозрачностью атмосферы.

Особенности воздействия вулканов на ТПВ на территории Абхазии

Изложенные в работе расчёты с высокой достоверностью подтверждаются многолетним трендом среднегодовой температуры не только на территории Абхазии, но и во всем Кавказском регионе. Началом процесса

понижения температуры послужило извержение вулкана Эйяфьятлайокудль (Исландия, 14-19.04.2010).

В работах [2, с.10; 13, с.4; 6, с.543; 17, с.162; 18 с.278] на значительном по объёму материале однозначно доказано влияние мощных вулканов на глобальную и региональную температуру приповерхностного слоя воздуха. За время наблюдений на территории Абхазии с 1999 по 2021 год можно отметить два периода: первое общее повышение температуры атмосферного воздуха с 1999 по 2010 годы, когда среднегодовая температура достигла максимума (18,4°C). После чего под воздействием извержения мощного вулкана Эйяфьятлайокудль (Исландия, 14-19.04.2010) температура ПСВ в следующем 2011 году понизилась на 3,8°C и составила 14,6°C (рис.2).

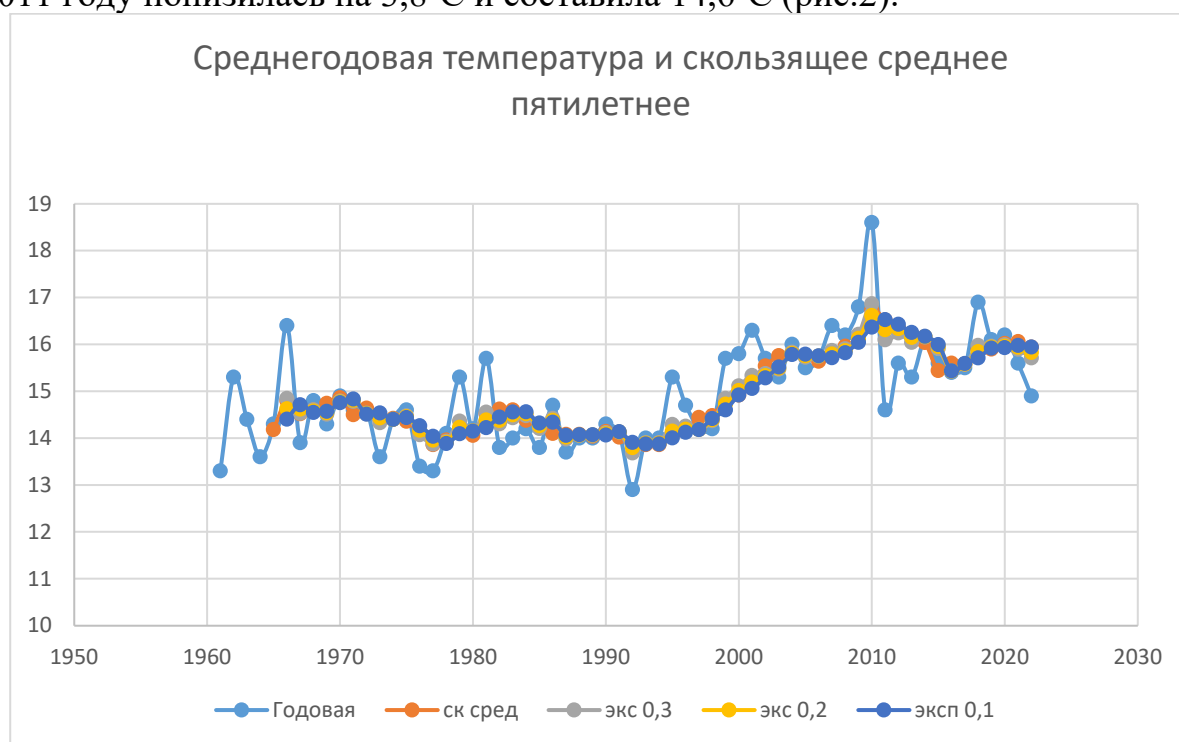


Рис.2. Среднегодовая температура и скользящие средние пятилетние температуры приповерхностного воздуха, г. Сухум (м.с. Маяк)

Особенностью тенденции изменения среднегодовых температур ПСВ для всех шести метеостанций (Сухум, Сочи, Туапсе, Анапа, Краснодар, Владикавказ, Ставрополь) таблица 6, расположенных в различных климатических зонах является их практическая синхронность, с высоким коэффициентом корреляции $r > 0,85$. Кроме того, такая же синхронность наблюдается в скачкообразном понижении среднегодовой температуры ПСВ в год последующий за извержением.

В зависимости от удалённости пункта от вулканического очага, особенностей распространения тифры в тропосфере и стратосфере эффект понижения температуры может быть различным. В таблице 6 представлены перепады среднегодовых температур ПСВ, вызванные вулканическими извержениями. По всей видимости, в этих случаях основная роль в понижении температуры воздуха принадлежит стратосферному аэрозолю, который сохраняется в атмосфере в течение длительного времени [17, с.136].

Таблица 6

Перепады среднегодовых температур ПСВ, под воздействием извержения вулканов

Пункт наблюдения	Эль-Чичон $\Delta t^{\circ}C = t_{83} - t_{82}$	Пинатубо $\Delta t^{\circ} = t_{92} - t_{91}$	Эйяфьядлайёкюдль $\Delta t^{\circ}C = t_{11} - t_{10}$
Сухум	-0,2	-1,2	-4
Сочи	0,1	-1,2	-3
Краснодар	-1,3	-0,5	-2,6
Ставрополь	-1,3	-1	-3
Владикавказ	-2,1	-0,7	-2,7
Анапа	-0,4	-0,5	-2,7
Туапсе	-0,1	-0,9	-2,9

Глобальные температуры тоже реагируют на вулканические извержения, понижения температур составили: вулкан Эль-Чичон, 1982г- 0,1⁰С; Пинатубо, 1991г, -0,1⁰С; Эйяфьятлайокудль, 2010г -0,2⁰С. Но поскольку глобальные температуры являются следствием значительных пространственно-временных осреднений, их амплитуда колебаний существенно меньше региональных [7, с.53].

Существенный интерес, с точки зрения выявления механизмов воздействия извержения вулканов на температуру ПСВ, представляет сезонное распределение отклонений среднемесячных значений температур ПСВ от средних многолетних, предшествующих извержению, по пунктам с различными климатическими условиями. В таблице 7 представлены отклонения среднегодовых температур, вызванные извержением вулкана Эйяфьятлайокудль (Исландия, 2010 г.).

Таблица 7

Отклонения значений среднемесячных температур ПСВ, вызванных воздействием вулкана Эйяфьятлайокудль (Исландия, 2010г), от средних многолетних за предыдущие годы

Пункт наблюдения	$\Delta t^{\circ}C = t^{\circ}_{11} - t^{\circ}_{cp10}$											
	месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Сухум	1,4	-1,6	-0,2	-2,3	-1,6	-0,2	0,3	-0,7	-0,5	-1,7	-5,4	-0,7
Владикавказ	0,7	-3,2	-1	-2,7	-0,9	-0,2	1,9	-1,3	-0,3	-1,1	-5,6	1,9
Краснодар	-0,8	-3,5	-1,6	-2,4	-0,6	0,8	2,2	-0,8	0,3	-1,2	-5,5	3,4
Сочи	0,6	-2,6	-0,9	-2,2	-1,6	-0,9	0,3	-1,2	-0,8	-1,7	-4,9	0,5
Ставрополь	-0,7	-4,4	-1,7	-2,8	-0,7	-0,2	1,5	-1,4	-0,2	-1,7	-6,2	2,3
Туапсе	0,3	-2,5	-0,8	-1,7	-0,6	0,1	1	-0,7	-0,1	-1,7	-5,4	1,9
Анапа	-0,7	-3	-1,4	-1	-0,2	1	0,6	-0,1	0,4	-1,6	-6,2	2,8

Из анализа таблицы следует, отклонения температур ПСВ существенным образом зависят от времени года. Перепад температур в первом случае составляет от -1,6⁰С (Сухум) до -4,4⁰С (Ставрополь), во втором случае эти отклонения достигают соответственно – 5,4⁰С, - 6,2⁰С. Наибольшие отклонения -6,2⁰С наблюдаются на метеостанции г. Ставрополя и Анапы [20, с. 104].

В общем случае наиболее значимые понижения температур наблюдаются в регионах с континентальным климатом. В прибрежных пунктах наблюдений сказывается смягчающее действие морских акваторий. При этом в конце зимы (февраль) и последнего осеннего месяца (ноябрь) в год после извержения вулкана Эйяфьятлайокудль (Исландия, 2010г), температура синхронно во всех пунктах наблюдения резко понижается. Можно полагать, что столь резкие понижения температур не могут быть результатом действия парниковых газов, выделяемых при извержении, или снижением прозрачности атмосферы под влиянием аэрозольных выбросов в тропосферу и стратосферу. Вероятнее всего в атмосфере происходят такие перестройки циркуляционных процессов, которые позволяют Арктическим циклонам проникать в южные регионы, тем более, что указанные периоды понижения температур соответствуют весенней и зимней перестройке атмосферы, связанной с естественной активизацией циклонической деятельности [21, с. 495].

В отличие от изложенного при общем существенном (скачкообразном) понижении среднегодовых температур, зимние и особенно летние температуры остаются значимо выше средних многолетних значений. Таким образом, создаётся «эффект тёплой зимы» и «жаркого» лета [19, с. 39].

На рисунке 4 приведены значения среднегодовых температур ПСВ по 10-летиям, где однозначно показано, что самым тёплым десятилетием с начала метеонаблюдений был период 2001-2010гг (СГТ ПСВ $-16,3^{\circ}\text{C}$).

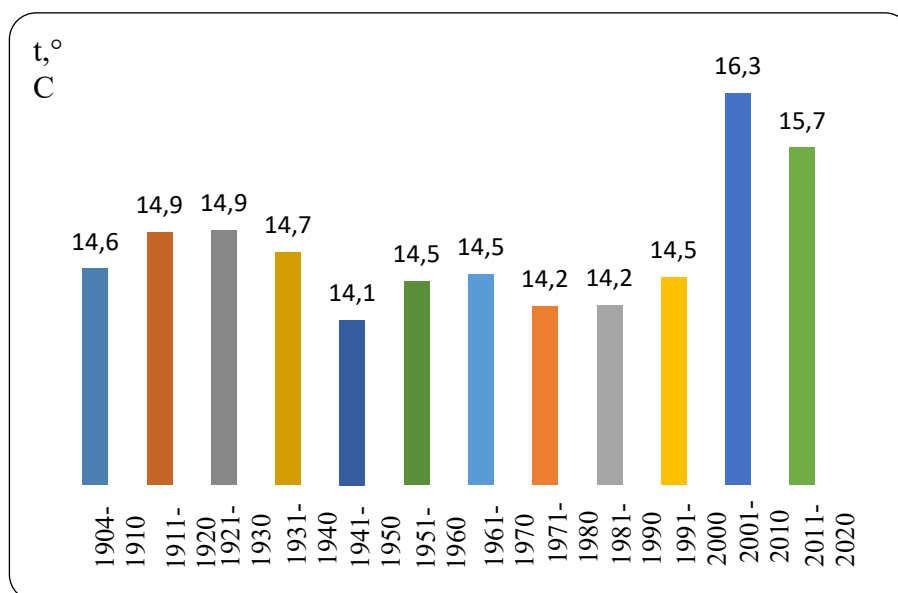


Рис. 4. Среднегодовые значения температуры воздуха в Сухуме по 10-летиям за 1904–2020 гг.

Стоит обратить внимание, что за последнее десятилетие 2011-2020гг среднегодовая температура составила $15,7^{\circ}\text{C}$, что на $0,6^{\circ}\text{C}$ ниже предыдущей десятилетки т.е. с 2011 года происходит понижение температуры ПСВ,

которое продолжается и в настоящее время, так как 2021 год был самым холодным за последнее десятилетие.

Таким образом, из анализа приведенных данных метеосети Абхазии за период с 1904 по 2021 год однозначно следует, что тренды температур и характер их сезонных распределений указывают на существенное снижение среднегодовых температур в последнее десятилетие [22, с.214]. В повышении или понижении температуры ПСВ значительную роль играет парниковый эффект, вызванный парниковыми газами атмосферы, при этом, приоритетная роль принадлежит водяному пару.

Выводы

Весьма вероятно, что в самое ближайшее время всем станет ясно, что предположению о монотонном росте глобальной температуры в нашем 21-м веке уготована та же печальная судьба, что и теории расширяющейся озоновой дыры.

Антропогенное воздействие на атмосферу невозможно отрицать, но вклад этого фактора в динамическое равновесие углекислоты в атмосфере оказался сильно преувеличенным. Сам по себе парниковый эффект CO₂ реально существует, но он не единственный и, как видно, не главный, что определяет поведение климатической системы планеты.

Что касается прогноза возможного понижения температуры, то он не предполагает существенных глобальных изменений и полностью подтверждается ходом среднегодовых и сезонных температур на территории Абхазии в последние десятилетия.

Предсказываемое наступление аномально холодных продолжительных зим в интервале 2020-2025г.г. подлежит уточнению. Пока неизвестно, в каком именно регионе планеты такая неприятность окажется наиболее масштабной, но Европа и сопредельные ей территории входят в эту опасную зону. Необходима специальная исследовательская программа для уточнения и детализации прогноза. Очень важны были бы ее региональные варианты.

Основное предположение, лежащее в основе базовой модели данного прогноза, лежит идея о том, что климатическая система планеты подвергается квазипериодическому воздействию со стороны солнечной активности.

В связи с построением теоретических моделей возникает фундаментальная трудность: энергия собственно синоптических процессов в тропосфере на порядок превышает ту энергию, которая могла бы быть внесена в систему при любых вариациях солнечной активности.

Список литературы

1. Авдюшин С.И., Данилов А.Д. Солнце, погода и климат: сегодняшний взгляд на проблему (обзор) // Геомагнетизм и аэрономия. – 2000. - Т. 40. - №5. - С.3-14.
2. Будыко М.И., Бютнер Э.К., Винников К.Я., Голицын Г.С., Дроздов О.А., Кароль И.Л. Антропогенные изменения глобального климата // Метеорология и гидрология. -1981. -№8. - С. 5-14.
3. Владимирский Б.М., Мартынюк В.С. Первое глобальное похолодание 21 века: возможные геополитические последствия. Геополитика и экодинамика регионов. Киев, 2007, Т.3, №1, С.6-14.

4. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. - М. Росгидромет.2014, 1008 с.
5. Доценко Н.М., Монин А.С., Берестов Н.Н. и др. О колебаниях глобального климата за последние 150 лет // Доклады РАН. – 2004. -Т. 399. - № 2. - С.253-256.
6. Елисеев А.В., Мохов И.И. Влияние вулканической активности на изменение климата последних нескольких веков: оценки с климатической моделью промежуточной сложности. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2008, Т.44, вып 6 с. 723-736.
7. Котляков В.М., Клиге Р.К., Захаров В.Г. Глобальные циклы климатических изменений и оледенение Антарктиды. «Глобальные изменения природной среды (Климат и водный режим)». Н.С. Касимов – редактор. М, 2000, - С.70-90.
8. Лобанов В.А. Динамика климата. Кн.1, СПб РГГМУ, 2016, -232 с.
9. Логинов В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. Минск «Тетра Системс», 2008, -495 с.
10. Наговицын Ю.А., Огурцов М.Г. Грандиозные минимумы и максимумы солнечной активности и климата Земли: последнее тысячелетие и картина будущего в общих чертах / Труды 7-й Пулковской международной конференции. - С.- Пб, 7-11 июля 2003. - 2003. - С. 321- 326.
11. Петрова Г.Н., Распопов О.М. Связь изменений магнитного момента Земли и палеоклимата за последние 12 тысяч лет //Геомагнетизм и аэрономия. - , 1998. - Т.38. - №5. - С.141-144.
12. Пудовкин М.И., Любчик А.А. Влияние солнечной активности на погоду в Петербурге- Ленинграде // Магнитосферные исследования. - 1990. - № 14. - С. 106 – 119.
13. Смирнов Б.М. Физика глобальной атмосферы. Долгопрудный, изд. Дом «Интеллект», 2017, Т.3, №1, С.6-14.
14. Сытинский А.Д., Оборин Д.А. Межпланетное магнитное поле и атмосферная циркуляция // Доклады РАН. – 1990. – Т. 313. - №3. - С.577- 581.
15. Терез Э.И., Терез Г.А. О зависимости долговременного тренда глобального озона от изменения солнечной постоянной // Геомагнетизм и аэрономия. - , 1994. - Т. 34. - №5. - С.151-156.
16. Федоров В.М. Солнечная радиация и климат Земли. Физматлит, 2018, -232с.
17. Эмба Я.А., Ахсалба А.К., Хинтуба Л.В. Оценка воздействия мощных вулканов на температуру ПСВ на Кавказе. Материалы VI Международной научно –практической конференции: «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». Майкоп, 2021, часть II, С. 187-195.
18. Эмба Я.А., Ахсалба А.К. Физическая экология атмосферы. Сухум, Академия.2018,-431 с.
19. Эмба Я.А., Дбар Р.С., Ахсалба А.К. Тенденции изменения климата Юго-Западного Кавказа в XX-ом столетии. Тр. междунар. конф. "Биосфера и человек", Майкоп, 2003, - С. 38-41.
20. Эмба Я.А., Ахсалба А.К. Современные изменения приземной температуры воздуха и режима атмосферных осадков в прибрежной зоне Абхазии. Доклады Адыгской (черкесской) Международной академии наук. Нальчик. 2011, том 13, №2, С.105-111.
21. Эмба Я.А., Ахсалба А.К., Хинтуба Л.В. Глобальные и региональные (Абхазия) проявления парникового эффекта в атмосфере и на поверхности Земли. Коллективная монография «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа», (ГЕОКАВКАЗ-2021). Москва, 2021, том XI, С.493-498.
22. Эмба Я.А., Ахсалба А.К., Марандиди С.И. Особенности формирования температуры приземного слоя воздуха (ТПСВ) на территории Абхазии и Ставропольского края. Доклады третьей междунар. научной конф. «Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата. Ставрополь, 2018, С. 213-216.

РОЛЬ ВОДЯНОГО ПАРА, КАК ОСНОВНОГО ПАРНИКОВОГО ГАЗА, В ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА

^{1,2} Я.А. Экба, ^{1,2} А.К. Ахсалба, ² Л.В. Хинтуба, ² Н.Д. Касландзия
ekba-yan@yandex.ru; Asida_cen@mail.ru; LolitaKhintuba@yandex.ru

¹ Институт экологии Академии наук Абхазии, Абхазия, г. Сухум

² Абхазский государственный университет, Абхазия, г. Сухум

***Аннотация.** В статье проведён критический анализ существующих на сегодняшний день представлений о причинах формирования современного глобального потепления климата и его последствиях для экосистем Земли. Показано, что баланс концентрации углекислого газа в атмосфере с высокой точностью поддерживается мировым океаном, а антропогенная составляющая этого баланса не существенна. Природный уровень углекислого газа (CO₂) составляет только 0.04% от общей атмосферы Земли. Это не самый важный и не единственный парниковый газ. В настоящее время не существует никаких убедительных научных доказательств того, что антропогенный выброс углекислого газа, может вызвать в обозримом будущем катастрофическое прогревание Земли. Основным фактором атмосферы, ответственным за парниковый эффект, является водяной пар, объёмы которого составляют до 95% всех парниковых газов. Его эффективность превышает в несколько раз вклад всех остальных парниковых газов. В работе экспериментально доказана высокая корреляционная связь среднегодовой температуры приземного слоя воздуха и среднегодовых значений абсолютной влажности, а также констатируется определяющая роль относительной влажности воздуха в формировании атмосферных осадков.*

***Ключевые слова.** Потепление климата, экосистемы Земли, концентрация углекислого газа, водяной пар, абсолютная влажность, среднегодовая температура, приземный слой воздуха.*

Признаки глобального потепления климата

Глобальное изменение климата стало одной из главных научных проблем человечества. Выдающиеся ученые мира - лауреаты Нобелевской премии в 1990г. обратились к мировому сообществу с призывом ограничить выбросы в атмосферу парниковых газов, так как, по их мнению, глобальное потепление, обусловленное этими выбросами, представляет собой самую серьезную экологическую проблему человечества, так как усиление парникового эффекта к 2100 г. вызовет потепление климата на 1,5-5,8 °С.

В конце 90-х гг. категоричность мнения о глобальном потеплении ослабла, широкое распространение получила, прежде всего, среди ученых, точка зрения о недоказанности антропогенного происхождения глобального потепления и его реальности. Хорошо отслежены все классические ледниковые периоды, и соответствующее им количество углекислого газа в атмосфере. И вот оказалось, что углекислый газ не предшествует потеплению,

а идет после потепления, что вполне объяснимо: 90% углекислого газа растворено в Мировом океане и процесс изъятия углекислого газа из воды бесконечен. Если океан нагревается, то он сразу выбрасывает массу углекислого газа в воздух. Наоборот, при похолодании количество углекислого газа в атмосфере падает. Однако эти процессы слабо связаны с человеческой деятельностью [10, 202].

Поступление и ассимиляция углекислого газа сбалансированы. Общая эмиссия углекислого газа в атмосферу составляет 750 млрд тонн в год. При дыхании животных выделяется приблизительно 3 млрд тонн. Примерно столько же углекислого газа выделяется в результате деятельности людей.

Средняя температура приземного слоя воздуха с 1900 г. увеличилась примерно на 1,0 °С, причём в основном рост температуры происходил в период с середины 70-х годов XX века вплоть до нынешнего времени. Потепление климата привело к усилению контраста метеоявлений: т.е. увеличиваются периоды засухи в летнее время и период избыточных осадков осенью, что отрицательно влияет на интенсивность вегетации фитоценозов весной, созревание и уборку урожаев осенью. Отмечается сезонное перераспределение осадков. Сокращаются зимние и весенние осадки, что приводит к дефициту стока рек и ограничению работы гидроэлектростанций.

О влиянии природного и антропогенного CO₂ на потепление климата

Углекислый газ CO₂ один из основных парниковых газов, играющих важную роль в энергетическом балансе Земли. Прямые измерения уровня CO₂ в атмосфере и в пузырьках воздуха, захваченных льдами, говорят о том, что с 1800 по 2019 год его содержания в атмосфере увеличилось примерно на 40%. Исследователи пришли к таким выводам, изучая керны льда в Антарктике, которые добывали с помощью бурения на российской научной станции "Восток". При исследовании кернов обнаружилось, что на протяжении нескольких сотен тысяч лет климат менялся от похолодания к потеплению и обратно, и с каждым изменением климата менялась концентрация CO₂, однако, это происходило без участия людей.

Второй факт, который доказывает, что деятельность людей никак не может влиять на климат -это миллионы лет истории климата на нашей планете [1, с.8; 8, с.143; 10, с.202].

Климатические изменения представляют собой сложное наложение из чередующихся циклов тепла и холода разной амплитуды, а также и длительности. Кроме астрономических факторов, на климат влияют мощные извержения вулканов, поступление в океан огромных масс холодной воды при таянии гигантских айсбергов и многое другое. Существующие оценки потенциально опасных или катастрофических изменений в окружающей среде вследствие роста содержания атмосферного CO₂ и других парниковых газов нельзя считать научно обоснованными и количественно определенными.

К настоящему времени хорошо прослежены все классические ледниковые периоды, периоды потепления, и соответствующее им количество углекислого газа в атмосфере. Практически весь мобильный углекислый газ

находится в Мировом океане. Его там в 170 раз больше, чем в атмосфере и в 41000 (сорок одну тысячу) раз больше, чем получилось бы, если сжечь всю нефть, добытую человечеством за один год. При глобальном повышении температуры планеты самым грозным результатом будет не таяние полярных льдов, как многие думают, а выход из Мирового океана новых порций углекислого газа в количествах, которые человечество никогда не производило и, видимо, никогда уже не произведёт.

По данным же многих учёных из 33,2 °С повышения температуры в приземном слое атмосферы, которые даёт «парниковый эффект», только 7,2 °С обусловлено действием углекислого газа, а 26 °С - парами воды. Природный уровень углекислого газа (CO₂) составляет только 0.04% от общей атмосферы Земли. Это не самый важный и тем более не единственный парниковый газ, как об этом благодаря климатической пропаганде думает большинство населения. Водяной пар, объёмы которого составляют до 95% всех парниковых газов планеты [4, с.731; 8, с.143], является наиболее важным и распространённым парниковым газом.

Влияние конкретного газа на радиационный баланс, а значит, и на температуру Земли, зависит от того, как он поглощает ИК-излучение, от его концентрации и от присутствия других соединений, поглощающих в том же диапазоне длин волн. По спектрам поглощения видно, что большую часть уходящего длинноволнового излучения поглощают пары воды и углекислый газ (табл.1).

Таблица 1

Вклад атмосферных компонент в парниковый эффект

Источник	Вклад различных атмосферных компонент в парниковый эффект (%)				
	ВА	Облачность	ВА+облачн	CO ₂	Остальные парниковые газы
Schmidt	39,0-61,9	14,5-36,3	66,9-80,9	14,0-24,3	4,9-9,2
Модель NASA	36-66	16	66-85	9-26	2-8
Среднее значение	37,5-64 (~50)	15,3-36,3 (~25)	66,5-83,0 (~75)	11,5 -25,2 (~20)	3,5-8,6 (~5)

Из таблицы следует, что самым важным и сильным парниковым газом на нашей планете является водяной пар, его эффективность в несколько раз превышает действие CO₂. Вместе с тем в 2010 было собрано множество данных, также демонстрирующих, что краткосрочное повышение концентрации CO₂ происходит из-за повышения температуры, а не наоборот, что опровергает аргументацию МГЭИК [2, с. 264].

Максимальный вклад в скорость перехода углекислого газа в атмосферу за счет производственной деятельности человека не превышает 5%. При рассмотрении долгосрочного влияния CO₂ становится очевидным, что не существует никакой корреляции между концентрацией углекислого газа в

атмосфере и температурой на поверхности земли. Роль водяного пара, содержащегося в атмосфере, в общемировом парниковом эффекте велика, но трудно определима однозначно. Режим водяного пара в атмосфере – главный источник неопределенности изменения климата. При потеплении климата содержание водяного пара в атмосфере будет увеличиваться, тем самым усиливая парниковый эффект.

Водяной пар - уникальное вещество в климатической системе, ведь только молекула H_2O может существовать в трех фазовых состояниях - в виде газа (водяного пара), жидкости и льда. Как раз эти фазовые переходы H_2O формируют очень многие обратные связи и процессы в климатической системе, в том числе в контексте изменений климата. Но есть и чисто физические особенности, о которых говорят в меньшей степени. Водяной пар поглощает практически все длины волн, которые испускаются Землей, за исключением интервала от 8 до 12 мкм — так называемого окна прозрачности атмосферы. В этом интервале водяной пар выпускает радиацию, излучаемую Землей, в космос. Но при той температуре земной поверхности, которая фиксируется сегодня, именно на этот интервал приходится максимум излучения. И именно на него попадает полоса поглощения CO_2 . Поэтому при очень небольшой концентрации углекислого газа в атмосфере (менее 1%) за счет целого ряда факторов его суммарный вклад, или радиационный форсинг, в увеличение перехвата теплового излучения Земли весьма значителен. Но с точки зрения средних значений парниковый эффект водяного пара в разы больше.

Есть мнение, что водяной пар играет колоссальную роль в усилении разрушительных штормов и ураганов и в ускорении климатических изменений. Если говорить о взаимосвязи водяного пара и потепления климата, то и здесь все достаточно сложно и неоднозначно. Действительно, при увеличении температуры возрастает давление насыщения. Если температура воздуха повышается на 3° , то воздух может вобрать в себя водяного пара на 20% больше. Следовательно, при увеличении абсолютной концентрации водяного пара на Земле, температура ПСВ возрастает. Практическим подтверждением этого тезиса является тесная связь среднегодовой температуры воздуха и среднегодовой абсолютной влажности, установленная в работе [11, с. 496].

Другой не менее важный показатель — относительная влажность. Она распределена очень неравномерно и при одной и той же температуре может быть совершенно разной. Поэтому важно не столько увеличение максимально возможной концентрации водяного пара при росте температуры, сколько реальное изменение его концентрации. И при повышении температуры Мирового океана действительно испарение будет больше, а значит, и в атмосферу будет поступать больше водяного пара. Согласно последним научным данным, концентрация водяного пара увеличивается, следовательно, парниковый эффект усиливается.

Однако необходимо учитывать множество региональных особенностей, связанных с распределением суши и моря, с распределением относительной

влажности и источников испарения, а также с эффектом фазовых переходов, облаков и осадков. Сегодня существуют достаточно понятные и логичные теории, связывающие изменение концентрации водяного пара с потеплением климата, но, к сожалению, не все они подтверждаются данными наблюдений. И если учитывать отрицательные обратные связи, то нельзя однозначно сказать, усиливается ли парниковый эффект при увеличении концентрации водяного пара или возможен иной результат, при котором температура будет уменьшаться. Действительно, при испарении водяной пар поступает в приземный слой воздуха. Дальше воздух может подниматься, при этом охлаждаясь. Вспомним, что количество водяного пара, который может содержаться в воздухе, зависит от температуры. Если температура понизилась, водяной пар, который раньше содержался в атмосфере, становится избыточным. Он превращается в капли влаги, формируя облака.

Идея отрицательной обратной связи состоит в том, что при выпадении осадков воздух иссушается. То есть после того, как выпали осадки, воздух под облаками становится суше, вся влага возвращается на Землю, значит, водяного пара в воздухе становится меньше. При потеплении и усилении испарения, поступлении большего количества водяного пара в атмосферу формируются более мощные облака, выпадает больше осадков. Воздух при этом иссушается, то есть содержит меньше водяного пара. А ведь именно он перехватывает излучение Земли. Получается, что поверхность Земли теряет большее количество тепла, а значит, ее температура будет уменьшаться.

Особенностью влажности воздуха – компонента климата является ее большая неустойчивость и пульсация. Анализ гидрограмм показывает, что при обычных погодных условиях значения относительной влажности за 1-2 мин могут измениться на 10-15%. Исключительное влияние на влажность воздуха оказывают турбулентные потоки и развивающиеся в приземном слое атмосферы нисходящие и восходящие воздушные потоки. С относительной влажностью связана атмосферная засуха, оказывающая угнетающее действие на сельскохозяйственные культуры. Влагосодержание воздушной среды определяет напряженность теплообменных процессов в организме. Следует отметить, что абсолютная влажность воздушной среды влияет на конденсационные процессы и определяет их интенсивность. Все указанные выше показатели влажности воздуха взаимосвязаны друг с другом и с температурой. Следовательно, становится ясным значение этого элемента для оценки климатических условий того или иного района. Наблюдающееся, в последнее десятилетие потепление климата на территории Абхазии вызвало изменение метеорологических параметров. Увеличились годовые суммы температур. Кроме того, произошла значительная трансформация сезонного распределения атмосферных осадков, минимум наблюдается в летние месяцы, особенно в июле.

Абхазия лежит в переходной зоне между субтропическим и умеренным поясами и условия погоды здесь менее устойчивы, чем в типичных субтропиках. Климат Абхазии резко выделяется от климатов России своей

известной субтропичностью, большим балансом тепла и влаги, высокой биологической и хозяйственной продуктивностью [8, с.103].

Однако, в отдельные годы в связи с тем, что большая часть летних осадков выпадает со значительными перепадами в виде кратковременных ливней, не успевающих в достаточной мере увлажнить почву, в июле и августе наблюдается недостаток влаги. Из-за неблагоприятного баланса влаги вероятность недостаточной обеспеченности влагой за летние месяцы в Абхазии составляет: в июне – 46%, поэтому атмосферная засуха здесь часто наблюдается в течение месяца. За последние 20 лет с повышением температуры систематически понижается относительная влажность, если в 2002 году среднегодовая относительная влажность составляла 85%, то в 2019 году она понизилась до 76%.

В тоже время среднегодовая абсолютная влажность воздуха меняется синхронно со среднегодовой температурой воздуха (рис.1).

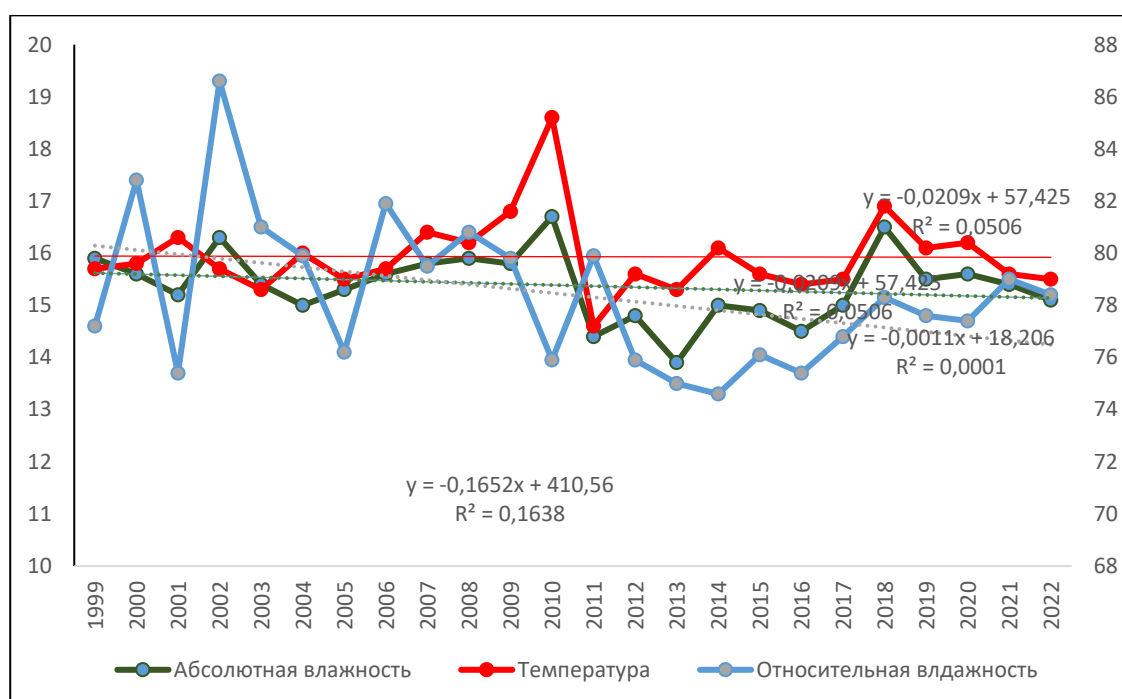


Рис. 1. Среднегодовая относительная, абсолютная влажность и ТПСВ в г. Сухум

Коэффициент корреляции между абсолютной влажностью и температурой приземного слоя воздуха за последние 22 года, составляет более 0,71. Водяной пар и облака вносят самый большой вклад в потепление приземного слоя воздуха (ПСВ). Водяной пар и облака создают быстродействующую обратную связь, так как очень быстро реагирует на изменение температуры посредством испарения, конденсации и выпадения осадков.

Мы не можем напрямую контролировать количество водяного пара в атмосфере, поскольку вода находится повсеместно на нашей планете – она покрывает 71 % поверхности Земли. Чтобы ограничить количество водяного пара в атмосфере и контролировать температуру Земли, мы должны ограничить выбросы парниковых газов, в отношении которых мы на деле

можем что-то предпринять, т. е. CO₂ и других долгоживущих парниковых газов. Наблюдения показывают устойчивое увеличение общего содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы, а также суммарное увеличение содержания водяного пара (рис.2) в стратосфере за 30-летний период [4, с. 724].

Важным источником водяного пара в стратосфере фактически является окисление метана, переносимого вверх из тропосферы. Предполагается, что будущее потепление вследствие изменения климата и повышение концентраций метана приведут к увеличению количества водяного пара в стратосфере. Увеличение количества водяного пара в верхней тропосфере и нижней стратосфере приводит к радиационному выхолаживанию на этих уровнях и вызывает потепление на поверхности Земли [4, с.432; 7, с.205].

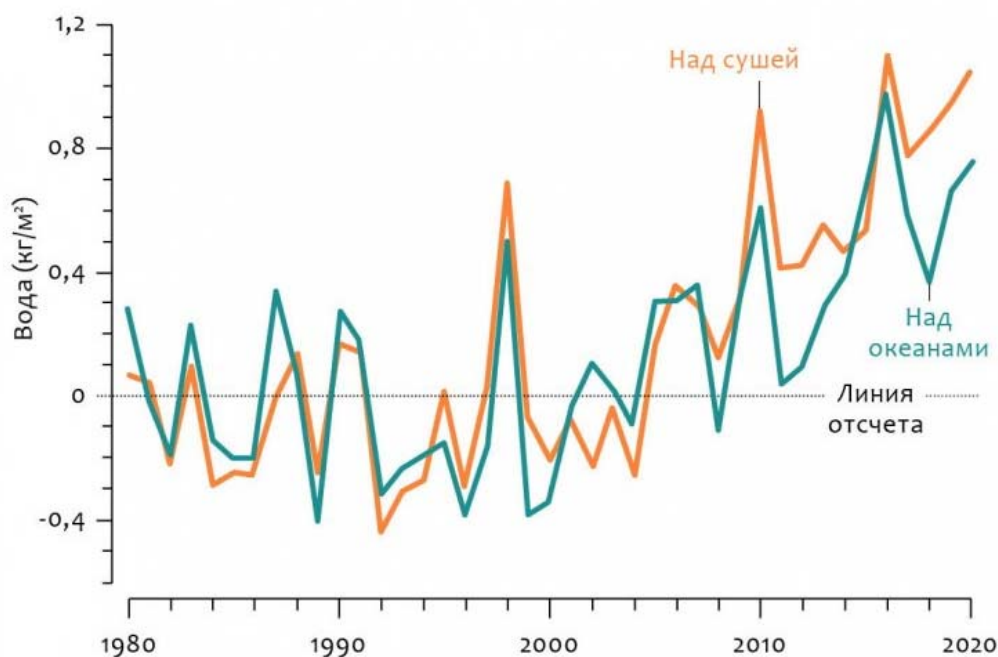


Рис.2. Изменение содержания водяного пара (кг/м³) над океаном и сушей относительно базового уровня 1981-2010 гг.

Рост объема водяного пара, переносимого по воздуху. В последние годы количество водяного пара увеличилось над океанами и сушей во всем мире по сравнению со среднегодовым или базовым уровнем 1981-2010гг. Основная суть «работы» парниковых газов состоит в том, что их молекулы способны абсорбировать проходящие сквозь атмосферу ИК фотоны, т.е. они, по сути, поглощают ИК фотоны с различными длинами волн. Именно этот факт усложняет процесс вычисления вклада в парниковый эффект каждого отдельного газа [6, с. 7].

Минимум относительной влажности наблюдается летом: в июле, августе и сентябре, а максимум весной: в апреле, мае и июне. Среднегодовые значения относительной влажности ПСВ демонстрируют устойчивое повышение её среднегодовых значений до 83% к 2002 году и соответствующее снижение относительной влажности до значений 65% к 2020 году. Исследование,

опубликованное в журнале *Science Advances*, ссылается на спутниковые наблюдения, которые выявили расширение растительности во всем мире в течение большей части 1980-х и 1990-х годов. Но затем, около 20 лет назад, эта тенденция остановилась [7, с. 118].

Климатические данные указывают на то, что падение влажности связано с так называемым дефицитом давления паров — разницей между фактическим количеством влаги в воздухе и максимальным количеством влаги, которое атмосфера может удерживать. Высокий дефицит называют атмосферной засухой. С конца 1990-х годов более половины растительных ландшафтов мира испытывали растущий дефицит влаги или пересыхание. Из-за дефицита влаги, то есть, из-за пониженной относительной влажности и соответственно, повышенной температуры и абсолютной влажности, происходит возгорание сухостоев.

За вегетационный период на побережье Абхазии выпадает более половины годовой суммы осадков (свыше 60%), они не могут создать благоприятный баланс влаги не только из-за усиленного притока в это время солнечной радиации и увеличения испарения, но и в связи с характером выпадения осадков [10, с.201]. Большая часть летних осадков выпадает со значительными перепадами в виде кратковременных ливней, не успевающих в достаточной мере увлажнить почву. Недостаточная обеспеченность влагой чаще всего наблюдается в июле и августе.

Высокая корреляционная связь, достигающая значений 0,7 прослеживается между суммарным среднегодовым количеством осадков и среднегодовой относительной влажностью (рис.3). Что является подтверждением приоритетности роли водяного пара в формировании атмосферных осадков.

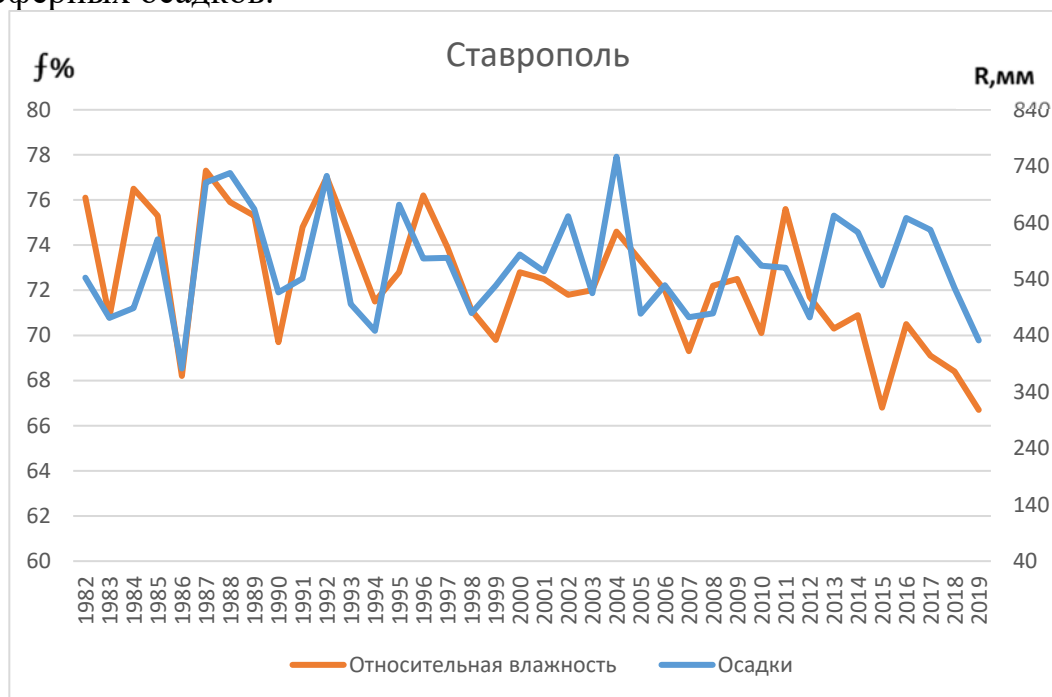


Рис. 3. Среднегодовые суммы осадков (R, мм) и относительная влажность с 1982- 2019 гг., г. Ставрополь

Коэффициент корреляции между среднегодовыми суммами осадков и относительной влажностью составляет более 0,67.

При общей синхронности изменений суммарного среднемесячного количества атмосферных осадков и среднемесячной относительной влажности, например, для Сухума, имеются определённые расхождения в весенний период.

По нашему мнению, такое положение связано с влиянием Чёрного моря, как мощного источника водяного пара и особенностью орографии территории Абхазии, которая окаймлена с Северо-запада, Севера и Северо-востока Кавказским хребтом, что затрудняет циркуляцию воздушных масс и создаёт микроклимат, характеризующийся высокой относительной влажностью и малым количеством осадков, поскольку существенное повышение температуры в этот период года значительно снижает возможности конденсационных процессов. При этом, относительная влажность синхронно меняется с суммарными среднемесячными осадками, а абсолютная влажность синхронно с температурой ПСВ [11, с. 403].

Сравнение трендов годовых значений относительной влажности и суммарных годовых осадков, несмотря на значительные колебания последних, тоже показывают значимую синхронность.

Таким образом, относительная влажность воздуха является определяющим фактором, ответственным за формирование как сезонных, так и межгодовых сумм атмосферных осадков. Учитывая тесную связь абсолютной влажности и среднегодовой температуры ПСВ, установленной в работе [11, с.496], можно констатировать, что атмосферная влага является основным фактором, ответственным за формирование регионального климата.

Выводы

К числу важнейших факторов современных изменений глобального климата относится парниковый эффект (ПЭ). Основным парниковым газом является водяной пар его вклад в ПЭ составляет около 70%. Водяной пар также важен как химическое соединение, как в тропосфере, будучи источником гидроксильного радикала – наиболее важного окислителя в тропосфере, так и в стратосфере, где он оказывает влияние на баланс солнечной радиации.

Антропогенное воздействие на атмосферу невозможно отрицать, но вклад этого фактора в динамическое равновесие углекислоты в атмосфере оказался сильно преувеличенным. Сам по себе парниковый эффект CO₂ реально существует, но он не единственный и, как видно, не главный, что определяет поведение климатической системы планеты.

Относительная влажность является основой для формирования осадков. При пониженной относительной влажности осадков соответственно меньше. Среднегодовая абсолютная влажность воздуха меняется синхронно со среднегодовой температурой воздуха, коэффициент корреляции составляет более 0,85. Водяной пар является основным фактором изменения температуры приземного слоя воздуха. Относительная влажность на Кавказе колеблется в широких пределах.

Самые высокие ее величины наблюдаются в прибрежных районах. Здесь среднегодовое значение ее составляет 80-85%.

За последние 20 лет с повышением температуры систематически понижается относительная влажность, если в 2002 году среднегодовая относительная влажность составляла 85%, то в 2020 году она составляет 77,4. Систематическое понижение относительной влажности снижает интенсивность конденсационных процессов в атмосфере, что приводит к снижению количества атмосферных осадков, особенно в зимний период, что и наблюдается на Кавказе в последнее десятилетие.

Основное предположение, лежащее в основе базовой модели данного прогноза, лежит идея о том, что климатическая система планеты подвергается квазипериодическому воздействию со стороны солнечной активности. Важнейшие возражения, которые можно выдвинуть против этого основного тезиса (это уже сделано) сводится к следующим трем аргументам:

- влияние солнечной активности на погоду-климат недостаточно обосновано в чисто эмпирическом смысле, особенно, учитывая плохую согласованность или даже противоречивость некоторых публикаций.

- нет ясного, общепринятого теоретического объяснения солнечно-тропосферных связей.

- В связи с построением теоретических моделей возникает фундаментальная трудность: энергия собственно синоптических процессов в тропосфере на порядки превышает ту энергию, которая могла бы быть внесена в систему при любых вариациях солнечной активности.

Список литературы

1. Будыко М.И., Бютнер Э.К., Винников К.Я., Голицын Г.С., Дроздов О.А., Кароль И.Л. Антропогенные изменения глобального климата // Метеорология и гидрология. - 1981. - №8. - С. 5-14.
2. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. - М.: Росгидромет. 2014. 1008 с.
3. Владимирский Б.М., Мартынюк В.С. Первое глобальное похолодание 21 века: возможные геополитические последствия. Геополитика и экодинамика регионов. Киев, 2007, Т.3, №1. С. 6-14.
4. Елисеев А.В., Мохов И.И. Влияние вулканической активности на изменение климата последних нескольких веков: оценки с климатической моделью промежуточной сложности. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2008, Т.44, вып 6. С. 723-736.
5. Котляков В.М., Клиге Р.К., Захаров В.Г. Глобальные циклы климатических изменений и оледенение Антарктиды // Глобальные изменения природной среды (Климат и водный режим). Н.С. Касимов – редактор. М, 2000, - С. 70-90.
6. Кондратьев К.Я. Глобальная экодинамика и устойчивое развитие, естественно-научные аспекты и "человеческое" измерение. Изв. РГО. - 1997, т. 129, -Вып. 6. С. 1-12.
7. Смирнов Б.М. Физика глобальной атмосферы. Долгопрудный, изд. Дом «Интеллект», 2017. - 256 с.
8. Фёдоров В.М. Солнечная радиация и климат Земли. М. Физматлит, 2018. - 232 с.
9. Экба Я.А., Ахсалба А.К., Хинтуба Л.В. Оценка воздействия мощных вулканов на температуру ПСВ на Кавказе. Материалы VI Международной научно –практической конференции: «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». Майкоп, 2021. Часть 2. С. 187-195.

10. Эжба Я.А., Ахсалба А.К. Физическая экология атмосферы. Сухум, Академия. 2018. - 431 с.

11. Эжба Я.А., Ахсалба А.К., Хинтуба Л.В. Глобальные и региональные (Абхазия) проявления парникового эффекта в атмосфере и на поверхности Земли. Коллективная монография «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа», (ГЕОКАВКАЗ-2021). Москва, 2021, том XI. С. 493-498.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ГЕОЛОГИИ,
ГЕОФИЗИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

МАТЕРИАЛЫ
VII Международной научно-практической конференции

Часть 2

Подписано в печать 05.05.2023. Формат бумаги 60x84/16. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Гарнитура Таймс. Усл. п.л. 20,1. Тираж 300. Заказ 016.

Отпечатано с готового оригинал-макета
на участке оперативной полиграфии
ИП Кучеренко В.О. 385008, г. Майкоп, ул. Пионерская, 403/33.
Тел. для справок 8-928-470-36-87. E-mail: slv01.maykop.ru@gmail.com