



ISBN 978-5-6049201-8-3



9 785604 920183

МАТЕРИАЛЫ VII МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

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

1

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 1

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 1

**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 1. – Майкоп: Изд-во «ИП Кучеренко В.О.», 2023. – 306 с.

ISBN 978-5-907004-00-9

ISBN 978-5-6049201-8-3– Ч.1

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 978-5-6049201-8-3



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

ББК 20.1

© ФГБОУ ВО «МГТУ», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Rajput R., Skorynina A.A., Bugaev A.L., Soldatov A.V. ADSORPTION-BASED WASTEWATER REMEDIATION USING MICROFLUIDIC PLATFORM.....	11
Wong Ming Hung ELECTRONIC-WASTE: TRANSBOUNDARY MOVEMENT, IMPACTS, MANAGEMENT, AND SITE REMEDICATION.....	13
Антипова Л.В., Хатко З.Н., Широкова А.С. БИОПОДЛОЖКИ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ МЯСНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ КАК ПРОДУКТ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ.....	16
Афанасьев И.С., Хинтуба Л.В., Эмба Я.А., Закирян Р.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛИЧНОСТИ И ТRENDA ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ВОЗДУХА ПО ДАНЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ МАЯК Г. СУХУМ.....	18
Барахов А.В., Бауэр Т.В., Манджиева С.С., Минкина Т.М., Лацынник Е.С. ИЗМЕНЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ Zn В ЧЕРНОЗЕМЕ ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОЧАРА.....	26
Барбашев А.И., Сушкова С.Н., Дудникова Т.С., Минкина Т.М., Попов В.Р. МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОЧВАХ И ЕСТЕСТВЕННОЙ ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ.....	29
Беликов И.Б., Белоусов В.А., Моисеенко К.Б., Скороход А.И. ВАРИАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В МОСКВЕ И ЗВЕНИГОРОДЕ.....	36
Бочаров А.В., Кравченко П.Н., Лебедев С.А. ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРУКТУРЫ ТЕПЛООВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОЗЕР- ОХЛАДИТЕЛЕЙ КАЛИНИНСКОЙ АЭС.....	46
Бучацкий П.Ю., Онищенко С. В., Теплоухов С.В., Лисова А.Н. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ.....	49
Волков Д.С., Косолапов И.А., Гребеников Д.А., Лебедев С.А. СОЗДАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ОСНОВНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАНЫМ БЕРЕГОВЫХ МЕТЕОСТАНЦИЙ.....	58
Волков Д.С., Косолапов И.А., Гребеников Д.А., Лебедев С.А. СОЗДАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ОСНОВНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАНЫМ СПУТНИКОВОЙ СВЧ-РАДИОМЕТРИИ	63
Волкова Т.П., Репина К.В. К ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	69

Гицба Я.В., Строчан Т.П. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МОРСКОЙ ВОДЫ НА УПРУГОСТЬ ВОДЯНОГО ПАРА В АКВАТОРИИ СУХУМСКОЙ БУХТЫ.....	76
Глушанкова Н.И. ОТРАЖЕНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ЛАНДШАФТОВ В ЛЁССОВО-ПОЧВЕННЫХ СЕРИЯХ ПЛЕЙСТОЦЕНА НА ТЕРРИТОРИИ БАССЕЙНОВ РЕК ДНЕПРА, ДОНА, ВОЛГИ.....	84
Губанова Д.П., Чхетиани О.Г., Максименков Л.О., Иорданский М.А. МАССОВЫЙ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РАЗМЕРНЫХ ФРАКЦИЙ В ОПУСТЫНЕННЫХ И ЗАСУШЛИВЫХ РАЙОНАХ ЮГА РОССИИ.....	88
Гудкова Н.К. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ, СВЯЗАННЫХ С ОБРАЗОВАНИЕМ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ ПРИ ОТКРЫТОМ МЕТОДЕ ДОБЫЧИ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ.....	99
Гусев А.П. ОЦЕНКА РИСКА НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ЛАНДШАФТО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	105
Дегтярева Т.В., Скрипчинский А.В., Лиховид А.А. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ ГОРОДА СТАВРОПОЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	110
Довгаль В.А., Куижева С.К. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРАТЕГИИ МУЛЬТИОБЛАЧНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	119
Дудникова Т.С., Сушкова С.Н., Минкина Т.М., Барбашев А.И., Антоненко Е.М., Иванцов А.В, Шуваев Е.Г., Бакоева Г.М. ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОЧВ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ.....	129
Ермаков Д.М., Пашинов Е.В., Втюрин С.А., Кузьмин А.В., Стерлядкин В.В., Чернушич А.П. ВОЗМОЖНОСТИ СПУТНИКОВОГО РАДИОТЕПЛОВИДЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА РЕГИОНАЛЬНОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО БАЛАНСА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ	136
Казбулатова Г.М., Мичурин С.В., Карамова А.М. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД АВЗЯНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО РАЙОНА (ЮЖНЫЙ УРАЛ).....	142
Кехирипа Н.Л., Кишмария Я.Ш. ИССЛЕДОВАНИЕ ГРОВОЙ АКТИВНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ..	149

Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю., Андреев Т.И., Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Келип А.А., Фрид С.Е., Шакун В.П.	
РАЗРАБОТКА АТЛАСА РЕСУРСОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА.....	155
Кислов К.В., Никитин С.П.	
ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ «ГЛОБАЛЬНЫЙ МЕСЯЧНИК РАСПРЕДЕЛЁННОГО АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ»: ОПЫТ, ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ.....	166
Козлов И.Е., Копышов И.О., Фрей Д.И., Медведев И.П., Сильвестрова К.П., Жук В.Р., Гайский П.В., Осадчиев А.А., Степанова Н.Б.	
НАБЛЮДЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОЛН БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ В АРКТИКЕ ПО ДАННЫМ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	174
Корчагина Е.А.	
СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В РЕЖИМЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ.....	176
Корчёмкина Е.Н., Маньковская Е.В.	
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ЯРКОСТИ И ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	185
Костяная Е.А., Костяной А.Г.	
СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ И НА ВЫСОКОГОРЬЕ...	190
Костяной А.Г., Лебедев С.А.	
СОЗДАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ОСНОВНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ЗА 1980-2022 ГГ. ПО ДАННЫМ АТМОСФЕРНЫХ РЕАНАЛИЗОВ.....	196
Котельянец Е.А., Гуров К.И., Тихонова Е.А., Кальпа В.А.	
СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЯХ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА (ЧЕРНОЕ МОРЕ).....	207
Кочетова Ж.Ю., Маслова Н.В., Дубачева А.В., Шишкин А.В.	
ПЬЕЗОСЕНСОРНЫЙ АНАЛИЗАТОР ИНТЕНСИВНОСТИ ЗАПАХА ВОДЫ.....	209
Кочин А.В.	
ФОРМИРОВАНИЕ ОБЪЕМНЫХ КОЛЕБАНИЙ В АТМОСФЕРЕ.....	214
Кочин А.В.	
ГЕНЕРАЦИЯ ЗАРЯДОВ В СЛОИСТО- И КУЧЕВО-ДОЖДЕВЫХ ОБЛАКАХ.....	222
Крыленко В.В., Крыленко М.В., Крыленко Д.В.	
ОЦЕНКА ОБЪЕМА ЛИТОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ НАНОСОВ АККУМУЛЯТИВНОГО ТЕЛА АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ.....	231
Кудерина Т.М., Грабенко Е.А., Кудиков А.В.	
ДИНАМИКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В НОВОАФОНСКОЙ ПЕЩЕРЕ ПРИ МАРШРУТНОЙ ДОЗИМЕТРИИ.....	238

Курбатова И.Е. ТРАНСФОРМАЦИЯ УСТЬЕВЫХ ЗОН БОКОВЫХ ПРИТОКОВ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ.....	242
Курбатова И.Е., Афанасьева А.А. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ ИНДИКАТОРОВ СОСТОЯНИЯ ВОДОСБОРА РЕКИ КАЗАНКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ.....	252
Кучменова И.И. ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА р. ЧЕГЕМ В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ.....	262
Кюль Е.В., Гедуева М.М., Кондратьева Н.В., Дроздов А.Л., Байдаева З.Р. ОЦЕНКА СЕЛЕВОЙ И ПАВОДКОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В КАРАЧАЕВО- ЧЕРКЕССКОЙ И КАБАРДИНО- БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКАХ ЗА ПЕРИОД С 2015 ПО 2022 ГОДЫ.....	267
Кюль Е.В., Гузиев Х.Ю., Гедуева М.М., Корчагина Е.А., Нирова З.С. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛАНДШАФТОВ АРИДНЫХ КОТЛОВИН КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ.....	276
Лемешко Е.Е. КРУПНОМАСШТАБНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ И ТЕЧЕНИЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ.....	286
Лемешко Е.М., Лемешко Е.Е. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТРАЕКТОРИЙ ЦИКЛОНОВ НАД АЗОВО- ЧЕРНОМОРСКИМ БАССЕЙНОМ НА ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УРОВНЯ МОРЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ..	296
Лемешко Н.А., Морозов А.П., Ахсалба А.К., Евстигнеев В.П. ИЗМЕНЕНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ В XXI ВЕКЕ ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В РАМКАХ ЭКСПЕРИМЕНТА СМIP6.....	302

CONTENTS

Rajput R., Skorynina A.A., Bugaev A.L., Soldatov A.V. ADSORPTION-BASED WASTEWATER REMEDIATION USING MICROFLUIDIC PLATFORM.....	11
Wong Ming Hung ELECTRONIC-WASTE: TRANSBOUNDARY MOVEMENT, IMPACTS, MANAGEMENT, AND SITE REMEDINATION.....	13
Antipova L.V., Khatko Z.N., Shirokova A.S. BIO SUBSTRATES FOR STORAGE OF SEMI-FINISHED MEAT PRODUCTS AS A PRODUCT OF DEEP PROCESSING OF RAW MATERIALS.....	16
Afanasev I.S., Khintuba L.V., EkbaYa.A., Zakinyan R.G. INVESTIGATION OF THE CYCLICAL NATURE AND TREND OF THE TEMPERATURE OF THE SURFACE LAYER OF AIR ACCORDING TO THE DATA OF THE MAYAK WEATHER STATION IN SUKHUM.....	18
Barakhov A.V., Bauer T. V., Mandzhieva S. S., Minkina T. M., Latsynnik E.S. CHANGES IN THE MOBILITY OF Zn IN THE CHERNOZEM DURING THE INTRODUCTION OF BIOCHARA..	26
Barbashev A.I., Sushkova S.N., Dudnikova T.S. Minkina T.M., Popov V.R. MONITORING THE CONTENT OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN SOILS AND NATURAL HERBAL VEGETATION OF TECHNOGENICALLY POLLUTED TERRITORY.....	29
Belikov I.B., Belousov V.A., Moiseenko K.B., Skorokhod A.I. VARIATIONS OF ORGANIC AND INORGANIC ATMOSPHERIC SURFACE LAYER GASEOUS SPECIES BY OBSERVATIONS IN MOSCOW AND ZVENIGOROD.....	36
Bocharov A.V., Kravchenko P.N., Lebedev S.A. TRANSFORMATION OF THE STRUCTURE OF THERMAL POLLUTION OF THE LAKES COOLING OF THE KALININ NPP.....	46
Buchatskiy P.Yu., Onishchenko S.V., Teploukhov S.V., Lisova A.N. NEW RENEWABLE ENERGY CONVERSION TECHNOLOGIES..	49
Volkov D.S., Kosolapov I.A., Grebenikov D.A., Lebedev S.A. CREATION OF THE MAIN METEOROLOGICAL PARAMETERS CASPIAN SEA REGIONAL DATABASE BASED ON WEATHER STATION DATA.....	58
Volkov D.S., Kosolapov I.A., Grebenikov D.A., Lebedev S.A. CREATION OF THE MAIN METEOROLOGICAL PARAMETERS CASPIAN SEA REGIONAL DATABASE BASED ON SATELLITE MICROWAVE RADIOMETRY DATA.....	63
Volkova T.P., Repina K.V. TO THE PROBLEM OF FORECASTING MINERAL DEPOSITS.....	69

Gitsba Ya.V., Strachan T.P. INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE TEMPERATURE OF THE SURFACE LAYER OF SEAWATER ON THE ELASTICITY OF WATER VAPOR IN THE WATER AREA OF THE SUKHUMI BAY.....	76
Glushankova N.I. REFLECTION OF THE EVOLUTION OF LANDSCAPES IN THE LOESS-SOIL SERIES OF THE PLEISTOCENE ON THE TERRITORY OF THE BASINS OF THE DNIEPER, DON, VOLGA RIVERS.....	84
Gubanova D.P., Chkhetiani O.G., Maksimenkov L.O., Iordanskii M.A. MASS AND ELEMENTAL COMPOSITION OF NEAR-SURFACE AEROSOL OF DIFFERENT SIZE FRACTIONS IN DESOLATE AND ARID REGIONS OF SOUTHERN RUSSIA...	88
Gudkova N.K. IDENTIFICATION OF ENVIRONMENTAL RISKS ASSOCIATED WITH THE FORMATION OF FINE WASTE DURING THE OPEN METHOD OF EXTRACTION OF MINERAL RESOURCES ON THE BLACK SEA COAST OF THE KRASNODAR REGION.....	99
Gusev A.P. RISK ASSESSMENT OF UNFAVORABLE LANDSCAPE-ECOLOGICAL PROCESSES.....	105
Degtyareva T.V., Skripchinsky A.V., Likhovid A.A. EVALUATION OF HEAVY METAL POLLUTION OF SOILS IN THE CITY OF STAVROPOL USING GEOINFORMATION TECHNOLOGIES.....	110
Dovgal V.A. Kuizheva S.K. USING THE STRATEGY OF MULTI-CLOUD SOLUTIONS FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION....	119
Dudnikova T.S., Sushkova S.N., Minkina T.M., Barbashev A.I., Antonenko E.M., Ivantsov A.V., Shuvaev E.G., Bakoeva G.M. INFLUENCE OF HUMIC PREPARATIONS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF SPRING BARLEY UNDER SOIL POLLUTION WITH POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS.....	129
Ermakov D.M., Pashinov E.V., Vturin S.A., Kuzmin A.V., Sterlyadkin V.V., Chernushich A.P. CAPABILITIES OF SATELLITE RADIO THERMOVISION FOR REGIONAL HYDROLOGICAL BALANCE MONITORING AND DISASTER PREVENTION.....	136
Kazbulatova G.M., Michurin S.V., Karamova A. M. ECOLOGICAL STATE OF SURFACE WATERS OF THE AVZYAN GOLD REGION (SOUTHERN URALS).....	142
Kehiripa N.L., Kishmaria Ya.Sh. INVESTIGATION OF THUNDERSTORM ACTIVITY ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF ABKHAZIA.....	149
Kiseleva S.V., Rafikova Yu.Yu., Andreenko T.I., Gorbunov R.V., Gorbunova T.Yu., Kelip A.A., Frid S.E., Shakun V.P. DEVELOPMENT OF AN ATLAS OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES OF CRIMEA.....	155

Kislov K.V., Nikitin S.P. TELESEISMIC MONITORING "GLOBAL DISTRIBUTED ACOUSTIC SENSING MONTH": EXPERIENCE, CURRENT STATUS AND TRENDS.....	166
Kozlov I.E., Kopyshov I.O., Frey D.I., Medvedev I.P., Silvestrova K.P., Zhuk V.R., Gaisky P.V., Osadchiev A.A., Stepanova N.B. OBSERVATIONS OF LARGE-AMPLITUDE INTERNAL WAVES IN THE ARCTIC OCEAN FROM MULTI-SENSOR OBSERVATIONS.....	174
Korchagina E.A. MODERN CHANGES IN THE PRECIPITATION REGIME IN THE KRASNODAR REGION.....	176
Korchemkina E.N., Mankovskaya E.V. COMPARATIVE VARIABILITY OF SEAWATER REFLECTANCE AND COLOR CHARACTERISTICS OF THE BLACK SEA ACCORDING TO IN SITU MEASUREMENTS.....	185
Kostianaia E.A., Kostianoy A.G. STRATEGIES FOR ADAPTATION OF RAILWAY TRANSPORT TO CLIMATE CHANGE IN HIGH LATITUDES AND HIGH MOUNTAINS.....	190
Kostianoy A.G., Lebedev S.A. CREATION OF A REGIONAL DATABASE OF MAIN METEOROLOGICAL PARAMETERS OF THE CASPIAN SEA FOR 1980-2022 ACCORDING TO THE DATA OF ATMOSPHERIC REANALYSIS.....	196
Kotelyanets E. A., Gurov K.I., Tikhonova E.A., Kalpa V.A. CONTENT OF HEAVY METALS IN BOTTOM SEDIMENTS OF COASTAL WATERS OF THE SEVASTOPOL REGION (BLACK SEA).....	207
Kochetova Zh.Yu., Maslova N.V., Dubacheva A.V., Shishkina A.V. PIEZOSENSORY ANALYZER OF THE INTENSITY OF THE SMELL OF WATER.....	209
Kochin A.V. FORMATION OF VOLUMETRIC OSCILLATIONS IN THE ATMOSPHERE.....	214
Kochin A.V. CHARGE GENERATION IN NIMBOSTRATUS AND CUMULONIMBUS CLOUDS.....	222
Krylenko V.V., Krylenko M.V., Krylenko D.V. ESTIMATION OF THE VOLUME OF LITHODYNAMICALLY ACTIVE SEDIMENTS OF THE ANAPA BAY-BAR ACCUMULATIVE BODY.....	231
Kuderina T.M., Grabenko E.A., Kudikov A.V. DYNAMICS OF THE RADIOECOLOGICAL SITUATION IN THE NEW ATHOS CAVE DURING ROUTE DOSIMETRY.....	238
Kurbatova I.E. TRANSFORMATION OF THE MOUTH ZONES OF THE TSIMLYANSK RESERVOIR LATERAL TRIBUTARIES OVER THE PAST DECADES.....	242
Kurbatova I.E., Afanaseva A.A. ASSESSMENT OF ENVIRONMENTALLY SIGNIFICANT INDICATORS OF THE KAZANKA RIVER BASIN CONDITION USING GIS TECHNOLOGIES.....	252

Kuchmenova I.I. CHANGES IN THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE CHEGEM RIVER IN THE UPPER CURRENT.....	262
Kyul E.V., Gedueva M.M., Kondratieva N.V., Drozdov A.L., Baydaeva Z.R. ASSESSMENT OF MUDFLOW AND FLOOD ACTIVITY IN THE KARACHAY-CHERKESS AND KABARDINO-BALKARIAN REPUBLICS FOR THE PERIOD FROM 2015 TO 2022.....	267
Kyul E.V., Guziev Kh.Yu., Gedueva M.M., Korchagina E.A., Nirova Z.S. GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF LANDSCAPES OF ARID BASINS OF THE KABARDINO-BALKARIAN REPUBLIC..	276
Lemeshko E.E. LARGE-SCALE VARIABILITY OF THE LEVEL AND CURRENTS OF THE ARCTIC OCEAN BASED ON SATELLITE DATA.....	286
Lemeshko E.M., Lemeshko E.E. INFLUENCE OF CLIMATIC VARIABILITY OF CYCLONE TRAJECTORIES OVER THE AZOV-BLACK SEA BASIN ON EXTREME SEA LEVEL CHARACTERISTICS IN THE COASTAL ZONE.....	296
Lemeshko N.A., Morozov A.P., Akhsalba A.K., Evstigneev V.P. CHANGES IN AGRO - CLIMATIC CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF ABKHAZIA IN THE XXI CENTURY BASED ON CMIP6 CLIMATE PROJECTIONS.....	302

ADSORPTION-BASED WASTEWATER REMEDIATION USING MICROFLUIDIC PLATFORM

**Priyadarshani Rajput, Alina A. Skorynina, Aram L. Bugaev.,
Alexander V. Soldatov**

priyadarshanirajput22@gmail.com

Southern Federal University, Russia, Rostov-on-Don

The water quality is affecting or polluting by multiple biotic- abiotic factors; especially presence of toxic elements such as heavy metals (HMs) that has deleterious effects on for human and animal health. Thus, monitoring of water quality is very important in each sector, especially industrial wastewater generation. The industrial wastewater pollutes ground or surface water and accumulate in soil that cause environmental harm and worsen the soil properties and crop quality.

Removal of contaminates from the wastewater is a global issue. Therefore, there is an urgent need to develop an eco-friendly approach to remediate polluted water. Keeping important of water remediation, the objective of current work was to combine modern laboratory and synchrotron analytical techniques, various efficient adsorbents, and microfluidic technologies to optimize the HMs sorption from model and real industrial wastewater.

The mixtures of zeolite-Y, zeolite-ferrierite and activated carbon in different fractions degenerated according IHS scheme. The efficient sorbents mixture was filled inside the microtubes and closed both ends by quartz wool, considered as a filter. The assembled filter was connected to an automated microfluidic system with the controlled flow rate. The filtered water was analyzed by atomic absorption spectrometry (AAS) and conductivity measurements (both online and offline). Both, AAS and conductivity data showed that a bigger fraction of zeolite-Y showed worse performance for Pb. Bigger fraction of coconut charcoal performed worse for Ni while for UiO-66 MOF it was vice-versa. For Zn, coconut charcoal showed significant performance, and for Cu and Cd, charcoal performed better than UiO-66 MOF.

All mixtures performed well for Pb. The spatial distribution of HMs in the used filters were determined by X-ray fluorescence (XRF), which showed higher concentration of ions at the edges of the filters, explained by the different flow rate due to the friction from the tube walls. XANES data collected at Kurchatov Institute indicated Pb^{2+} as the most abundant species in the used filters (Fig. 1). The obtained results allowed us to estimate the performance of filtration towards different HMs as the function of filter composition. Conductivity was proved as an efficient approach for fast online analysis of the filtration quality. Laboratory developed; low-cost microfluidic setup worked successfully for water filtration. X-ray based techniques, namely XANES and XRF provided the oxidation state of Pb, as a most abundant HM in the industrial wastewater used, and, respectively, the special distribution of the adsorbed ions in the used filters, which is important for optimizing the filter composition and geometry for practical applications.

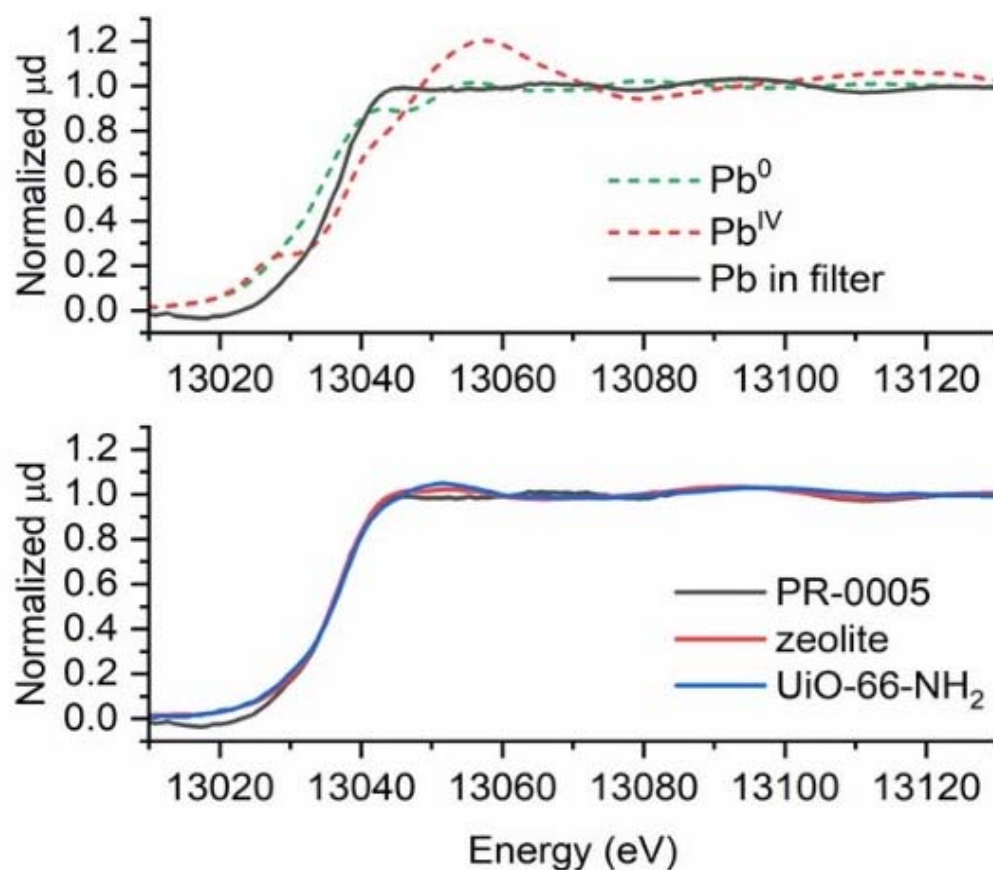


Fig. 1. Pb L3-edge XANES data for used filters and reference samples

This is low cost and precise technology to detect and eliminate water pollutants rapidly. However, detailed standardizations such as to upgrade the microfluidic system for scalable and parallel testing of filtration quality depending on the filter composition and shape, column geometry, pH, flow rate, etc. are required.

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for financial support (Agreement № 075-15-2021-1363).

ELECTRONIC-WASTE: TRANSBOUNDARY MOVEMENT, IMPACTS, MANAGEMENT, AND SITE REMEDIATION

Ming Hung Wong

minghwong@eduhk.hk

Consortium on Health, Environment, Education, and Research (CHEER), The Education University of Hong Kong, Tai Po, Hong Kong, China

Keywords. *Ecological and human health, open burning, persistent toxic substances, primitive recycling techniques.*

Introduction

As a free port, Hong Kong Self Administrative Region (HKSAR) received a large amount of electronic waste (e-waste) smuggled from 1990s to 2010s to mainland China (two mega e-waste recycling sites: Guiyu, Taizhou). China exerted stringent border control in 2012; e-waste has been stored in Hong Kong or diverted to other countries. By placing trackers on e-waste by the Basal Watch Dog on various items of e-waste, it was revealed that e-waste originating from the USA is illegally transferred to Hong Kong and other countries [1,2]. The principal objective of this presentation is to review the status of the international movement of e-waste, the environmental and health impacts of uncontrolled e-waste recycling, management, policy, and remediation strategies of contaminated sites.

Uncontrolled recycling leads to environmental and health impacts

Precious metals (gold, silver, platinum) are salvaged from e-waste. Open-air combustion is a general practice, including burning cables to extract the embedded copper, where the copper will enhance emissions of dioxins/furans [3]. Severe contamination of heavy metals and persistent organic pollutants (PBDEs, PCDD/Fs, PCBs, PAHs) are commonly found in various ecological compartments and biota [4-6]. The food basket analysis revealed that the local food items are linked with workers' and residents' high body loadings (milk, placenta, blood, urine) [7,8]. Though the long-term health effects are unknown, the 3-year data provided by a local hospital in Taizhou (a site for recycling transformers) showed an abrupt increase in morbidity of a few major diseases (cancer, respiratory, and cardiovascular) diseases [9,10].

Policy and management

E-waste disposed of in landfills generates leachate containing high concentrations of toxic metals and flame retardants [11]. This may lead to bioaccumulation and biomagnification of poisonous chemicals through the food chain [10]. It is essential to follow the EU Regulations on Waste Electrical and Electronic Equipment recycling (WEEE) and Restriction of Hazardous Substances Directive (RoHs) not to use certain harmful materials (such as Hg and Cd) [12] to manufacture the products. Receiving countries of e-waste should establish and implement regulations and policies to avoid illegal imports and recycling. The Extended Producer Responsibility should be in place to regulate the manufacturers' responsibilities for appropriate management. Centralized dismantling and treatment of e-waste using more sophisticated techniques are also needed [12,13].

The effectiveness of relevant international conventions: the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal (entered into force in 1998), Rotterdam Convention on the Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade (2004), and Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (2004) should be critically reviewed. The loopholes of the e-waste movement from more wealthy countries to other countries possess less stringent environmental laws, and less prosperous economies should be plugged [1,12]. Unfortunately, the USA, the largest exporter of e-waste, has not signed the convention. Tracking the global movement of e-waste would greatly help as evidence of its illegal trading.

Site remediation

The environmental behaviour of toxic chemicals derived from uncontrolled e-waste recycling should be better understood. In addition to proper management, different contaminated environmental compartments should be remediated. The e-waste processing air should be cleaned before discharging into the ambient environment. Gas treatment reactors consisting of a spray tower, electrostatic precipitation, and photocatalysis effectively remove almost 70% VOC after 60 days. Low-cost permeable reactive barriers supplemented by waste materials such as coal fly ash and wood-derived biochar can prevent the leaching of toxic metals from e-waste-contaminated soils. Soils/sediments serve as sinks of pollutants that should be excavated materials and treated by stabilization or landfilling. Soil washing using extractants or solvents can enhance pollutant extraction and degradation. For example, nanoparticles can degrade PCB and PBDEs [13].

Suitable microbes and plant species can enhance plants' pollutant uptake, stabilize the contaminated sites, degrade and detoxify toxic chemicals. Successful strategies have been implemented since 2000 in Guiyu: (a) Biopiles incorporated with organic materials to promote the degradation of pollutants; (b) A constructed wetland consisting of *Canna indica* (an emergent wetland plant) with root-associated microbes to degrade PCB; (c) Chelates added to decontaminate Pb, Mn, Cr, and Zn by another wetland plant *Aeschynomene indica*. The soil quality was compiled with the national standard for construction land after treatments. Selecting suitable plant species for site remediation is essential. Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*), with its high tolerance to environmental stress, relatively large biomass, and well-developed root system, seems to be a good choice [14]. Intercropping system was successfully employed in Taizhou to treat contaminated farm soils using legume-grass cropping to remove phthalic acid esters [15]. Other successful phytoremediation approaches on sites contaminated with complex pollutants similar to e-waste recycling sites can serve as valuable references.

Conclusion

Manufacturers should follow guidelines stipulated in the EU Directive not to use toxic chemicals in their products and the extended producer's responsibility. The USA should ratify the conventions not to export e-waste to other countries. Tighter control of e-waste movement across international borders is necessary. Sophisticated treatment facilities for centralised treatment should be established in various regions. Environmental protection and education should be strengthened in receiving

countries not to repeat the same mistakes made in China. China was the primary destination of e-waste in the past, Therefore, the policy, management, and remediation strategies trialed out and adopted in e-waste sites serve as essential references for countries dealing with similar problems.

The study was carried out in the laboratory «Soil Health» of the Southern Federal University with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, agreement no. 075-15-2022-1122.

References

- [1] Lin S, Man YB, Chow KL, Zheng C, Wong MH (2020). Impacts of the influx of e-waste into Hong Kong after China has tightened up entry regulations. *Crit Rev Environ Sci Technol* 6:1-30.
- [2] Purchase D, et al., Wong MH (2020). Global occurrence, chemical properties, and ecological impacts of e-wastes (IUPASC technical report). *Pure Appl Chem* 92(11): 1733-67.
- [3] Wong MH, SC Wu, et al. (2007). Export of toxic chemicals – A review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling. *Environ Pollut* 149:131-40.
- [4] Leung AOW, et al., Wong MH (2007). Spatial distribution of PBDEs and PCDD/Fs in soil and combusted residue at Guiyu, an e-waste recycling site in SE China. *Environ Sci Technol* 41:2730-7.
- [5] Leung AOW, Duzgoren-Aydin NS, Cheung KC, Wong MH (2008). Heavy metals concentrations of surface dust from e-waste recycling and its human health implications in southeast China. *Environ Sci Technol* 42: 2674-80.
- [6] Leung AOW, et al., Wong MH (2011). Polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins in surface dust at an e-waste processing site in SE China. *Environ Sci Technol* 45: 5775-82.
- [7] Xing GH, Chan JKY, Leung A, Wu SC, Wong MH (2009) Environmental impact and human exposure to PCBs in Guiyu, an electronic waste recycling site in China. *Environ Int* 35: 76-82.
- [8] Chan JKY, Xing GH, et al., Wong MH (2007). Body loadings and health risk assessment of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans at an intensive electronic waste recycling site in China. *Environ Sci Technol*. 41: 7668-74.
- [9] Man YB, Kang Y, Wang HS, Lau W, et al., Wong MH (2013). Cancer risk assessments of Hong Kong soils contaminated by PAHs. *J Hazard Mat* 261: 770-6.
- [10] Lin S, Ubaid Ali M, Zheng C, Cai Z, Wong MH (2022). Toxic chemicals from uncontrolled e-waste recycling: Exposure, body burden, health impact. *J Hazard Mat* 426: 127792.
- [11] Kiddee P, Naidu R, Wong MH (2013). Metals and polybrominated diphenyl ethers leaching from electronic waste in simulated landfills. *J Hazard Mat* 252/3: 243-9.
- [12] Kiddee P, Naidu R, Wong MH (2013). Electronic waste management approaches: An overview. *Waste Manage* 33: 1237-50.
- [13] Wong MH (2022). Integrated sustainable waste management in densely populated cities: The case of Hong Kong. *Sustain Horizons* 2: 100014.
- [14] Chen XW, Wong JTF, Wang JJ, Wong MH (2021). Vetiver grass-microbe interactions for soil remediation. *Crit Rev Environ Sci Technol* 51(9): 897-38.
- [15] Lin S, Chen XW, et al., Wong MH (2022). Remediation of emerging contaminated sites due to uncontrolled e-waste recycling. *Chem Engin J*, 430: Pt 4, 133169.

УДК:637.544

БИОПОДЛОЖКИ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ МЯСНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ КАК ПРОДУКТ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ

¹Л.В. Антипова, ²З.Н. Хатко, ¹А.С. Широкова

znkhatko@mail.ru

¹*Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Россия, г. Воронеж*

²*Майкопский государственный технологический университет,
Россия, г. Майкоп*

В связи с реализацией государственной политики здорового питания в России и стратегии разработанной и утвержденной Минсельхозом России рационального природопользования, разработаны инструкции и рекомендации использовать отходы пектинового и коллагенового производства для нужд сельского хозяйства [5].

В пищевой промышленности особое внимание уделяется созданию новых упаковочных материалов, которые нетоксичны, легко утилизируемы, способны обеспечить надежную защиту продуктов от вредных факторов [7]. В настоящее время в качестве упаковочных материалов применяют изделия из полипропилена, полистирола, пластика – такой материал обладает гибкостью, легкостью, прочностью, термостойкостью, но является легковоспламеняющимся, обладают токсикологическим действием и не несут никакой пользы для организма человека и экологии [5].

Расширение сырьевой базы пектин содержащего сырья за счет использования новых технологий переработки пектина продуктов традиционного и нетрадиционного сырья является актуальной проблемой пищевой промышленности рационального природопользования [3].

Пектины - полисахариды, образованные остатками галактуроновой кислоты, присутствующие во всех высших растениях, в фруктах, и в некоторых видах водных растений. В промышленности пектины получают из отходов основного производства (выжимок яблок, цитрусовых, тыквы, корзинок подсолнечника, морской травы, сахарной свеклы). В пищевой используют в качестве структурообразователей, загустителей [6]. Физико-химические свойства сырья и получение пектина необходимы для разработки комплексной переработки и рационального использования в различных отраслях народного хозяйства [3, 4].

Новые сведения по поиску и использованию коллагенсодержащего сырья, полученного из прудовых рыб, представляют большой интерес и открывают перспективы в создании рациональных, экологически чистых, безотходных технологий функциональных пищевых продуктов [2].

Коллаген - распространенный представитель группы протеиноидов, на долю которого приходится 30 % всех белков животного организма. Биологическая функциональность коллагена реализуется при осуществлении пластической, барьерной, метаболической, терморегуляторной благодаря специфическому набору физико-химических и биохимических свойств [1].

В результате глубокой переработки сырья, содержащего пектин-коллагеновые структуры, становится возможным применение их в качестве компонента пищевой влагоудерживающей подложки. Пищевая подложка позволит значительно увеличить срок хранения за счет влагоудерживающего агента и отсутствия лишней влаги, сохранить пищевую ценность, органолептические, физико-химические свойства, оказывая положительное влияние на показатели качества мясных полуфабрикатов, здоровье человека окружающую среду, за счет оздоравливающей направленности функциональных ингредиентов – биополимеров.

Список литературы

1. Антипова Л.В., Основы биотехнологии переработки сельскохозяйственной продукции: учебное пособие для вузов / Л.В. Антипова, О.П. Дворянинова; под научной редакцией Л.В. Антиповой. – 2 – е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 204 с.
2. Болгова С.Б. Рыбные коллагены: получение, свойства и применение, 2015.
3. Донченко Л.В., Фирсов Г.Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. – М.: Дели принт, 2007. – 276 с.
4. Романова Н.К., Решетник О.А // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практич. конф. – Йошкар-Ола, 2008. – С. 611–612.
5. Семенова А.А., Насонова В.В., Веретов Л.А., Милеенкова Е.В. Способы увеличения сроков годности мясной продукции. – Все о мясе. — Москва, 2016 (5). С. 32-37.
6. Хатко З.Н., Ашинова А.А., Пектиносодержащие пленочные структуры. Монография. – Майкоп: изд-во МГТУ, 2019. – 112 с.
7. Santosh K. Mishra, Ph.D. Meg R. Goyal, Ph.D. (2021). New strategies for improvement shelf life and quality products, 361 - 387.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛИЧНОСТИ И ТРЕНДА ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ВОЗДУХА ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ МАЯК Г. СУХУМ

^{1,2}И.С. Афанасьев, ^{3,4}Л.В. Хинтуба, ^{3,4}Я.А. Экба, ^{1,2}Р.Г. Закинян
afanasevigor278@gmail.com, LolitaKhintuba@yandex.ru, ekba-yan@yandex.ru

¹Северо-Кавказский федеральный университет, Россия г. Ставрополь

²Северо-Кавказский центр математических исследований,
Россия, г. Ставрополь

³Институт экологии Академии наук Абхазии, Абхазия, г. Сухум

⁴Абхазский государственный университет, Абхазия, г. Сухум

Аннотация. В данной работе анализируются данные температуры приземного воздуха для г. Сухум за период 1961 – 2022 гг. Эти значения представляются в виде временных рядов среднегодовых температур. В результате получаем 2 основные компоненты: тренд, спектр (включающий циклы). В целом, среднегодовая температура имеет преимущественно положительную динамику, т.е. за весь период температура выросла на 1,31 градус, что может происходить на фоне глобального потепления. Соответственно, другой задачей текущей работы было выявление циклических компонент и определение их физической природы. Наблюдаются квазидвухлетний, 5-6-летний, цикл солнечной активности и многолетний цикл (2-3 десятилетия).

Ключевые слова. Температура приземного слоя воздуха, временной ряд, тренд, скользящее среднее, среднегодовая температура, циклы, солнечная активность, спектральный анализ.

К числу наиболее важных экологических факторов, определяющих состояние биосферы, относится климат, оказывающий значительное влияние на деятельность человека, сельское хозяйство, экономику и окружающую среду в целом. Наиболее пристальному вниманию подвержены климатические изменения, происходящие в последнее столетие, зафиксировано достоверное повышение средней глобальной температуры воздуха у поверхности земли на 0,5°/100 лет. Отмечается усиление негативного влияния природных явлений на экономическую и социальную жизнь мирового сообщества. Общие потери в мире, непосредственно связанные со стихийными бедствиями, увеличились с 1960-х годов в 40 раз и составляют в среднем сотни млрд долларов США в год [7, с.178].

В нашей работе мы анализируем данные температуры приземного слоя воздуха для г. Сухум за период 1961 – 2022 гг. Исследуется временной ряд (ВР) для того, чтобы оценить динамику изменения температуры атмосферного воздуха, путем разложения ВР на тренд и циклы. Тренд находится путём сглаживания, т.е. получают скользящую среднюю [4, с.652].

Использование как простой скользящей среднее, так и экспоненциальной позволяет провести наиболее детальный анализ временных рядов температуры. К примеру, простая скользящая средняя за 10 лет позволяет

оценить изменение температуры в среднем за каждый цикл солнечной активности, проследить тренд температуры и выявить циклы с периодами нескольких десятилетий [5, с.8].

В результате получаем график, который можно представить в виде совокупностей полиномов. Начнем с рассмотрения линии тренда, произведя простое сглаживание, и лишь затем будем подбирать степени полиномов. При сглаживании приводили скользящее среднее по 10-ти и 30-ти годам.



Рис. 1. Среднегодовая температура и скользящее среднее за 10 лет

Итоговая линия тренда растет не монотонно. Она то растет, то спадает. Наличие максимумов и минимумов позволяет предположить о существовании колебаний, периодичность которых – 30-40 лет. На рис. 1 картина глобального потепления не так очевидна, однако значение скользящей средней температуры всё же выросло.

На рис. 2 представлены скользящее среднее и линейный тренд, где видны следующие пиковые значения простой скользящей средней температуры (10 лет): +14,52 °C (1970 г.), +13,95 °C (1994 г.), +16,25 °C (2010 г.), +15,73 °C (2020 г.), причём наиболее выраженный рост был до 1994-2010 г. (на 2,3 градуса, с +13,95 °C до +16,25 °C). За весь период температура выросла на 1,31 градус, т.е. участки роста трендовой температуры были более выраженными, чем его падение.

После вычета простой скользящей средней и линейного тренда действительно получаем некоторые долгопериодические колебания (с периодом примерно 30 лет), максимумы – в 1970 и 2010 годы, минимум в – 1994 год (рис. 3).

Для избавления от долгопериодических колебаний найдём скользящую среднюю за 30 лет. Это также позволит определить изменение климатической нормы, сравнить её характеристики для 1961 – 1990 гг. и 1991 – 2020 гг.

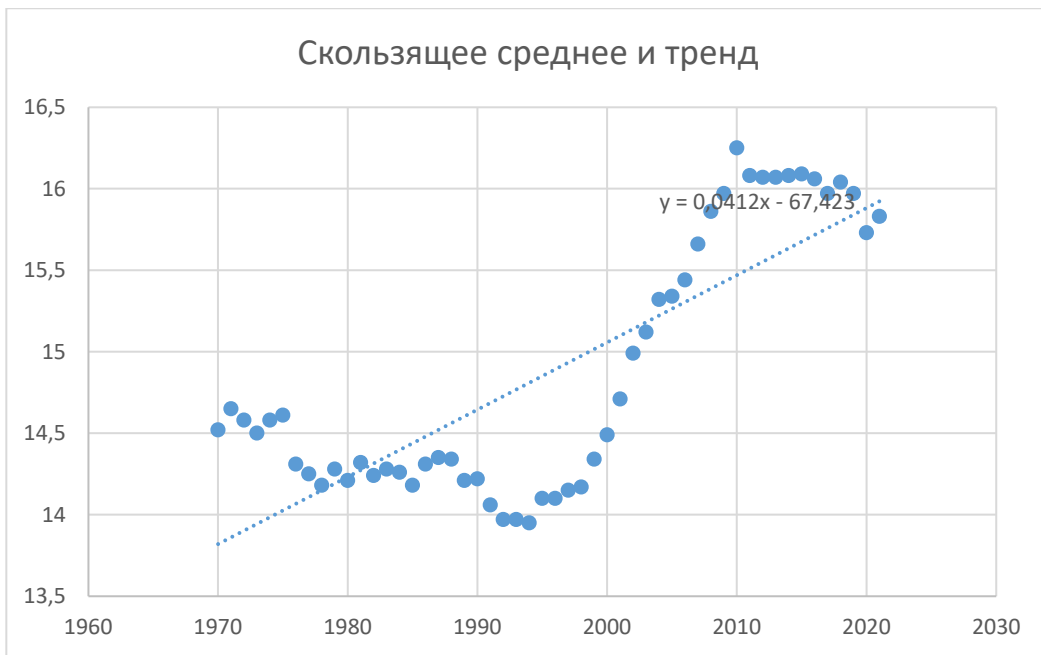


Рис. 2. Скользящее среднее и тренд

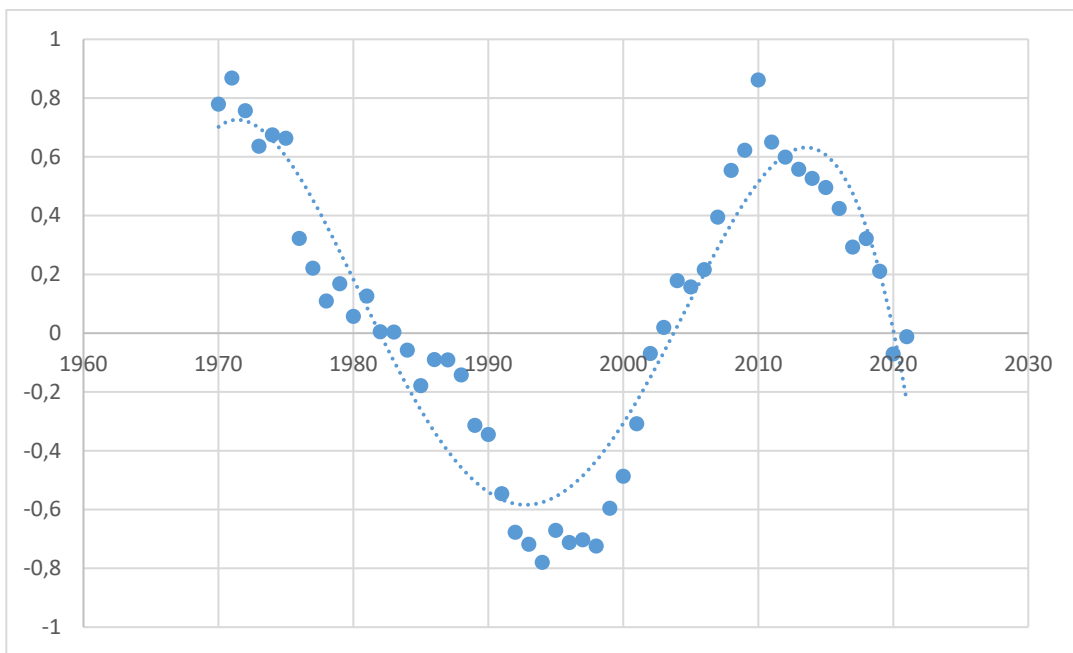


Рис. 3. Разность фактических значений и скользящей средней за 10 лет

Из рис. 4. видно, что скользящая средняя имеет преимущественно положительную динамику, плавно растёт. Климатическая норма также выросла на 1,31 градус, причём это было наиболее выражено в новое столетие.

Соответственно, разговоры о глобальном потеплении не беспочвенны. Особенно острым этим вопрос стал в последние десятилетия. С 1900 года средняя температура приземного слоя воздуха увеличилась примерно на 0,8 °C (1,4 °F), причём в основном рост температуры происходил в период с середины 70-х годов XX века вплоть до нынешнего времени [1, с.208]. Принято считать, что проблема глобального потепления связана с

антропогенным воздействием (то есть выбросами человека в воздух), при этом ссылаясь на то, что концентрация парниковых газов выросла в атмосфере, особенно CO_2 [6, с.33]. Интересен ещё тот момент, что 11-летняя скользящая средняя солнечной постоянной последние 2-3 десятилетия убывала, в то время как глобальная температура, напротив, ускоренно росла, что было дополнительным аргументом в пользу усиления парникового эффекта [5, с. 50].

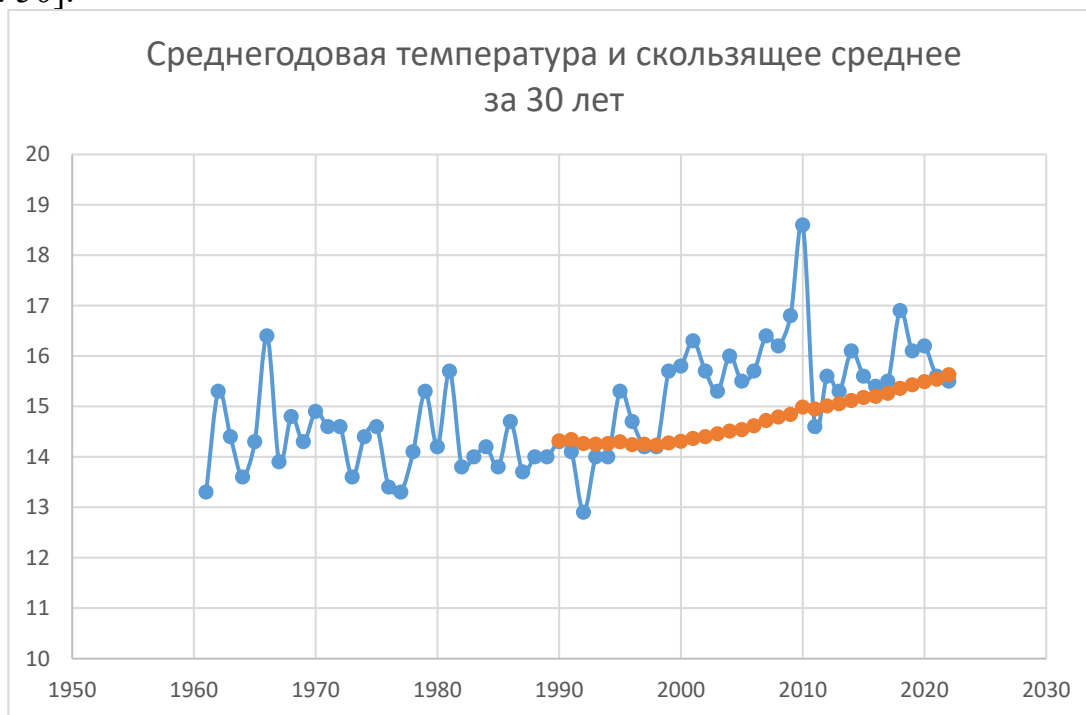


Рис. 4. Среднегодовая температура и скользящее среднее за 30 лет

Однако сам механизм парникового эффекта гораздо сложнее. Помимо антропогенного фактора, изменение концентрации парниковых газов может быть связано и с естественными причинами, например, вулканической активностью. Значительная часть углекислого газа находится в океане. Соответственно, рост парниковых газов может быть, как причиной повышения температуры (антропогенная деятельность, вулканическая активность), так и следствием (при испарении в атмосферу поступает водяной пар и содержащийся в океанах углекислый газ).

Стоит отметить, что между водяным паром и углекислым газом есть существенное отличие в механизме парникового эффекта. Так, концентрация насыщенных водяных паров напрямую зависит от температуры, т.е. при росте глобальной температуры растёт влагоёмкость воздуха. Однако углекислый газ распространяется равномерно на планете, и это мы наблюдаем на фоне того, что в различных широтах прирост температуры отличается. Соответственно, в приполярных зонах глобальное потепление оказывается более выраженным, чем в умеренных, и тем более субэкваториальных [5, с.43]. Повышение температуры у полюсов приводит к таянию ледников, в которых также

содержатся парниковые газы. Таким образом, проблема роста концентрации парниковых газов стоит достаточно остро.

Для временного ряда среднегодовых температур можно проводить также экспоненциальное сглаживание. Ведь помимо циклических факторов, связанных с солнечной активностью (и другими гармониками), существуют ещё случайные события, например, извержение мощных вулканов, высота тефры которых достигает стратосферы. [6, с.26] Их роль как раз и можно выявить при рассмотрении экспоненциальных скользящих средних (рис. 5).



Рис. 5. Простое и экспоненциальное сглаживание при альфа равном 0,3 (скользящее среднее за 10 лет)

При этом хорошо видны «скачки» на графиках, которые не связаны с сезонными факторами. Прежде всего, можно обратить внимание на характер изменения температуры и его скользящих средних в 1990 – 1995 гг. и 2010 – 2012 гг. Это связано с извержениями вулканов Пинатубо (1991 г.) и Эйяфьядлайёкюдль (2010 г.). Кроме того, на графиках экспоненциальной скользящей средней температуры мы видим другие пики, которые также могут быть связаны с извержениями вулканов:

- 1980 г. – Сент-Хеленс;
- 1982 г. – Эль-Чичон;

Спектральный анализ. Анализ Фурье

Для рассмотрения циклов целесообразно обратить внимание на временной ряд среднегодовых температур [2, с.28].

Периодограмма - это функция от частоты, которая показывает оценку спектральной плотности сигнала.

Для проведения спектрального анализа необходимо от фактических значений среднегодовых температур отнять линию тренда. Из рис. видно, что линия тренда может быть представлена в виде полинома 4-ой степени, либо в виде 2 полиномов 2 степени, где переходной точкой будет 2010 год

(извержение исландского вулкана и достижение максимума 30-летнего цикла, смена тенденции на противоположную). Использование полинома 4-ой степени нецелесообразно, поэтому рассмотрим спектр ВР, ограничившись данными до извержения вулкана Эйяфьядлайёкюдль.

Для 48-летнего промежутка времени (1961 – 2008 гг.) построим периодограмму среднегодовой температуры.

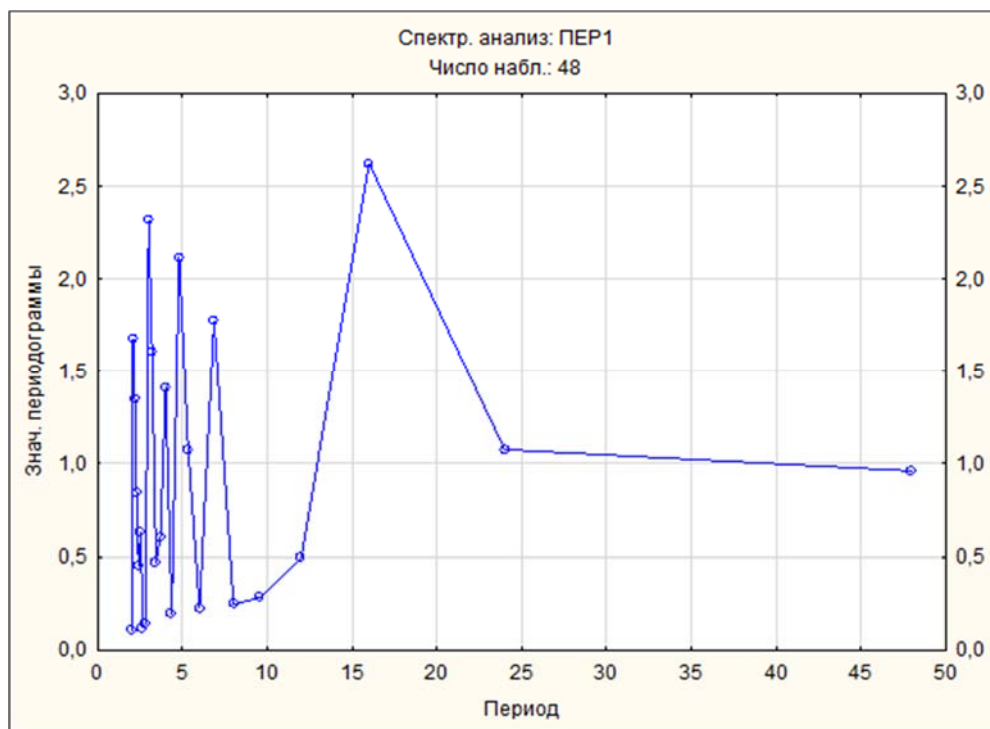


Рис. 6. Периодограмма БПФ среднегодовых температур воздуха для Сухума (1961 – 2008 гг.), с учетом полиномиальной линии тренда $n = 2$

На рис. 6. можно отметить несколько гармоник периода временного ряда, которые представлены в виде заострённых концов. Наиболее ярко выражены 16-летний, 5-6 летние и квазидвухлетние циклы. На графике видно, что при $P > 24$ лет функция монотонно убывает, т.е. мы не можем рассматривать колебания большего периода. Рассматривая 48-летний диапазон, мы не можем в нём говорить о наличии циклов, период которых больше либо равно 24 лет (следствие из теоремы Котельникова). Другим недостатком БПФ является то, что рассматриваемые периоды гармоник зависят от выборки, т.е. наличие именно 16-летнего цикла под вопросом. Также БПФ исключает возможность существования циклов с переменным периодом, который характерен для солнечной активности. Однако последнюю задачу решает вейвлет-анализ.

Вейвлет-анализ. Скалограмма

При выполнении вейвлет-анализа строится скалограмма, которая оценивает распределение энергии (которая представлена в виде квадрата амплитуды) по масштабам. По оси задаётся время, по оси – шкала периодов. В результате получается цветной график, который показывает амплитудный спектр непрерывного вейвлет-преобразования. Он позволяет оценить

гармоники, которые могут проявляться в различные временные диапазоны [2, с. 45].

На языке Python удалось построить скалограмму для данного ряда, что позволило выявить циклы, в том числе переменные.

На рис. 7, видно, что наблюдаются переменные периоды 4-6 лет и 8-13 лет (второй из них может быть связана с 11-летним циклом, который на самом деле варьируется примерно от 9 до 13 лет), также виден слабый цикл с периодом 2-3 года (возможно, квазидвухлетний).

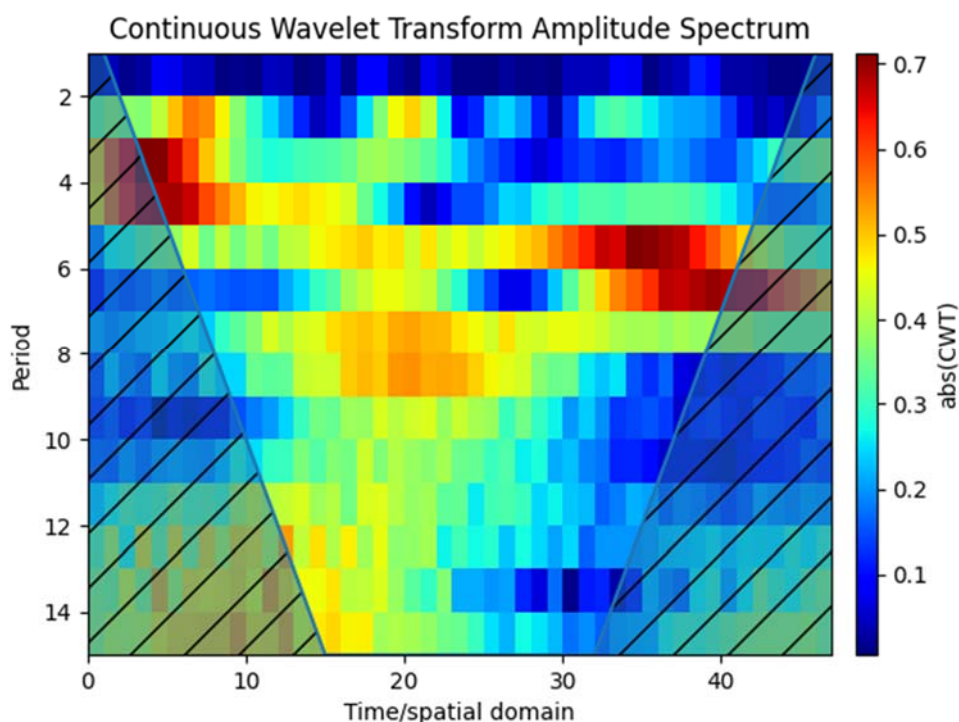


Рис. 7. Вейвлет-анализ ВР среднегодовых значений температур для г. Сухум (1961 – 2008 гг.)

Выводы

Были рассмотрены временные ряды температур среднегодовых для г. Сухум на основе данных за промежутки 1961 – 2022 гг. Проанализированы циклические составляющие и тренд, что позволило сделать следующие выводы. За весь период температура выросла на 1,31 градус, т.е. участки роста трендовой температуры (простой скользящей средней за 10 лет) были более выраженными, чем его падение. А разность скользящей средней и прямой линии тренда показала наличие максимумов и минимумов трендовой температуры, которые позволяют предположить о существовании колебаний, периодичностью примерно в 30 лет. При анализе Фурье и вейвлет-анализе были получены периодограмма БПФ и скалограмма среднегодовых температур, которые показали 5-6 летние, квазидвухлетние и солнечный циклы.

Также было уделено внимание и непериодическим отклонениям. Среднегодовая температура и скользящее среднее за 10 лет показали изменения температуры и его скользящих средних в 1990 – 1995 гг. и 2010 – 2012 гг. Это связано с извержениями вулканов Пинатубо (1992 г.) и

Эйяфьядлайёкюдль (2010 г.). Если говорить об экспоненциальной скользящей средней температуры, то она показала другие пики, которые связаны с извержениями вулканов в 1980 г. – Сент-Хеленс и в 1982 г. – Эль-Чичон.

Список литературы

1. Афанасьев И. С., Комарова А. Р., Закинян Р. Г., Шевченко А. И. Парниковый эффект. Проблемы физики атмосферы, климатологии и мониторинга окружающей среды: доклады IV международной научной конференции (Ставрополь, 23–25 мая 2022 г.), под ред. Р. Г. Закиняна. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2022. – 256 с.

2. Витязев В. В. Вейвлет-анализ временных рядов: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. – 58 с.

3. 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.

4. Кендалл М., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. – М.: Наука, 1976. – 736 с.

5. Митрова Т., Хохлов А., Мельников Ю. Пердеро А., Мельникова М., Залюбовский Е. Глобальная климатическая угроза и экономика России в поисках особого пути. – М., 2020. Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. – 69 с.

6. Семенов, С. М. Сравнительные оценки влияния изменения концентраций диоксида углерода, метана, закиси азота и водяного пара на радиационно- равновесную температуру земной поверхности / С. М. Семенов, И. О. Попов // Метеорология и гидрология. – 2011. – № 8. – С. 33-34.

7. Тарасов, Б. Г. О природе циклов геодинамической активности и методе их прогноза / Б. Г. Тарасов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2004. – № 6-2(44). – С. 3-13.

8. Экба Я. В. Хинтуба Л. В. Воздействие вулканов на климат. Тезисы докладов (молодежная секция) Луганск: изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2018 – С.28.

9. Экба Я.А., Ахсалба А.К., Хинтуба Л.В., Начкебия Х.А. «Изменчивость основных климатообразующих факторов на территории Абхазии в период глобального потепления». ВЕСНИК, АНА. 2020. С172-182.

ИЗМЕНЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ Zn В ЧЕРНОЗЕМЕ ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОЧАРА

А.В. Барахов, Т.В. Бауэр, С.С. Манджиева, Т.М. Минкина,
Е.С. Лацынник

*tolik.barakhov@mail.ru, bauertatyana@mail.ru, msaglara@mail.ru,
tminkina@mail.ru, lacynnik@sfnedu.ru*

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

Аннотация. Изучена подвижность Zn в загрязненном черноземе обыкновенном при внесении углеродистого сорбента (биочара). На основе оценки группового состава металла в почве установлено, что внесение поллютанта привело к увеличению непрочно связанных соединений (обменных, комплексных и специфически сорбированных) Zn в почве почти в 2 раза. Сорбент инактивирует внесенный поллютант, уменьшая мобильность непрочно связанных соединений в почве, в основном за счет наиболее экологически опасных - обменных форм.

Ключевые слова. Загрязнение, тяжелые металлы, непрочно связанные соединения, углеродистый сорбент.

Изучение тяжелых металлов (ТМ) имеет большое значение для окружающей среды, поскольку среди всех потенциально токсичных веществ не подвергаются химическому и микробиологическому разложению. ТМ могут служить источником долгосрочного токсического загрязнения [9]. Цинк – один из элементов, содержащихся в почве, подверженной антропогенной нагрузке в результате промышленных выбросов предприятий [7]. В тоже время Zn является необходимым микроэлементом. В условиях техногенной нагрузки Zn способен накапливаться в почве и попадать в организм человека через систему “почва-сельскохозяйственные растения”, что может приводить к проблемам со здоровьем человека (негативно воздействовать на нервную, кровеносную и репродуктивную системы) [8].

Ростовская область является одной из наиболее развитых агропромышленных территорий России, где тесно соседствуют сельскохозяйственные и промышленные предприятия, что может оказывать влияние на качество сельскохозяйственной продукции. Строительство шламонакопителей и прудов-отстойников для нужд химической промышленности привело к образованию ореола сильно загрязненных прилегающих территорий, которые становятся опаснейшим источником вторичного загрязнения окружающей среды. Необходимость в рекультивационных работах на данных объектах наиболее актуальна [2].

Одним из наиболее эффективных способов снижения уровня техногенных рисков является иммобилизация металла в почвах. Достижение данного эффекта возможно путем сорбции металла углеродистыми сорбентами, такими как биочар и гранулированный активированный уголь [6]. Биочар представляет собой высокопористый материал с большой площадью поверхности, что способствует эффективной сорбции ТМ данным

материалом, а также содержит в себе большое количество углерода, что является дополнительным источником данного элемента в почве [4].

Цель данной работы: изучить изменения в групповом составе соединений цинка в загрязненном черноземе обыкновенном карбонатном при внесении биочара.

Для достижения поставленной цели был заложен опыт с искусственным загрязнением почвы водным раствором ацетата Zn в дозе (5 ОДК). Доза внесения металла соотнесена со встречающимся уровнем загрязнения в Ростовской области [2]. Схема опыта включает следующие варианты: 1) контроль без внесения поллютанта и сорбента; 2) контроль + Zn 5 ОДК; 3) контроль + Zn 5 ОДК +2,5% биочар. Повторность опыта трехкратная.

Общее содержание Zn в почве определяли рентгенфлуоресцентным методом с использованием спектроскана «МАКС-GV». Схема параллельной экстракции была использована для определения группового состава соединений Zn [3]: раствором 1 н. ацетатно-аммонийного буфера (ААБ) извлекали обменные формы, по разности между содержанием металла в вытяжках 1% раствора ЭДТА в ААБ и в 1 н. ААБ находили количество комплексных соединений, специфически сорбированных формы находили по разнице результатов в вытяжках 1 н. HCl и ААБ. Метод атомно-абсорбционной спектрофотометрии был использован для определения содержания металла в вытяжках на атомно-абсорбционном спектрометре «Квант-2Z».

Опыт был заложен на черноземе обыкновенным тяжелосуглинистом на лессовидных суглинках (Ростовская обл.), отобранном на целинном участке. Почву можно охарактеризовать следующими физическими и химическими свойствами: физическая глина – 53,1%, ил – 32,4%, Сорг. – 3,4%; ЕКО – 37,1 смоль (экв)/кг; обменные катионы (смоль (экв)/кг): Ca²⁺ –31,0, Mg²⁺ – 4,5; CaCO₃ – 0,1%; pH – 7,3.

Внесение поллютанта в дозе 5 ОДК привело к повышению абсолютных и относительных значений всех непрочно связанных форм ТМ (рис.1). Сумма непрочно связанных соединений (обменных, комплексных, специфически сорбированных) Zn в контрольном образце чернозема составляет 26,6 мг/кг. Внесение поллютанта в дозе 5 ОДК привело к увеличению суммы непрочно связанных соединений до 45,9 мг/кг. Внесение сорбента в загрязненную почву снижает их концентрацию до 38,5 мг/кг.

Наблюдается следующая последовательность распределения Zn по формам непрочно связанных соединений: специфически сорбированные > комплексные > обменные. Данное распределение справедливо как для загрязненного чернозема, так и для незагрязненного варианта (рис.1).

Содержание Zn возрастает при увеличении техногенной нагрузки, что непосредственно влияет на изменения в групповом составе непрочно связанных соединений в сторону возрастания доли обменных форм, которые несут наибольшие экологические риски. Показано, что углеродистый сорбент (биочар) эффективен в ремедиации загрязненной Zn почвы, так как

использование данного сорбента снизило подвижность непрочно связанных соединений металла к значениям, близким к контрольному образцу.

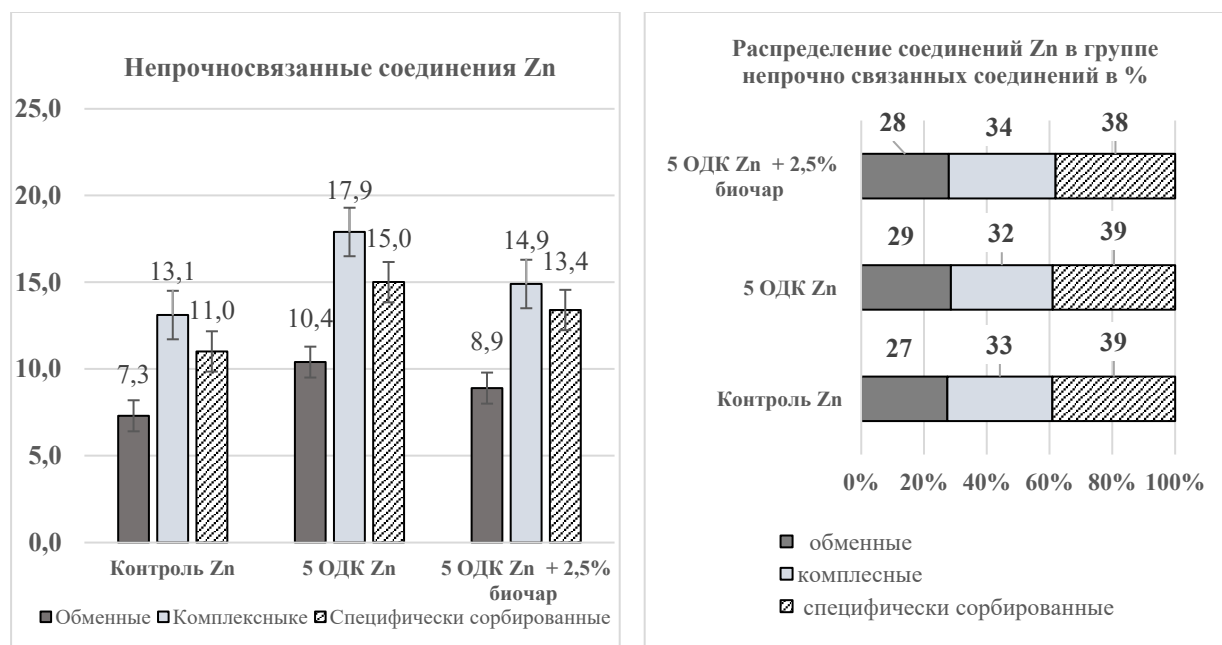


Рис. 1. Групповой состав Zn в черноземе обыкновенном, %

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-76-10054) в Южном федеральном университете.

Список литературы

1. Бауэр Т.В., Линник В.Г., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Невидомская Д.Г. Эколого-геохимические исследования техногенных почв в пойменных ландшафтах северского донца (бассейн нижнего Дона) // Геохимия. - 2018. - № 10. - С. 956-966.
2. Минкина Т.М., Бауэр Т.В., Пинский Д.Л., Манджиева С.С., Невидомская Д.Г., Сушкова С.Н. Методические аспекты в изучении поглощения тяжелых металлов почвами // Плодородие. - 2016. - № 1(88). - С. 41-44.
3. Bauer T.V., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Nevidomskaya D.G., Linnik V.G. Ecological-geochemical studies of technogenic soils in the flood plain landscapes of the seversky donets, lower Don basin // Geochemistry International. - 2018. - Vol. 56. - № 10. - P. 992-1002.
4. Minkina T.M., Nevidomskaya D.G., Bauer T.V., Mandzhieva S.S., Linnik V.G., Khoroshavin V.Y. Forms of Cu (II), Zn (II), and Pb (II) compounds in technogenically transformed soils adjacent to the Karabashmed copper smelter // Journal of Soils and Sediments. - 2018. - Vol. 18. - № 6. - P. 2217-2228.
5. Sun Z., Xie X., Wang P., Hu Y., Cheng H. Heavy metal pollution caused by small-scale metal ore mining activities: A case study from a polymetallic mine in South China // Science of the Total Environment. -2018. - Vol. 639. - P. 217-227.
6. Yao Z., Li J., Xie H., Yu C. Review on remediation technologies of soil contaminated by heavy metals // Procedia Environmental Sciences. - 2012. - Vol. 16. - P. 722-729.
7. Zhang F., Yan X., Zeng C., Zhang M., Shrestha S., Devkota L.P., Yao T. Influence of Traffic Activity on Heavy Metal Concentrations of Roadside Farmland Soil in Mountainous Areas // International Journal of Environmental Research and Public Health. -2012. -Vol. 9. -P.1715-1731.
8. Zeng G., Wu H., Liang J., Guo S., Huang L., Xu P., Liu Y., Yuan Y., He X., He Y. Efficiency of biochar and compost (or composting) combined 1 amendments for reducing Cd, Cu, Zn and Pb bioavailability, mobility and ecological risk in wetland soil // RCV Advances. - 2015. - Vol. 44. - 34541 p.
9. Zhang F., Yang H., Cui Z. Evaluation and analysis of soil migration and distribution characteristics of heavy metals in iron tailings // Journal of Cleaner Production. - 2018. - Vol. 172. - P. 475-480.

МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОЧВАХ И ЕСТЕСТВЕННОЙ ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

А.И. Барбашев, С.Н. Сушкова, Т.С. Дудникова, Т.М. Минкина,
В.Р. Попов

Южный Федеральный университет, Россия, г. Ростов-на-Дону,
barbashev_andrei@mail.ru

***Аннотация.** В настоящее время одной из важнейших проблем является загрязнение полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) природных систем в результате промышленной деятельности человека. В связи с чем необходимо проведение мониторинга территорий подверженных антропогенному воздействию. В результате проведенного мониторингового исследования импактной зоны предприятия топливно-энергетического комплекса, установлено, что поллютанты в почве импактной зоны накапливаются преимущественно до 2 км по линии преобладающей розы ветров от предприятия. В групповом составе ПАУ доминируют 4-х кольчатые соединения, превышая фоновые значения в 23 раза. При этом растения, произрастающие на территории импактной зоны, преимущественно накапливают, такие соединения, как флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен и фенантрен, что составляет 70-82% от суммарного содержания полиаренов в различных частях растений.*

***Ключевые слова.** ПАУ, бенз(а)пирен, мониторинг, почва-растения.*

Исследования почвенного и растительного покрова посредством мониторинговых исследований являются первичными при оценке продовольственной безопасности и канцерогенного риска, а также служат основой для инженерно-изыскательских работ [1, 2]. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) представляют собой класс широко распространённых поллютантов, многие из которых проявляют мутагенные, тератогенные и канцерогенные эффекты на живые организмы. Их распространённость в объектах окружающей среды связано с пиролизом углеводородных материалов. [3, 4]. Источниками образования и поступления данных соединений в окружающую среду являются высокотемпературные и микробиологические процессы, а также антропогенные факторы, которые преимущественно связаны с добычей, транспортировкой и переработкой органического топлива, воздействием авто- и железнодорожного транспорта, энергетикой, нефтехимией, производством строительных материалов [3-5]. Выбросы поллютантов в атмосферу создают вокруг источника эмиссии техногенные ореолы с аномальным содержанием поллютанта для природных территорий. Зачастую исследования ПАУ сосредоточены на исследовании 16 представителей данной группы, входящих в список приоритетных поллютантов агентства по охране окружающей среды США [6]. В России для

почв нормированию подлежит только бенз(а)пирен (БаП), предельно допустимая концентрация которого в почвах составляет 20 нг/г [7].

Так как почвы и растения находятся и функционируют в тесной взаимосвязи, то образуется целостная система, которая связывает процессы накопления и трансформации ПАУ [8]. Поэтому одной из основных задач является мониторинг содержания ПАУ не только в почвах импактных зон, а еще и в дикорастущей растительности.

Цель работы: Проведение мониторинга содержания полициклических ароматических углеводородов в почвах и естественной травянистой растительности техногенно загрязненной территории.

Объекты и методы. Для проведения исследования заложено 5 площадок мониторинга и проведен отбор проб [9] на территории импактной зоны Новочеркасской ГРЭС (НчГРЭС) - крупнейшего предприятия топливно-энергетического комплекса и главного предприятия-загрязнителя на юге России. Площадки мониторинга расположены в северо-западном (СЗ) направлении от предприятия (1н - 1,6 км СЗ, 2н – 6,9 км СЗ, 3н – 15,0 км СЗ, 4н – 20,0 км СЗ) представлены черноземами обыкновенными и лугово-черноземной почвой (площадка 2н) с близкими физико-химическими свойствами (табл. 1). В ходе геоботанических экспедиций установлено, что на площадках мониторинга импактной зоны НчГРЭС преобладают представители травянистых растений – многолетники. Доминантные виды естественной травянистой растительности представлены мятликом луговым (*Poa pratensis L.*), пыреем ползучим (*Elytrigia repens L.*) и полынью австрийской (*Artemisia austriaca Jack*). В качестве фоновой была заложена площадка мониторинга на территории особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Персиановской заповедной степи» (таблица 1).

Экстракцию ПАУ в образцах почв и растений выполняли с использованием воды в субкритическом состоянии [10, 11]. Навеску специально подготовленного почвенного или растительного образца весом 1 г, просеянного через сито размером 1 мм, помещали в экстракционный картридж из нержавеющей стали и герметично закручивали с двух сторон болтами. Картридж устанавливали в термостат и нагревали до 250°C и давлении 100 атм. в течение 30 мин. После охлаждения системы картридж развинчивали, двух- или трехкратно фильтровали содержимое до прозрачности раствора. Полученный водный экстракт смешивали с 5 мл н-гексана (ч.д.а.) и помещали на механический встряхиватель на 15 минут. Разделение слоев проводили на делительной воронке объемом 50 мл последовательно в три этапа с очередной порцией гексана. Объединенный гексановый экстракт пропускали через воронку с безводным сульфатом натрия в чистую сухую круглодонную колбу, упаривали на ротационном испарителе при температуре водяной бани 40°C до сухого остатка. Полученный сухой остаток растворяли в 1 мл ацетонитрила при перемешивании в течение 30 минут. Количественное определение ПАУ в экстрактах проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе AGILENT 1260.

Таблица 1

Свойства почв площадок мониторинга исследуемых территорий

№ площадки	Физическая глина, %	Ил, %	Гумус, %	pH	CaCO ₃ , %	Гранулометрический состав	Тип почвы
1	2	3	4	5	6	7	8
ООПТ «Персиановская заповедная степь»							
ООПТ	57,4	31,3	4,4	7,8	0,9	тяжелосуглинистый	чернозем обыкновенный карбонатный
Импактная зона НчГРЭС							
1н	58,4	31,2	4,4	7,4	0,9	тяжелосуглинистый	чернозем обыкновенный карбонатный
2н	56,2	32,9	4,7	7,9	0,9	тяжелосуглинистый	лугово-черноземная
3н	55,3	26,5	3,9	7,9	0,8	тяжелосуглинистый	чернозем обыкновенный карбонатный
4н	53,5	26,7	3,9	7,7	0,7	тяжелосуглинистый	чернозем обыкновенный карбонатный

Результаты и обсуждения. Суммарное содержание ПАУ в фоновой почве площадке ООПТ, расположенной на удалении от импактной зоны, составило 188 нг/г (табл. 2). При этом более 50% от суммарного содержания ПАУ приходится на низкомолекулярным 2-х и 3-х кольчатым соединениям, преимущественно нафталин и фенантрен что свидетельствует о природном происхождении ПАУ в почве данного участка [12, 13]. Можно выделить следующий убывающий ряд по содержанию ПАУ различной кольчатости в изученной почве: 3-х > 4-х > 2-х > 5-ти > 6-ти кольчатые (рис. 1). Превышение ПДК БаП в почве участка, не выявлено, и, в целом, содержание наиболее опасных 5-ти и 6-ти кольчатых соединений ПАУ не превышает 20 - 25 нг/г (таблица 2).

Суммарное содержание ПАУ в почвах импактной зоны НчГРЭС в 6-20 раз выше, чем в почве ООПТ и образует следующий убывающий ряд: 3840 нг/г (1н 1,6 км СЗ) > 1729 нг/г (2н 6,9 км СЗ) > 1515 нг/г (3н 15,0 км СЗ) > 1056 нг/г (4н 20,0 км СЗ) (табл. 2). Характер распределения ПАУ в почвах соответствует пирогенно-угольной ассоциации поллютантов, так как в составе ПАУ преобладают соединения с 4-мя бензольными кольцами – 409-1355 нг/г, содержание которых убывает по мере удаления от НчГРЭС (рис. 1) [14, 15]. Помимо 4-х кольчатых соединений ПАУ, весомый вклад в суммарное содержание полиаренов вносят бенз(b)флуорантен, бенз(g,h,i)перилен и фенантрен (табл. 2). Содержание других соединений ПАУ не превышает 80 нг/г. Исключением стал БаП, содержание которого в почве площадки мониторинга 1н составляет 355 нг/г, что превышает ПДК в 18 раз. С удалением от источника загрязнения содержание БаП в почве снижается и соответствует 7,7, 3,5 и 2,5 ПДК БаП, соответственно (табл. 2).

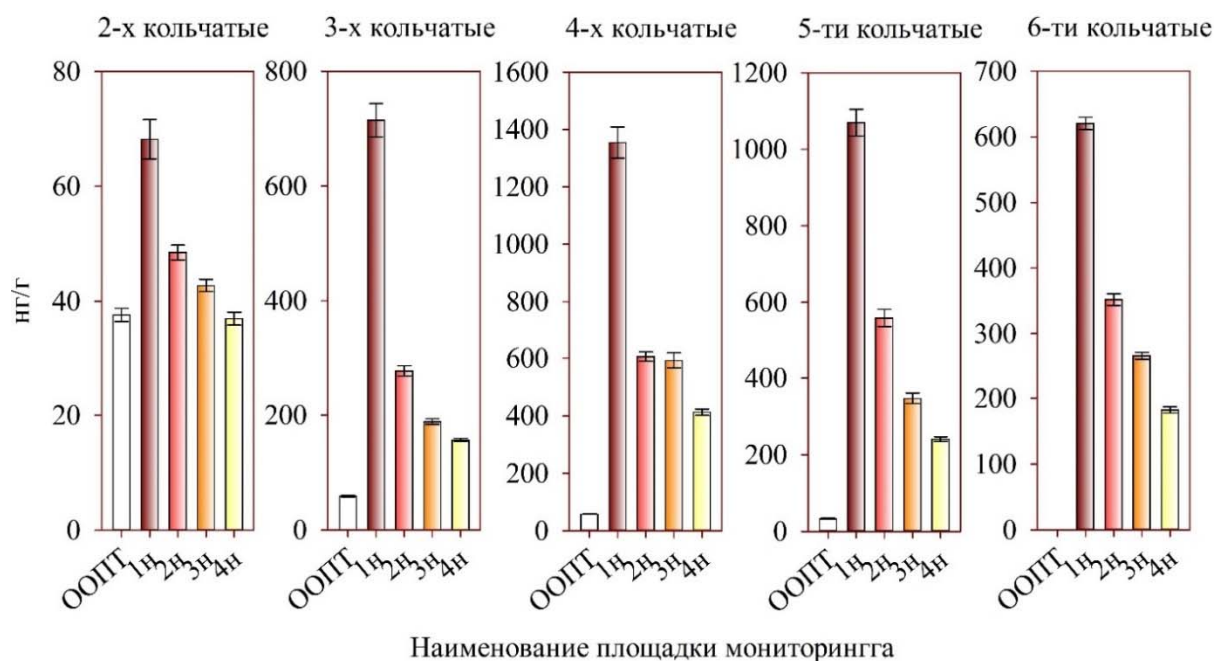


Рис. 1. Суммарное содержание ПАУ с одинаковым количеством колец в почвах площадок мониторинга импактной зоны НчГРЭС

Таблица 2
Содержание индивидуальных соединений ПАУ в почвах площадок мониторинга импактной зоны НчГРЭС

Кол-во бензольных колец	Представитель ПАУ	Наименование площадки мониторинга				
		ООПТ	1н	2н	3н	4н
2	Нафталин	24,0±0,7	25,0±1,3	30,0±1,2	26,0±1,8	25,7±1,5
3	Антрацен	0,4±0,03	28,9±1,7	32,7±1,6	22,6±0,9	24,5±1,2
	Флуорен	8,8±0,4	13,7±0,6	23,0±1,4	15,9±0,6	8,5±0,5
	Фенантрен	49,4±1,9	667,4±40,0	217,4±13,0	150,5±9,0	123,5±6,2
4	Бенз(а)антрацен	3,6±0,2	311,2±18,7	164,7±11,5	91,3±5,4	63,2±4,1
	Пирен	30,3±1,2	470,4±23,5	198,6±14,7	253,0±19,2	175,2±9,9
	Флуорантен	24,3±1,2	573,4±37,4	248,2±16,2	245,8±13,3	170,2±9,2
5	Бенз(б)флуорантен	10,2±0,6	401,6±21,9	263,8±14,4	181,6±11,8	125,7±7,8
	Бенз(к)флуорантен	5,7±0,5	138,4±7,5	70,9±4,6	56,1±3,0	38,8±1,9
	Бенз(а)пирен	17,6±1,5	354,9±20,6	154,1±9,1	69,9±6,1	48,4±2,3
	Дибенз(а,һ)антрацен	0,2±0,02	189,2±12,9	70,5±4,8	37,0±2,6	25,6±1,9
6	Бенз(ɡ,һ,і)перилен	0,3±0,03	622,3±47,7	353,2±26,4	264,6±17,8	183,2±8,8

Содержание поллютантов в растениях, произрастающих на целинном участке ООПТ, наблюдается преимущественно в их корневой части. Для различных частей растений характерно накопление 2-х кольчатых ПАУ, преимущественно, нафталина (20-23 нг/г), и 3-х кольчатых полиаренов, преимущественно, фенантрена (5-18 нг/г). Содержание 4-х кольчатых ПАУ не превышало 7 нг/г, а 5-ти и 6-ти кольчатых ПАУ - 1 нг/г (рис. 2).

Содержание ПАУ в растениях, произрастающих на территории импактной зоны выше, чем в растениях фоновой территории. В целом, при условии схожего уровня загрязнения почв, по способности аккумулировать

поллютанты растения располагаются в следующем убывающем ряду: полынь > пырей > мятлик.

Суммарное содержание ПАУ в корневой части растений импактной зоны НчГРЭС выше, чем в растениях ООПТ в 3,1-7,0 раз, и варьирует от 256-429 нг/г - для полыни, 167-255 нг/г - для злаковых (мятлика и пырея) (рис. 2). Содержание поллютантов в надземной части растений ниже, чем в корневой, составляет 157-300 нг/г - для полыни, 48-115 нг/г - для мятлика и пырея (рис. 2). Наибольшие значения содержания ПАУ установлены для растений площадки мониторинга 1н (1,6 км СЗ), а минимальные - для площадки 4н (20,0 км СЗ). В целом, для всех видов растений импактной зоны НчГРЭС, характер накопления полиаренов соответствует следующему убывающему ряду: 4-х > 3-х > 2-х > 5-ти > 6-ти кольчатые (рис. 2). При этом 70-82% от суммарного содержания полиаренов в различных частях растений приходится на флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен и фенантрен. Накопление других ПАУ корневой частью растений не достигает 30 нг/г, а надземной частью - составляет менее 10 нг/г (рис. 2).

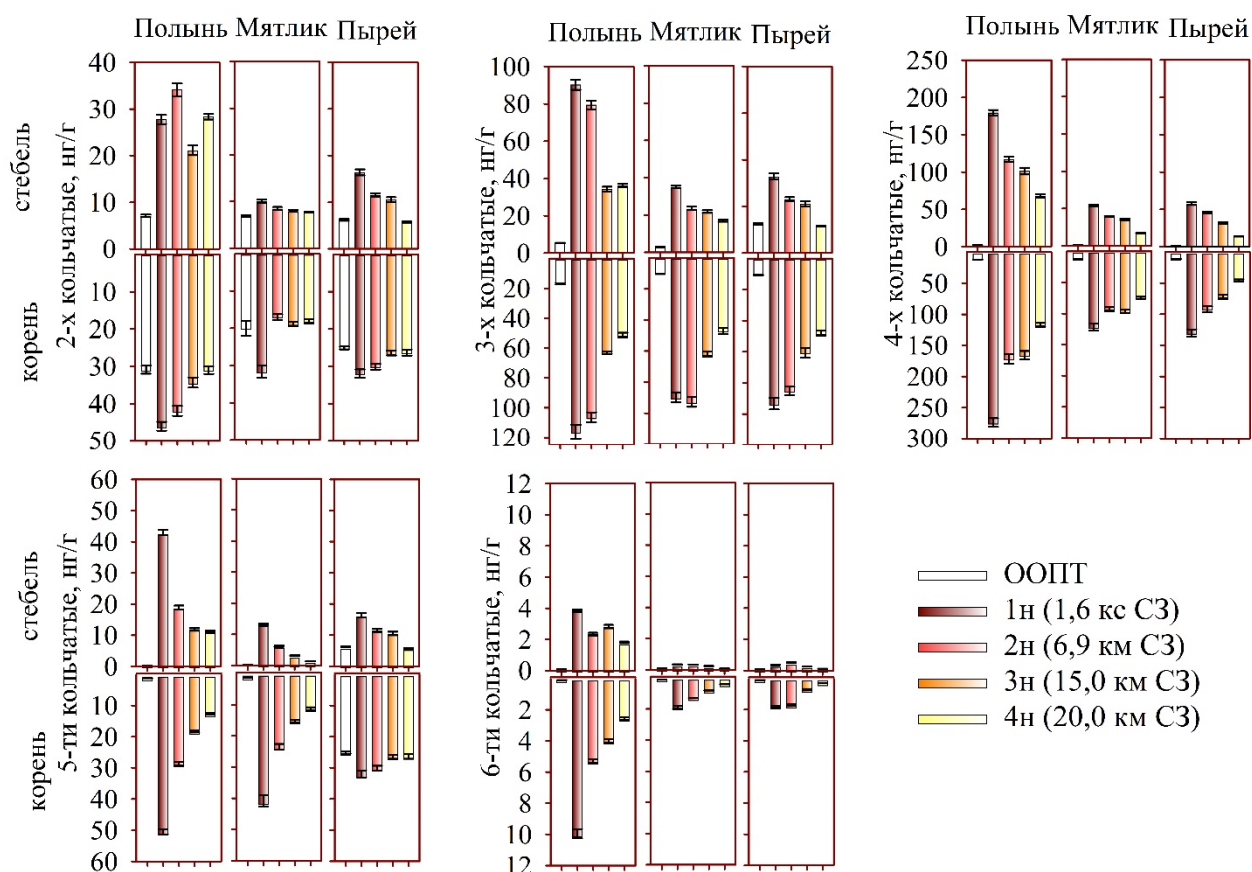


Рис. 2. Содержание ПАУ с одинаковым количеством колец в различных частях травянистых растений площадок мониторинга импактной зоны НчГРЭС

Среди всех исследуемых видов степных растений наименьшее содержание ПАУ в корневой части отмечается для мятлика. Вероятнее всего, это обусловлено физиологическими особенностями его корневой системы. Наличие узловатого корневища и многочисленных придаточных корней способствует большему образованию корневых экссудатов по сравнению с

другими видами, что стимулирует рост численности микроорганизмов ПАУ-деструкторов в ризосфере [16-19].

Выводы. Таким образом, установлено, что в почвах и растения фоновой территории ООПТ накапливаются преимущественно низкомолекулярные соединения, среди которых преобладают 2-х кольчатый нафталин и 3-х кольчатый фенантрен. При загрязнении наблюдается увеличение содержания поллютантов в почвах и растениях, особенно высокомолекулярных 4-х кольчатых ПАУ. ПДК БаП в наиболее почве (н1) достигает значения 18. Повышение содержания поллютантов в почве увеличивает их накопление в растениях, что особенно выражено флуорантена, пирена, бенз(а)антрацена и фенантрена. При этом поллютанты в почве и растениях импактной зоны НчГРЭС накапливаются преимущественно до 2 км от предприятия.

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. Cristale J., Silva F. S., Zocolo G. J., Marchi M. R. R. Influence of sugarcane burning on indoor/outdoor PAH air pollution in Brazil // Environmental pollution. – 2012. – V. 169. – P. 210-216.
2. Tobiszewski M., Namieśnik J. PAH diagnostic ratios for the identification of pollution emission sources // Environmental Pollution. – 2012. – V. 162. – P.110-119.
3. Yunker M. B., Perreault A., Lowe C. J. Source apportionment of elevated PAH concentrations in sediments near deep marine outfalls in Esquimalt and Victoria, BC, Canada: Is coal from an 1891 shipwreck the source? // Organic Geochemistry. – 2012. – V. 46. – P. 12–37.
4. Цибарт А.С., Геннадиев А. Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, индикационное значение (обзор) // Почвоведение. – 2013. – № 7. – С. 788–802.
5. Kuppusamy S., Thavamani P., Venkateswarlu K., Lee Y. B., Naidu R., Megharaj M. Remediation approaches for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) contaminated soils: Technological constraints, emerging trends and future directions // Chemosphere. –2017. – V. 168. – P. 944–968.
6. 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.
7. ГН 2.1.7.2041-06. 2.1.7. Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. - М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. - 15 с.
8. Яковлева Е.В., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М., Габов Д.Н., Василевич М.И. Биоаккумуляция полициклических ароматических углеводородов в системе почва-растение // Агрехимия. – 2008. – №. 9. – С. 66-74.
9. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – Введ. 2019-01-01. – М.: Стандартинформ, 2018.

10. Sushkova S.N., Vasilyeva G.K., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Tjurina I.G., Kolesnikov S.I., Kizilkaya R., Askin T. New method for benzo[a]pyrene analysis in plant material using subcritical water extraction *Journal of Geochemical Exploration*. – 2014. – V. 144. – P. 267-272.
11. Sushkova S.N., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Vasilyeva G.K., Borisenko N.I., Turina I.G., Bolotova O.V., Varduni T.V., Kizilkaya R. New alternative method of benzo[a]pyrene extraction from soils and its approbation in soil under technogenic pressure // *Journal of soils and sediments*. – 2016. – V. 16. – P. 1323-1329.
12. Abdel-Shafy H.I., Mansour M. S. M. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation // *Egyptian Journal of Petroleum*. – 2016. – V. 25. – №. 1. – P. 107-123.
13. Chai C., Cheng Q., Wu J., Zeng L., Chen Q., Zhu X., Ge W. Contamination, source identification, and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the soils of vegetable greenhouses in Shandong China // *Ecotoxicology and environmental safety*. – 2017. – V. 142. – P. 181-188.
14. Kołtowski M., Hilber I., Bucheli T. D., Oleszczuk P. Effect of activated carbon and biochars on the bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons in different industrially contaminated soils // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2016. – V. 23. – №. 11. – P. 11058-11068.
15. Medunić G., Ahel M., Mihalić I. B., Srček V. G., Kopjar N., Fiket Ž., Mikac I. Toxic airborne S, PAH, and trace element legacy of the superhigh-organic-sulphur Raša coal combustion: Cytotoxicity and genotoxicity assessment of soil and ash // *Science of the Total Environment*. – 2016. – V. 566. – P. 306-319.
16. Kotoky R., Pandey P. Plant-microbe symbiosis as an instrument for the mobilization and removal of heavy metals from contaminated soils-a realistic approach // *Current Biotechnology*. – 2018. – V. 7. – №. 2. – P. 71-79.
17. Kumar S. S., Kadier A., Malyan S. K., Ahmad A., Bishnoi N. R. Phytoremediation and rhizoremediation: uptake, mobilization and sequestration of heavy metals by plants. In *Plant-microbe interactions in agro-ecological perspectives*. – Singapore; Springer, 2017. – P. 367-394.
18. Sasse J., Martinoia E., Northen T. Feed your friends: do plant exudates shape the root microbiome? // *Trends in plant science*. – 2018. – V. 23. – №. 1. – P. 25-41.
19. Wood J. L., Tang C., Franks A. E. Microbial associated plant growth and heavy metal accumulation to improve phytoextraction of contaminated soils // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2016. – V. 103. – P. 131-137.

ВАРИАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В МОСКВЕ И ЗВЕНИГОРОДЕ

И.Б. Беликов, В.А. Белоусов, К.Б. Моисеенко, А.И. Скороход

belousov@ifaran.ru

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

Аннотация. *Антропогенное загрязнение атмосферы органическими и неорганическими газовыми примесями требует проведения постоянного высококачественного мониторинга состава атмосферы как в мегаполисах, так и в загородной зоне. В статье рассмотрены проводимые в ИФА им.А.М.Обухова РАН непрерывные измерения концентраций основных климатически и химически активных газовых примесей атмосферы, в т.ч. летучих органических соединений. Основное внимание уделяется сравнительному анализу сезонных и суточных вариаций концентраций.*

Ключевые слова. *Малые газовые примеси приземного слоя атмосферы, летучие органические соединения, сезонные и суточные вариации концентраций.*

Введение

В настоящее время в ходе производственной деятельности человека в атмосферу выбрасывается существенное количество различных химических соединений. В атмосфере появляются новые соединения, которые ранее либо вообще отсутствовали на Земле, либо имелись в незначительных количествах. Это приводит к тому, что изменяется состав атмосферы Земли и ее радиационные и динамические свойства. В результате этих процессов меняется климат Земли [3].

Многочисленные неблагоприятные последствия влияния загрязнения атмосферы на среду обитания человечества требуют в настоящее время тщательного изучения процессов, приводящих к глобальным сдвигам в балансе концентраций атмосферных примесей. Одним из основных методов исследований этого является постоянный мониторинг концентраций основных загрязняющих атмосферу примесей.

На общегосударственном уровне в Российской Федерации такой мониторинг осуществляется Росгидрометом. Кроме этого, мониторинг состава атмосферного воздуха осуществляют в г. Москве ГПБУ "Мосэкомониторинг", в г. Санкт-Петербурге - ГБУ "Минерал". Также, мониторинг параметров состава атмосферного воздуха осуществляют станции наблюдений, создаваемые по инициативе некоторых академических и отраслевых научных учреждений. В их ряду следует отметить Институт экспериментальной метеорологии (ИЭМ) НПО "Тайфун" (г. Обнинск), Институт оптики атмосферы СО РАН (г. Томск) и некоторые другие. Подобные пункты наблюдений состава атмосферы действуют и в ИФА им.А.М.Обухова РАН.

Аппаратура и методика наблюдений

Наблюдения в г. Москве проводились на территории ИФА им. А.М.Обухова РАН по адресу Пыжевский пер., 3, (Центральный административный округ, район Якиманка), во внутреннем дворе здания. В окрестности места наблюдений находятся улицы с достаточно интенсивным автомобильным движением, жилые дома и офисы учреждений. В загородной зоне наблюдения проводились на территории Звенигородской научной станции (ЗНС) ИФА им.А.М.Обухова РАН (Московская область, г.о. Одинцовский, дер. Новошихово). Это место наблюдений удалено от автотрасс и сельской жилой застройки на расстояние более 1 км. В окрестности не имеется промышленных предприятий и иных источников загрязнения атмосферы.

Измерения концентраций малых газовых примесей в приземной слое атмосферы проводились с помощью автоматизированных интегрированных комплексов аппаратуры и программного обеспечения, разработанных и изготовленных в ИФА им. А.М.Обухова РАН (далее - комплексы) [1,2]. Комплексы построены на основе набора измерительных приборов производства ведущих зарубежных, а также отечественных компаний-производителей.

В таблице 1 приведены основные параметры приборов, используемых для наблюдений в г. Москве, а в таблице 2 - приборов, используемых для наблюдений на ЗНС. Как видно из таблиц, применяемые приборы обеспечивают возможность определения концентраций примесей в весьма широком диапазоне, от значений, существенно превышающих предельно допустимые концентрации, до величин, характерных для не загрязненной атмосферы.

В состав комплекса для наблюдений на ЗНС был включен уникальный (по некоторым сведениям, единственный на территории РФ) прибор для измерений концентраций ряда летучих органических соединений (ЛОС) в приземном воздухе - протонный масс-спектрометр модели Compact PTR-MS производства компании Ionicon Inc. (Австрия). В основу действия прибора положен т.н. метод протонной масс спектрометрии. Данный метод был впервые разработан в 1995 году в Институте физики ионов Инсбрукского университета (Австрия) [4]. В последние годы приборы подобного типа получили существенное распространение для наблюдений концентраций ЛОС в атмосфере [1,2,6-8].

Особенностью комплексов является размещение всех их составных частей не в лабораторных помещениях, а в т.н. всепогодных шкафах, установленных на открытом воздухе в местах проведения наблюдений. Подобное техническое решение обеспечивает пожарную безопасность непрерывной и круглосуточной работы приборов комплексов, а также исключает помехи работе персонала от значительного шума, создаваемого работающими приборами. Для размещения оборудования комплексов были применены шкафы моделей ШКК-42U и ШКК-24U производства компании "Телеком Групп" (Россия, г. Белгород).

Таблица 1

Оборудование, используемое для наблюдений в г. Москве

№	Тип прибора	Производитель	Измеряемый параметр	Диапазон измерений	Общая погрешность	Время отклика
1	1008AH	Dasibi Inc. (США)	Концентрация O ₃	1 - 1000 ppb	±1 ppb	60 сек
2	TE48S	Thermo Inc. (США)	Концентрация CO	0,05 - 10 ppm	±1%	60 сек
3	AC32e	ENVEA Inc. (Франция)	Концентрации NO, NO ₂ и NH ₃	0,2 - 1000 ppb	±1%	40 сек
4	AF22e	ENVEA Inc. (Франция)	Концентрация SO ₂	0,4 - 1000 ppb	±1%	60 сек
5	G2132-i	Picarro Inc. (США)	Концентрация CH ₄	1,8 - 12 ppm	± 5 ppb	30 сек
			Концентрация CO ₂	200 - 2000 ppm	± 1 ppm	
			Концентрация H ₂ O	0 - 2,4%	±0,01%	
			Концентрация δ ¹³ C	-	±0,8 ‰	
6	HC51M	ENVEA Inc. (Франция)	Концентрация CH ₄ и NMHC	0,05 - 10 ppm	±1%	60 сек
7	МТП-5	НПО "АТТЕХ" (Россия)	Вертикальный профиль температуры в слое 0-600 м	-30 - +30 °C	±1,0 °C	5 мин
8	АЦАТ-3М	НПО "Тайфун" (Россия)	Атмосферное давление	800 - 1080 гПа	±0,5 гПа	0,08 сек
			Температура воздуха	-40 - +50 °C	±0,5 °C	
			Отн. влажность воздуха	10 - 100 %	±5 %	
			Направление ветра	0 - 360 град.	±5 град.	
			Скорость ветра	0 - 40 м/сек	±0,2 м/сек	
9	HMP-233	Vaisala Inc. (Финляндия)	Температура воздуха	-40 - +50 °C	±0,1 °C	15 сек
			Отн. влажность воздуха	0 - 100 %	±1%	

Таблица 2

Оборудование, используемое для наблюдений на ЗНС

№	Тип прибора	Производитель	Измеряемый параметр	Диапазон измерений	Общая погрешность	Время отклика
1	O342e	ENVEA Inc. (Франция)	Концентрация O ₃	0,2 - 10000 ppb	±1 ppb	20 сек
2	CO12e	ENVEA Inc. (Франция)	Концентрация CO	1 - 300 ppm	±1%	35 сек
3	TE42C-TL	Thermo Inc. (США)	Концентрации NO и NO ₂	0,05 - 200ppb	±1%	60 сек
4	LI6262	LI-COR Inc. (США)	Концентрация CO ₂	1 - 3000 ppm	±1 ppm	1 сек
5	HC51M	ENVEA Inc. (Франция)	Концентрация CH ₄ и NMHC	0,05 - 10 ppm	±1%	60 сек
6	Compact PTR-MS	Ionicon Inc. (Австрия)	Концентрации ацетилена, метанола, ацетонитрила, ацетальдегида, этанола, 1,3-бутадиена, бутенов, ацетона, уксусной кислоты, изопрена, метил-винил-кетона, пероксиацетилнитрата, бензола, терпенов, толуола, фенола, стирола., ксилолов, пропилбензола, трихлоруксусной кислоты	0,5 - 1000 ppb	±0,5 ppb	0,5 сек
			Атмосферное давление	880 - 1080 гПа	±0,1 гПа	2,5 сек
7	Vantage Pro 2	Davis Inc. (США)	Температура воздуха	-40 - +65 °C	±0,5 °C	10 сек
			Отн. влажность воздуха	1 - 100 %	±3 %	2,5 сек
			Направление ветра	0 - 360 град.	±7 град.	2,5 сек
			Скорость ветра	1 - 67 м/сек	±1 м/сек	2,5 сек
			Количество осадков	0 - 9999 мм	±0,25 мм	10 сек
			Атмосферное давление	600 - 1100 гПа	±0,5 гПа	
8	WXT536	Vaisala Inc. (Финляндия)	Температура воздуха	-52 - +60 °C	±0,3 °C	15 сек
			Отн. влажность воздуха	0 - 100 %	±3 %	
			Направление ветра	0 - 360 град.	±3 град.	
			Скорость ветра	1 - 60 м/сек	±3 %	
			Количество осадков	0 - 200 мм/час	±0,01 мм	
			Атмосферное давление	600 - 1100 гПа	±0,5 гПа	

На рис.1 показан внутренний вид шкафов с открытыми дверями в г.Москве и на ЗНС, а также общий вид размещения шкафов в месте наблюдений на ЗНС.

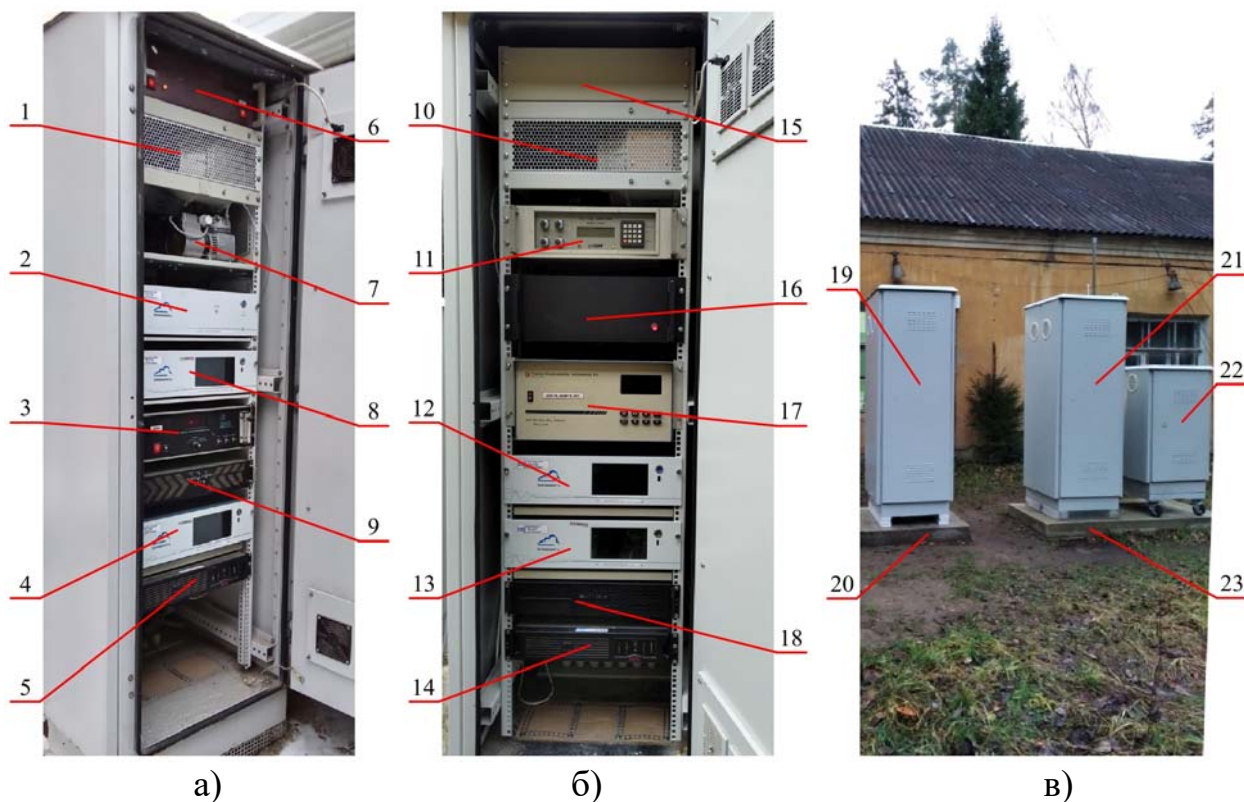


Рис. 1. Внутренние виды всепогодных шкафов в г. Москве (а) и на ЗНС (б) и общий вид расположения всепогодных шкафов на территории ЗНС (в).

1, 10 - вентиляционная решетка; 2 - конвертер для измерения аммиака ENVEA CNH3; 3 - газоанализатор озона Dasibi 1008-AH; 4 - газоанализатор SO₂ ENVEA AF22e; 5, 14 - источник бесперебойного питания; 6 - блок питания метеоконплекса; 7 - компрессор прибора ENVEA AC32e; 8 - газоанализатор NO_x ENVEA AC32e; 9, 18 - регистрирующий компьютер; 11 - газоанализатор CO₂ Li-Cor LI6262; 12 - газоанализатор озона ENVEA O342e; 13 - газоанализатор CO ENVEA CO12e; 15 - заглушка гнезда блока питания; 16 - блок компрессора прибора Thermo TE-42CTL; 17 - газоанализатор NO_x Thermo TE-42CTL; 19, 21 - всепогодный шкаф ШКК-42U; 20, 23 - бетонный постамент; 22 - всепогодный шкаф ШКК-24U.

Контроль функционирования и калибровки измерительных приборов проводятся периодически, с использованием поверочных газовых смесей производства компании "Линде Газ Рус" (Россия, г. Балашиха).

Специализированная часть программного обеспечения комплексов используется для первичной обработки данных наблюдений с целью удаления данных, классифицируемых как недостоверные. В первую очередь производится автоматизированная программная обработка, а затем все данные просматриваются специалистом. В результате формируются ряды данных концентраций всех измеренных газовых и аэрозольных примесей и метеорологических параметров, с осреднением по интервалам 1 минута, 20 минут, 3 часа (соответствует стандартному периоду метеорологических наблюдений) и 1 сутки.

Анализ результатов

Одним из значимых параметров, характеризующих закономерности вариаций концентраций газовых примесей в приземном слое атмосферы, являются их среднемесячные концентрации. На рисунке 2 показаны диаграммы среднемесячных концентраций, полученные по данным наблюдений в г. Москве и на ЗНС в течение 2022 и части 2023 годов.

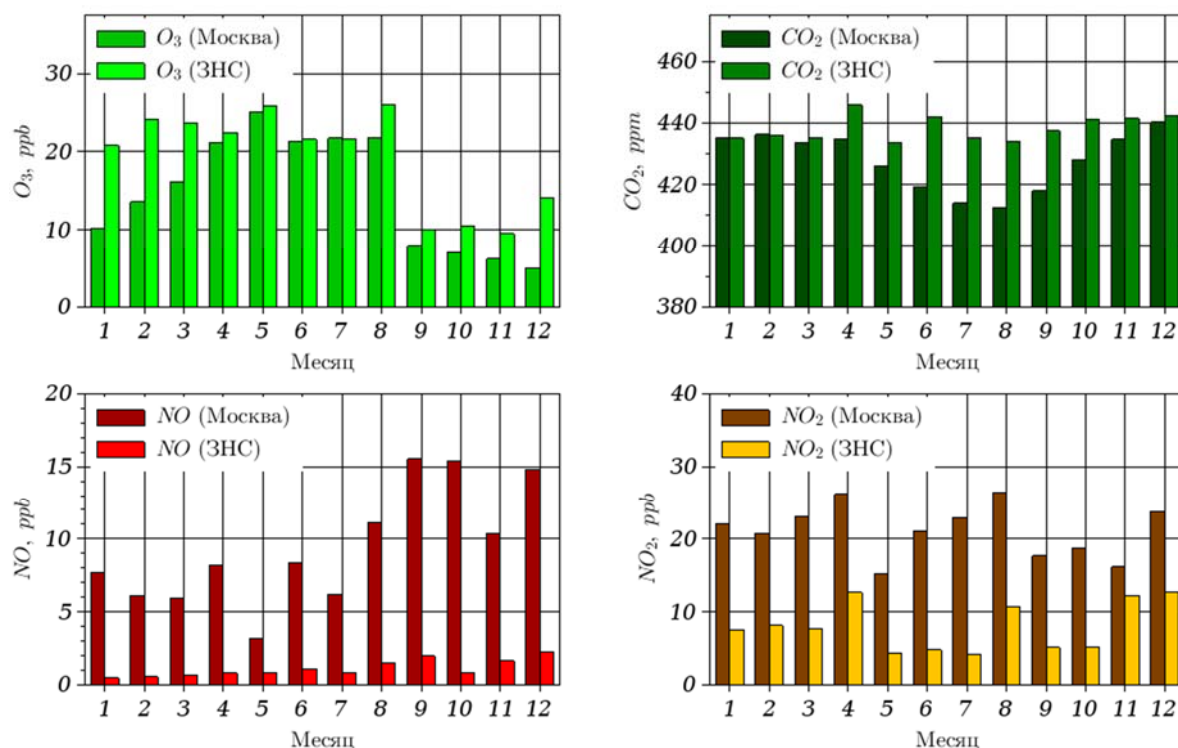


Рис. 2. Среднемесячные концентрации газовых примесей в Москве и на ЗНС

Проведенный анализ подтверждает ранее исследованные [11,12] особенности сезонного хода концентрации озона с выраженным максимумом в весенний период. В зимний период солнечная освещенность мала, а разрушение озона на подстилающей поверхности при наличии снежного покрова также невелико. С наступлением весны освещенность растет, и увеличивается генерация озона, а сток озона при этом не возрастает, поскольку снежный покров уже сошел, а зеленая растительность еще не появилась. Это приводит к росту средних концентраций озона именно в весенний период. В летний период, при наличии зеленой растительности, увеличивается сток озона, и средняя концентрация озона снижается.

Подобный характер сезонных вариаций концентрации озона наблюдается и для загородной зоны. Снижение концентрации озона в зимний период при этом выражено в меньшей степени, что может быть связано с общим меньшим загрязнением атмосферы в загородной зоне примесями, реагирующими с озоном, о чем будет сказано ниже.

Сезонный ход концентрации диоксида и монооксида азота, в целом, не показывает выраженных вариаций в течение года. Как известно [11], основным источником загрязнения атмосферы в городах является автотранспорт, интенсивность использования которого в зимний период с

настоящее время снижается незначительно [5]. Обращает на себя внимание существенно (более чем на порядок) меньшие значения концентраций оксидов азота в загородной зоне, нежели в мегаполисе г. Москвы, что объясняется существенно меньшими эмиссиями этих примесей.

Сезонный ход диоксида углерода характеризуется некоторым снижением среднемесячных концентраций в летний период, что, как правило, связывают с процессами дыхания растений, а также с уменьшением интенсивности работы городских отопительных систем [11]. В загородной зоне антропогенный вклад в рост концентрации CO_2 существенно меньше, чем в мегаполисе, что, по-видимому, приводит к меньшим сезонным вариациям концентрации CO_2 .

Представляют интерес сезонные вариации концентраций ЛОС в загородной зоне. По имеющимся сведениям, в периодической научной печати на настоящий момент отсутствуют публикации результатов наблюдений прибором PTR-MS в России вне мегаполисов. На рис.3 показаны диаграммы среднемесячных значений концентраций некоторых ЛОС. Сезонные вариации этих же ЛОС в мегаполисе были ранее исследованы с помощью этого же прибора и опубликованы в [10]. В частности, было получено, что концентрации ацетона и уксусной кислоты в летний период возрастают, что может быть объяснено увеличением испаряемости этих веществ с повышением температуры воздуха. Как видно из приведенных диаграмм, в загородной зоне эти вещества показывают аналогичный характер сезонных вариаций. Концентрации таких ЛОС как бензол и толуол, по данным проведенных наблюдений, не демонстрируют явного сезонного хода.

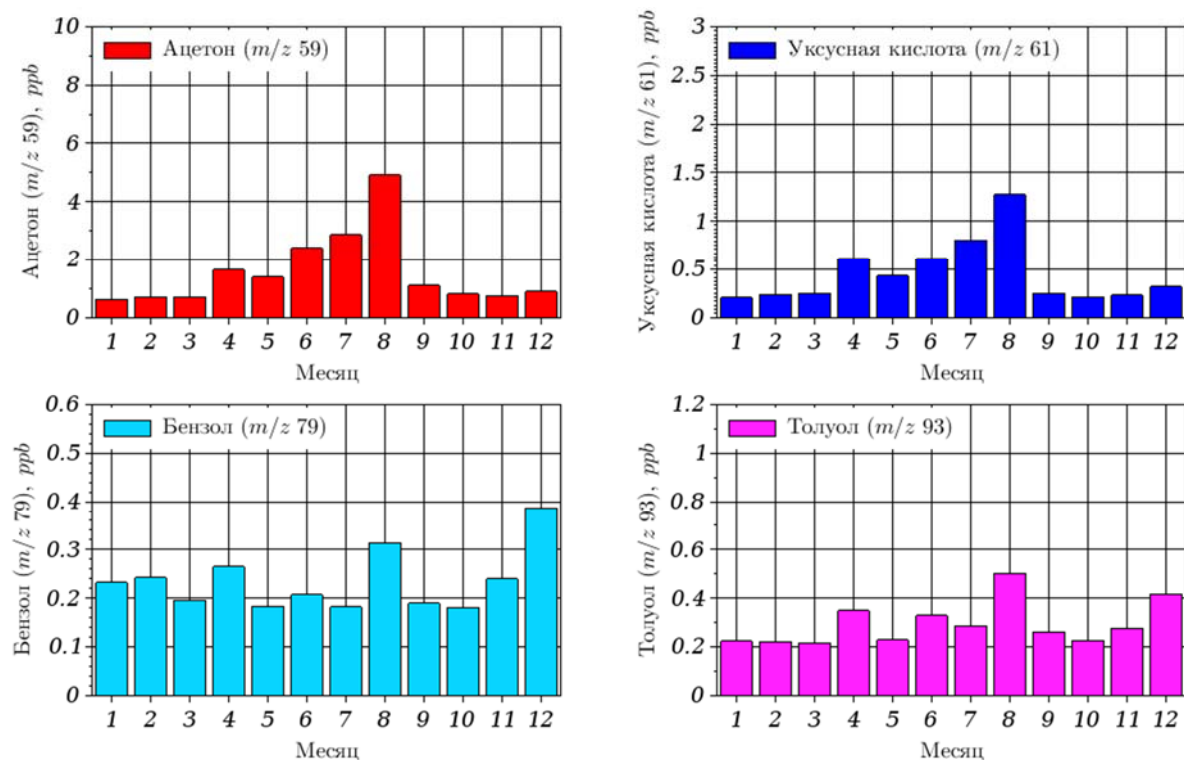


Рис. 3. Среднемесячные концентрации ЛОС на ЗНС

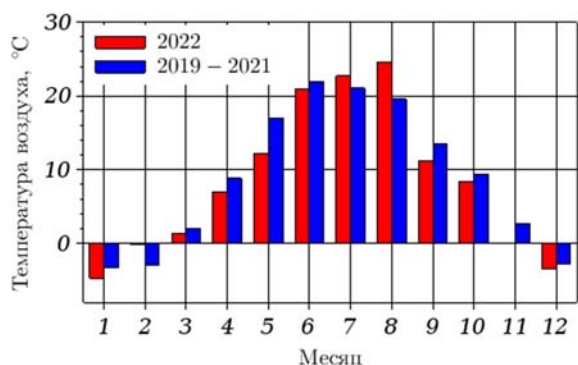


Рис. 4. Среднемесячные значения температуры воздуха в 2022 г. и за 2019-2021 г.

На приведенных диаграммах обращает на себя внимание существенный пик концентраций примесей в августе 2022 года. На рисунке 4 показана диаграмма среднемесячной температуры воздуха в 2022 году и за 2019-2021 года. Как видно из диаграммы, в августе 2022 года имело место явное превышение среднемесячной температуры над средней за прошедшие 3 года более чем на 5 °С. По-видимому, указанная аномалия и явилась причиной

существенного роста концентраций примесей.

Еще одним значимым параметром, характеризующих закономерности вариаций концентраций газовых примесей в приземном слое атмосферы, являются их суточные вариации в различные сезоны года.

На рисунках 5 и 6 показаны диаграммы суточных вариаций, полученные по данным наблюдений в г. Москве и на ЗНС в зимний (с декабря по февраль) и в летний (с июня по август) периоды года. С целью исключения влияния ежесуточных вариаций концентрации этих примесей анализировалось отношение разовой концентрации C_i (за 20 мин) к среднесуточной концентрации C_c за данные сутки. Для суточных вариаций были рассчитаны также доверительные интервалы для вероятности 0,95, которые оказались равными 0,05-0,10 отношения C_i к C_c . На приведенных графиках доверительные интервалы не показаны, для сохранения наглядности отображения.

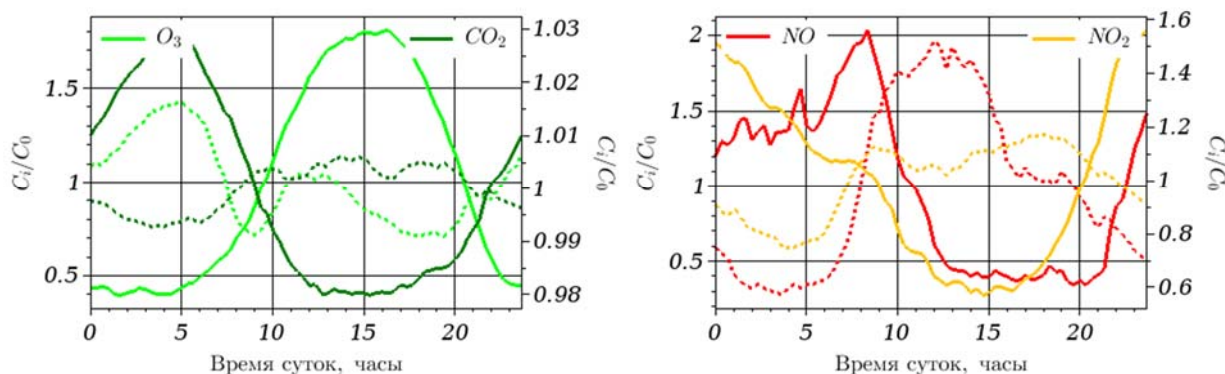


Рис. 5. Суточные вариации примесей в Москве в летний (сплошные линии) и зимний (пунктир) периоды

Проведенный анализ также подтверждает ранее исследованные [11,12] особенности суточных вариаций приземных концентраций монооксида и диоксида азота. В летний период эти вариации характеризуются наличием двух выраженных максимумов утром и вечером и разделяющих их периодов с пониженными значениями в середине дня и в предутреннее время. В холодный период в дневное время температурная инверсия, как правило, сохраняется, а

не разрушается, как в теплый период, что приводит к образованию протяженного во времени периода высоких значений примесей в течение всего дня. Суточные вариации концентрации озона в зимний период характеризуются дневным и ночным максимумами и утренним и вечерним минимумами, которые объясняются ростом автомобильного движения в мегаполисе, приводящих к росту выбросов оксидов азота и снижению концентрации озона. В теплый период суточный ход озона характеризуется выраженным максимумом в дневные часы, когда фотохимическая генерация этого газа в атмосфере наиболее интенсивна [11,12,13].

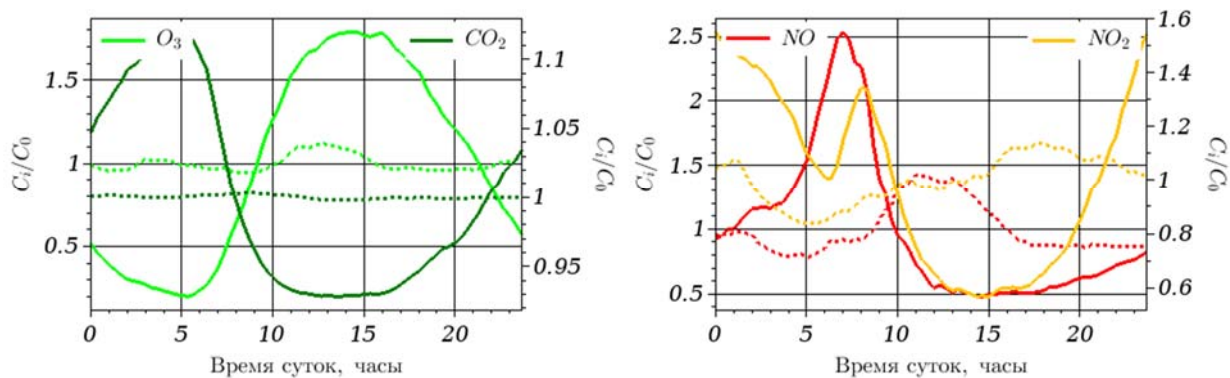


Рис.6. Суточные вариации примесей на ЗНС в летний (сплошные линии) и зимний (пунктир) периоды

В загородной зоне (см. рис.6) характер суточных вариаций рассматриваемых примесей сохраняется, но существенно менее выражен, что может быть объяснено меньшим антропогенным загрязнением атмосферы.

Большой интерес представляют закономерности суточных вариаций ЛОС в загородной зоне. На рисунке 7 показаны суточные вариации, полученные по данным наблюдений прибором PTR-MS на ЗНС. Суточные вариации таких ЛОС, как ацетон и уксусная кислота, полностью подобны таковым для наблюдений в мегаполисе [1,2,6,10]. Концентрации этих ЛОС как в мегаполисе, так и в загородной зоне имеют выраженный максимум в дневные часы, и минимум - в ночные. Вариации концентраций антропогенных ЛОС, в частности, бензола и толуола, наоборот, характеризуются их возрастанием в ночные часы, вследствие накопления под инверсионным слоем. Аналогичные результаты были ранее получены для этих же ЛОС для наблюдений в мегаполисе [10]. Суточный ход концентрации изопрена подобен суточному ходу ацетона и уксусной кислоты, тогда как суточный ход концентрации терпенов оказывается подобен таковому для бензола и толуола, т.е. характеризуется накоплением их под инверсионным слоем.

Результаты анализа данных в целом хорошо согласуются с ранее проведенными наблюдениями [1,2,6,10-13], что указывает на репрезентативность полученных данных.

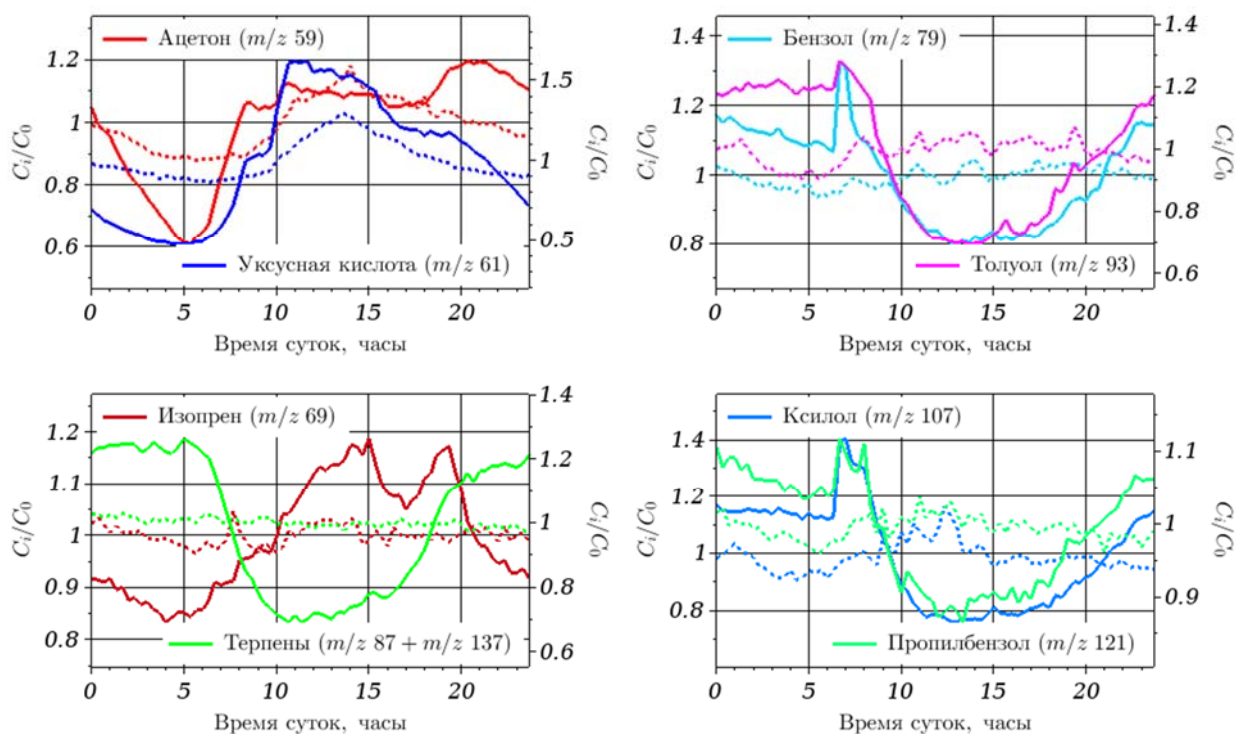


Рис. 7. Суточные вариации ЛОС на ЗНС в летний (сплошные линии) и зимний (пунктир) периоды

Заключение

Проведенный анализ данных показывает следующие характерные особенности вариаций приземных концентраций газовых примесей, а также летучих органических соединений в мегаполисе и загородной зоне:

- существенно меньшие концентрации оксидов азота в загородной зоне, нежели в мегаполисе, что объясняется существенно меньшим количеством источников их эмиссий (главным образом, автотранспорта) в загородной зоне;
- низкие концентрации практически всех измеряемых ЛОС в приземном воздухе, много меньше их предельно допустимых концентраций;
- выраженные суточные вариации антропогенных ЛОС: бензола и толуола, с накоплением их в приземном слое во время ночной температурной инверсии;
- возрастание концентраций практически всех ЛОС, в особенности ацетона и паров уксусной кислоты, с ростом температуры воздуха при переходе от весеннего к летнему сезонам.

По мере накопления рядов данных непрерывных наблюдений приземных концентраций газовых примесей в приземном воздухе в г. Москве и на ЗНС, их анализ будет в дальнейшем продолжен. Полученные данные также будут использованы для оценки эмиссий загрязняющих атмосферу примесей, в частности, по методикам, описанным в [2,5,13].

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования ИФА им.А.М.Обухова РАН, при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50088 и при финансовой поддержке РНФ (проект № 21-17-00021).

Список литературы

1. Berezina E., Moiseenko K., Skorokhod A., Pankratova N., Belikov I., Belousov V., Elansky N.F. Impact of VOCs and NO_x on Ozone Formation in Moscow //Atmosphere. – 2020. – Т. 11. – №. 1262. – <https://doi.org/10.3390/atmos11111262>.
2. Berezina E., Moiseenko K., Vasileva A., Pankratova N., Skorokhod A., Belikov I., Belousov V. Emission Ratios and Source Identification of VOCs in Moscow in 2019–2020 //Atmosphere. – 2022. – Т. 13. – №. 257. – <https://doi.org/10.3390/atmos13020257>.
3. GAW WMO. Impacts of megacities on air pollution and climate //Report. – 2012. – №. 205. – 298 с. – ISBN 978-0-9882867-0-2.
4. deGouw J., Warneke C. Measurements of volatile organic compounds in the earth's atmosphere using proton-transfer-reaction mass spectrometry //Mass Spectrom Rev. – 2007. – Т.26. – №. 2. – С. 223-257.
5. Elansky N.F., Ponomarev N.A., Verevkin Y.M. Air quality and pollutant emissions in the Moscow megacity in 2005–2014 //Atmospheric Environment. – 2018. – Т. 175. – С. 54-64. – <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.11.057>.
6. Jordan C., Fitz E., Hagan T., Sive B., Frinak E., Haase K., Cottrell L., Buckley S., Talbot R. Long-term study of VOCs measured with PTR-MS at a rural site in New Hampshire with urban influences //Atmospheric Chemistry and Physics. – 2009. – Т. 9. – С. 4677-4697.
7. Taipale R., Ruuskanen T.M., Rinne J., Kajos M.K., Hakola H., Pohja T., Kulmala M. Technical Note: Quantitative long-term measurements of VOC concentrations by PTR-MS—measurement, calibration, and volume mixing ratio calculation methods //Atmospheric Chemistry and Physics. – 2008. – Т. 8. – №. 22. – С. 6681-6698.
8. Белоусов В.А., Беликов И.Б., Скороход А.И. Летучие органические соединения в приземном воздухе по наблюдениям протонным масс-спектрометром //Тезисы Всероссийской конференции с международным участием "Турбулентность, динамика атмосферы и климата", посвященная столетию со дня рождения академика А.М.Обухова. Москва, 16–18 мая 2018 г. – 2018.
9. Губанова Д.П., Беликов И.Б., Еланский Н.Ф., Скороход А.И., Чубарова Н.Е. Изменчивость приземной концентрации аэрозолей РМ_{2.5} в г. Москве по наблюдениям в Метеорологической обсерватории МГУ //Оптика атмосферы и океана. – 2017. – Т. 30. – С.1033-1042.
10. Беликов И.Б., Белоусов В.А., Губанова Д.П., Скороход А.И. Вариации концентраций летучих органических соединений и аэрозольных частиц РМ_{2.5} в приземном слое атмосферы г. Москвы //Материалы V Международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий". – Майкоп: Изд-во "ИП Кучеренко В.О.". – 2019. – Ч. 1. – С. 80-89.
11. Еланский Н.Ф., Локощенко М.А., Трифанова А.В., Беликов И.Б., Скороход А.И. О содержании малых газовых примесей в приземном слое атмосферы над Москвой //Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2015. – Т. 51. – №. 1. – С. 39-51.
12. Еланский Н.Ф., Локощенко М.А., Беликов И.Б., Скороход А.И., Шумский Р.А. Изменчивость газовых примесей в приземном слое атмосферы Москвы //Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 43. – №. 2. – С. 246-259.
13. Еланский Н.Ф., Шилкин А.В., Пономарев Н.А., Захарова П.В., Качко М.Д., Поляков Т.И. Пространственно-временные вариации содержания загрязняющих примесей в воздушном бассейне Москвы и их эмиссии // Известия РАН. Физика атмосферы и океана.– 2022. – Т. 58. – №. 1. – С. 92-108. – <https://doi.org/10.31857/s0002351522010023>.

ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРУКТУРЫ ТЕПЛОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОЗЕР-ОХЛАДИТЕЛЕЙ КАЛИНИНСКОЙ АЭС

¹А.В. Бочаров, ^{1,2}П.Н. Кравченко, ^{3,4,5}С.А. Лебедев

bochalex@bk.ru; Pkravchenko@miiv.ru; sergey_a_lebedev@mail.ru

¹*Тверской государственный университет, Россия, г. Тверь*

²*Московский университет им. С.Ю. Витте, Россия, г. Москва*

³*Геофизический центр Российской академии наук, Россия, г. Москва*

⁴*Майкопский государственный технологический университет,
Россия, г. Майкоп*

⁵*Национальный исследовательский университет «Московский институт
электронной техники», Россия, г. Москва*

Аннотация. В данном исследовании приводится оценка воздействия Калининской АЭС на термический режим озер-охладителей на основе использования данных дистанционного зондирования Земли. В исследование использованы снимки сенсоров спутников серии Landsat с 1985 по 2020 год. Анализ данных позволил выявить изменение структуры теплового загрязнения водоемов охладители Калининской АЭС, а также оценить превышение температуры воды относительно фоновых значений.

Ключевые слова. Калининская АЭС, тепловое загрязнение, Landsat, дистанционное зондирование Земли.

Тепловое воздействие АЭС является одним из основных факторов, меняющим состояние экосистемы водоема-охладителя после пуска электростанции. Повышение температуры воды влияет как непосредственно на физиологию гидробионтов, так и на характер протекания химических процессов в водной среде [1].

После создания Удомельского водохранилища и включения озер Удомля и Песьво в систему оборотного водоснабжения их температурный режим изменился. С момента начала работы Калининской АЭС было введено в эксплуатацию еще несколько реакторов, система оборотного водоснабжения претерпела значительную трансформацию, потоки теплового загрязнения существенно увеличились. На данный момент техническое водоснабжение Калининской АЭС осуществляется по оборотной схеме с использованием водоема-охладителя озерного типа, образованного на базе природных озер Удомля и Песьво, зарегулированных плотиной на реке Съежа, вытекающей из системы озер. Забор воды осуществляется из озера Удомля, сброс - в озеро Песьво и озеро Удомля [2].

Целью данного исследования является оценка воздействия Калининской АЭС на термический режим озер-охладителей на основе использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Использование данных дистанционного зондирования существенно упрощает оценку теплового загрязнения озер-охладителей, позволяет оценивать его динамику, визуализировать циркуляционные потоки распространения подогретых вод, в

то время как исследования традиционными способами не дают такой пространственной картины, экономически более затратные и трудоемкие.



Рис. 1. Обзорная картосхема района исследования

В исследование использованы снимки сенсоров спутников серии Landsat с 1985 по 2020 год. Для получения значений температуры излучающей поверхности в работе использованы данные ДЗЗ в инфракрасном диапазоне, полученные сенсорами:

- TM спутника Landsat-5 (6-й канал снимков (10,40 – 12,50 мкм));
- ETM+ спутника Landsat 7 (61-й и 62-й каналы снимков (10,40 – 12,50 мкм));
- TIRS спутника Landsat-8 (10-й и 11-й каналы снимков (10,30 – 12,50 мкм)).

Для исследования теплового загрязнения Удомельского водохранилища с 1985 по 2020 год было отобрано 33 спутниковых снимка, по которым построены растры распределения температуры водной поверхности.

Анализ данных ДДЗ до 2011 года показал, что на использованных космических снимках практически всегда наблюдалось превышение средней температуры поверхности воды в оз. Песьво над оз. Удомля. В 2011 году были полностью введены в работу 3-й и 4-й энергоблоки Калининской АЭС, также схема циркуляции воды значительно изменилась. Поэтому после 2011 года наблюдается изменение структуры теплового загрязнения в водоемы охладители Калининской АЭС, и средние температуры поверхности вод в оз. Удомля становится преимущественно выше, чем в оз. Песьво (рис. 2).

Для оценки температуры озер охладителей Калининской АЭС относительно фоновых показателей было произведено сравнение с озерами-аналогами, которыми являются находящиеся по соседству оз. Наволок и оз. Кезадра. Анализ космических снимков полученных сенсорами спутников серии Landsat показал, что с 1985 по 2020 год Удомельское водохранилище всегда имело превышение поверхностной температуры воды над фоновыми

значениями в пределах 1,3 –7,7 °С. С 1985 по 2010 год превышение температуры относительно озер-аналогов составляло в среднем 3,3 °С, после 2011 г. оно увеличилось до 4,8 °С (рис. 3).

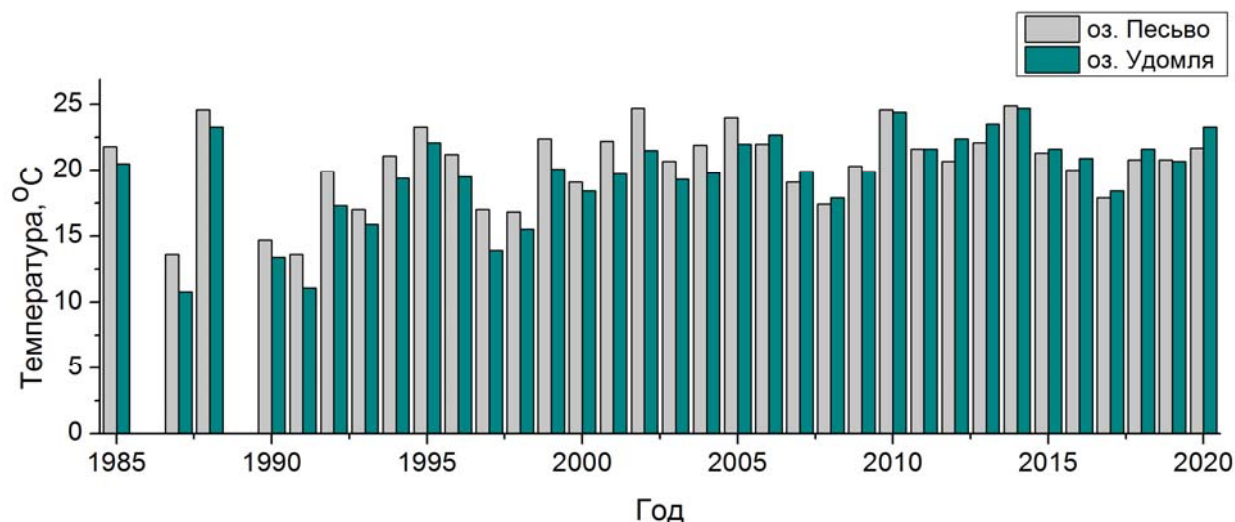


Рис. 2. Изменение средней температуры водной поверхности в водоемах охладителей Калининской АЭС по данным сенсоров спутников серии Landsat

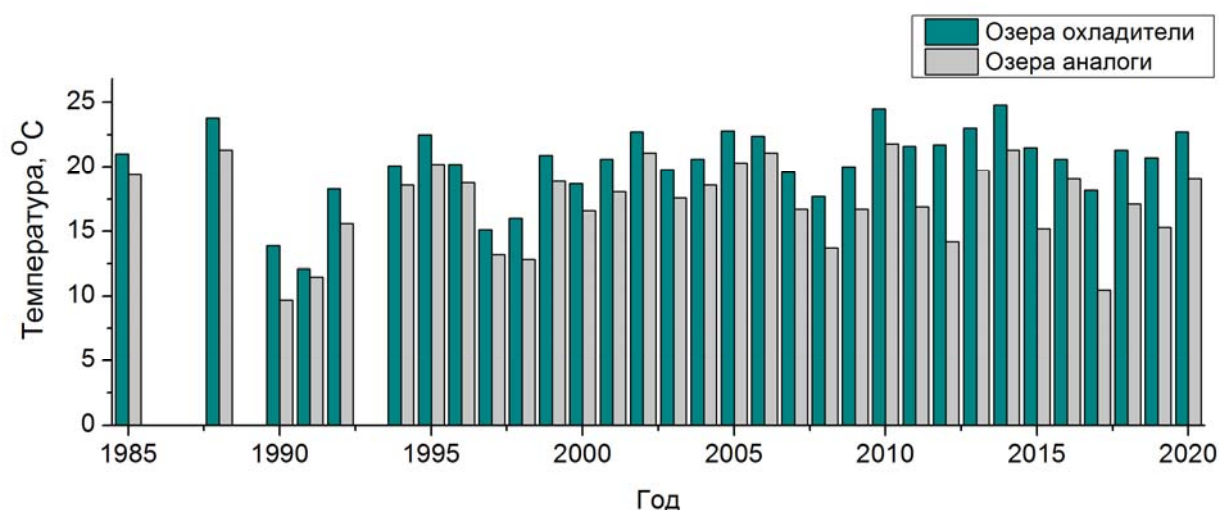


Рис. 3. Анализ дифференциации температур в Удомельском водохранилище и озерах аналогах по данным сенсоров спутников серии Landsat

Список литературы

1. Суздалева А.Л., Безносков В.Н. Экологические последствия изменения режима стратификации озера Удомля (водоем-охладитель Калининской АЭС) 1999. С. 46–47.
2. Стандарт организации РОСАТОМ. Водопользование на атомных станциях. Классификация охлаждающих систем водоснабжения. СТО 1.1.1.02.006.0689-2006 // 2006. 16 с.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ

П.Ю. Бучацкий, С.В. Онищенко, С.В. Теплоухов, А.Н. Лисова

buch@adygnet.ru; osv@adygnet.ru; tepl_sv@adygnet.ru; fox_14_n@mail.ru

Адыгейский государственный университет, Россия, г. Майкоп

***Аннотация.** В данной работе рассмотрены новые технологии используемый для преобразования энергии возобновляемых источников энергии. Развитие технологий преобразования на основе альтернативных видов энергии является крайне актуальным направлением в условиях современной политики декарбонизации, направленной на максимальное снижение вредных выбросов, возникающих от использования традиционной углеродной энергетики. Внедрение и комбинированное применение подобных технологических решений в будущих проектируемых энергетических системах играет большое значение, позволяя добиться большой степени экологичности энергетической системы и общей гибкости энергетической инфраструктуры.*

***Ключевые слова.** Возобновляемые источники энергии, солнечная энергия, ветровая энергетика, водородная энергетика, технологии преобразования.*

Введение. В настоящее время во всем мире наблюдается стремительный рост потребности в энергетических ресурсах, что обусловлено стремительно развивающейся цифровизацией и автоматизацией не только экономических процессов, но и бытовых аспектов жизни простых людей [1].

Долгое время основным в качестве основного ресурса для выработки электроэнергии во всем мире использовалось углеводородное сырье, запасы которого являются ограниченными и многие из существующих месторождений уже истощились или близятся к истощению [2]. Помимо этого, при использовании такого топлива наблюдается высокое загрязнение, возникающее при сжигании подобных источников энергии, что представлено в таблице 1 [3].

В качестве альтернативного варианта получения энергии можно рассмотреть применение возобновляемых источников энергии таких как:

- солнечная энергия;
- ветровая энергия;
- энергия приливов;
- энергия на основе биогаза;
- геотермальные источники энергии.

До сих пор существует ряд различных мифов, связанных с возобновляемой энергетикой, которые не являются достоверными [4]:

– стоимость производства энергии на основе ВИЭ является чрезмерно обременительным для экономики страны и потребителей;

– энергетические системы на основе использования ВИЭ способны не обеспечить стабильную выдачу запланированных мощностей;

наличие большого воздействия на окружающую среду в процессе производства элементов для преобразования возобновляемой энергии (например, при производстве солнечных панелей).

Таблица 1

Количество выбросов парниковых газов в течение жизненного цикла источника энергии

Виды источников энергии	Выбросы парниковых газов		
	CO ₂	SO ₂	NO _x
	г/кВт	г/кВт	г/кВт
Уголь (NO _x)	987	1.5	2.9
Нефть	818	14.2	4.0
Природный газ	430	–	0.5
Дизель	772	1.6	12.3
Малая ГЭС	9	0.03	0.07
Большая ГЭС	3.6 – 11.6	0.009 – 0.024	0.003 – 0.006
Ветер	7 – 9	0.02 – 0.09	0.02 – 0.06
Солнечные панели	98 – 167	0.2 – 0.34	0.18 – 0.30
Солнечные тепловые панели	26 – 38	0.13 – 0.27	0.06 – 0.13
Геотермальная	7 – 9	0.02	0.28

В настоящий момент, многие страны такие как Китай, США, Италия, Норвегия, Исландия, активно используют возобновляемые источники энергии (рис. 1), придерживаясь политики энергетической независимости и общей декарбонизации [5].

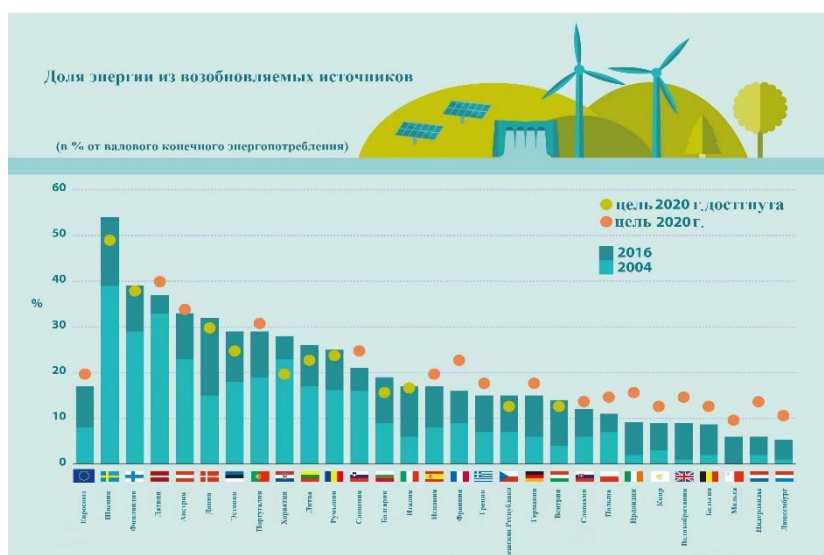


Рис. 1. Страны использующие возобновляемые источники

Несмотря на сравнительно небольшое распространение ВИЭ в нашей стране, в России в настоящее время определен интерес к развитию новых

технологий на основе ВИЭ что отражено во многих актах [6], в том числе и в стратегии энергетического развития до 2035.

В связи с этим, в данной статье предлагается произвести обзор новых технологий преобразования энергии на основе ВИЭ, которые могут в недалеком будущем улучшить производительность подобных энергетических систем.

Материалы и методы. Кратко рассмотрим преимущества использования энергетической системы на основе альтернативных источников энергии, которые могут быть рассмотрены как с точки зрения пользы для потребителя, так и воздействия на мировую энергетику, экологию и климат [7]:

Преимущества использования ВИЭ:

- 1) неограниченный энергетический ресурс;
- 2) экологичность;
- 3) доступность и широкое распространение;
- 4) экономия и окупаемость;
- 5) надежность.

Необходимыми условиями для обеспечения экономической безопасности являются внедрение перспективных энергосберегающих и энергоэффективных технологий. Энергетическая безопасность с учетом экологических факторов является одним из важных элементов, позволяющих обеспечить экономическую безопасность страны [8].

Исследования в области развития ВИЭ осуществляются большим числом ученых-теоретиков и практиков как за рубежом, так и в России. Рассмотрим некоторые из последних работ по разработке новых технологий преобразования ВИЭ и их использования.

Водородная энергетика на основе ВИЭ. Сейчас все большее распространение получает направление развития водородной энергетики, которая позволила бы получать энергию на основе использования водорода. Зеленый водород может стать связующим звеном между ВИЭ, поскольку его главным преимуществом является технология хранения, не требующая наличия энерго накопительных систем на основе различных типов аккумулирующих устройств [9].

Согласно циклу развития технологий накопления энергии, представленному в работе [10] технологии использования водорода в энергетике еще находятся на стадии инноваций. Но являются чрезвычайно перспективными (рис. 2).

При этом процесс получения водорода может быть основан на использовании возобновляемых источников энергии. В частности, в исследовании [11] предлагается различные модели мембранных реакторов, предназначенных для генерации водорода. Одним из возможных подходов к получению водородного топлива может стать использование биогаза.

Биогаз, получаемый путем анаэробного сбраживания биомассы, является регенеративным источником энергии, который можно преобразовать в водород путем риформинга.

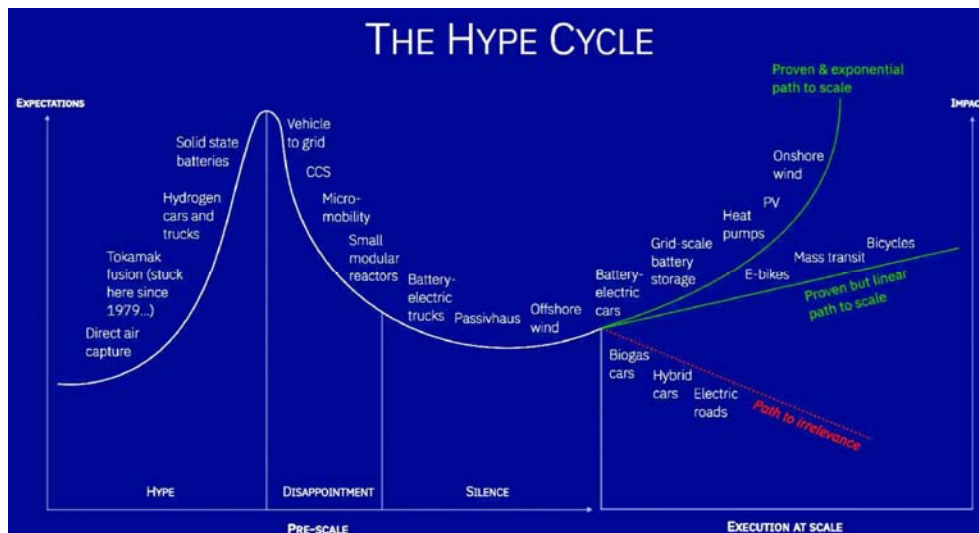


Рис. 2. Цикл HYPE для технологий преобразования и хранения энергии [10]

При использовании ВИЭ одной из проблем и ключевых задач является организации накопительных систем, позволяющих компенсировать непостоянный характер данных источников энергии. Так в исследовании [12] идет речь о необходимости получения водорода на основе ВИЭ, поскольку организация его хранения требует меньших затрат, по сравнению с накоплением и хранением получаемой энергии от других видов ВИЭ (например солнечной или ветроэнергии). Авторы данного исследования предлагают несколько путей получения водорода с использованием ВИЭ такие как классический электролиз воды или преобразование биогаза и аммиака. За счет вовлечения водорода в энергетическую систему, появляется возможность реализации гибридной системы, сочетающей в себе использование классических аккумуляторных батарей и водорода, в результате чего происходит снижение затрат на 35% по сравнению с традиционной конфигурацией, использующей только лишь аккумуляторные батареи.

Солнечная энергетика. Солнечная энергия является одним из наиболее широко распространенных видов ВИЭ, главным недостатком которого является зависимость от погодных условий, и не возможность генерации энергии в темное время суток [13].

В настоящее время, благодаря различным технологическим решениям в области создания фотоэлектрических панелей на основе кристаллического кремния, производительность кремневых элементов достигает 33,7% [14]. При этом, в условиях наличия облачности КПД падает, а при пасмурной погоде и тем более при наличии осадков КПД солнечной энергии стремится к нулю. В связи с этим, группа авторов в своем исследовании [15] предложила новый подход к организации фотоэлектрических панелей за счёт которого возможно вырабатывать энергию в условиях низкой освещенности, таких как дождливая погода и пасмурный день. Для этого была разработана зонтичная система солнечных панелей с функцией автоматического открытия и закрытия модуля солнечных элементов из поликремния и трибоэлектрического наногенератора

с переплетенными электродами (IDE–TENG) для гибридного сбора солнечной и дождевой энергии (рис. 3).

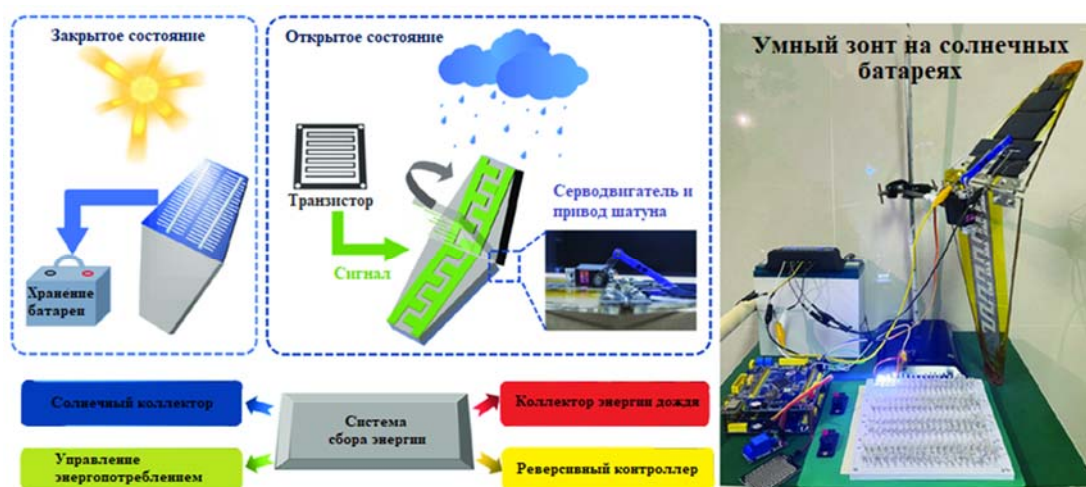


Рис. 3. Схема для реализации гибридного сбора энергии

Похожая система предлагается к реализации авторами в работе [16]. Гибридное устройство для сбора энергии солнца и дождя, обеспечивает улучшенные характеристики электрической мощности в дождливые дни, позволяя значительно увеличить производительность по сравнению с обычным кремниевым солнечным элементом до 20,16%. Использование такого гибридного подхода к организации преобразователя обеспечивает многообещающую стратегию одновременного сбора солнечной и дождевой энергии и повышения, не влияя на эффективность солнечного элемента на основе кремния.

В работе [17] в качестве рассмотрена концепция применения источника энергии на основе солнечной энергии, разительно отличающегося от традиционных солнечных электрических и тепловых панелей. Авторы рассматривают солевой градиентный солнечный пруд (SGSP) – это искусственный пруд или естественное озеро, способное собирать и хранить падающую солнечную энергию, характеризующуюся определенным вертикальным градиентом концентрации соли. Выбор геометрической формы и толщины зон является первым шагом на этапе проектирования. Соль в зависимости от типа и концентрации влияет на производительность пруда, а существующие методы улучшения, такие как плавающие кольца, гели, пористые материалы и материалы с фазовым переходом, позволяют максимизировать производительность и уменьшить потери тепла в окружающую среду. Данный ресурс обладает огромным потенциалом. Поскольку все океаны и моря могут выступать в качестве подобных «прудов»

Ветроэнергетика. Ветряные турбины быстро развивались, и их мощность выросла со 100 кВт до более чем 2,5 МВт. Ожидается, что эволюция ветроэнергетических технологий продолжится в течение следующих десятилетий, что приведет к постоянному повышению надежности и увеличению производимой энергии при незначительном снижении затрат [18].

В настоящее время, генерации энергии на основе ветра является одной из крупнейших среди возобновляемых источников энергии, если не брать в расчет генерацию на основе гидроресурсов (рисунок 4) [19].

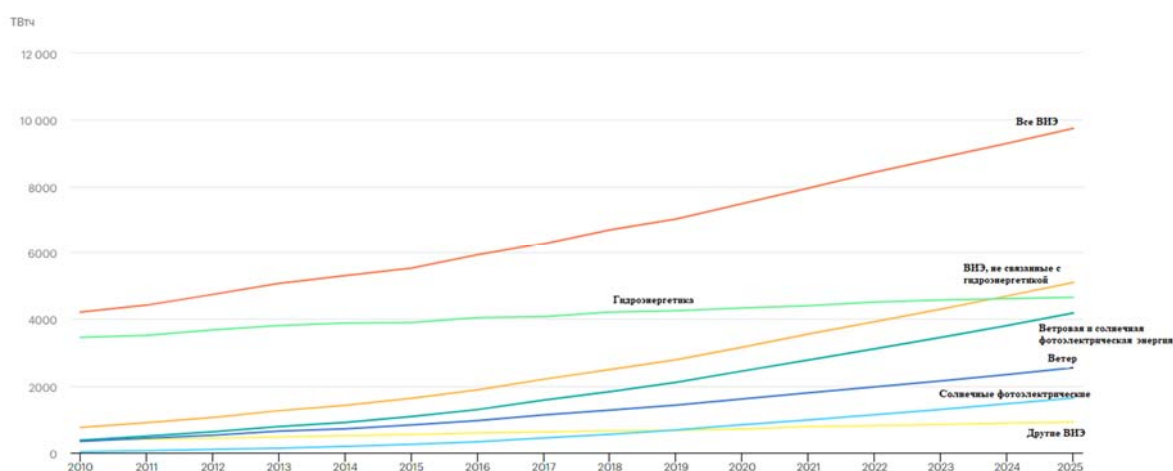


Рис. 4. Общее использование возобновляемых источников энергии для производства электроэнергии (2010–2025 гг.) [19]

Согласно существующим классификациям [20], основными направлениями для улучшения эффективности ветроэнергетических систем являются следующие аспекты:

- шкала электрической выходной мощности (малая, умеренная и большая мощность);
- стратегия управления аэродинамической мощностью для характеристик сильного ветра;
- конфигурация вала ветрогенератора относительно места установки;
- тип системы для подачи выходной электрической мощности (автономная и связанная с сетью);
- место для установки ветровых преобразователей (наземные и морские);
- тип механической интеграции на валу турбины и генератора (с редуктором и прямым приводом);
- скорость ветра (малая, средняя и высокая).

Крупномасштабные парки для преобразования ветровой энергии не являются новинкой и используются достаточно давно. Большое количество всех ветровых парков расположено на суше, однако в последнее время наблюдается тенденция в создании так называемых оффшорных ВЭС, чему посвящено исследование [22] сосредоточенное на положительных результатах применения оффшорных ВЭС и на том, как они помогают производить энергию с наименьшим возможным ущербом для окружающей среды. Как и любая другая технология, оффшорные ВЭС оказывают как положительное, так и отрицательное воздействие на окружающую среду, особенно на морскую среду, поскольку оффшорные ВЭС устанавливаются посреди водоемов.

Сейчас все чаще говоря о маломасштабных системах преобразования энергии ветра, имеющих широкий диапазон использования и условий эксплуатации для производства электроэнергии как для сетевых, так и для автономных приложений. Всего выделяют 3 типа таких систем [21]:

- автономные;
- сетевые;
- гибридные.

По оценкам, 759 миллионов человек не имеют доступа к электричеству, поэтому автономные приложения особенно актуальны в сельской местности для развивающихся стран. Однако, если принять во внимание эффективность, и непрерывность энергоснабжения (в контексте возможностей резервирования), большинство станций все же должны быть подключенными к общей сети или же гибридными.

Энергия биогаза. Одним из перспективных направлений развития возобновляемой энергетики является развитие синтеза энергии на основе биогаза. Существуют различные подходы, позволяющие получать энергию на основе использования результатов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных [23], свалочных газов [24], на основе продуктовых отходов [25] и пр. В настоящее время появляются новые исследования, посвященные определению возможности получения энергии за счет реализации искусственного фотосинтеза и фотосинтеза микроводорослей. Так, в исследовании [26] рассматривается технология использования микроводорослей в качестве замены технологии искусственного фотосинтеза. Реализация такой технологии позволит не только снижать содержание углекислого газа в атмосфере, но и получать дополнительное сырье для реализации установок по производству биогаза.

В работе [27] предлагается использовать технологию искусственного фотосинтеза для производства биотоплива и биоэнергии. Искусственный фотосинтез стремится имитировать процесс преобразования биологической энергии, производя биотопливо из солнечного света (рисунок 5).

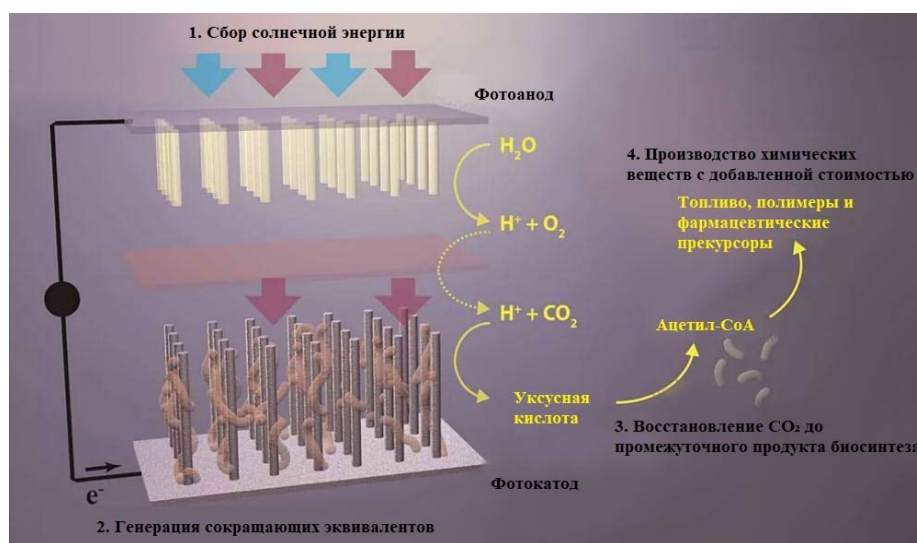


Рис. 5. Процесс, превращающий воду, солнечный свет и CO2 в биотопливо

Заключение. В работе были рассмотрены некоторые из современных технологий по преобразованию энергии на основе возобновляемых источников. Можно заметить, что с каждым годом интерес к ВИЭ только лишь возрастает, как и общие объемы мировой генерации с применением данных энергетических ресурсов. Развитие и использование новых технологий преобразования является ключевым фактором развития данной области энергетики и позволяет повышать надежность и производительность проектируемых энергетических систем.

Во многих странах вовлечение ресурсов ВИЭ является жизненной необходимостью. Для обеспечения энергетической независимости. При этом даже развитые и богатые природными ресурсами страны придерживаются направления развития безуглеродной политики, поскольку вопрос снижения вредных выбросов и экологической защиты сейчас стоит крайне остро.

Список литературы

1. Гольдштейн В.Г., Можяев В.Д. О проблемах развития энергосистем мегаполисов в настоящее время и в ближайшей перспективе // Труды Кольского научного центра РАН. 2016. №5-13.
2. Рахманкулов Д. Л., Николаева С. В., Латыпова Ф. Н., Вильданов Ф. Ш. О проблеме истощения мировых запасов нефти // Баш. хим. ж. 2008. №2.
3. Stojcetovic, Bojan & Živče, Šarkočević & Misic, Milan & Jovanovic, M. (2016). Renewable energy sources impacts on environment.
4. Безруких П. П. Эффективность возобновляемой энергетики. Мифы и факты // Вестник аграрной науки Дона. 2015. №29.
5. Глебова А. Г., Данеева Ю. О. Адаптация российской энергетики к декарбонизации мировой экономики // Экономика. Налоги. Право. 2021. №4.
6. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>
7. Мирошниченко А. А., Кулганатов А. З., Ковалёв А. А. Внедрение возобновляемых источников энергии: исторический аспект // Вопросы развития современной науки и техники. 2020. №1.
8. Marques A. Is renewable energy effective in promoting growth? // Energy Policy. – 2012. – № 1. – p. 434-442
9. Rupali Nagar, Sumita Srivastava, Sterlin Leo Hudson, Sandra L. Amaya, Ashish Tanna, Meenu Sharma, Ramesh Achayalingam, Sanjiv Sonkaria, Varsha Khare, Sesha S. Srinivasan, Recent developments in state-of-the-art hydrogen energy technologies – Review of hydrogen storage materials, Solar Compass, Volume 5, 2023, 100033, ISSN 2772-9400, <https://doi.org/10.1016/j.solcom.2023.100033>.
10. M. Khodayari, A. Aslani Analysis of the energy storage technology using Hype Cycle approach Sustain. Energy Technol. Assess., 25 (2018), pp. 60-74, 10.1016/j.seta.2017.12.002
11. Ellen Gapp, Peter Pfeifer, Membrane Reactors for Hydrogen Production from Renewable Energy Sources, Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 2023, 100800, ISSN 2452-2236, <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100800>.
12. Paolo Marocco, Riccardo Novo, Andrea Lanzini, Giuliana Mattiazzo, Massimo Santarelli, Towards 100% renewable energy systems: The role of hydrogen and batteries, Journal of Energy Storage, Volume 57, 2023, 106306, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106306>.
13. Arachchige, Udara & Weliwaththage, Sumedha R.G. (2020). Solar Energy Technology.

14. Fisher, Graham & Seacrist, Mike & Standley, Robert. (2012). Silicon Crystal Growth and Wafer Technologies. Proceedings of the IEEE. 100. 1454-1474. 10.1109/JPROC.2012.2189786.
15. Liu, Dingyu & YANG, Xiya & Gao, Jiaan & Ran, Qing & Zhu, Gelin & Yuan, Jingbo & Zheng, Duo & Guo, Jiangtao & Leilei Zhao, Zll & Tang, Qunwei. (2022). Smart Solar-Panel Umbrella toward High-Efficient Hybrid Solar and Rain Energy Harvesting. Energy Technology. 11. 10.1002/ente.202201044
16. Jingbo Yuan, Xiya Yang, Duo Zheng, Jiangtao Guo, Weize Lin, Jiawei Liao, Yudi Wang, L. Vaillant-Roca, Jialong Duan, Qunwei Tang, Perovskite quantum dot-based tandem triboelectric-solar cell for boosting the efficiency and rain energy harvesting, Nano Energy, Volume 110, 2023,108341, ISSN 2211-2855, <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2023.108341>.
17. Yasmine Rghif, Daniele Colarossi, Paolo Principi, Salt gradient solar pond as a thermal energy storage system: A review from current gaps to future prospects, Journal of Energy Storage, Volume 61, 2023, 106776, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106776>.
18. Bošnjaković, Mladen. WIND ENERGY TECHNOLOGY TRENDS.
19. IEA. Renewable Electricity Generation by Technology, 2010–2025. IEA: Paris, France. Available online: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-electricity-generation-by-technology-2010-2025>
20. Belachew Desalegn, Desta Gebeyehu, Bimrew Tamirat, Wind energy conversion technologies and engineering approaches to enhancing wind power generation: A review, Heliyon, Volume 8, Issue 11, 2022, e11263, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11263>.
21. Perera, S.M.H.D.; Putrus, G.; Conlon, M.; Narayana, M.; Sunderland, K. Wind Energy Harvesting and Conversion Systems: A Technical Review. Energies 2022, 15, 9299. <https://doi.org/10.3390/en15249299>
22. Almansoori, Helal. (2020). Offshore Wind Farms Research Paper.
23. Герасимова О. А., Соловьев С. В., Тихонов Е. А., Карасева Т. Н. Перспективы использования возобновляемых источников энергии в пастбищном животноводстве // Вестник АГАУ. 2021. №9.
24. Ачитаев А. А., Русина А. Г., Жидков А. А., Евсеенко П. Н. Реализация проектов генерации на свалочном газе // Вестник КГЭУ. 2019. №3.
25. Потороко И. Ю., Цирульниченко Л. А., Попова Н. В., Венката Мохан С. Отходы пищевых производств как возобновляемые источники энергии: перспективность и технологические решения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2021. №2.
26. Youping Xie, Kuan Shiong Khoo, Kit Wayne Chew, Vishno Vardhan Devadas, Sue Jiun Phang, Hooi Ren Lim, Saravanan Rajendran, Pau Loke Show, Advancement of renewable energy technologies via artificial and microalgae photosynthesis, Bioresource Technology, Volume 363, 2022, 127830, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127830>.
27. Wendell, David. (2010). Artificial photosynthesis processes as a means of producing biofuels. Biofuels. 1. 855-860. 10.4155/bfs.10.71.

СОЗДАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ОСНОВНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ БЕРЕГОВЫХ МЕТЕОСТАНЦИЙ

¹Д.С. Волков, ^{1,2}И.А. Косолапов, ^{1,2}Д.А. Гребеников, ^{1,3,4}С.А. Лебедев
danvol121@gmail.com, biktamboy@mail.ru, dmitriydg@gmail.com,
sergey_a_lebedev@mail.ru

¹Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Россия, г. Москва

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

³Геофизический центр РАН, Россия, г. Москва

⁴Майкопский государственный технический университет, Россия, г. Майкоп

Аннотация. Состояние экосистем Каспийского моря и его побережья вызывает серьезную тревогу, обусловленную не только антропогенными, но и природными причинами (климатическими изменениями, экстремальными метеорологическими и гидрологическими явлениями, опасными природными явлениями, а также частотой их повторения и т.д.). В связи с этим, возникает необходимость комплексного анализа, как климатических изменений, так и всех явлений, связанных с ними. С апреля 2023 г. в Институте океанологии им. П.П. Шириова РАН (г. Москва) при поддержке гранта РФФИ N 23-77-00027 выполняется проект «Исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря по данным дистанционного зондирования». Основными задачами проекта являются: (1) анализ климатической изменчивости основных гидрометеорологических параметров; (2) анализ экстремальных гидрологических и метеорологических явлений; (3) анализ откликов состояния морской поверхности на экстремальные метеорологические явления. Данная работа посвящена созданию региональной базы данных основных гидрометеорологических параметров за 1980-2022 гг. на основе глобальных баз данных атмосферных реанализов (NCEP/NCAR, NASA MERRA-2, ERA5 ECMWF, ERA-20C, ERA-Interim). Приведены примеры использования базы данных основных метеорологических параметров Каспийского моря, созданной на основе данных береговых метеостанций: температура воздуха, атмосферное давление, скорость ветра, влажность, количество осадков.

Ключевые слова. Региональное изменение климата, Каспийское море, береговые метеостанции, температура воздуха, атмосферное давление, скорость ветра, влажность, количество осадков.

Состояние экосистем Каспийского моря и его побережья вызывает серьезную тревогу, обусловленную не только антропогенными, но и природными причинами (климатическими изменениями, экстремальными метеорологическими и гидрологическими явлениями, опасными природными явлениями, а также частотой их повторения и т.д.). В связи с этим, возникает необходимость комплексного анализа, как климатических изменений, так и всех явлений, связанных с ними [1–5].

Каспийское море имеет важное народнохозяйственное (рыбный промысел, судоходство, добыча на шельфе и транспортировка нефти и газа, курортные зоны и порты на принадлежащих России участках побережья) и военно-стратегическое значение, особенно в связи с реальным сужением границ российского влияния в этих морях после распада СССР. Характерными для Каспийского моря являются отсутствующий водообмен с открытыми акваториями, пониженное (по сравнению с океаном) содержание соли и тот факт, что его водный баланс в значительной степени определяется стоком впадающих в них рек и испарением. Отсутствующий водообмен делает его чрезвычайно чувствительным как к изменениям глобального и регионального климата, так и к антропогенному воздействию, обусловленному стоком рек и его зарегулированностью, отходами курортных зон и промышленных центров на берегу, добычей и транспортировкой нефти и т.д., что может приводить к изменениям на экосистемном уровне. Следствием климатических изменений являются изменения температуры поверхности моря, его солёности и уровня, начала образования и продолжительности ледяного покрова, связанные с климатообусловленными изменениями температуры воздуха, скорости и направления ветра, стока впадающих в море рек и осадков/испарения с поверхности. Экологические задачи и поддержание инфраструктуры на берегу требуют постоянного контроля изменений этих гидрологических и метеорологических параметров.

С апреля 2023 г. в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (г. Москва) при поддержке гранта РФФИ N 23-77-00027 выполняется проект «Исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря по данным дистанционного зондирования» (2023-2026 гг., <https://rscf.ru/project/23-77-00027/>).

Главными фундаментальными задачами проекта являются:

(1) Анализ климатической изменчивости основных физических параметров состояния моря (температуры поверхности, уровня, ветрового волнения, морской лед и т.д.) и метеорологических параметров (скорости приводного ветра, интегрального содержания водяного пара, содержания водяного пара в облаках, осадков) над акваторией Каспийского моря;

(2) Применение классического анализа «экстремальности» (т.е. резко выделяющихся на фоне «нормы» явлений) к исследованию изменчивости основных параметров состояния Каспийского моря и атмосферы над его акваторией. Анализ экстремальных гидрологических и метеорологических явлений будет проводиться с использованием данных дистанционного зондирования и данных реанализов). Это позволит дать научно-обоснованные рекомендации для реализации «Стратегии развития российских морских портов в Каспийском бассейне, железнодорожных и автомобильных подходов к ним в период до 2030 года», принятой Распоряжением Правительства РФ от 8 ноября 2017 г. № 2469-р.

(3) Анализ откликов состояния морской поверхности на экстремальные метеорологические явления, наблюдаемых над акваторией моря и/или побережьем таких как: изменчивость апвеллинга; аномальное цветение

водорослей или содержание хлорофилла в морской воде; положение и интенсивность квазистационарных вихрей и вихревой активности; ледовой обстановки.

В настоящее время в Институте космических исследований РАН успешно работает Центр коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг», составной частью которого является информационная система «See the Sea». Данная система содержит большой объем данных дистанционного зондирования различных аппаратов космического базирования. Однако в большинстве своем они представляют собой «сырые» данные, т.е. отсутствует блок пересчета данных дистанционного зондирования в физические параметры состояния морской поверхности и атмосферы над морской акваторией. Поэтому одной из основных задач проекта является адаптация существующих алгоритмов или разработка новых для расчета физических параметров состояния моря и атмосферы по данным дистанционного зондирования и совместная с ЦКП «ИКИ-Мониторинг» разработка и программное обеспечение блока системы для решения этой задачи. На основе полученных данных и будет проводиться исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря.

Геофизический центр РАН располагает разработанной в нем «Интегрированной базой данных спутниковой альтиметрии «ИБДСА – Каспийское море» (высоты морской поверхности, скорости приводного ветра и высоты морских волн), которая в рамках данного проекта будет интегрирована в информационную систему «See the Sea». Это позволит расширить функционал ЦКП, а также по отработанной технологии расширить базу данных спутниковой альтиметрии для других морей России, а в перспективе – для Мирового океана.

Таким образом, проект ставит перед собой еще две задачи:

(1) Адаптация существующих алгоритмов или разработка новых для расчета основных физических параметров состояния моря и атмосферы по данным дистанционного зондирования и интегрирование их в информационную систему «See the Sea» ЦКП «ИКИ-Мониторинг»;

(2) Расширение функционала данной системы за счет интегрирования в нее «Интегрированной базой данных спутниковой альтиметрии «ИБДСА – Каспийское море», разработанной в Геофизическом центре РАН.

Одной из важнейших задач проекта, стоящих на 2023 г., является - создание региональной базы данных основных метеорологических параметров:

– по данным береговых метеостанций, расположенных на побережье Каспийского моря (Махачкала, Баку, Форт-Шевченко, Туркменбаши (бывший Красноводск) и др.);

– на основе глобальных баз данных реанализа (NCEP/NCAR, NASA MERRA-2, ERA5 ECMWF, ERA-20C, ERA-Interim) за 1980-2022 гг.;

– по данным СВЧ-радиометрии и спутниковой альтиметрии для акватории Каспийского моря, включая данные миссии CFOSAT.

Данная работа посвящена созданию региональной базы данных температуры воздуха, атмосферного давления, скорости ветра, влажности, осадков по данным береговых метеостанций.

Существует огромное количество баз данным по метеостанциям, входящим в сеть Всемирной метеорологической организации, которая осуществляет обмен данными между её членами:

Так во Всероссийском научно-исследовательском институте гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ–МЦД) предоставляет срочные, суточные и среднемесячные данные с 521 метеорологических станциях на территории бывшего СССР с момента основания станций по 2020 год, местами с перерывами на войны и т.д.

Основными параметрами этих данных являются: число дней с осадками более 1 мм, температура воздуха, упругость водяного пара, атмосферное давление на уровне станции, среднемесячное количество облачности, суммы осадков, с устранёнными погрешностями, относительная влажность воздуха, атмосферное давление на уровне моря и т.д. [6–8].

Среди зарубежных источников информации по метеостанциям является база данных метеостанций (Global Surface Summary of the Day – GSOD) Национального центра информации об окружающей среде США (National Centers for Environmental Information). Данная база содержит среднесуточные данные следующих параметров: средняя точка росы, среднее давление на уровне моря, средняя скорость ветра (в узлах), максимальная скорость устойчивой скорости ветра, глубина снега (в дюймах). Исторические данные, как правило, доступны за 1929 год по настоящее время, причём данные 1973 года являются наиболее полными. Поскольку данные преобразуются в постоянные единицы (например, узлы), может возникнуть небольшая ошибка округления из первоначальных данных [9, 10].

В данной работе приведены примеры использования базы данных GSOD основных метеорологических параметров для двух береговых метеостанций: Форт Шевченко и Туркменбаши (бывший Красноводск) (рис. 1–2).

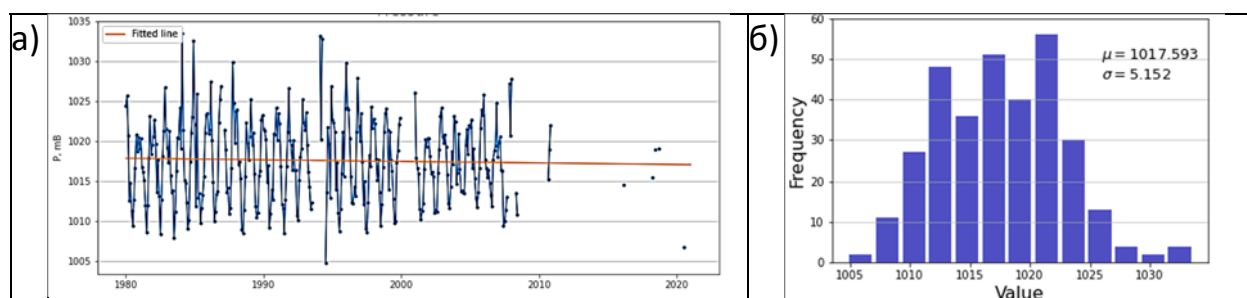


Рис. 1. Сезонная и межгодовая изменчивость (а) и гистограмма распределения (б) среднемесячного давления воздуха на уровне моря в Форт-Шевченко (WMO № 380010) за 1980–2022 гг.

Полученные данные представляют большой интерес для анализа изменения климата в регионе Каспийского моря за 1980-2022 гг., а также являются основой для изучения экстремальных гидрометеорологических

явлений. Будет проведен расчет климатической изменчивости и «нормы», а также определение пороговых значений метеорологических параметров для выделения экстремальных явлений по региональным базам данных (береговые метеостанции, данные реанализа и данные дистанционного зондирования Земли).

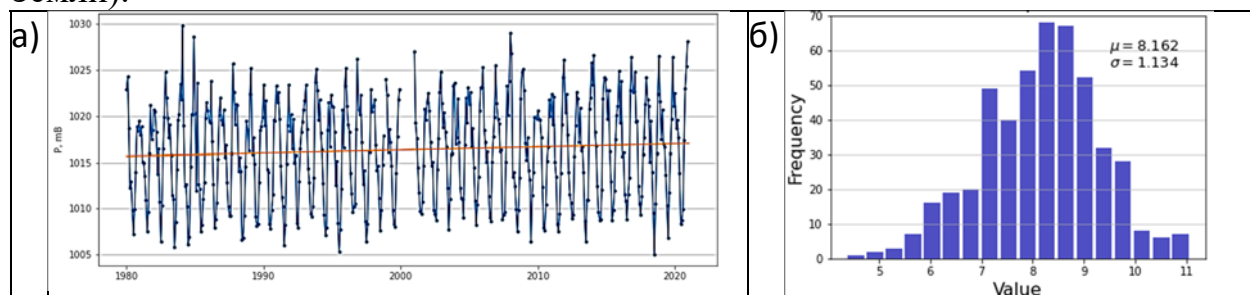


Рис. 2. Сезонная и межгодовая изменчивость среднемесячного давления воздуха на уровне моря (а) и гистограмма распределения скорости ветра (б) на метеостанции Туркменбаши (WMO № 385070) за 1980-2022 гг.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ N 23-77-00027 «Исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря по данным дистанционного зондирования» (2023-2026), <https://rscf.ru/project/23-77-00027/>.

Список литературы

1. Kostianoy A.G., Kosarev A.N. (Eds.). "The Caspian Sea Environment". The Handbook of Environmental Chemistry. Vol.5: Water Pollution, Part 5P. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 2005. 271 pp. <https://doi.org/10.1007/b138238>.
2. Zonn I.S., Kostianoy A.G., Kosarev A.N., Glantz M. "The Caspian Sea Encyclopedia". Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 2010. 527 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11524-0>.
3. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. Москва: ИКИ РАН, 2011. 470 с.
4. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М., ИКИ РАН, 2016, 334 с.
5. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы исследования изменчивости Каспийского моря. – М.: ИКИ РАН, 2022. – 250 с.
6. Булыгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России /Свидетельство о государственной регистрации базы данных. – 2014. – № 2014620549
7. Швець Н.В., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т. Описание массива данных «Среднемесячное давление воздуха на уровне моря на метеорологических станциях России» /Свидетельство о государственной регистрации базы данных. – 2018. – № 2018621521.
8. Кузнецова В.Н., Давлетшин С. Г., Швець Н.В. Описание базы данных «Среднемесячная относительная влажность воздуха на метеорологических станциях России» /Свидетельство о государственной регистрации базы данных – 2019. – № 2019621537.
9. Sparks A. H., Hengl T., Nelson A. GSODR: global summary daily weather data in R //Journal of open source software. – 2017. – Vol. 2. – №. 10. – P. 177.
10. Lavigne T., Liu C. Validity of Global Fog-Day Trends Indicated by the Global Surface Summary of the Day (GSOD) Data Set //Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2022. – Т. 127. – №. 10. – С. e2021JD035881.

СОЗДАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ОСНОВНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАНЫМ СПУТНИКОВОЙ СВЧ–РАДИОМЕТРИИ

¹Д.С. Волков, ^{1,2}И.А. Косолапов, ^{1,2}Д.А. Гребеников, ^{1,3,4}С.А. Лебедев
danvol121@gmail.com, biktamboy@mail.ru, dmitriydga@gmail.com,
sergey_a_lebedev@mail.ru

¹Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Россия, г. Москва

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

³Геофизический центр РАН, Россия, г. Москва

⁴Майкопский государственный технический университет, Россия, г. Майкоп

Аннотация. Состояние экосистем Каспийского моря и его побережья вызывает серьезную тревогу, обусловленную не только антропогенными, но и природными причинами (климатическими изменениями, экстремальными метеорологическими и гидрологическими явлениями, опасными природными явлениями, а также частотой их повторения и т.д.). В связи с этим, возникает необходимость комплексного анализа, как климатических изменений, так и всех явлений, связанных с ними. С апреля 2023 г. в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (г. Москва) при поддержке гранта РФФИ N 23-77-00027 выполняется проект «Исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря по данным дистанционного зондирования». Основными задачами проекта являются: (1) анализ климатической изменчивости основных гидрометеорологических параметров; (2) анализ экстремальных гидрологических и метеорологических явлений; (3) анализ откликов состояния морской поверхности на экстремальные метеорологические явления. Данная работа посвящена созданию региональной базы данных основных гидрометеорологических параметров (скорости ветра, интегрального содержания водяного пара и содержания водяного пара в облаках). на основе глобальных данных спутниковой СВЧ-радиометрии.

Ключевые слова. Региональное изменение климата, Каспийское море, спутниковая СВЧ-радиометрия, скорости ветра, интегральное содержание водяного пара, содержание водяного пара в облаках.

Состояние экосистем Каспийского моря и его побережья вызывает серьезную тревогу, обусловленную не только антропогенными, но и природными причинами (климатическими изменениями, экстремальными метеорологическими и гидрологическими явлениями, опасными природными явлениями, а также частотой их повторения и т.д.). В связи с этим, возникает необходимость комплексного анализа, как климатических изменений, так и всех явлений, связанных с ними [1–5].

Каспийское море имеет важное народнохозяйственное (рыбный промысел, судоходство, добыча на шельфе и транспортировка нефти и газа, курортные зоны и порты на принадлежащих России участках побережья) и военно-стратегическое значение, особенно в связи с реальным сужением

границ российского влияния в этих морях после распада СССР. Характерными для Каспийского моря являются отсутствующий водообмен с открытыми акваториями, пониженное (по сравнению с океаном) содержание соли и тот факт, что его водный баланс в значительной степени определяется стоком впадающих в них рек и испарением. Отсутствующий водообмен делает его чрезвычайно чувствительным как к изменениям глобального и регионального климата, так и к антропогенному воздействию, обусловленному стоком рек и его зарегулированностью, отходами курортных зон и промышленных центров на берегу, добычей и транспортировкой нефти и т.д., что может приводить к изменениям на экосистемном уровне. Следствием климатических изменений являются изменения температуры поверхности моря, его солёности и уровня, начала образования и продолжительности ледяного покрова, связанные с климатообусловленными изменениями температуры воздуха, скорости и направления ветра, стока впадающих в море рек и осадков/испарения с поверхности. Экологические задачи и поддержание инфраструктуры на берегу требуют постоянного контроля изменений этих гидрологических и метеорологических параметров.

С апреля 2023 г. в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (г. Москва) при поддержке гранта РФФИ N 23-77-00027 выполняется проект «Исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря по данным дистанционного зондирования» (2023-2026 гг., <https://rscf.ru/project/23-77-00027/>).

Главными фундаментальными задачами проекта являются:

(1) Анализ климатической изменчивости основных физических параметров состояния моря (температуры поверхности, уровня, ветрового волнения, морской лед и т.д.) и метеорологических параметров (скорости приводного ветра, интегрального содержания водяного пара, содержания водяного пара в облаках, осадков) над акваторией Каспийского моря;

(2) Применение классического анализа «экстремальности» (т.е. резко выделяющихся на фоне «нормы» явлений) к исследованию изменчивости основных параметров состояния Каспийского моря и атмосферы над его акваторией. Анализ экстремальных гидрологических и метеорологических явлений будет проводиться с использованием данных дистанционного зондирования и данных реанализов). Это позволит дать научно-обоснованные рекомендации для реализации «Стратегии развития российских морских портов в Каспийском бассейне, железнодорожных и автомобильных подходов к ним в период до 2030 года», принятой Распоряжением Правительства РФ от 8 ноября 2017 г. № 2469-р.

(3) Анализ откликов состояния морской поверхности на экстремальные метеорологические явления, наблюдаемых над акваторией моря и/или побережьем таких как: изменчивость апвеллинга; аномальное цветение водорослей или содержание хлорофилла в морской воде; положение и интенсивность квазистационарных вихрей и вихревой активности; ледовой обстановки.

В настоящее время в Институте космических исследований РАН успешно работает Центр коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг», составной частью которого является информационная система «See the Sea». Данная система содержит большой объем данных дистанционного зондирования различных аппаратов космического базирования. Однако в большинстве своем они представляют собой «сырые» данные, т.е. отсутствует блок пересчета данных дистанционного зондирования в физические параметры состояния морской поверхности и атмосферы над морской акваторией. Поэтому одной из основных задач проекта является адаптация существующих алгоритмов или разработка новых для расчета физических параметров состояния моря и атмосферы по данным дистанционного зондирования и совместная с ЦКП «ИКИ-Мониторинг» разработка и программное обеспечение блока системы для решения этой задачи. На основе полученных данных и будет проводиться исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря.

Геофизический центр РАН располагает разработанной в нем «Интегрированной базой данных спутниковой альтиметрии «ИБДСА – Каспийское море» (высоты морской поверхности, скорости приводного ветра и высоты морских волн), которая в рамках данного проекта будет интегрирована в информационную систему «See the Sea». Это позволит расширить функционал ЦКП, а также по отработанной технологии расширить базу данных спутниковой альтиметрии для других морей России, а в перспективе – для Мирового океана.

Таким образом, проект ставит перед собой еще две задачи:

(1) Адаптация существующих алгоритмов или разработка новых для расчета основных физических параметров состояния моря и атмосферы по данным дистанционного зондирования и интегрирование их в информационную систему «See the Sea» ЦКП «ИКИ-Мониторинг»;

(2) Расширение функционала данной системы за счет интегрирования в нее «Интегрированной базой данных спутниковой альтиметрии «ИБДСА – Каспийское море», разработанной в Геофизическом центре РАН.

Одной из важнейших задач проекта, стоящих на 2023 г., является - создание региональной базы данных основных метеорологических параметров:

– по данным береговых метеостанций, расположенных на побережье Каспийского моря (Махачкала, Баку, Форт-Шевченко, Туркменбаши (бывший Красноводск) и др.);

– на основе глобальных баз данных реанализа (NCEP/NCAR, NASA MERRA-2, ERA5 ECMWF, ERA-20C, ERA-Interim) за 1980-2022 гг.;

– по данным СВЧ-радиометрии и спутниковой альтиметрии для акватории Каспийского моря, включая данные миссии CFOSAT.

Данная работа посвящена созданию региональной базы данных скорости ветра, интегрального содержания водяного пара и содержания водяного пара в облаках по данным СВЧ-радиометров

Применение СВЧ–радиометрии для климатических исследований стало возможным после запуска в 1978 г. многоканального сканирующего радиометра SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer) на спутнике Nimbus–7, который проработал около 9 лет. С небольшим перерывом с 1987 г. постоянно функционируют оперативные метеорологические спутники DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) с СВЧ–радиометрами SSM/I (Special Sensor Microwave Imager), SSM/T–1 (Atmospheric Temperature Profiler) и SSM/T–2 (Special Sensor Microwave – Humidity). В будущем этот ряд наблюдений может быть расширен как за счёт спутников DMSP, так и с помощью ИСЗ, планируемых к запуску. Таким образом, в настоящее время появилась уникальная возможность оценивать изменения климатически значащих параметров методами спутниковой СВЧ–радиометрии.

Многоканальный сканирующий радиометр SSM/I является наиболее ярким представителем спутниковых СВЧ–радиометрических систем, эксплуатируемых в течение последних лет в рамках метеорологической программы министерства обороны США, предназначенной для долговременного мониторинга Земли в целях обеспечения глобальной метеорологической, океанографической и солнечно-геофизической оперативной информацией. В декабре 1992г. данные были рассекречены и стали доступными для гражданского и научного сообщества.

Данная работа посвящена созданию региональной базы данных скорости приводного ветра [6, 7], интегрального содержания водяного пара [8, 9] и содержания водяного пара в облаках [10] по данным СВЧ–радиометров по данным СВЧ–радиометров SSM/I и SMMR.

На первом этапе проведён анализ временной изменчивости этих параметров по среднемесячным данным и построены распределения. На рис. 1-3 представлено интегральное содержание водяного пара, скорость ветра, содержание водяного пара в облаках соответственно. Границы района исследования определены как 36–48⁰с.ш., 46–55⁰в.д.

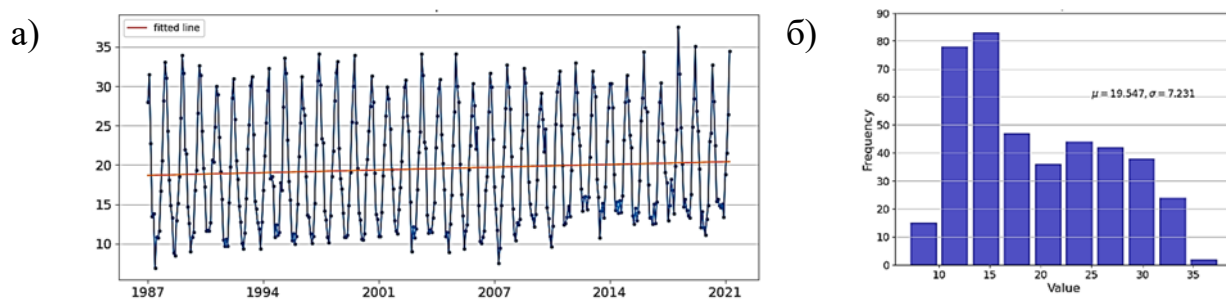


Рис. 1. Сезонная и межгодовая изменчивость (а) и гистограмма распределения (б) среднемесячного интегрального содержания водяного пара над акваторией Каспийского моря за 1987–2021 гг.

Полученные данные представляют большой интерес для анализа изменения климата в регионе Каспийского моря, а также являются основой для изучения экстремальных гидрометеорологических явлений. Будет проведён расчёт климатической изменчивости и «нормы», а также

определение пороговых значений метеорологических параметров для выделения экстремальных явлений по региональным базам данных (береговые метеостанции, данные реанализа и данные дистанционного зондирования Земли).

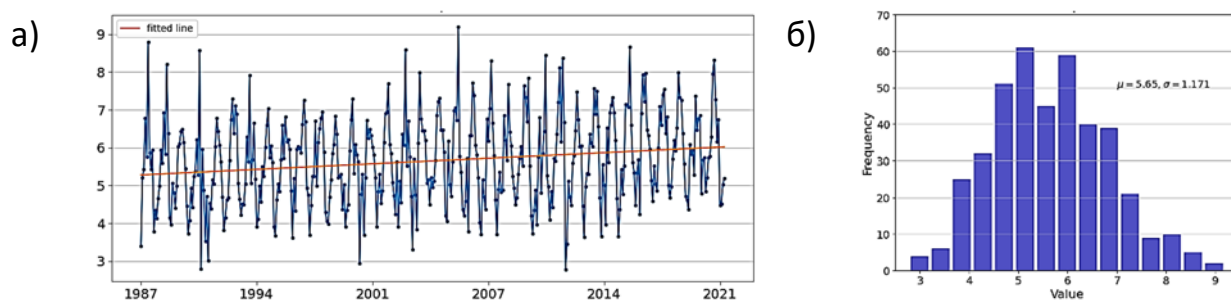


Рис. 2. Сезонная и межгодовая изменчивость (а) и гистограмма распределения (б) среднемесячной скорости приводного ветра над акваторией Каспийского моря за 1987–2021 гг.

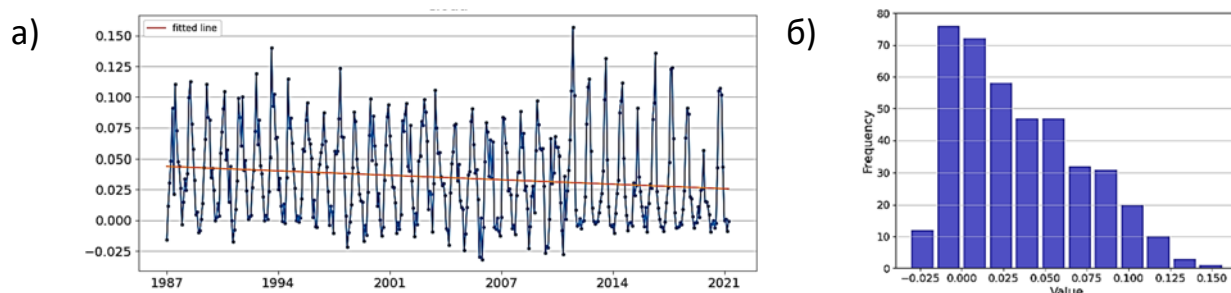


Рис. 3. Сезонная и межгодовая изменчивость (а) и гистограмма распределения (б) среднемесячного содержания водяного пара в облаках над акваторией Каспийского моря за 1987–2021 гг.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ N 23-77-00027 «Исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря по данным дистанционного зондирования» (2023–2026), <https://rscf.ru/project/23-77-00027/>.

Список литературы

1. Kostianoy A.G., Kosarev A.N. (Eds.). “The Caspian Sea Environment”. The Handbook of Environmental Chemistry. Vol.5: Water Pollution, Part 5P. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 2005. 271 pp. <https://doi.org/10.1007/b138238>.
2. Zonn I.S., Kostianoy A.G., Kosarev A.N., Glantz M. “The Caspian Sea Encyclopedia”. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 2010. 527 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11524-0>.
3. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. Москва: ИКИ РАН, 2011. 470 с.
4. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М., ИКИ РАН, 2016, 334 с.
5. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы исследования изменчивости Каспийского моря. – М.: ИКИ РАН, 2022. – 250 с.

6. Atlas R., Hoffman R.N., Bloom S.C., Jusem J.C., Ardizzone J. A multiyear global surface wind velocity dataset using SSM/I wind observations //Bulletin of the American Meteorological Society. – 1996. – Vol. 77. – №. 5. – P. 869-882.
7. Chang P.S., Li L.I. Ocean surface wind speed and direction retrievals from the SSM/I //IEEE transactions on geoscience and remote sensing. – 1998. – Vol. 36. – №. 6. – P. 1866-1871.
8. Jackson D.L., Stephens G.L. A study of SSM/I-derived columnar water vapor over the global oceans //Journal of Climate. – 1995. – Vol. 8. – №. 8. – P. 2025-2038.
9. Tjemkes S.A., Stephens G.L., Jackson D.L. Spaceborne observation of columnar water vapor: SSM/I observations and algorithm //Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 1991. – Vol. 96. – №. D6. – P. 10941-10954.
10. Greenwald T.J., Stephens G.L., Vonder Haar T.H., Jackson D.L. A physical retrieval of cloud liquid water over the global oceans using Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) observations //Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 1993. – Vol. 98. – №. D10. – P. 18471-18488.

К ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Т.П. Волкова, К.В. Репина

voltep@rambler.ru, ecoseka@rambler.ru

Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, Россия, г. Донецк

Аннотация. В статье приведена методика и результаты моделирования блоковой геологической структуры Зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита. Получены факторные уравнения, характеризующие условия рудообразования и закономерности распределения рудной минерализации в регионе. Построенные в геоинформационной системе MapInfo Pro карты факторов использованы для прогнозной оценки перспективности отдельных участков структуры.

Ключевые слова. Тектонические блоки, модель, факторный анализ, генеральная компонента, стратиграфические толщи, рудопроявления.

Моделирование рудообразующих процессов способствует целенаправленным поискам, достоверной оценке перспективности территорий на различные виды полезных ископаемых.

Теоретическая модель формирования месторождений полезных ископаемых, разработанная на базе термодинамики и синергетики геологических процессов, отражает многоэтапное рудоконцентрирование рудных элементов, находящихся в рассеянном состоянии в литосфере [1, 2]. Появление рудообразующих систем определяется наличием длительной связи с мантийным источником энергии и вещества, достаточных для образования месторождений. Масштабы запасов месторождений также зависят от длительности и повторяемости процесса поступления энергии и вещества [3].

Зона сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита отличается сложным строением, неоднократными тектоно-магматическими активизациями, имеет длительную историю формирования в структуре Днепровско-Донецкого палеорифта. Причиной её сложного геологического строения является положение между двумя крупными и разными по своему тектоническому режиму структурами земной коры.

Характерной чертой металлогении этой структуры является чрезвычайное разнообразие рудопроявлений [4]. В течение долгих лет здесь проводились целенаправленные поиски месторождений золота, меди, полиметаллов, редких и радиоактивных элементов. Крупных месторождений в Зоне сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита не установлено, но оценка перспективности рудопроявлений остаётся актуальной. Целью данного исследования являлось создание модели эволюции рудообразующих процессов в зоне сочленения Донбасса с Приазовским блоком, отражающей закономерности распределения и генезис

рудопроявлений. В исследовании были поставлены и решены следующие задачи:

- системный анализ геологического строения региона исследования;
- получение количественных характеристик рудообразующих процессов и рудной минерализации на территории исследования;
- выделение главных факторов рудообразования;
- проверка полученных результатов на установленных в регионе рудопроявлениях.

Данными для исследования послужили 2380 геологоразведочных скважин, 4408 полуколичественных спектральных и химических анализов, документация более 35000 керновых проб.

Полный геологический разрез региона образуют четыре свиты девона, лежащих на архей-протерозойском кристаллическом фундаменте, семь свит карбона. Палеозойские отложения покрыты толщей мезозойских пород (J_2-Cr_1), переходящих в неогеновые кварцевые пески, глины и суглинки.

Системный анализ, выполненный нами с применением геоинформационной системы MapInfo Pro, установил блоковую структуру геологического строения региона. Она образована системой тектонических нарушений. Глубинные субширотные разломы, отделяющие структуру от Приазовского блока Украинского щита и Донбасса, обусловили наличие двух частей – северной и южной, различных как по геологическому строению, так и по металлогении. Северная часть, прилегающая к Донбассу, характеризуется развитием осадочной карбонатной толщи нижнего карбона с постепенным расширением в Донбассе до полного стратиграфического разреза карбона. Южная приподнятая часть региона представлена кристаллическими породами архей-протерозойского фундамента, характерными для Приазовского блока УЩ, а также магматическими и осадочными комплексами пород девона. Наличие долгоживущих региональных разломов субмеридионального простирания обеспечило появление в геологическом строении региона трёх блоков – западного, центрального и восточного, имеющих существенные различия как по геологическому строению, так и по разнообразию рудной минерализации.

С системой тектонических нарушений связана не только полнота геологического разреза, но также интенсивность рудной минерализации комплексов пород. К такому выводу мы пришли в результате более детального изучения распределения рудной минерализации по блокам, ограниченными со всех сторон тектоническими нарушениями. Моделирование блоковой структуры было направлено на определение и количественную оценку факторов пространственного распределения минерализации.

На геологической карте региона масштаба 1: 200 000 вся изучаемая площадь была разбита на 121 блок, ограниченный со всех сторон тектоническими нарушениями разного порядка. По данным разведочных скважин, достигших архей-протерозойского фундамента, были построены геологические разрезы и определены высотные отметки всех

стратиграфических горизонтов, площадь и длины сторон каждого блока. Все блоки разделены по группам, имеющим различные виды разреза:

1. архей-протерозойский фундамент (AR-PR);
2. девонские отложения на архей-протерозойском фундаменте (D+AR-PR);
3. карбоновые отложения на архей-протерозойском фундаменте (C+AR-PR);
4. отложения карбона и девона на архей-протерозойском фундаменте (C+D+AR-PR).

Количество блоков и площади распространения каждой группы блоков отличаются существенно (табл.1). Самые глубокие блоки, с низкими отметками архей-протерозойского фундамента и максимальным числом стратиграфических горизонтов расположены вблизи границы с Донбассом. Наиболее приподнятые блоки, с выходом архей-протерозойского фундамента на поверхность расположены на границе с Приазовским блоком УЩ. Относительно много приподнятых блоков находится в восточной части региона, имеющей глыбовое строение.

Таблица 1

Кол-во блоков	Вид разреза	Отметки фундамента (от-до)	Отметки поверхности (от-до)	Суммарная площадь, %
14	Ar Pr	+185,5 – +16,1	+193- +100,8	23
38	Ar Pr+D	+138,1- -519,4	+232,9- +46,8	30
12	Ar Pr+C	+107,1 - -213	+143,3 -+97,1	24
16	Ar Pr+D+C	+88,7 - -982,7	+187,9 - +97,8	23

Тектонические блоковые дислокации в течение всей эволюции региона подтверждены значительными перепадами высотных отметок одноименных стратиграфических толщ даже в близко расположенных скважинах.

В зависимости от полноты геологического разреза блоки существенно отличаются интенсивностью минерализации как первичной, так и вторичной. Оценка интенсивности минерализации проводилась по количеству интервалов, содержащих рудные минералы и описанных в документации керна скважин. Также учитывалось число разных минералов в них. Рудная минерализация наиболее разнообразно представлена в блоках, содержащих карбонатные породы. Несомненным лидером по дополнительной минерализации являются блоки полного геологического разреза. Наиболее широко проявлены процессы кальцитизации и доломитизации в виде кальцитовых и доломитовых прожилков, гнёзд вторичных карбонатов. Следующим по распространенности являются процессы окремнения первичных известняков и доломитов.

Из рудных минералов наиболее распространены сульфиды - пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, редко молибденит; оксиды железа – магнетит, гематит; флюорит. Исходя из перечня этих минералов становится понятно, что в регионе исследования наиболее распространены гидротермальные рудопроявления.

Количественная оценка различий в строении блоков нами выполнена с учётом 45 признаков, установленных по документации керна и анализам проб скважин. Для снижения размерности признакового пространства был проведен кластерный анализ, по результатам которого получены комплексные характеристики блоков:

- тектоническая, оцениваемая по коэффициенту нарушенности, мощности и количеству тектонических интервалов в скважинах блоков;
- морфометрическая, определённая по отметкам архей-протерозойского фундамента и современного рельефа, представленного отметками устьев скважин, и количеством отсутствующих стратиграфических отложений в разрезе скважин блока, отражающим активность блоковых дислокаций блока;
- магматическая, выраженная суммарной и нормированной по глубине скважины мощностью магматических пород, также количеством проявившихся магматических фаз в блоке;
- флюидизирующая, связанная с мощностью и количеством даек трахиандезитового комплекса пород пермь-триасового периода тектономагматической активизации региона;
- минералогическая, установленная по количеству интервалов вторичной и рудной минерализации, а также количеству разных рудных минералов в скважинах блока.

Для каждого блока был произведён расчёт средних значений этих характеристик по разведочным скважинам блока.

Математическое описание главных рудообразующих факторов получено методом главных компонент факторного анализа по выборкам отдельно для блоков различных видов геологического разреза. Анализ структуры корреляционной матрицы позволил выявить группы признаков, имеющих высокие факторные нагрузки. Они объединяются в одно факторное уравнение, соответствующее одной из главных компонент. Все компоненты представляют 100% дисперсии свойств. Всего было получено от 11 до 13 компонент по каждой выборке. Число главных компонент определяется необходимой точностью моделирования и возможностью их содержательной интерпретации. Каждая главная компонента интерпретируется как рудообразующий фактор по признаку, имеющему максимальную факторную нагрузку. При этом первые четыре главных компоненты включали 80% дисперсии. Таким образом были определены следующие рудообразующие факторы:

1. Структурно-тектонический;
2. Петрографический;
3. Морфометрический;
4. Флюидизирующий;
5. Минералогический.

По каждой выборке, в зависимости от типа геологического разреза в блоке, рудообразующие факторы имели разный вес. Первая, генеральная

компонента включала не менее 30% всей дисперсии и менялась для определённого вида блоков. Точность представления модели ограничена четырьмя компонентами (80% дисперсии), каждая из которых несёт смысловую нагрузку и отражает действие рудообразующих факторов.

После принятия решения о числе главных компонент с помощью регрессионного анализа рассчитываются значения компонент в каждой скважине исходного файла данных. Результаты расчёта использованы для построения карт распределения факторов по всему региону в геоинформационной системе MapInfo Pro. Затем факторный анализ был выполнен по общей выборке скважин для всех блоков, что позволило получить карту распределения генеральной компоненты рудообразования в изучаемом регионе. Она отражает интенсивность рудной минерализации на всей изученной площади и позволяет выделить наиболее перспективные участки для локализации рудопроявлений и месторождений в отдельных блоках строения региона [5].

Проверка влияния рудообразующих факторов на интенсивность минерализации в блоках проведена по коэффициенту корреляции Спирмена между показателями, отражающими действие факторов, и количеством интервалов рудной минерализации в блоке. В результате расчётов получена тесная значимая положительная связь между этими показателями. Наиболее тесная значимая положительная связь с интенсивностью минерализации установлена для тектонического фактора. Это подтверждает гипотезу локализации оруденения в зонах тектонических нарушений региона. Значимая положительная корреляционная связь указывает, что чем больше степень тектонической нарушенности участка, тем больше вероятность появления рудной минерализации. Однако в блоках с различным типом разреза величина коэффициента меняется от максимальной ($p=0,445$), в блоках с полным стратиграфическим разрезом, до минимальной ($p=0,079$) в блоках с девонскими отложениями на архей-протерозойском фундаменте.

Анализ пространственного положения рудопроявлений в регионе исследования позволил утверждать, что большая часть из них имеет гидротермально-метасоматический генезис и расположена в зонах тектонических нарушений. На западе изучаемой территории самородная медь установлена в хлоритизированных и гематитизированных базальтах и лавобрекчиях Новотроицкой и Александринской тектонических зон. Новотроицкое проявление медной минерализации связано с образованиями антоновской и николаевской свит девона, которые не имеют геохимической специализации на медь. Минерализация представлена единичными вкрапленниками халькопирита, редко самородной меди в ассоциации с пиритом. Сульфидная минерализация встречается как в прожилках, так и в основной массе породы. В Камышевахском рудном узле медная минерализация установлена в гранитах архей-протерозойского фундамента, в образованиях антоновской, раздольненской и долгинской свит девона. Она представлена зёрнами халькопирита в ассоциации с пиритом, реже с галенитом, сфалеритом, борнитом, ковеллином, Халькопирит образует

единичные и редкие вкрапленники, тонкую сыпь, налеты по трещинам и зеркалам скольжения, редко встречается в кальцитовых прожилках. Промышленных скоплений меди на изученной территории пока не установлено.

Установлено, что геохимическая специализация пород характерна лишь для приазовского комплекса пород, включающего рудные пироксениты и ограниченно распространённого в пределах Покрово-Киреевской структуры региона. В результате сформировались позднемагматические месторождения титан-ванадиевых и нефелиновых руд. Все остальные рудопроявления не имеют явной связи с магматизмом и контролируются тектоническими нарушениями. Полиметаллическая и флюоритовая минерализации установлены в тектонических зонах среди брекчированных, ожелезненных, окварцованных и аргиллизированных карбонатных пород. Основной рудоконтролирующей структурой оруденения является тектонический меланж, развитый в виде широких продольных полос. В разрезе такие полосы представляют собой зоны тектонического брекчирования северного и северо-восточного падения.

Большая часть оруденения локализуется в пластах метасоматитов аргиллизитовой формации. Сульфидизированные терригенно-карбонатные породы прослежены в виде субсогласных тел с метасоматической сульфидной вкрапленностью и гидротермально проработанных зон дробления мощностью до 80 м. Как правило, они обогащены новообразованными сульфидами, среди которых самым распространенным минералом является пирит. Глинистые карбонатные породы, содержащие органическое вещество, в гидротермальных низкотемпературных процессах были наиболее благоприятны для накопления рудного вещества.

На основе полученной модели распределения рудной минерализации в различных блоках Зоны сочленения сделаны выводы о главных рудообразующих процессах и источнике вещества для формирования месторождений полезных ископаемых. Предыдущими исследованиями установлено, что особенностью рудообразующих процессов Зоны сочленения является их связь с процессами структурно-тектонической эволюции Европейской платформы и Днепровско-Донецкого палеорифта [6]. Источником рудного вещества и энергии для минералообразования служили мантийные расплавы, поступавшие в Зону сочленения в проницаемых зонах. Они зафиксированы в астеносфере профилями глубинного сейсмического зондирования (Добре).

Детальное изучение блоков геологического строения ЗС по комплексу признаков установило главную роль структурно-тектонического фактора в рудообразовании. С учётом рифтогенной обстановки, можно считать восточную часть Зоны сочленения (Покрово-Киреевская структура) зоной растяжения земной коры, в которую рудное вещество поступало из мантии. Девонские магматические породы здесь максимально обогащены рудным веществом. На остальной части региона преобладали тектонические процессы сжатия земной коры. При этом в магме преобладала коровая составляющая с

низкими содержаниями рудных элементов. В результате в магматических породах наблюдаются низкие содержания рудных элементов. Только на участках зон тектонических нарушений, наиболее проницаемых для флюидов, усиливались метасоматические процессы, обеспечившие гидротермальную минерализацию Зоны сочленения.

Таким образом, установленной нами закономерностью распределения рудопроявлений является их связь с процессами рифтогенеза. На раннем этапе источником рудного вещества и энергии для минералообразования служили мантийные расплавы. В пределах Покрово-Киреевской структуры они обеспечили масштабную концентрацию минералов титана и ванадия. В дальнейших процессах тектонической блоковой дислокации, в зонах влияния активных долгоживущих разломов в регионе активизировались гидротермальные процессы. На поздних этапах источником рудного вещества служили гидротермальные флюиды и растворы, пульсационно поступавшие в породы по тектоническим нарушениям. Рудоконтролирующими структурами являются долгоживущие тектонические разломы, обеспечившие повышенную проницаемость пород и одновременно служившими каналами поступления гидротермальных растворов. Критерием продуктивности рудопроявлений такого типа будет выступать мощность зоны дробления и многократность активизации тектонического разлома.

Тектонические блоковые дислокации, проходившие в течение этого времени, не способствовали стабильному накоплению рудной минерализации. Следовательно, среди установленных видов полезных ископаемых в Зоне сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита наиболее перспективными для освоения являются титан-ванадиевые месторождения Покрово-Киреевской структуры и Войковское гидротермальное рудопроявление полиметаллической минерализации. Разработанная блоковая модель позволяет дать прогнозную оценку перспективности рудопроявлений региона.

Список литературы

1. Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. – Новосибирск: Наука, 1992. – 230 с.
2. Булкин Г.А. Количественная оценка прогнозных запасов руд. – М.: Недра, 1984. – 129 с.
3. Волкова Т.П. Роль процессов дифференциации в формировании месторождений полезных ископаемых // Доповіді НАНУ, 2003, №4. С. 107-110.
4. Калашник А. Металлогеническое разнообразие Волновахской рудной зоны в связи с особенностями глубинного строения литосферы УЩ// Геологія родовищ корисних копалин/Вісник Київського Національного Університету ім.Т.Г.Шевченка, №2(81). – Київ. – 2018. – С.49-55.
5. Волкова Т. П. Рудообразующие факторы зоны сочленения Донбасса с Приазовьем/ Т. П. Волкова, С. А. Копка, Н. Г. Агаркова // Труды РАНМИ: сб. науч. тр. – Донецк, 2020. – № 10-11 (25-26). - С. 65-80.
6. Фанерозойский магматизм Восточного Приазовья Украинского щита и связанные с ним полезные ископаемые (петрология, геохимия и рудоносность): монография [Текст] / Е. М. Шеремет, С. Г. Кривдик, Н. А. Козар и др.; под ред. акад. НАН Украины А. Н. Пономаренко. – К.: ЦП «Компринт», 2015. – 318 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МОРСКОЙ ВОДЫ НА УПРУГОСТЬ ВОДЯНОГО ПАРА В АКВАТОРИИ СУХУМСКОЙ БУХТЫ

^{1,2}Я.В. Гицба, ²Т.П. Строчан

Yana_akyu@mail.ru, strochan.timur@rambler.ru

¹Абхазский государственный университет, Абхазия, г. Сухум

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

Аннотация. На термический режим моря в теплый сезон наибольшее влияние оказывает солнечная инсоляция поверхностных вод и тепло-массообменные процессы с поверхностью суши. В период регионального потепления наблюдается повышение среднегодовой температуры поверхностных вод акватории Сухумской бухты на $0,72^{\circ}\text{C}$, при этом повышение температуры приземного слоя воздуха незначительно и составляет $T=0,06^{\circ}\text{C}$. Наибольшее повышение сезонных значений температуры воды характерно для зимнего периода времени ($1,0^{\circ}\text{C}$). Экстремально высокие среднегодовые значения температуры морской воды и воздуха наблюдались в 2010 и 2018 гг. ($18,5^{\circ}\text{C}$ и $18,6^{\circ}\text{C}$ соответственно). Сезонные колебания температуры морской воды и воздуха оказывают влияние на концентрацию водяного пара в атмосфере: повышение температуры воды и воздуха приводят к повышению концентрации водяного пара. Коэффициенты корреляции как между среднемесячными значениями температуры воздуха и абсолютной влажностью, так и между среднемесячными значениями температуры морской воды и абсолютной влажностью свидетельствуют об очень тесной связи между указанными параметрами ($r=0,99$ для воздуха, $r=0,96$ для воды).

Ключевые слова. Сухумская бухта, температура воды, корреляция, сезонная изменчивость, абсолютная влажность, концентрация водяного пара, температура воздуха, поверхностный слой.

Температура воды - величина, влияющая на протекающие в водоеме многие процессы, от которых в значительной мере зависят кислородный режим и интенсивность процессов самоочищения. Значения температуры используют для вычисления степени насыщения воды кислородом, различных форм щелочности, состояния карбонатно-кальциевой системы, при многих гидрохимических, гидробиологических исследованиях, при изучении тепловых загрязнений [1]. Систематические измерения температуры поверхностного слоя, проводимые на станциях и постах на горизонте 0,5 м в одни и те же сроки в течение длительного времени, являются основой для изучения температурного режима прибрежной зоны моря [2].

Под температурой поверхностного слоя понимается температура верхнего слоя морской воды, толщиной не более 1 м в месте измерения, принимаемая за среднюю в этом слое и условно распространяемая на прибрежную акваторию. Основным прибором для измерения температуры воды поверхностного слоя моря служит стеклянный ртутный термометр,

заклученный в оправу ОТ-51. Термометр имеет шкалу от -3 до $+35^{\circ}\text{C}$ оцифрованную через каждые 5°C , с ценой деления $0,2^{\circ}\text{C}$, что обеспечивает погрешность измерения температуры воды до $0,1^{\circ}\text{C}$ [2]. Температура поверхностного слоя морской воды измеряют на станции «Сухумский маяк» четыре раза в сутки в 00, 06, 12, 18 часов местного времени с оконечности причала, выступающего в море на 30 метров.

Согласно общепринятым стандартным нормам, которые утверждены всемирной метеорологической организацией, истинная температура приземного воздуха измеряется на высоте 2 метра от поверхности земли и обязательно в тени. Измерение влажности воздуха проводится также на высоте 2 м над землей [2].

В данной работе приводятся результаты обработки данных по температуре морской воды, воздуха и абсолютной влажности за 1999-2022 гг.

Зимой поверхностные воды северо-западного и северо-восточного районов Черного моря охлаждаются до нуля, в мелководных участках шельфа и в бухтах образуется ледовый покров. Летом поверхность моря прогревается у берегов до $24-27^{\circ}\text{C}$ и до $21-23^{\circ}\text{C}$ в глубоководных районах. Среднегодовая температура поверхностной воды Черного моря у Кавказского побережья колеблется в пределах $16,5-18^{\circ}\text{C}$. В открытых частях моря амплитуда температурных колебаний значительно меньше, чем у побережий: зимний минимум поверхностных вод $6,6^{\circ}\text{C}$, летний максимум 27°C [3].

Из среднемесячного распределения температуры воды в акватории Сухумской бухты за 1999 - 2022 гг. следует, что данная величина понижается с августа по февраль включительно (рис. 1).

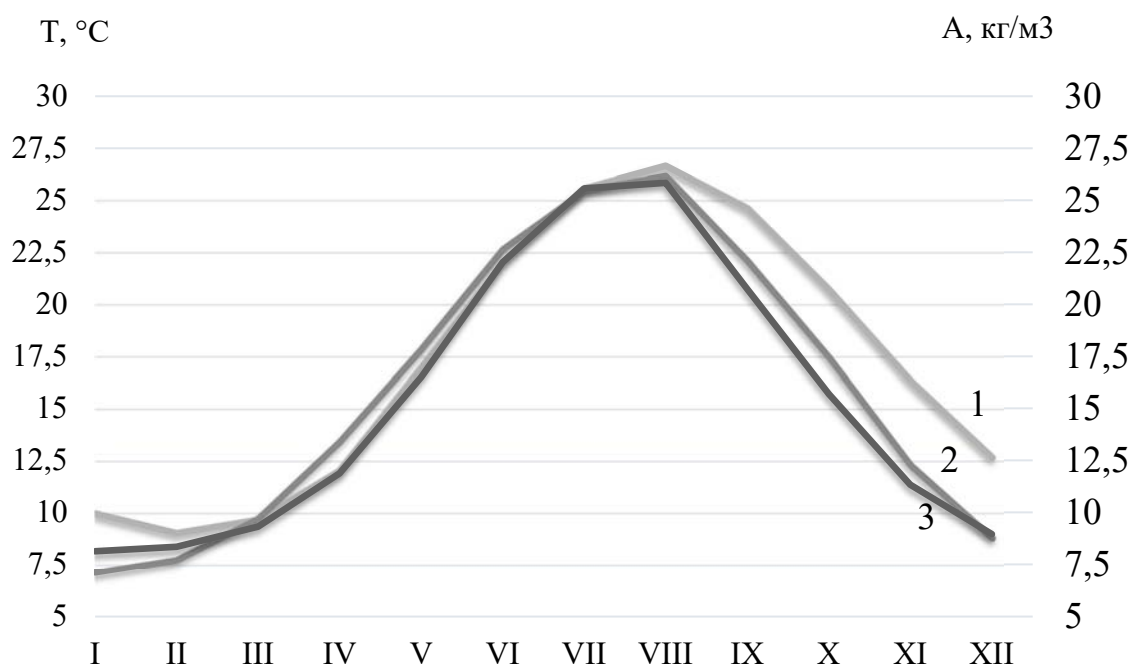


Рис. 1. Среднемесячная изменчивость температуры морской воды (1), абсолютной влажности (2) и температуры воздуха (3) за 1999-2022 гг.

Наименьшая среднемесячная температура поверхностного слоя воды в прибрежной зоне Сухумской бухты наблюдается в феврале и составляет $9,1^{\circ}\text{C}$ наибольшая – в августе $26,7^{\circ}\text{C}$, что в целом согласуется с общим ходом теплового баланса юго-восточной части акватории моря. Температура приземного слоя воздуха имеет тенденцию к повышению с января $7,1^{\circ}\text{C}$ по август $26,2^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 1) Самая низкая температура воды за весь период наблюдений была зафиксирована в феврале 2008 г. и составила 6°C . Максимальная температура морской воды наблюдалась в июле 2001 г и составила 30°C [4].

С целью исследования влияния температуры воды и воздуха на содержание водяного пара в атмосфере приведен график среднемесячного распределения абсолютной влажности, из которого следует, что данная величина в период с января ($\rho=8,14 \text{ г/м}^3$) по август ($\rho=25,8 \text{ г/м}^3$) увеличивается синхронно со значениями температуры воды и воздуха, с августа по февраль значения температуры воды имеют более высокие значения по сравнению с другими параметрами (см. рис.1).

Из результатов исследования по вычислению коэффициентов корреляции между среднемесячными значениями температуры воздуха и абсолютной влажностью, также между среднемесячными значениями температуры морской воды и абсолютной влажностью за 24-летний период времени следует, что на концентрацию водяного пара большее влияние оказывает температура воздуха, что говорит о тесной корреляционной зависимости между данными параметрами (коэффициент корреляции меняется от $r=0,66$ в апреле до $r=0,96$ в июне) (рис. 2).

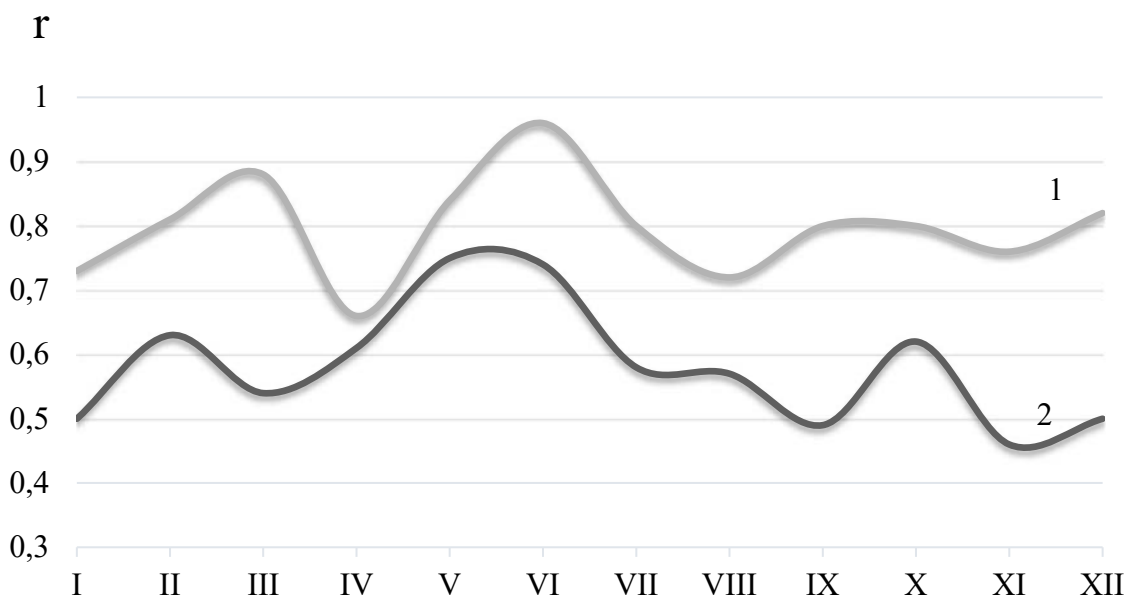


Рис. 2. Значения коэффициентов корреляции между температурой воздуха и абсолютной влажностью (1), температурой морской воды и абсолютной влажностью (2) за 1999-2022 гг.

Коэффициент корреляции между температурой воды и абсолютной влажностью колеблется от 0,5 в январе до 0,75 в мае. Наибольшая

корреляционная зависимость наблюдается в летний период (0,83 для воздуха и 0,63 для воды).

В работе приведен график зависимости максимальной концентрации водяного пара от температуры морской воды (рис. 3).

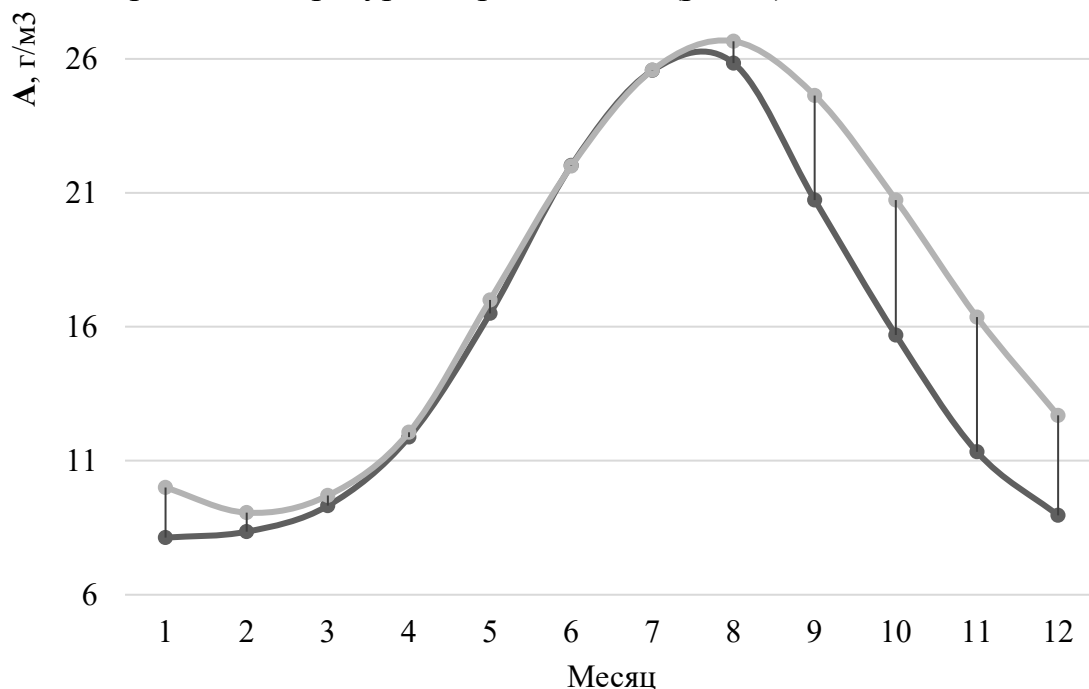


Рис.3. Сезонная изменчивость абсолютной влажности воздуха и температуры морской воды за 1999-2022 гг.

При повышении температуры морской воды увеличивается скорость испарения, что приводит к увеличению количества водяного пара в воздухе. В зависимости от атмосферных циркуляционных процессов в черноморском бассейне наблюдается два периода с различными трендами зависимостей. В период с марта по июль зависимость абсолютной влажности от температуры морской воды носит линейный характер ($r=0,99$), в период с августа по февраль экспоненциальный ($r=0,96$). На графике многолетних среднемесячных значений можно так же наблюдать цикличность взаимосвязей с различными корреляционными значениями (рис. 4).

Поскольку при увеличении температуры воды, следовательно, и воздуха концентрация водяных паров увеличивается, при этом водяной пар сам являясь сильным парниковым газом, то его увеличение в атмосфере усиливает парниковый эффект, что приводит к дальнейшему увеличению температуры воздуха. Такой механизм называется «положительной обратной связью».

Период весеннего нагревания начинается с момента устойчивого преобладания притока тепла в море в течение суток над его потерями. Период летнего нагревания начинается с момента возникновения прямой стратификации (температура уменьшается с глубиной) во всем море. Период зимнего охлаждения начинается с момента установления обратной термической стратификации [5]. Среднее значение температуры поверхностного слоя воды в акватории Сухумской бухты в летний период

времени колеблется в пределах от 23,6°C (2004 г.) до 26,03°C (2018 г), в зимний период времени — от 9,1°C (2008 г) до 12,4°C (2010 г) (рис. 5).

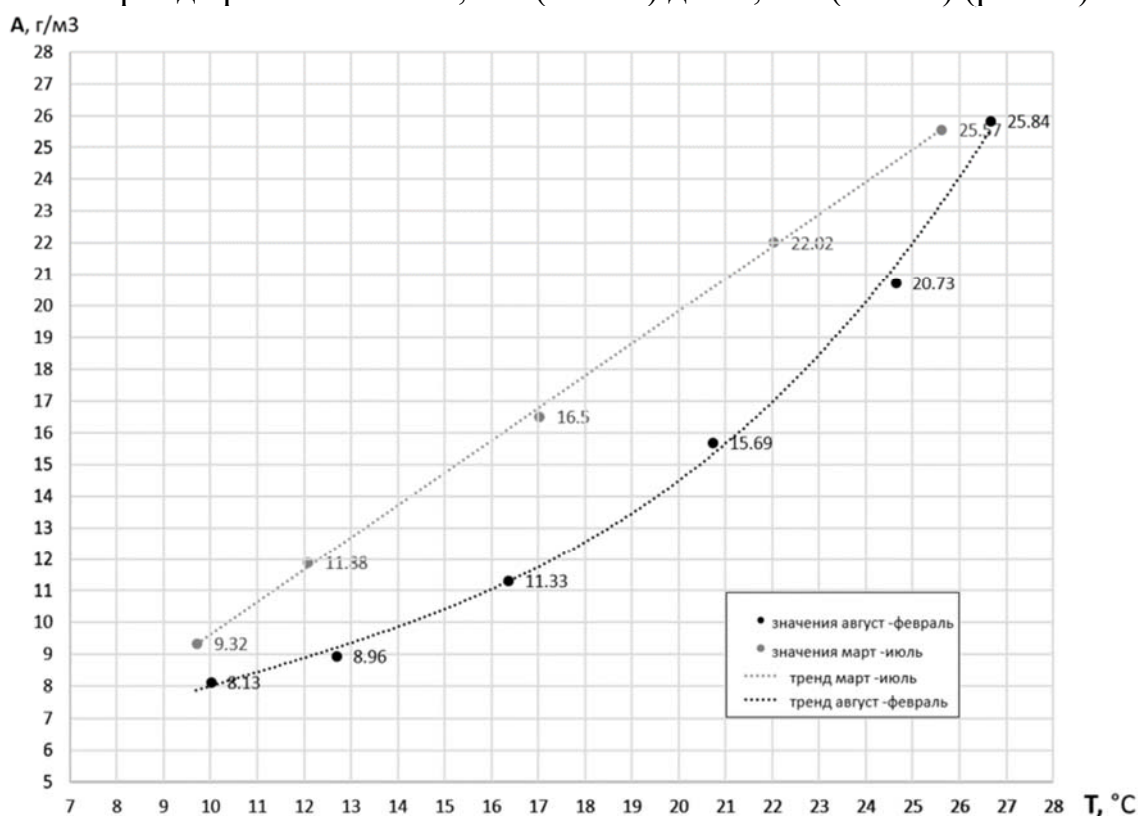


Рис.4. Тренды зависимости абсолютной влажности от температуры морской воды за 1999-2022 гг.

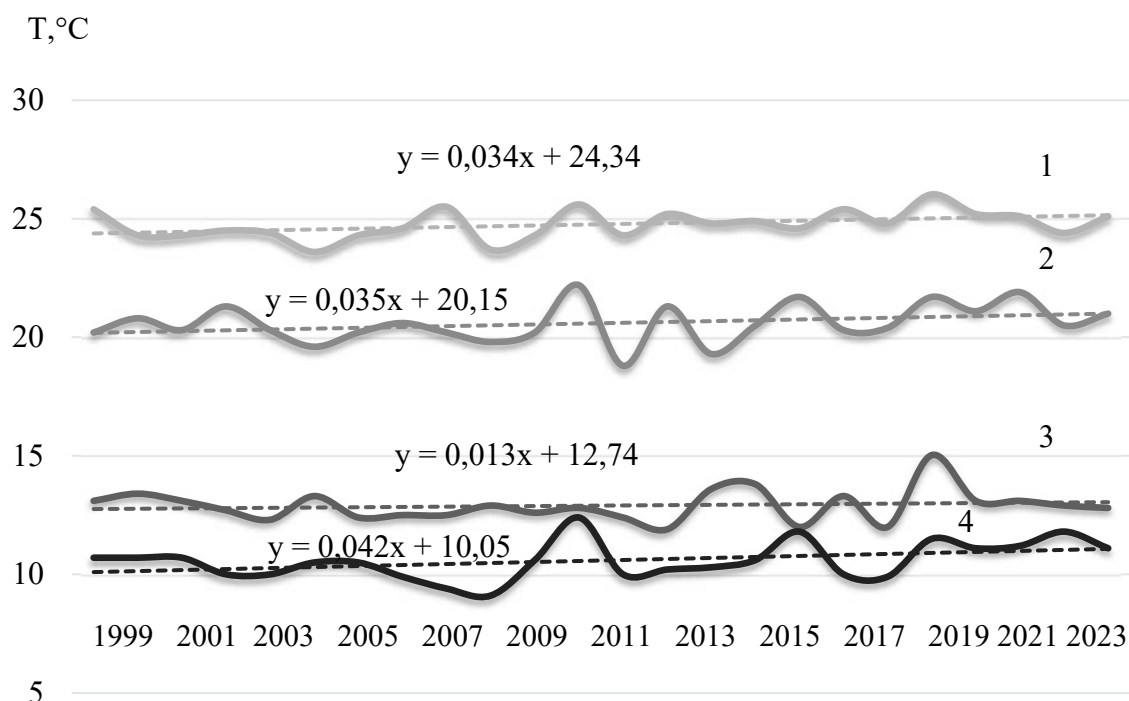


Рис. 5. Среднегодовые значения температуры воды T , °C, за 1999 – 2022 годы в акватории Сухумской бухты: 1-летние, 2 – осенние, 3 – весенние, 4-зимние.

Наибольшая весенняя температура за период наблюдений зафиксирована в 2018 г. и составляет $T=15,03^{\circ}\text{C}$, наименьшая – в 2012 г., имеет значение $T=11,9^{\circ}\text{C}$. Наибольшее значение температуры поверхностного слоя

моря в осенний период наблюдалось в 2010 году ($T=22,2^{\circ}\text{C}$), минимальное значение – в 2011 г. ($T=18,8^{\circ}\text{C}$). Среднее значение амплитуды сезонных колебаний температуры воды составляет $3,2^{\circ}\text{C}$.

При изучении тенденции изменения сезонных значений температур за последние 24 года выявлено, что в летний период температура морской воды повысилась на $0,82^{\circ}\text{C}$ ($y = 0,034x + 24,34$), в осенний период – на $0,84^{\circ}\text{C}$ ($y = 0,035x + 20,15$). Наибольшее повышение сезонных значений температуры воды характерно для зимнего периода и составляет $1,0^{\circ}\text{C}$ ($y = 0,042x + 10,05$), наименьшее – для весеннего периода ($y = 0,013x + 12,74$), т.е. тенденция повышения температуры воды составляет $0,3^{\circ}\text{C}$ (см. рис 5). Как известно температура поверхностного слоя моря оказывает влияние на температуру приземного слоя воздуха: коэффициент корреляции между среднемесячными значениями воды и воздуха ($r=0,95$) показывает очень тесную связь между данными параметрами [6].

Вычислены корреляционные связи между среднегодовыми и сезонными значениями температуры морской воды с целью выявления фактора, оказывающего большее влияние на формирование среднегодовой температуры. Тесная корреляционная связь получена для теплых сезонов – лето и осень ($r=0,77$ и $r=0,76$), умеренная – для весеннего сезона ($r=0,49$), и заметная – для зимнего сезона ($r=0,66$) [6]. Умеренная корреляционная связь в весенние месяцы объясняется наибольшими суточными колебаниями температуры воды, что объясняется нарушением термической стабильности моря из-за повышения количества речного стока, осадков, турбулентного перемешивания и прогревания поверхностных вод.

Большой интерес представляет многолетняя изменчивость температуры поверхностного слоя моря, воздуха и абсолютной влажности, а в акватории Сухумской бухты. Средняя многолетняя температура морской воды за период с 1999 по 2022 гг. составляет $17,2^{\circ}\text{C}$, воздуха $15,9^{\circ}\text{C}$. Минимальное среднегодовое значение температуры морской воды наблюдалось в 2008, 2011 гг. ($T=16,4^{\circ}\text{C}$), максимальное значение – в 2018 г. ($T=18,5^{\circ}\text{C}$) (рис. 6). Минимальное среднегодовое значение температуры воздуха наблюдалось в 2011 г ($T=14,6^{\circ}\text{C}$), максимальное – в 2010 г. ($T=18,6^{\circ}\text{C}$).

С 1999 по 2022 гг. наблюдается тенденция повышения температуры поверхностного слоя морской воды на $0,72^{\circ}\text{C}$, температура воздуха при этом осталась практически неизменной ($0,06^{\circ}\text{C}$). Однако, следует отметить, что в период с 1999 по 2010 гг. температура воздуха имеет тенденцию к возрастанию на $2,0^{\circ}\text{C}$, с 2011 по 2022 гг. – на $0,8^{\circ}\text{C}$. В отличие от температуры воздуха, температура воды за первый период практически не испытывает изменений ($t=0,02^{\circ}\text{C}$), но следует отметить, что за последние 12 лет рост температуры воды более существенен и составляет $0,9^{\circ}\text{C}$. Среднегодовые значения абсолютной влажности имеют в среднем тенденцию к снижению на $0,48\text{ г/м}^3$. В период с 1999 по 2010 гг. среднегодовые значения абсолютной влажности имеют тенденцию к возрастанию на $0,59\text{ г/м}^3$, с 2010 по 2022 гг. – на $1,36\text{ г/м}^3$, т.е. более значительно, как и температуры морской воды.

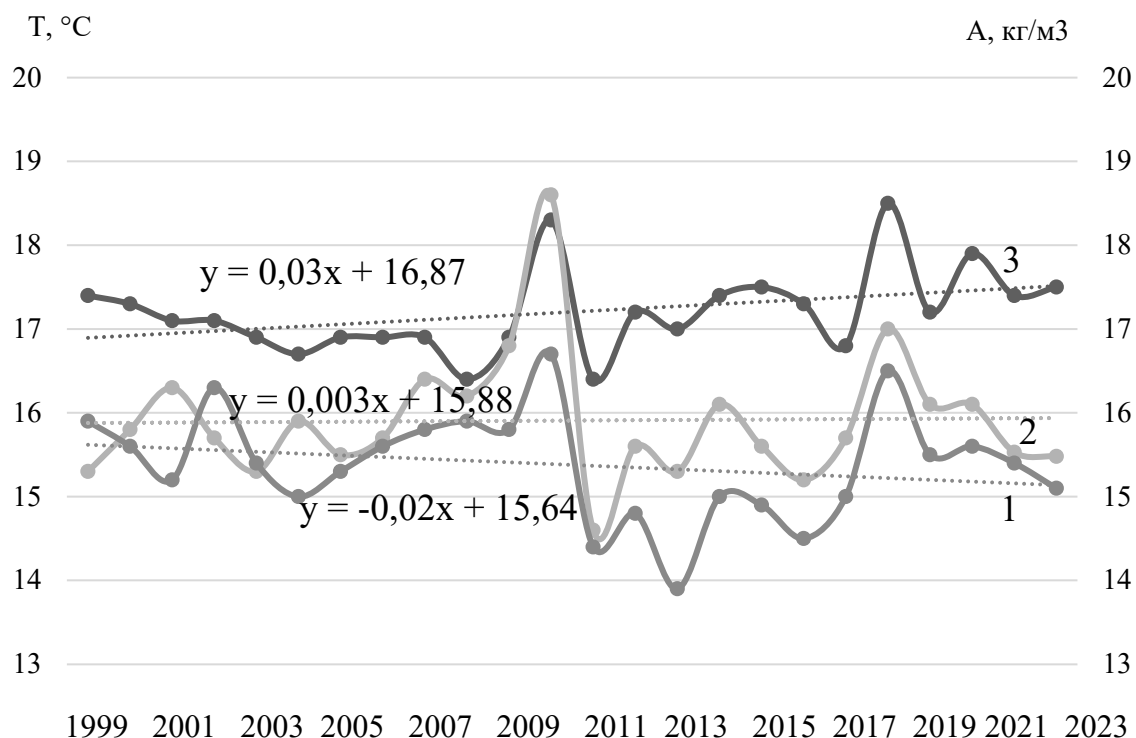


Рис. 6. Многолетняя изменчивость абсолютной влажности (1) температуры воздуха (2), морской воды (3) в акватории Сухумской бухты.

В ходе проведения статистической обработки данных обнаружена заметная корреляционная связь между годовыми значениями температуры воды и воздуха ($r=0,55$). Корреляционная связь между годовыми значениями температуры воды и абсолютной влажностью является заметной, коэффициент корреляции составляет $r=0,45$, однако при учете сезонной изменчивости характера взаимосвязей коэффициенты корреляции будут рассчитываться для двух временных интервалов с марта по июль ($r=0,99$) и с августа по февраль ($r=0,96$). Корреляционная связь между годовыми значениями температуры воздуха и абсолютной влажностью является тесной ($r=0,7$).

Повышение температуры морской воды способно создать условия для обильных осадков, вызвать такие явления, как повышение уровня моря, изменения в локальных климатических условиях, что может негативно повлиять на социально-экономическое развитие страны. Следовательно, главной проблемой повышения температуры является нарушение экологического равновесия среды.

Список литературы

- 1.Руководство по методам химического анализа морских вод. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 204 с.
2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 9. Часть 1. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 312 с.
3. Сорокин Ю.И. Черное море. – М.: изд-во «Наука», 1982. – 216 с.
4. Гицба Я.В., Экба Я.А. Гидродинамические процессы в абхазской акватории Черного моря. Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», №4, 2015. С. 60-65.

5. Гицба Я.В. Гидрофизические процессы в прибрежных водах морской акватории Абхазии, Вестник Луганского национального университета им. Владимира Даля. Научный журнал, №5 (11). Луганск, 2018. С. 206-210.

6. Гицба Я.В. Эмба Я.А. Характеристика гидрометеорологических параметров акватории Сухумской бухты. Доклады российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Выпуск XIV. Москва, 2020, С. 50-55.

ОТРАЖЕНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ЛАНДШАФТОВ В ЛЁССОВО-ПОЧВЕННЫХ СЕРИЯХ ПЛЕЙСТОЦЕНА НА ТЕРРИТОРИИ БАССЕЙНОВ РЕК ДНЕПРА, ДОНА, ВОЛГИ

Н.И. Глушанкова

ni.glushankova@mail.ru

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

Аннотация. *Обобщение материалов многолетнего палеопедологического анализа и результатов палеогеографического исследования плейстоцена ряда лессовых областей Русской равнины, отличающиеся друг от друга строением новейших отложений и историей палеогеографического развития, позволили выявить сложнейшую динамику природно-климатических изменений, вызванных непрерывным последовательным изменением 9 тёплых и относительно тёплых эпох (7 межледниковых и 2 интерстадиальных), 8 оледенений или приравненных к ним похолоданий. Сложная последовательность ландшафтно-климатических событий прослеживается внутри межледниковых эпох. Палеопедологические материалы по ильинскому, мучкапскому, лихвинскому, каменскому и микулинскому межледниковьям свидетельствуют о существовании в их структуре нескольких фаз педогенеза, соответствующих двум и более оптимумам.*

Ключевые слова. *Плейстоцен, палеогеография, стратиграфия, эволюция, ландшафты, палеопочвы, лёссово-почвенная формация*

Изучение эволюции природных процессов в плейстоцене издавна привлекает внимание исследователей. К настоящему времени накоплен значительный массив данных, полученный с помощью традиционных, теоретически обоснованных методов четвертичной геологии, сопряженного палеогеографического анализа новейших отложений, генетического почвоведения. Он позволил провести реконструкцию последовательности событий в плейстоценовой истории Восточно-Европейской равнины [1,2]. Не случайно, особая роль в правильном толковании развития и динамики природной среды в новейшее геологическое время, а также в решении общих стратиграфических, геохронологических, эволюционных вопросов перигляциальных лессовых областей отводится одному из наиболее ярких палеогеографических явлений – изучению ископаемых почв. Именно почвы и образуемые ими почвенные покровы, являясь природными телами и продуктом длительного функционирования и самоорганизации биосферы, непрерывно развивающихся процессов почвообразования, занимают центральное фокусирующее положение в ландшафтной оболочке Земли. Им принадлежит наиболее важная роль в формировании всего природного комплекса, благодаря выполнению многочисленных и разнообразных функций в геосфере: литолого-геоморфологических, ландшафтно-геохимических, экологических и других.

Традиционно в качестве основных источников информации об эволюции и взаимодействиях биосферы и геосферы во времени на Земле рассматривались осадочные породы, их вещественные признаки, включая палеонтологические, археологические и исторические сущности. Рассмотрение почвы как еще одного источника информации о таких взаимодействиях прошлого было заложено еще в трудах В.В. Докучаева, который называл почву «зеркалом ландшафта, функцией факторов педогенеза». В отличие от осадочной, записывающей главные особенности процессов литогенеза, контролируемых климатическими, биологическими и геологическими факторами (Н.М. Страхов, Е.В. Шанцер и др.), почвенная запись осуществляется по своим собственным законам, далеко не зеркально, а скорее избирательно. Она зависит от экзогенного потенциала климата и биоты, от трансформационной способности материнских пород, от длительности процессов педогенеза, и от действия различных стирающих факторов. Способность почвенной системы запоминать, записывать в своих устойчивых свойствах информацию об условиях и процессах своего формирования и дальнейшего изменения во времени (эволюции, деградации) рассматривается как еще одна фундаментальная и всеобщая функция почв и педосферы Земли, наряду с другими (биологической, гидрологической и др.), как способность накапливать и предавать во времени информацию о прошлых и текущих биосферно-геосферных взаимодействиях [4,5]. Известное выражение В.В. Докучаева «почва-зеркало ландшафта», также как и известная триада «факторы→процессы→свойства», по существу формулировали именно эту особенность почв отражать в своих свойствах факторы и процессы, действовавшие на протяжении периода их формирования. Концепция памяти почв активно используется в палеогеографии и палеопочвоведении, где почвы, начиная с работ К.Д. Глинки, трактовались как отражения, «отпечатки» былых природных и природно-антропогенных обстановок и процессов.

Большинство из них, пережив эволюцию природных обстановок, не являются простой суммой наложенных моногенетических профилей, отвечающих каждый своему этапу эволюции физико-географических условий. Они представляют собой сложные полиморфные тела, образовавшиеся в результате неаддитивной, гетерохронной эволюции (наложенной, стирающей, наследующей) природной среды, совокупностей элементарных почвенных процессов. Вследствие этого многие признаки первоначальных стадий развития видоизменялись в процессе формирования последующих. В отличие от современных почв, они, являясь результатом законченного цикла почвообразования в межледниковые и межстадиальные эпохи, содержат гораздо более насыщенную информацию не только о разновременном протекавших процессах педогенеза, производных от изменяющихся или сменяющихся во времени комбинаций факторов природной среды, но и признаки трансформации их в периоды похолоданий, предшествующих наступанию ледников. В связи с этим при реконструкции генезиса палеопочв, на основе определенных устойчивых признаков и первоначальных свойств почвенных профилей, возникают трудности в диагностике элементарных

почвенных процессов, в своих сочетаниях, определяющих тип почвообразования. Последнее обусловлено многими причинами, в том числе определенной педометаморфической преобразованностью разновозрастных почв [3].

Отход от представлений прямого актуализма в трактовке генезиса и географии почв позволил сформулировать более адекватные представления о сложных сочетаниях в почвах признаков разных возрастных генераций: унаследованных от материнских пород, от разных стадий развития и эволюции почв. Детальное изучение различных элементарных почвообразовательных процессов, с использованием широкого круга методов, существенно расширило перечень диагностируемых в палеопочвах процессов педогенеза, выветривания, педометаморфических изменений. Это послужило базовой основой для более детального факторно-генетического понимания процессов развития и эволюции почв в разнообразных палеообстановках неоплейстоцена и послужило основой для прогнозирования возможных изменений в поведении почв в почвенных покровах под влиянием различных изменений природной среды.

Исследование плейстоценовых почв в серии опорных разрезов ряда восточноевропейских страторегионов, отличающихся друг от друга строением новейших отложений и историей палеогеографического развития, позволило «прочитать» новейшую историю многих почв в почвенных покровах на территории бассейнов Днепра, Дона, Волги за последние 0,6-0,8 млн лет. В плейстоценовой истории выделяется не менее девяти неодинаковых по условиям формирования эпох интенсивного педогенеза. Каждая из них отличалась присущими только ей особенностями строения почв, сочетанием генетических типов в автоморфных позициях рельефа, закономерностями их географического распространения. В раннем и среднем плейстоцене выделяются по три эпохи интенсивного педогенеза, относящихся к михайловскому времени, ильинскому, лихвинскому, каменскому, роменскому межледниковьям, а в позднем неоплейстоцене, помимо эпохи педогенеза в микулинское межледниковье, выделяются две интерстадиальные эпохи почвообразования – крутицкая и брянская [1,2].

Межледниковый педогенез включает спектр типов почв лесных, лесостепных, степных ландшафтов преимущественно суббореального почвенно-климатического пояса, отвечающих полизональной структуре ландшафтной оболочки, близкой к современной структуре широтной зональности, отличаясь от нее положением границ почвенных зон. Полученные результаты подтверждают представления о том, что межледниковые эпохи плейстоцена образуют ряд, в котором каждая последующая эпоха уступает предшествующей по теплообеспеченности. Сходная направленность в сторону нарастания суровости и аридности климата отмечается и для ледниковых эпох. Из 7 межледниковых эпох, выделенных выше палеомагнитной границы Брюнес-Матуяма, и сопоставленных с глобальными климатическими изменениями, наиболее тепло- и влагообеспеченным было мучкапское межледниковье.

В отличие от теплых межледниковых эпох и относительно теплых интерстадиальных, в холодные эпохи плейстоцена формирование полнопрофильных палеопочв не происходило. Уровни слабого почвообразования, фиксируемые в лессовых толщах, в частности в днепровском лёссе, представлены относительно гумусированными прослоями, имеющими примитивное строение слабо выраженного профиля, диагностические признаки которого в значительной мере стерты диагенетическими процессами в хорошо аэрируемых лессовых толщах. Сложная последовательность ландшафтно-климатических событий прослеживается внутри межледниковых эпох. Палеопедологические материалы по ильинскому, мучкапскому, лихвинскому, каменскому, микулинскому межледниковьям свидетельствуют о существовании внутри их структуры нескольких фаз педогенеза, отвечающих двум или более оптимумам.

Развитие почв ранних гляциальных стадий педогенеза, происходившее в суровых ландшафтно-климатических условиях, сопровождалось колебаниями тепла и влаги стадиальной и интерстадиальной природы, отраженных в процессах почвообразования и седиментации. Интерстадиальным эпохам была свойственна слабо выраженная широтная зональность почв. В максимум холодной фазы ледниковых эпох (пессимум) вместо полизональной системы, свойственной межледниковьям, образуется единая (или слабо дифференцированная) область со сходными биоклиматическими особенностями.

Список литературы

1. Агаджанян А.К., Глушанкова Н.И. Палеогеография плейстоцена Окско-Донской равнины // Теоретические и методические проблемы палеогеографии. М. Изд-во МГУ. 1987. С. 145-170.
2. Величко А.А. Природный процесс в плейстоцене. - М.: Наука, 1973. -256 с.
3. Глушанкова Н.И. Палеопедогенез и природная среда Восточной Европы в плейстоцене. - Смоленск-Москва: Изд-во «Маджента», 2008. - 348 с.
4. Таргульян В.О. Развитие почв во времени // Проблемы почвоведения. - М.: Наука, 1982. - С. 108-113.
5. Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий /Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 692 с.

МАССОВЫЙ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РАЗМЕРНЫХ ФРАКЦИЙ В ОПУСТЫНЕННЫХ И ЗАСУШЛИВЫХ РАЙОНАХ ЮГА РОССИИ

Д.П. Губанова, О.Г. Чхетиани, Л.О. Максименков, М.А. Иорданский
*gubanova@ifaran.ru; ochkheti@ifaran.ru; leonidmax@gmail.com;
miordan@mail.ru*

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

Аннотация. В работе рассмотрены результаты анализа массового и элементного состава приземного аэрозоля разных размерных фракций в засушливых регионах юга России (Калмыкия, Ростовская обл.) по данным наблюдений летом 2018-2022 гг. Исследована межгодовая изменчивость массового и элементного состава во фракциях аэрозоля с учетом синоптико-метеорологических условий.

Ключевые слова. Аэрозоль, размерная фракция, массовая концентрация, элементный состав, метеорологические параметры, приземный слой, атмосфера, Калмыкия, юг России.

Введение

Атмосферный аэрозоль – это сложная аэродисперсная система, характеризующаяся сильной пространственной-временной изменчивостью физико-химических характеристик и оказывающая существенное влияние на геоэкологическое состояние окружающей среды и климат Земли [1, 2]. В районах с экстремальными климатическими условиями роль атмосферных аэрозолей в процессах, приводящих к неустойчивости экосистем и колебаниям регионального климата, возрастает. С этой точки зрения большой интерес представляют засушливые и опустыненные зоны юга России [3], являющиеся интенсивным источником терригенного аэрозоля. Пыльные бури на таких территориях поднимают массы частиц, которые способны переноситься на тысячи километров [4-7]. Состав терригенного аэрозоля отличается высоким содержанием минералов на основе силикатов и алюмосиликатов, зачастую с примесью тяжелых металлов и других рассеянных элементов. Однако важной чертой такого аэрозоля является неравномерность распределения элементов по разным фракциям.

Размеры и морфология частиц определяют химический состав, природу, реакционную способность и специфику поведения аэрозолей в атмосфере. Поэтому чрезвычайно важными являются сведения о микрофизических параметрах, массовой концентрации и элементном составе аэрозольных частиц различных размерных фракций.

Исследованию свойств пылевого аэрозоля аридных и опустыненных районов посвящено множество различных работ, в том числе, связанных с регионами Средней Азии и югом Европейской территории России (ЕТР), например, [8-16]. Однако сведения о распределении массового и элементного состава терригенного аэрозоля по размерам частиц почти отсутствуют. Данная работа посвящена обобщению результатов исследований фракционного

состава терригенного аэрозоля и изучению его изменчивости по данным многолетних (2018-2022 гг.) полевых наблюдений на Цимлянской научной станции (ЦНС) Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (ИФА РАН) и в Черноземельском районе Республики Калмыкия.

Предмет, методы, средства наблюдений

В настоящем исследовании рассмотрены данные наблюдений за составом терригенного аэрозоля в приземном слое атмосферы засушливой и опустыненной территорий юга ЕТР летом (июль-август) 2018-2022 гг. Такой выбор времени полевых кампаний обусловлен сезоном наибольшей эмиссии солепылевых аэрозольных частиц с подстилающей поверхности (период максимальных температур в данных регионах). Предметом исследований являлись элементный состав и массовая концентрация аэрозольных частиц различных размерных фракций и их вариации с учетом синоптической обстановки, метеорологических условий, специфики локальных источников и типов исследуемых ландшафтов. Ключевые точки наблюдений располагались в степной засушливой зоне Ростовской области (ЦНС ИФА РАН, г. Цимлянск) и в песчаном массиве антропогенного происхождения на опустыненном участке Черноземельского района Республики Калмыкия. Выбор пунктов наблюдений был обусловлен географическим зональным подходом на основе типичных ландшафтов [17]. Более подробно климатические условия и особенности ландшафтов в точках наблюдений рассмотрены в других работах авторов [12-16].

Наблюдения проводились с помощью аэрозольного комплекса ИФА РАН, описанного, например, в [12, 14]. В настоящей работе уделяется внимание данным о массовой концентрации и элементном составе аэрозольных частиц различных размерных фракций, полученных по результатам анализа аэрозольных проб, отобранных с помощью 6-каскадных импакторов разработки НИФХИ им. Л.Я. Карпова [18]. Принцип действия импакторов основан на струйной сепарации. Импакторы снаряжались гидрофобными фильтрами с целью последующего определения массового фракционного и элементного состава пылевого аэрозоля в диапазонах размеров частиц: > 6.5 мкм, $4.0 - 6.5$ мкм, $2.5 - 4.0$ мкм, $1.5 - 2.5$ мкм, $0.5 - 1.5$ мкм и < 0.5 мкм.

Измерение метеорологических параметров осуществляли с помощью метеостанции Davis Vantage Pro 2 на высоте 2 м от подстилающей поверхности. Для оценки синоптической обстановки в периоды наблюдений привлекались онлайн-ресурсы. В частности, рассчитывались траектории переноса воздушных масс к точкам наблюдений с помощью модели HYSPLIT 4 [19] на сайте ARL NOAA (www.arl.noaa.gov).

Массовую концентрацию аэрозольных частиц различных размерных фракций определяли гравиметрическим способом, заключающимся в улавливании аэродисперсных примесей на фильтр из определенного объема воздуха, определения привеса фильтра и вычисления значения массовой концентрации (в $\text{мкг}/\text{м}^3$).

Анализ элементного состава аэрозольных частиц различных фракций проводили лабораторными аналитическими методами атомно-эмиссионной спектроскопии (ICP-AES), масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) и рентгенофлуоресцентного анализа (XFA) [20-22].

Синоптико-метеорологические условия наблюдений

Период полевых наблюдений в исследуемые годы (2018-2022), в основном, сопровождался типичными для этого сезона погодными условиями, характерными для аридной зоны Калмыкии и засушливой степной зоны Ростовской обл. В таблице 1 представлены некоторые статистические данные о метеорологических параметрах во время летних полевых кампаний в 2018-2022 гг.

Таблица 1

Средние за период полевой кампании (\pm СКО) среднесуточные значения метеорологических параметров: температуры (Т), относительной влажности воздуха (RH), скорости ветра (V) и атмосферного давления (P)

Период полевой кампании	$T \pm \text{СКО}$ (T_{\max}^*), °C	$RH \pm \text{СКО}$, %	$V \pm \text{СКО}$ (V_{\max}^*), м/с	$P \pm \text{СКО}$, мм.рт.ст.
ЦНС ИФА РАН				
25.07.-04.08.2018.	30,04 \pm 4,57 (36,88)	48,76 \pm 17,75	5,59 \pm 2,23 (10,95)	757,47 \pm 0,87
30.07.-09.08.2019.	20,16 \pm 3,11 (25,17)	52,60 \pm 11,96	3,71 \pm 1,84 (9,36)	747,07 \pm 1,59
03.08.-14.08.2020.	25,03 \pm 4,18 (31,34)	50,63 \pm 11,68	2,35 \pm 1,32 (5,89)	750,64 \pm 0,59
04.08.-15.08.2021.	26,92 \pm 3,36 (32,79)	50,84 \pm 9,55	2,19 \pm 1,13 (5,68)	750,24 \pm 0,73
03.08.-13.08.2022.	27,90 \pm 4,05 (34,24)	39,65 \pm 13,45	2,75 \pm 1,36 (6,18)	752,10 \pm 0,60
Калмыкия				
24.07.-30.07.2021.	26,40 \pm 4,67 (32,96)	40,22 \pm 15,82	3,36 \pm 1,88 (8,56)	763,83 \pm 0,67
20.07.-30.07.2022.	24,98 \pm 3,65 (30,87)	55,85 \pm 15,50	2,99 \pm 1,70 (8,44)	758,45 \pm 0,69

*Примечание. В таблице в скобках указаны максимальные значения температуры воздуха и скорости ветра, рассчитанные путем усреднения ежесуточных максимальных значений за период каждой полевой кампании, определенных из всего массива данных за каждые сутки.

Как видно из таблицы, многолетние температурно-влажностные характеристики условий наблюдений, в основном были схожи с условиями более ранних полевых кампаний [12-16].

На ЦНС ИФА РАН жаркий сезон 2018 года выделяется не только максимальными значениями температуры, но и самыми высокими за весь рассматриваемый период атмосферным давлением и скоростью ветра. Самый прохладный сезон 2019 г. характеризовался наибольшими значениями относительной влажности воздуха и самым низким атмосферным давлением. В сезоны 2021 и 2022 гг. регистрировались значения метеорологических параметров, сопоставимые с многолетними средними значениями [14, 15]. Причем средние значения среднесуточной температуры воздуха в Калмыкии в эти годы были ниже, чем в районе ЦНС ИФА РАН, что отличается от типичных многолетних данных [12, 15, 16]. Как правило, в Калмыкии в это время года днем наблюдаются более высокие значения температуры воздуха

и скорости ветра и более низкие значения относительной влажности воздуха. Зачастую во время полевого эксперимента в Калмыкии случаются неблагоприятные погодные явления (значительное усиление ветра, пыльные бури, кратковременные дожди и ливни), что обуславливает трудности при проведении непрерывного длительного отбора аэрозольных проб на импактор. Данный фактор повлиял на формирование многолетнего непрерывного ряда экспериментальных данных о фракционном составе аридного аэрозоля в Калмыкии, и в настоящей работе рассмотрены только результаты, полученные в 2021 и 2022 гг.

На рисунке 1 приведена роза ветров, характерная для времени полевых кампаний в Калмыкии и на ЦНС ИФА РАН в 2018-2022 г. Как видно, восточное направление ветра с северо-восточной и юго-восточной составляющими являлось доминирующим в эти годы. Исключение составляют сезон 2019 г. в окрестностях ЦНС ИФА РАН и сезон 2022 г. – в Калмыкии, сопровождавшиеся преимущественно наличием западного ветра.

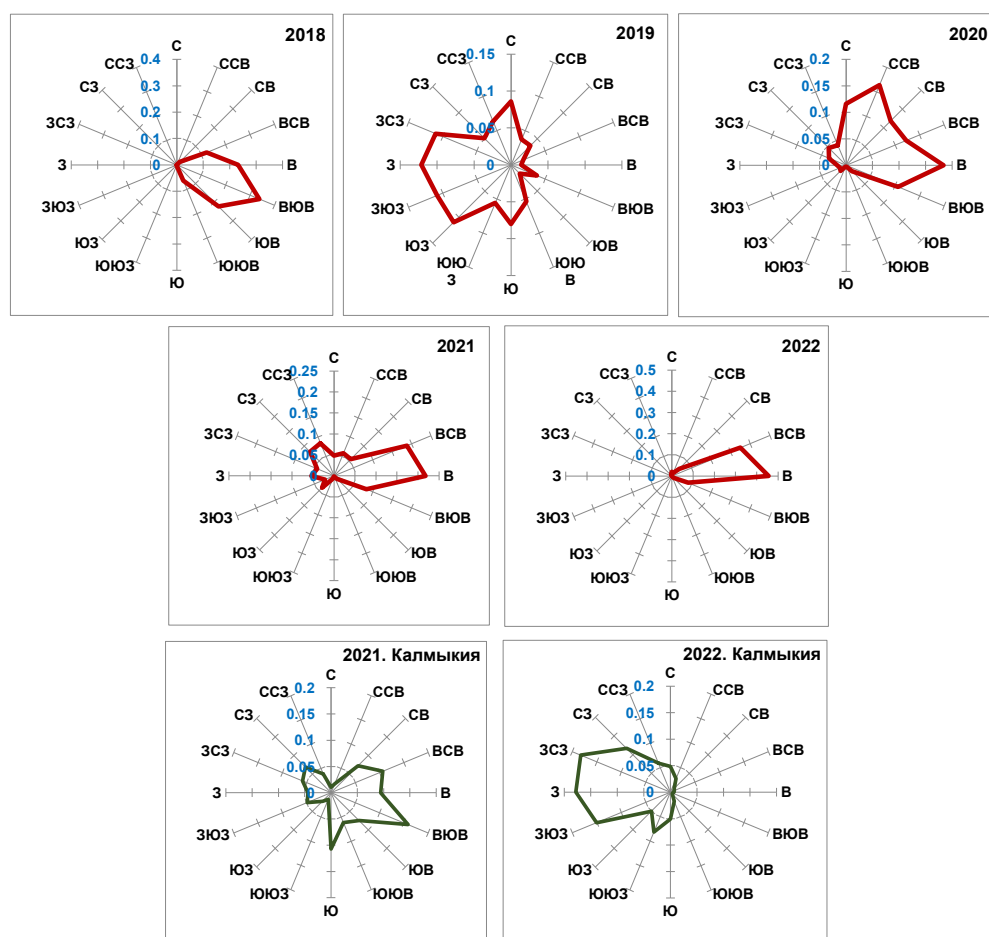
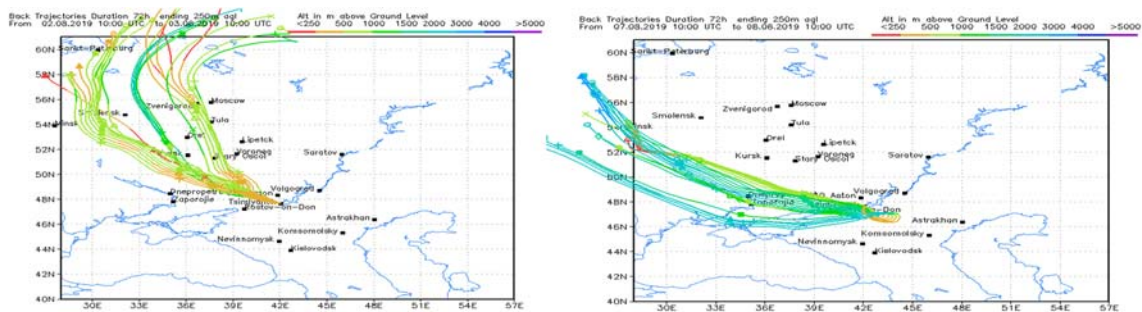


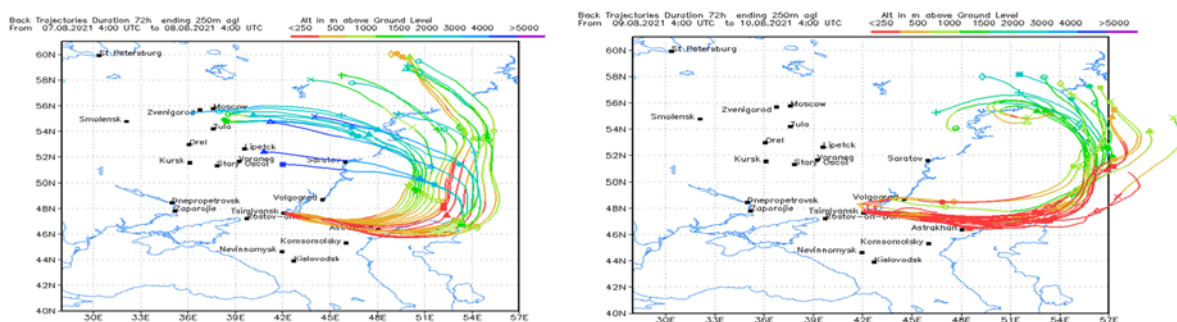
Рис. 1. Роза ветров, наблюдаемая в периоды полевых кампаний 2018-2022 гг. на ЦНС и 2021-2022 гг. в Калмыкии

Такие особенности ветрового режима подтверждаются результатами анализа дальнего переноса аэрозоля пункты наблюдений с помощью обратных траекторий движения воздушных масс, рассчитанных по модели HYSPLIT 4 [19] для каждого суток во время полевых кампаний (по восьми траекториям длительностью 72 часа, построенным через 3 часа на высоте 250 м). В качестве

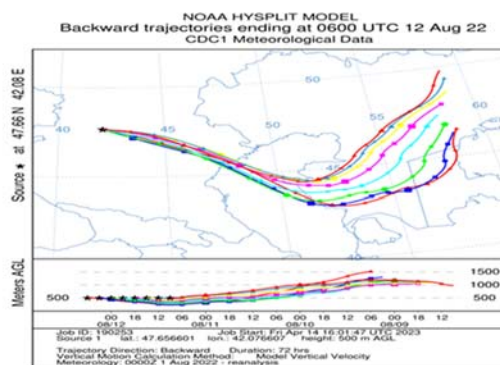
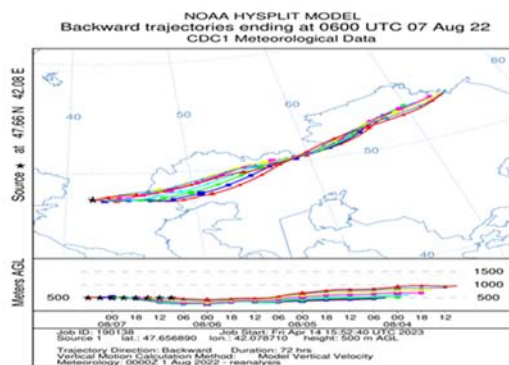
иллюстрации на рисунках 2 и 3 представлены наиболее типичные обратные траектории движения воздушных масс в исследуемый период на ЦНС ИФА РАН и в Калмыкии соответственно.



ЦНС ИФА РАН. 02.08.2019. (слева), 07.08.2019. (справа)



ЦНС ИФА РАН. 07.08.2021. (слева), 09.08.2021. (справа)

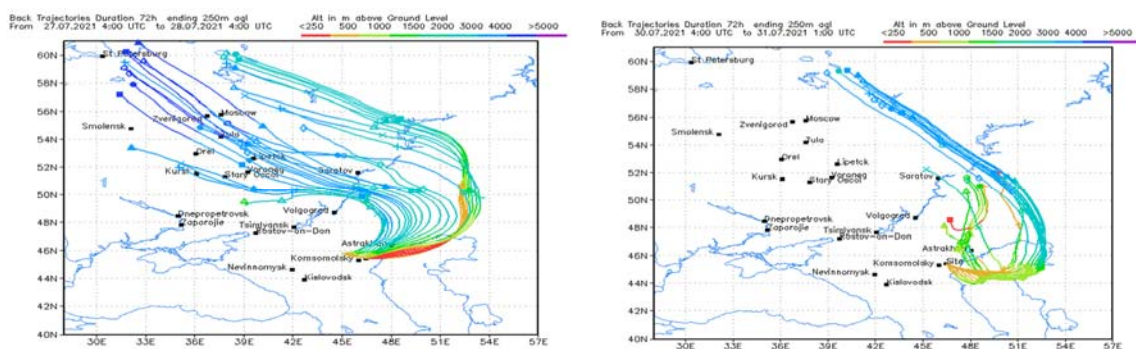


ЦНС ИФА РАН. 07.08.2022. (слева), 12.08.2022. (справа)

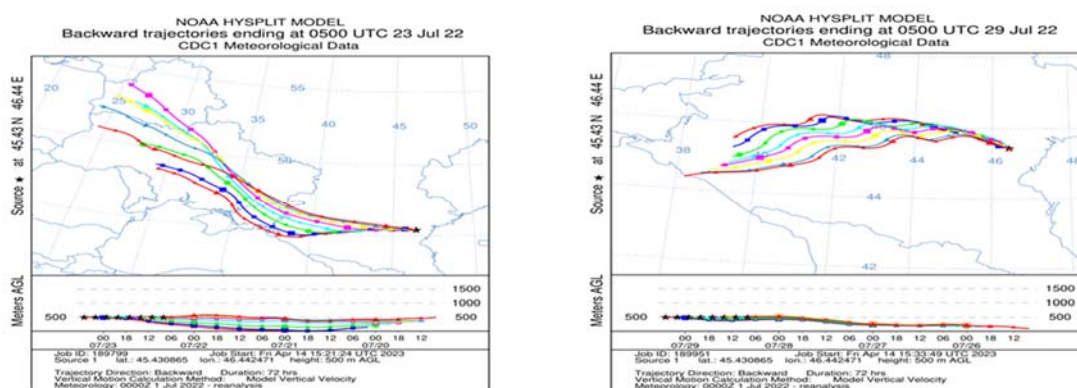
Рис. 2. Типичные обратные траектории движения воздушных масс в пункт наблюдений на ЦНС ИФА РАН, наблюдаемые в периоды полевых кампаний 2018-2022 гг.

Воздушные массы восточного направления, как правило, переносят атмосферные примеси из районов Северного Прикаспия, Нижней Волги и Заволжья, которые могут быть в значительной степени обогащены пылевой и солепылевой компонентами аэрозоля. Воздушные массы западного и северо-западного направления поступают в пункты наблюдений из промышленных районов и урбанизированных зон ЕТР, Украины, Польши. Они способны

приносить атмосферные примеси с повышенным содержанием тяжелых металлов и других элементов антропогенного происхождения.



Калмыкия. 27.07.2021. (слева), 30.07.2021. (справа)



Калмыкия. 23.07.2022. (слева), 29.07.2022. (справа)

Рис. 3. Типичные обратные траектории движения воздушных масс в пункт наблюдений в Калмыкии, наблюдаемые в периоды полевых кампаний 2021, 2022 гг.

Результаты наблюдений. Массовый и элементный состав приземного аэрозоля разных размерных фракций

На рисунке 4 представлены диаграммы распределения массы приземного аэрозоля в Калмыкии и окрестностях ЦНС ИФА РАН по различным размерным фракциям частиц. Как видно из рисунка, прослеживается сильная межгодовая изменчивость в распределении массы аэрозоля как в крупных, так и в мелких размерных фракциях. Условно аэрозольные частицы по составу и свойствам можно разделить на фракцию $PM_{2.5}$ и фракцию частиц с диаметром >2.5 мкм. На диаграммах показано, что в среднем вклад в общую массу приземного аэрозоля массы частиц каждой из этих двух фракций соизмерим. На ЦНС ИФА РАН наибольшие значения массовой концентрации крупных частиц (>2.5 мкм) наблюдались в 2018, 2020 и 2022 гг. Это обусловлено совокупностью факторов, разделить которые весьма затруднительно. В частности, увеличение массы крупных частиц обусловлено высокой скоростью ветра, поднимающего терригенные частицы с подстилающей поверхности, а также – переносом песка, пылевого и солепылевого аэрозоля из районов Прикаспия и опустыненных территорий.

Кроме того, локальные источники в окрестностях ЦНС ИФА РАН, связанные с сезонной обработкой сельскохозяйственных угодий (уборка урожая, распашка земель), также могут вносить вклад в массу крупных частиц.

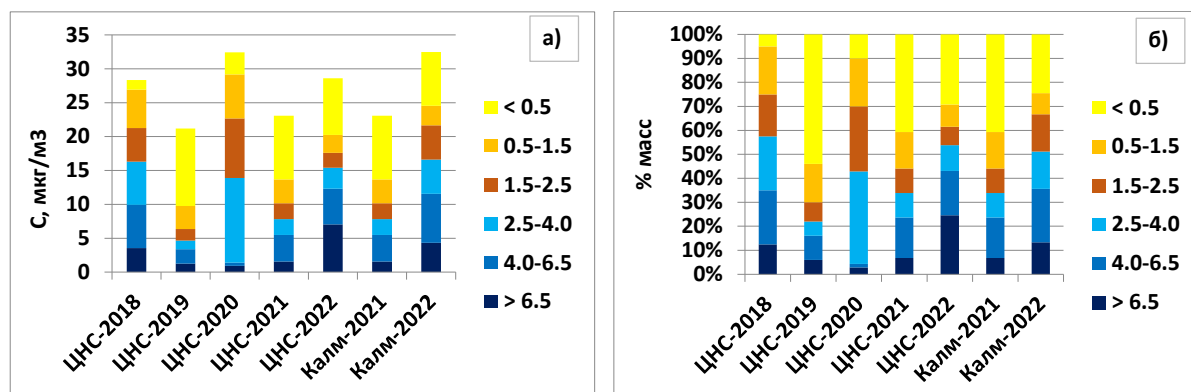


Рис. 4. Распределение массы приземного аэрозоля по размерам частиц за все годы наблюдений на ЦНС ИФА РАН и в Калмыкии: а – массовая концентрация ($\mu\text{г}/\text{м}^3$), б - процентное соотношение

Обращает на себя внимание схожесть массового фракционного состава приземного аэрозоля в Калмыкии и на ЦНС ИФА РАН летом 2021 г. Этому могли способствовать сходство температурного и ветрового режима и синоптических условий. Наибольший вклад мелких частиц в общую массу приземного аэрозоля в окрестностях ЦНС ИФА РАН зарегистрирован летом 2019 г. Этот сезон сильно отличался от остальных и характеризовался самыми низкими значениями температуры воздуха и атмосферного давления и самой высокой относительной влажностью воздуха. Кроме того, господство в это время воздушных масс западного направления является нетипичным за многолетний период наблюдений. За счет регионального и дальнего переноса из промышленных районов ЕТР, Украины и сопредельных государств в пункт наблюдений могли быть принесены частицы мелких фракций, содержащие элементы антропогенного происхождения.

Похожая синоптическая ситуация сложилась в Калмыкии летом 2022 г. Однако массовый фракционный состав приземного аэрозоля в Калмыкии отличается от состава приземного аэрозоля в окрестностях ЦНС ИФА РАН летом 2019 г. В Калмыкии более значительный вклад в общую массу аэрозоля вносят крупные фракции частиц, содержащие литофильные элементы. Это может быть обусловлено спецификой подстилающей поверхности в Калмыкии, представляющей собой опустыненные песчаные массивы на слабоволнистой низменной равнине северо-западной части Прикаспийской низменности.

Анализ межгодовых вариаций элементного состава приземного аэрозоля различных фракций в Калмыкии и на ЦНС ИФА РАН не выявил общих закономерностей и показал характер флуктуаций содержания элементов в различных размерных фракциях частиц, что можно видеть на рисунках 5 и 6. В целом состав терригенного аэрозоля, особенно его крупных фракций, отличается высоким содержанием минералов на основе силикатов и

алюмосиликатов, зачастую с примесью тяжелых металлов (V, Cr, Mn, Ni, Cu, Pb, Ti, Zn) и других рассеянных элементов.

Рисунок 6 показывает, что наибольшей межгодовой изменчивости подвержены элементы (Cu, Se, Zn, Hg, Sn, Sb, W, Mo, S, Bi), масса которых в основном сосредоточена в мелких фракциях частиц. Такие элементы являются активными атмосферными мигрантами на исследуемых территориях юга России. Остальные химические элементы находятся в рассеянном или фоновом состоянии. Это подтверждается и результатами ранее проведенных исследований.

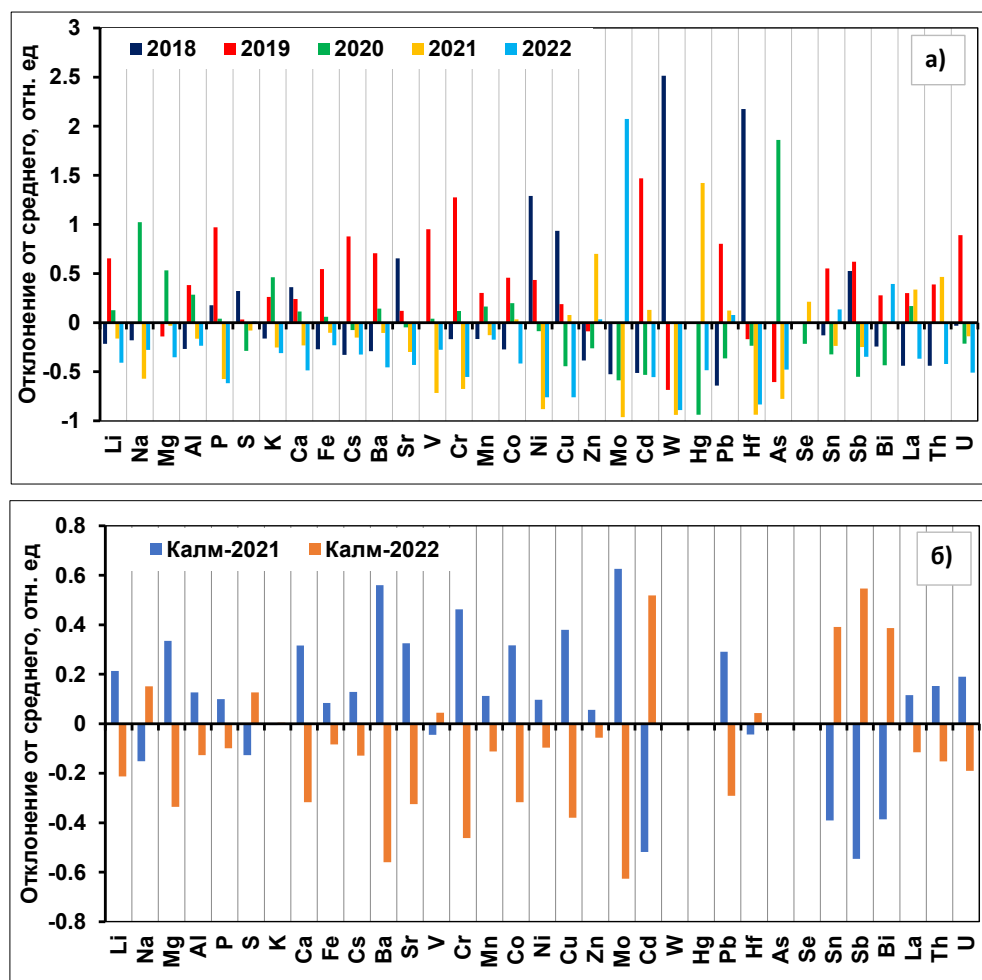


Рис. 5. Изменчивость элементного состава приземного аэрозоля по годам относительно среднего за годы наблюдений: а - на ЦНС (5 лет), б - в Калмыкии (2 года).

Выводы

1. Обнаружена значительная межгодовая изменчивость массового и элементного состава приземного аэрозоля в опустыненных и засушливых районах юга России за исследуемый период 2018-2022 гг. Однако явные закономерности такой изменчивости не выявлены.

2. Установлено, что вклад в общую массу приземного аэрозоля частиц мелких фракций (диаметром менее 2.5 мкм) соизмерим с вкладом частиц крупных фракций. Преимущественной массовой доли крупных минеральных частиц в фракционном составе аэрозоля, как можно было ожидать в случае с терригенным аэрозолем, не выявлено.

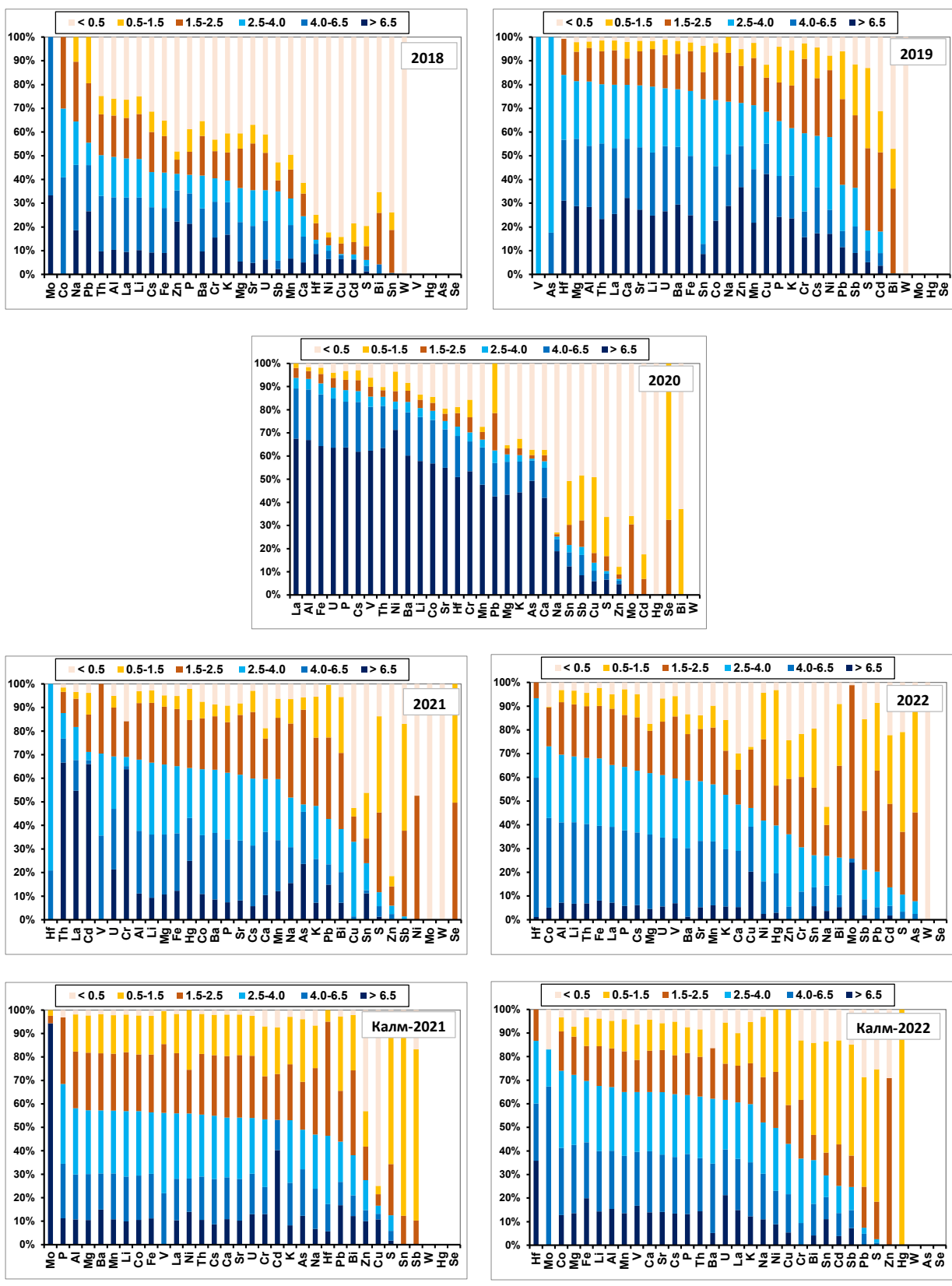


Рис. 6. Относительное распределение массы химических элементов по размерам аэрозольных частиц (%) в разные годы на ЦНС и в Калмыкии. Порядок элементов по оси абсцисс на разных диаграммах различный: элементы выстроены по мере возрастания их массы во фракции $PM_{2.5}$

3. По минералогическому составу приземный аэрозоль в Калмыкии и в окрестностях ЦНС ИФА РАН имеет большое сходство, что характерно для терригенного аэрозоля. Выявлено высокое содержание литофильных элементов со следами элементов антропогенного происхождения.

4. В мелких фракциях аэрозольных частиц сосредоточено более 50% массового содержания таких элементов, как Cu, Se, Zn, Hg, Sn, Sb, W, Mo, S. Крупные фракции составляют, в основном, литофильные элементы (Al, K, Na, Mg, Ca, Fe, Ba, Ti и др.), являющиеся индикаторами терригенного материала.

5. Изменчивость элементного состава приземного аэрозоля опустыненных и засушливых зон юга России и его распределение по размерным фракциям частиц определяются направлением переноса воздушных масс, синоптическими и метеорологическими условиями, а также спецификой локальных источников. Конкретный вклад каждого из данных факторов определить затруднительно. Однако установлено, что при западном и северо-западном переносе в составе мелкодисперсной фракции аэрозолей увеличивается содержание элементов антропогенного происхождения (Cd, Sn, Sb, Bi, S), а при восточном, юго-восточном и северо-восточном – литофильных элементов.

Авторы выражают признательность В.А. Лебедеву, Ю.И. Обвинцеву и А.А. Хапаеву за неоценимую помощь в проведении натурных наблюдений за составом приземного аэрозоля в Черноземельском районе Республики Калмыкия и на ЦНС ИФА РАН.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-17-00214-П).

Список литературы

1. Seinfeld J. H., Pandis S. N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. – N.Y.: Wiley, 2006. –1232 p.
2. Кондратьев К.Я, Ивлев Л.С., Крапивин В.Ф. Атмосферные аэрозоли: Свойства, процессы образования и воздействия. От нано- до глобальных масштабов. – СПб.: ВВМ, 2007. – 858 с.
3. Золотокрылин А.Н. Климат и опустынивание засушливых земель России // Изв. РАН. Сер. Географическая. – 2008. – № 2. – С. 27-35.
4. Asher E.C., Christensen J.N., Post A., et al. The transport of Asian dust and combustion aerosols and associated ozone to North America as observed from a mountaintop monitoring site in the California coast range // JGR: Atmosphere. – 2018. – V. 123. – No 10. – P. 4890-4909. <https://doi.org/10.1029/2017JD028075>.
5. Prospero J. Long-range transport of mineral dust in the global atmosphere: Impact of African dust on the environment of the southeastern United States // PNAS. – 1999. – V. 96. – No 7. – P. 3396-3403. doi: 10.1073/pnas.96.7.3396.
6. Conceição R., Silva H.G., Mirão S.J., et al. Saharan dust transport to Europe and its impact on photovoltaic performance: A case study of soiling in Portugal // Solar Energy – 2018. – V. 160. – P. 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.059>.
7. Guo J., Lou M., Miao Y., et al. Trans-Pacific transport of dust aerosols from East Asia: Insights gained from multiple observations and modeling // Environ Poll. – 2017. – V. 230. – P. 1030-1039. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.062>.
8. Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И., Шукуров А.Х., Жураев А.М. Микрофизические свойства пылевого аэрозоля аридной зоны // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 1995. – Т.38. – №7-8. – С. 5-9.

9. Nazarov B.I., Maslov V.A., and Abdullaev S.F. Optical and Microphysical Parameters of Arid Dust Aerosol // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. – 2010. – V.46. – No 4. – P. 468–474.
10. Горчаков Г.И., Копров Б.М., Шукуров К.А. Вихревой вынос аридного субмикронного аэрозоля // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. – 2003. – Т. 39. – № 5. – С. 596–608.
11. Назаров Б.И., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А. Изменение дисперсного состава аэрозоля в период пыльных бурь // *Доклады Академии наук Республики Таджикистан*. – 2007. – Т.50. – № 5. – С. 431–435.
12. Губанова Д.П., О.Г. Чхетиани, Т.М. Кудерина, М.А. Иорданский, Ю.И. Обвинцев, М.С. Артамонова. Экспериментальные исследования аэрозолей в атмосфере семиаридных ландшафтов Калмыкии. 1. Микрофизические параметры и массовая концентрация аэрозольных частиц // *Геофизические процессы и биосфера*. – 2018. – № 1. – С. 5–29.
13. Губанова Д.П., Кудерина Т.М., Чхетиани О.Г., Иорданский М.А., Обвинцев Ю.И., Артамонова М.С. Экспериментальные исследования аэрозолей в атмосфере семиаридных ландшафтов Калмыкии 2. Ландшафтно-геохимический состав аэрозольных частиц // *Геофизические процессы и биосфера*. – 2018. – Т. 17. – № 3. – С. 18–44.
14. Артамонова М.С., Губанова Д.П., Иорданский М.А., Лебедев В.А., Максименков Л.О., Минашкин В.М., Обвинцев Ю.И., Чхетиани О.Г. Вариации массовой концентрации и состава приземного аэрозоля степной зоны Юга России в летний период // *Геофизические процессы и биосфера*. – 2016. – Т. 15. – № 1. – С. 5–24.
15. Губанова Д. П., Чхетиани О. Г., Кудерина Т. М., Иорданский М. А., Максименков Л. О., Артамонова М. С. Многолетняя изменчивость состава приземного аэрозоля в опустыненных и засушливых зонах юга России // *Оптика атмосферы и океана*. – 2022. – Т. 35. – № 06. – С. 456–464. DOI: 10.15372/AOO20220604.
16. Chkhetiani O.G., Vazaeva N.V., Chernokulsky A.V., Shukurov K.A., Gubanova D.P., Artamonova M.S., Maksimenkov L.O., Kozlov F.A., Kuderina T.M. Analysis of Mineral Aerosol in the Surface Layer over the Caspian Lowland Desert by the Data of 12 Summer Field Campaigns in 2002–2020 // *Atmosphere*. – 2021. – 12. – 985. <https://doi.org/10.3390/atmos12080985>
17. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. – М.: Астрей-2000, 1999. – 610 с.
18. Самсонов В.Т. Обеспыливание воздуха в промышленности. Методы и средства. – М.: Инфра-М, 2016. – 234 с. (С. 161–163).
19. Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J.B., Cohen M.D., and Ngan F. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* – 2015. – V. 96. – P. 2059–2077. <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>.
20. Карандашев В.К., Туранов А.Н., Орлова Т.А., Лежнев А.Е., Носенко С.В., Золотарева Н.И., Москвина И.Р. Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в элементном анализе объектов окружающей среды // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. – 2007. – Т. 73. – № 1. – С. 12–22.
21. Кудряшов В.И. Анализ элементного состава атмосферных аэрозолей физическими методами // *Межвузовский сб. Проблемы физики атмосферы*. Вып. 20. Физика и химия атмосферных аэрозолей. – СПб.: Изд-во СПбГУ. 1997. С. 97–130.
22. Эрхардт Х. Рентгенофлуоресцентный анализ. Применение в заводских лабораториях. – М.: Металлургия. 1985. – 256 с.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ, СВЯЗАННЫХ
С ОБРАЗОВАНИЕМ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ ПРИ
ОТКРЫТОМ МЕТОДЕ ДОБЫЧИ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ**

Н.К. Гудкова

n.k.gud@yandex.ru

Филиал института природно-технических систем в г. Сочи, Россия, г. Сочи

***Аннотация.** В статье описаны экологические проблемы при открытой добыче нерудных полезных ископаемых и идентифицированы основные экологические риски, связанные с образованием тонкодисперсных частиц и взвешенных веществ, являющихся отходами при открытом способе добычи минеральных ресурсов на Черноморском побережье Краснодарского края. Неполная утилизация данных отходов с участков минеральных разработок ведет к аккумуляции мелкодисперсных фракций на рабочих площадках. Дана краткая характеристика карьеров Черноморского побережья. Указано несколько путей минимизации экологических рисков образования тонкодисперсных отходов при открытом способе добычи минеральных ресурсов на Черноморском побережье Краснодарского края.*

***Ключевые слова.** Добыча минеральных ресурсов, карьеры, нерудные полезные ископаемые, отходы, экологические проблемы, экологические риски, минимизация рисков, вторичное использование.*

Введение. Черноморское побережье Краснодарского края является основным рекреационно-курортным регионом России, включающим города Большой Сочи, Туапсе, Геленджик, Новороссийск и Анапа. На Черноморском побережье Краснодарского края функционируют несколько открытых карьеров по добыче строительного материала, которые часто расположены в долинах рек, впадающих в Черное море, что может привести к их загрязнению мелкодисперсными отходами производства. Карьеры, даже после прекращения их деятельности, в течение продолжительного времени могут представлять собой угрозу здоровью населения и окружающей среде. Кроме того, отработанные карьеры иногда используются для складирования строительных и коммунальных отходов, что обуславливает дополнительные экологические риски.

Результаты исследования и их обсуждение. На Черноморском побережье находится целый ряд карьеров по добыче минеральных ресурсов, используемых для строительных целей. Ниже приводится краткая характеристика действующих и отработанных карьеров, расположенных на Черноморском побережье Краснодарского края [1, с. 4].

На территории города-курорта Бол. Сочи расположено три карьера по добыче известняков, которые активно эксплуатировались в период предолимпийского строительства, но в настоящее время практически не используются. Известняк является осадочной горной породой органического

происхождения. Химическая формула известняка CaCO_3 . В карьерах слои известняк часто перемежаются прослоями доломитизированного известняка или доломита. Это также осадочная карбонатная горная порода, которая на 95 % состоит из минерала доломита и примесей. Химическая формула доломита $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

Ахштырский карьер по добыче известняка находится рядом с селом Ахштырь Адлерского района Сочи, расположенной на левом склоне долины реки Мзымта, впадающей в Черное море. Карьер обеспечивал строительными материалами строительство совмещенной дороги из Адлера в Красную поляну в период реализации олимпийского проекта с 2009 по 2014 гг. В настоящее время карьер закрыт. Следует особо отметить, что данный карьер находится в пределах Ахштырского карстового массива, который является зоной питания Мзымтенского месторождений подземных вод. В 2013 г. карьер стал использоваться для складирования строительных и твердых коммунальных отходов. Складирование отходов в карьере, для которого характерно активное протекание карстовых процессов, может нанести непоправимый вред месторождениям подземных вод в долине р. Мзымты. В результате нерационального использования отработанного Ахштырского карьера возрастают риски загрязнения почв, грунтов, поверхностных и подземных вод.

Каменский карьер расположен в пределах Каменского месторождения известняков, рядом с селом Галицино Адлерского района Бол.Сочи, на правом склоне долины реки Мзымта, на границе с территорией Сочинского национального парка. Это карьер по добыче открытым способом известняка для строительных нужд большого курортного региона Сочи. Каменский карьер активно обеспечивал строительными материалами многие олимпийские объекты в период реализации олимпийского проекта в Сочи в период с 2008 по 2014 гг. В настоящее время карьер приостановил работу вследствие судебных исков за нарушение требований в области охраны окружающей среды и земельного законодательства. Продолжение деятельности по добыче известняка на Каменском месторождении может привести к активизации осыпных и оползневых процессов на склонах карьера, ухудшению свойств прилегающих земельных участков Сочинского национального парка, порче почв, загрязнению и истощению недр.

Дагомысский карьер расположен в районе пос. Дагомыс Лазаревского р-на г.Бол. Сочи. Известняковый или доломитовый щебень Дагомысского карьера имеет отличную ударостойкость и высокую устройчивость к перепадам температур. Он обладает низким водонасыщением и водопоглощением. Но в настоящее время карьер практически не эксплуатируется.

Туапсинский карьер расположен в пределах Кривенковского месторождения известняков, которое находится на склонах горы Невеб в Туапсинском районе. В Туапсинском карьере осуществляется производство щебня известняка различных фракций, а также бутового и негабаритного камня.

В границах Новороссийского района Краснодарского края находится множество карьеров по добыче мергеля. Это осадочные породы верхнемелового периода. Большая часть мергелей представляет собой смесь глин с доломитом или известняком. Известковый мергель – главное сырье цементной промышленности. Встречаются мергели, большая часть состава которых приходится на глины или силикаты. Глинистые мергели содержат до трех четвертей алюмосиликатов. В кремнистых мергелях до 98% объема приходится на SiO₂. Мергель в основном используется при производстве цемента. Качество новороссийского мергеля позволяет производить цемент высшей мировой пробы. В районе города Новороссийск существует несколько карьеров по добыче мергеля: Шесхарис, Мефодиевский, Мирный, карьер бывшего цементного завода и др.

Шесхаринский карьер. На нем разрабатывается наиболее крупное месторождение мергелей. По качеству щебень из пород этого месторождения отвечает ГОСТ 8267-93. При производстве работ на дробильно-сортировочном узле мергель дробится на щебень с выходом двух фракций 20-40 мм и 5-20 мм. Количество второй фракции составляет 30% от общего количества щебня получаемого из горной массы.

На всех вышеуказанных карьерах образуются отходы, в том числе тонкодисперсные. Химический состав известняковых отходов определяется главным образом содержанием кальция CaO (56%) и CO₂ (44%). В ряде случаев материал включает в себя примеси глинистых минералов, например, доломитизированный известняк содержит от 4 до 17% MgO, мергелистый известняк - от 6 до 21% SiO₂+R₂O₃.

На большинстве карьеров и участках открытой добычи накапливаются мелкодисперсные отходы, в которых в основном частицы не 75 – 100 микрон: глины – менее 2 микрон, илы – от 2 до 60 микрон, мелкий песок – более 60 микрон [2, с. 5]. Эти материалы образуются в процессе дробления, грохочения и других видов деятельности при добыче и переработке добытых открытым способом неметаллических полезных ископаемых. Данные отходы обычно собираются и направляются в места хранения или в пруды осаждения. Иловые материалы в конечном итоге оседают на дно из взвешенного состояния, в котором они были перенесены в водоем или остаются в полужидком состоянии на длительный период времени. Ниже рассмотрены основные экологические риски, связанные с образованием тонкодисперсных отходов при разработке карьеров.

Идентификация экологических рисков, связанных с образованием тонкодисперсных отходов при разработке карьеров. Добывающие компании стараются минимизировать накопление отходов, однако на многих участках добычи наблюдается их избыток, что это обуславливает следующие экологические риски.

Деградация ландшафта. Отвалы карьера и хранилища отработанных тонко-дисперсных материалов могут вызывать значительные нарушения ландшафта, главным образом, когда отходы сбрасываются за пределы площадки или выше горизонта, особенно, когда они не облагорожены и не

озеленены. В некоторых случаях возможны активизация опасных геологических процессов, таких как оползни, сели, эрозия [3, с. 6].

Загрязнение воды. Сток с отвалов карьерных отходов или хранилищ карьерных отработанных тонкодисперсных материалов может вызывать эрозию и загрязнять местные водотоки. Взвешенные вещества (и кислотный сток) может наносить ущерб пресноводным экосистемам и оказывать негативное воздействие на качество путевой воды, особенно для районов Большого Сочи, где широко развит карст. Отходы также создают проблемы, если их сбрасывать в долины рек, где они усиливают риски подтопления и затопления. Осадок ила и глины также может вымываться и вытесняться из прудов-отстойников во время сильных осадков или выпадения смерчей явлений.

Перенос пыли от мест складирования отходов в поверхностные водоемы может вызвать загрязнение. Воздействие в основном относится к присутствию взвешенных веществ в дополнение к тем, которые образуются от водной эрозии. Взвешенные вещества в основном инертны, но иногда в этом могут быть исключения. Наиболее распространены случаи, когда изменяется рН воды. Однако, даже инертные взвешенные вещества могут оказывать значительное воздействие на водоемы и сообщества животных и растений, обитающих в них. Присутствие взвешенных веществ способно оказывать негативное влияние на водоем далеко за пределами участка добычи. Оно может серьезно ограничить использование водных ресурсов и увеличить стоимость воды для других пользователей и целей, например, питьевое водоснабжение, ирригация, рыболовство и рекреация.

Территории отвалов отходов являются основным потенциальным источником твердых взвешенных веществ в стоках, которые, в конечном счете, попадают в поверхностные воды рек и Черного моря.

Загрязнение воздуха. Пыль может оказывать значительное воздействие на качество воздуха. В основном, воздействие снижается по мере удаления от источника. Наиболее высокие риски характерны для замкнутых пространств, например, в производственных цехах, или в непосредственной близости от основного источника загрязнения. Воздействие, вызванное деградацией качества атмосферного воздуха, может включать в себя и проблемы со здоровьем людей. Осаждение пыли создают проблемы для окружающих поселений. Места размещения отходов - это основные потенциальные источники пыли в процессе производственной деятельности. Такое воздействие может выйти за пределы производственных площадей, если не предприняты шаги для долговременного решения проблемы. Пересохшие пруды-отстойники также служат источником пыли, если они не покрыты почвой ии другими материалами.

Деградация почв. Риски от воздействия пыли на качество почв относительно ограничено. Но присутствие химически активных фрагментов минералов в пыли, таких как сульфиды, иногда присутствующие в карьерах, разрабатывающих горные породы, могут изменить химизм почвы и, как следствие, среду развития естественной фауны и флоры.

Деградация фауны и флоры. Покрытие растительности пылью и загрязнение почв может вызывать сокращение урожайности и ценности сельскохозяйственной продукции на прилегающих к карьерам территориях. Пыль и сухой ил могут оказывать физическое воздействие на растения. Химическое воздействие от пыли и ила является более важным, чем физическое. Пыль и ил, размещенные на земле, производят изменения химического состава почвы, системы взаимодействия и структуру наземных биоценозов. Тонкодисперсная взвесь в водоемах пагубно сказывается на нерестилищах рыб и оказывает воздействие на беспозвоночных, обитающих в донных осадках водотока. Взвешенные вещества также снижают проникновение солнечного света. Заиление бентосной флоры и изменения морфологии и характеристик дна могут происходить в тех случаях, когда в водоем попадают оседающие взвешенные вещества, вызывая повреждение растительных и животных сообществ. Воздействие твердых взвешенных веществ может привести к рискам гибели рыб, снижению биоразнообразия и нарушению пищевой цепи [4, с. 5].

Местные поселения потенциально могут страдать от пыли на расстоянии до 1 км от ее источника. Визуальные и физические воздействия, например, пылевые факелы, ухудшение видимости, покрытие и загрязнение поверхностей, приводят к раздражению и снижению качества жизни населения и тех, кто прибыл на Черноморское побережье для отдыха. В некоторых случаях воздействие может усугубляться наличием в пыли химически активных фрагментов минералов, например, известняка и сульфидов, иногда присутствующих в некоторых твердых породах.

Другой проблемой является складирование твердых коммунальных и строительных отходов в отработанных карьерах. Из-за дороговизны и неудобства вывоза отходов из г. Сочи, значительная часть отходов сваливается в лесных массивах, оврагах и карьерах в окрестностях города, в частности на территории Сочинского национального парка [5, с. 7].

Особую опасность представляют карьеры, расположенные на берегах водных объектов, особенно в непосредственной близости к водозаборам питьевой воды, расположенным в долинах рек. Высокие риски характерны при складировании отходов вблизи источников питьевого водоснабжения, располагающихся в долинах рек, как, например, отработанный карьер по добыче известняков рядом с селом Ахштырь, расположенный в долине реки Мзымта, впадающей в Черное море на границе Адлерского района г. Сочи и федеральной территории Сириус. Карьер находится на Ахштырском карстовом массиве, поддерживающем запасы подземных вод Мзымты, которые служат источником водоснабжения для Сириуса и Большого Сочи. В результате интенсивного использования Ахштырского карьера при олимпийском строительстве, а затем для складирования отходов, возросли риски загрязнения почвы, поверхностных и подземных вод прилегающей территории. Местное население уже имеет проблемы с получением качественной питьевой воды.

Пути минимизации рисков при образовании тонкодисперсных отходов карьеров включает в себя не только строгое соблюдение природоохранных норм, но и различные варианты использования данных отходов в сельском хозяйстве или при строительстве. Например, рекультивация участка или создание поверхностного или промежуточного слоя полигона, использование данных отходов для заполнения пустот при земляных работах, в траншеях, подземных пещерах, основании дорог. Отходы добычи минералов также могут применяться для донных покрытий прудов, благоустройства сада и др. Мелкодисперсные примеси можно использовать в качестве синтетического композита, а облегченные мелкодисперсные отходы для изготовления плитки и искусственного камня. Также возможно применение мелкодисперсного материала, как удобрения или субстрата для био-культуры при биологической очистке. Для карьеров, расположенных в долинах рек на Черноморском побережье, где продолжается добыча строительных материалов, необходимо использовать только наилучшие доступные технологии.

Список литературы

1. Туманова А.Л., Гудкова Н.К., Горбунова Т.Л., Пачулия Е.Р. Возможности и предпосылки утилизации отходов карьеров на Черноморском побережье с использованием биологических методов // Успехи современного естествознания. 2019. № 10. С. 120-125.
2. Jarvis D., Walton G. Restoration of aggregate quarry lagoons for biodiversity / D. Jarvis, G. Walton // UK: DEFRA Aggregate Levy Sustainability. 2010. [electronic resource] Retrieved davidjarvis.biz/.../14-Restoration-of-aggregate-quarry-lagoons-for-biodiversity-2010. (Date of downloading 20.06.2018) 49 p.
3. Гудкова Н.К. Исследования факторов риска и возможных последствий активизации опасных природных процессов в течение инвестиционных проектов в районе Сочи / Н.К. Гудкова // Сборник трудов СНИЦ РАН, Сочи, 2015. С. 118 - 127.
4. Annandale J.M., Gorbunova T.L., Gudkova N.K. PROCESS WATER AND WASTE MANAGEMENT IN OPEN CAST QUARRIES AND THE POSSIBILITY OF FINE SEDIMENTS RATIONAL USE // Sustainable Development of Mountain Territories. 2021. Т. 13. № 1 (47). С. 7-15.
5. Гудкова Н.К. Олимпийский проект в Сочи: экологические аспекты // Академия архитектуры и строительства. №2, 2015, С. 91-94.

ОЦЕНКА РИСКА НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.П. Гусев

andi_gusev@mail.ru

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
Республика Беларусь, г. Гомель*

***Аннотация.** Работа посвящена разработки системы индикаторов для оценки риска неблагоприятных ландшафтно-экологических процессов на территории Беларуси. Рассмотрены индикаторы риска пожаров, дефляции, загрязнения атмосферы, радиоактивного загрязнения, заболачивания и подтопления, геодинамической активности в зонах тектонических разломов. Установлено, что в пределах территории региона преобладают ландшафты с очень низким и низким риском неблагоприятных процессов (соответственно 24,9 и 52,0%), на ландшафты со средним риском приходится 21,4%, а на ландшафты с высоким риском – только 1,7% площади.*

***Ключевые слова.** Ландшафты, риск, индикатор, неблагоприятные ландшафтно-экологические процессы, Беларусь.*

Под неблагоприятными ландшафтно-экологическими процессами нами понимаются процессы, направленные на ухудшение экологического состояния геосистемы и адекватные ее пространственно-временному масштабу. Данные процессы оцениваются по площадным характеристикам отдельных процессов – загрязнения, пожары, эрозии, засоления [1, 2]. Комплексная оценка всего спектра этих процессов служит показателем дигрессивной динамики геосистем в пределах какой-либо территории.

Спектр неблагоприятных процессов различается в зависимости от уровня иерархии геосистемы и от региональных особенностей [3]. На локальном уровне в пределах района исследований основными неблагоприятными процессами, вызывающими дигрессивную динамику геосистем, являются ветровая и водная эрозия, подтопление и заболачивание, дигрессия лесных геосистем под влиянием рекреации, пожаров, рубок, загрязнения атмосферы, деградация растительности, обусловленная загрязнением почв и вод, а также вторжения чужеродных видов растений. На региональном уровне наибольшие территории охвачены такими процессами, как пожары, эрозия, заболачивание и подтопление, радиоактивное загрязнение, геодинамическая активность в зонах тектонических разломов.

Целью работы является разработка и применения системы индикаторов риска неблагоприятных ландшафтно-экологических процессов на примере юго-востока Беларуси. Задачи исследований: отбор индикаторов риска неблагоприятных ландшафтно-экологических процессов; анализ данных дистанционного зондирования Земли и тематических карт региона; оценка риска неблагоприятных ландшафтно-экологических процессов в геосистемах

Беларуси. Район исследований – юго-восток Беларуси, представляющий собой восточную часть Полесской ландшафтной провинции.

Оценка неблагоприятных ландшафтно-экологических процессов основана на рискологическом подходе [4, 5]. Риск рассматривается как мера опасности неблагоприятных ландшафтно-экологических процессов. В качестве риск-индикаторов (т.е. показателей, позволяющих оценить и прогнозировать риск) выступают характеристики процессов, соответствующих масштабу оцениваемых геосистем (занимающих не менее 1% площади). В таблице 1 приведены индикаторы риска неблагоприятных ландшафтно-экологических процессов регионального уровня. Операционная территориальная единица – выдел рода природного ландшафта.

Привязка топографических и тематических карт, их оцифровка, обработка и дешифрирование космических снимков, операции с растрами выполнялись в геоинформационной системе QGIS 3.26.

Таблица 1

Индикаторы риска неблагоприятных ландшафтно-экологических процессов
(региональный уровень)

Процесс	Индикатор	Риск			
		Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий
Пожары	Удельная площадь гарей, % за 10 лет (по MOD64A)	<0,5	0,5-1,0	1,0-2,5	>2,5
Дефляция	Удельная площадь сильнодефляционно-опасных почв, %	<1,0	1,0-5,0	5,0-25,0	>25,0
Загрязнение атмосферы	Превышения фоновых содержаний SO ₂ и NO ₂ (по TROPOMI Sentinel-5P)	<1,1	1,1-1,5	1,5-2,5	>2,5
Радиоактивное загрязнение	Удельная площадь загрязнения по цезию-137 (>15 Ки/км ²), %	<1,0	1,0-5,0	5,0-25,0	>25,0
Заболачивание и подтопление	Удельная площадь болот и заболоченных земель, %	<1,0	1,0-5,0	5,0-25,0	>25,0
Современная геодинамическая активность	Плотность космолинеаментов, км/км ²	<4,80	4,80-7,60	7,60-10,30	>10,30

Пожары – это наиболее важный экологический процесс, влияющий на состояние и динамику растительного покрова, лесные ресурсы, биологические разнообразие. Риск пожаров оценивался по удельной площади гарей, образовавшихся за 10 лет (съёмка сенсора MODIS спутника Terra продукт MCD64A – растр гарей с пространственным разрешением 250 м).

Ветровая эрозия (дефляция) – один из характерных для полесских ландшафтов геологических процессов. Распространение дефляции

определяется как природными, так и антропогенными факторами. Из природных факторов существенное значение имеет преобладание песков среди поверхностных отложений региона. Риск ветровой эрозии определялся по тематическим картам (почвенной, почвенно-эрозионной и растительности), на основе которых выявлялись ареалы сильноэродированных почв и сильнодефляционно-опасных почв (осушенные торфяно-болотные, автоморфные рыхлопесчаные).

Оценка риска загрязнения атмосферы проводилась по данным съемки спутника Sentinel-5P с сенсором TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument), который измеряет концентрации (общее содержание в вертикальном столбе тропосферы) озона, метана, формальдегида, угарного газа, диоксида серы, диоксида азота. Содержание диоксида серы, угарного газа, диоксида азота измеряются и предоставляются в единицах моль/м². Пространственное разрешение съемки Sentinel-5P составляет 5,5x3,5 км (7x5,5 км – с августа 2019 г.).

Удельные площади территорий, подверженных радиоактивному загрязнению, определялись по карте «Радиационная обстановка на территории Гомельской области» (масштаб 1:320000, 2020 г.). Для оценки заболоченных и подтопленных земель были использованы материалы OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org/>), публичной земельно-информационной карты Беларуси (<http://gismap.by>), карты растительности Беларуси (масштаб 1:600000).

Согласно А.В. Матвееву [6] важное значения на экологическое состояние геосистем может оказывать современная геодинамическая активность, проявляемая в зонах тектонических разломов земной коры. Для оценки риска геодинамических процессов был использован подход, предложенный И.С. Копыловым [7]. В качестве индикатора риска геодинамической активности использована плотность космолинеаментов, определяемых по космогенной карте Беларуси масштаба 1:500000 [8].

Рассмотрим выявленные в ходе исследований особенности неблагоприятных ландшафтно-экологических процессов, распространенных в регионе. Оценка риска пожаров показывает, что наиболее чувствительными к данному фактору являются пойменные ландшафты, что обусловлено взаимодействием антропогенных и климатических факторов, включающих сложившуюся практику весенних палов травянистой растительности; менее строгие (по сравнению с лесным фондом) противопожарные меры и контроль; уменьшение увлажнения почв в связи быстрым таянием и небольшими объемами снегового покрова; пересыхание пойменных водоемов и болот по причине снижением водности рек и уровней грунтовых вод. Наибольший риск ветровой эрозии характерен для осушенных торфяно-болотных и автоморфных рыхлопесчаных почв. Участки с высоким и средним уровнем риска дефляции приурочены к аллювиальным террасированным, озерно-болотным и озерно-аллювиальным ландшафтам, реже к водно-ледниковым ландшафтам.

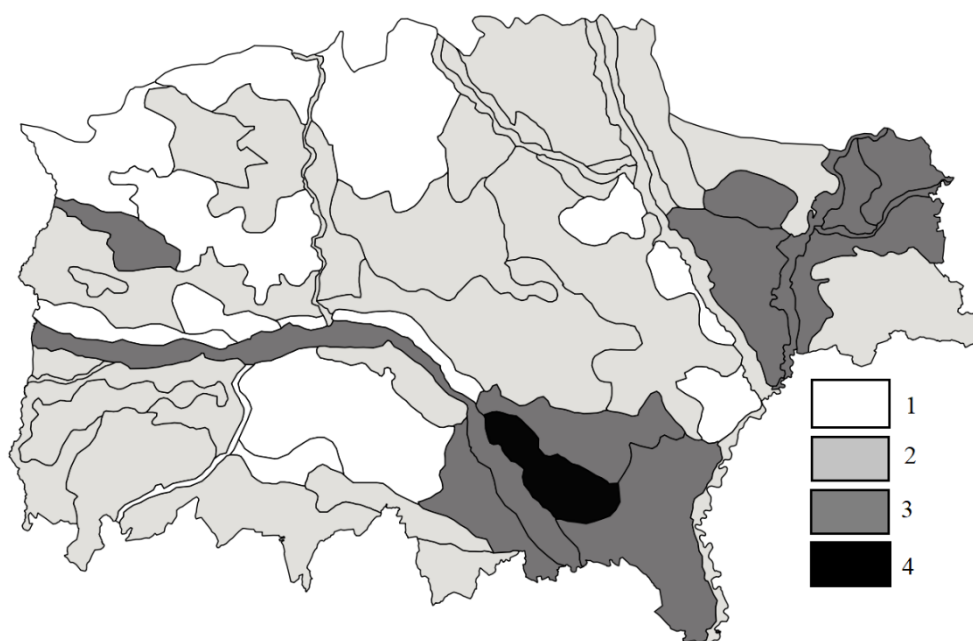
Содержания поллютантов, определяемые по данным дистанционной съемки TROPOMI, превышающие фоновые значения в 1,1-1,2 раза зафиксированы в урбогенных геосистемах (город Гомель и его окрестности). Западнее реки Днепр превышение фона зафиксировано только в одном ландшафтном выделе, в котором расположен город Светлогорск (центр химической промышленности). В целом, низкий риск отмечается на 19,7% территории, очень низкий риск – на 80,3% территории.

Радиоактивное загрязнение в регионе обусловлено аварией на Чернобыльской АЭС. Зоны загрязнения свыше по цезию-137 ($>15 \text{ Ки/км}^2$) находятся в южной и восточной частях региона. Радиоактивное загрязнение в основном затрагивает аллювиальные террасированные, водно-ледниковые, моренно-зандровые и пойменные (поймы Днепра, Припяти, Сожа) ландшафты.

Заболачивание – широко распространенный в полесских ландшафтах процесс. Однако, в связи с осушительной мелиорацией площади болот и заболоченных земель снизились в 10-20 раз в зависимости от рода ландшафта. Наибольшая удельная площадь болот в настоящее время характерна для озерно-болотных ландшафтов, в пределах которых находятся особо охраняемые природные территории (национальный парк «Припятский», ботанические и ландшафтные заказники).

Оценки риска геодинамической активности показала, что средняя плотность космолинементов на территории региона составляет $2,2 \text{ км/км}^2$. 96,6% территории характеризуется очень низким риском. Низкий и средний уровень риска отмечен в 3 выделах аллювиальных террасированных, 3 выделах пойменных, 1 выделе озерно-болотных ландшафтов (соответственно 3,4% территории). Наибольшее значение плотности космолинементов обнаружено в пойменном ландшафте реки Птичь и озерно-болотном ландшафте, заключенном между Припятью, Ствигой и Убортью.

Комплексная оценка по всем указанным процессами приведены на рис. 1. Состав преобладающих негативных процессов и их риск в значительной степени связан как с особенностями хозяйственного использования, так и с особенностями природной подсистемы. При этом в некоторых случаях устойчивость природной подсистемы к антропогенному воздействию играет ведущую роль. Так, в холмисто-моренно-эрозионном и вторично-моренной ландшафтах (наиболее устойчивые к антропогенному воздействию) риск неблагоприятных процессов минимален, несмотря на их интенсивное хозяйственное освоение. В аллювиальном террасированном и озерно-болотном ландшафтах (наименее устойчивые к антропогенному воздействию) риск неблагоприятных процессов максимален, что обусловлено провоцированием их антропогенными факторами.



1 – очень низкий; 2 – низкий; 3 – средний; 4 – высокий

Рис. 1. Риск неблагоприятных ландшафтно-экологических процессов

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № X23КИ-022).

Список литературы

1. Гусев А.П. Индикаторы ландшафтно-экологических тенденций (на примере Восточной части Белорусского Полесья) // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. 2018. №2. С.28–33.
2. Гусев А.П. Дистанционные индикаторы ландшафтно-экологических тенденций (на примере юго-востока Беларуси) // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2019. Том 5. (71). №3. С.127–135.
3. Виноградов Б.В. Основы ландшафтной экологии. М.: ГЕОС, 1998. 418 с.
4. Мячина К.В. Анализ региональных экологических рисков // География и природные ресурсы. 2012. №2. С. 129-135.
5. Дмитриев В.Г. Оценка экологического риска. Аналитический обзор публикаций // Арктика и Север. 2014. №14. С. 126-147.
6. Матвеев А.В. Районирование территории Беларуси по возможным последствиям проявления природных и природно-антропогенных опасностей литосферного класса // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2018. Т.62. №3. С. 329–334.
7. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявления в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. №4. С. 69–74.
8. Космотектоническая карта Беларуси масштаба 1:500000: создание и результаты / Р.Г. Гарецкий, Г.И. Каратаев, Р.Е. Айзберг, А.К. Карабанов, А.А. Святогоров // Літасфера. 2013. №1 (38). С. 3–29.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ ГОРОДА СТАВРОПОЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Т.В. Дегтярева, А.В. Скрипчинский, А.А. Лиховид

dtb.70@mail.ru; ron1975@list.ru; Likhovid@mail.ru

Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, г.Ставрополь

Аннотация. *Современные геоинформационные технологии представляют собой действенный инструмент проведения разноплановых исследований. Это касается самых разных сторон функционирования ландшафтных систем: от оценки качества среды до выявления особенностей организации хозяйства. В рамках исследования предлагается анализ возможностей геоинформационных технологий для оценки загрязнения тяжелыми металлами городских почв на примере города Ставрополя. В основу фактического материала положены данные почвенно-геохимических исследований, проведенных на территории города Ставрополя. На примере пространственного распределения коэффициентов концентраций (Кс), нормированных по значениям природного фона, показаны возможности геоинформационных технологий в детальном представлении результатов исследования. Установлено, что геоинформационные технологии позволяют осуществлять интерполяцию полученных данных, создавать визуальные картины распределения поллютантов в почвенном покрове городской территории, определять наглядно очаги максимального загрязнения. На основе созданной базы данных сети точек в программе QGIS построены карты распределения моноэлементных загрязнений городских почв медью, цинком, свинцом и кадмием. Использование модуля Contour plugin позволило получить пространственные модели дифференциации поллютантов в городской депонирующей среде и на основе геоинформационных технологий выявить особенности распределения загрязнения тяжелыми металлами в почвах города. Проведено сопоставление интенсивности загрязнения городских почв с особенностями функциональной структуры города. Установлено, что максимальные уровни загрязнения почв химическими элементами приурочены к территориям с интенсивной многолетней транспортной и промышленной нагрузкой. Минимальное загрязнение городских почв выявлено в почвах лесопарковой и дачной зон города. Наложение значений суммарного комплексного коэффициента загрязнения почв тяжелыми металлами ($\Sigma K_{кз}$) на картографическую основу города показало сильную степень антропогенной трансформации микроэлементного состава почв промышленной и селитебных зон.*

Ключевые слова. *Геоинформационные технологии, городские почвы, тяжелые металлы, загрязнение.*

Введение

Многочисленные исследования ландшафтных систем значительно увеличивают свою показательность и наглядность представления результатов

в случае использования геоинформационных технологий [13; 17]. Особенно это актуально для городских ландшафтных систем, отличающихся сложной структурой взаимодействия разнонаправленных потоков вещества различного происхождения – природного, техногенного, социального [6, 11, 22]. При этом важным становится проведение оценки потоков загрязняющих городскую среду веществ [18].

Тяжелые металлы представляют собой значимую группу химических элементов, отличающихся способностью накапливаться в городских почвах и создавать определенный уровень экологической опасности [2, 19, 20]. В этом аспекте использование ГИС-технологий при оценке загрязнения тяжелыми металлами городских почв является достаточно традиционным приемом [1, 4, 5]. Тем не менее, для города Ставрополя применение геоинформационных технологий при оценке загрязнения почв поллютантами широкого распространения не получило. Проводимые ранее почвенные обследования не сопровождались детальным картографическим материалом по распространению химических элементов в почвах города [16], что ограничивает возможности объективно и наглядно показывать распределение тяжелых металлов по городской территории.

Цель исследования – выявить особенности применения геоинформационных технологий при оценке загрязнения почв города Ставрополя тяжелыми металлами. Необходимость постоянного мониторинга степени загрязнения городских почв тяжелыми металлами определяет актуальность анализа данного вопроса в практическом плане.

Материалы и методы

Материалами исследования стали результаты почвенно-геохимического опробования территории города Ставрополя, проведенного методом сети точек [3]. Отбор почвенных проб осуществлялся согласно ГОСТ 28168-89. В почвенных образцах определялось валовое содержание четырех микроэлементов (медь, цинк, свинец и кадмий) на рентген-флуоресцентном спектрометре «Xenometrix EX-Calibur». Определение коэффициентов концентрации (K_c) выполнялось как отношение содержания элемента в исследуемом объекте (C_i) к среднему фоновому его содержанию (C_f) [9]. Расчет суммарного комплексного коэффициента загрязнения ΣK_{kz} проводился как отношение сумм фоновых содержаний элементов (C_f) к результату сложения фоновых содержаний элементов (C_f) с содержаниями элементов в исследуемом объекте (C_i) [3]. Статистическая обработка результатов анализов осуществлялась в программе Excel.

Построение карт пространственного распределения загрязнения химическими элементами почв города Ставрополя выполнялось в программе QGIS с использованием модуля Contour plugin. Первоначально создавались карты по каждому химическому элементу, а впоследствии – итоговая карта на основе значений суммарного комплексного коэффициента загрязнения. Функциональное зонирование территории г. Ставрополя основывалось на документах территориального планирования, полученных с ресурса

Федеральной государственной информационной системы территориального планирования.

Результаты исследования

Город Ставрополь располагается в лесостепной провинции ландшафтов Ставропольского края [14], в возвышенной части Центрального Предкавказья. Условия формирования почв отличаются разнообразием в силу наличия участков выровненного и пересеченного рельефа, степной и лесной растительности. Почвообразующие породы также характеризуются неоднородностью, которая проявляется в выходах элювия известняка, делювия сарматских песков, суглинков, глин [8]. Большие площади почв находятся в запечатанном состоянии под разного рода покрытиями (асфальтобетоном, плиткой, брусчаткой). Антропогенное воздействие также неоднородно и позволяет разделять территорию города на промышленную, селитебные многоэтажную и одно-, двухэтажную, лесопарковую, дачную функциональные зоны.

В пределах функциональных зон происходит определенная трансформация почвенного покрова, приводящая к образованию специфических городских почв [12]. Для промышленных зон характерным является развитие индустриземов, хемоземов, реплантоземов [10]. В селитебных многоэтажных и одно-, двухэтажных функциональных зонах формируются урбаноземы, реплантоземы, экраноземы. В лесопарковых массивах частично сохраняются естественные (темно-серые лесные) почвы, частично образуются их поверхностно-преобразованные разновидности. Для дачных зон свойственно формирование культуроземов [7].

Распределение тяжелых металлов в верхнем гумусовом горизонте (5-10 см) в данных функциональных зонах города отличается следующими особенностями:

1. Максимальные концентрации химических элементов приурочены к территориям с интенсивной многолетней транспортной и промышленной нагрузкой (Cu – $76,3 \pm 7,6$ мг/кг, Zn – $167,6 \pm 16,4$ мг/кг, Pb – $173,1 \pm 17,0$ мг/кг, Cd – $2,26 \pm 0,2$ мг/кг);

2. Минимальные содержания микроэлементов выявлены в относительно геохимически устойчивых к антропогенному воздействию и обладающих буферной способностью лесопарковых массивах (Cu – $47,9 \pm 4,7$ мг/кг, Zn – $93,8 \pm 9,3$ мг/кг, Pb – $57,4 \pm 5,7$ мг/кг, Cd – $1,12 \pm 0,1$ мг/кг), в удаленных от крупных предприятий и транспортных сетей районах дачной застройки (Cu – $45,9 \pm 4,5$ мг/кг, Zn – $84,1 \pm 8,3$ мг/кг, Pb – $58,9 \pm 5,8$ мг/кг, Cd – $0,99 \pm 0,09$ мг/кг);

3. Относительно средние уровни содержания микроэлементов приходятся на районы селитебной застройки. При этом в почвах с многоэтажной застройкой отмечаются резкие колебания в распределении микроэлементов (Cu – от 44,5 до 110,5 мг/кг, Zn – от 69,5 до 161,9 мг/кг, Pb – от 41,2 до 123,8 мг/кг, Cd – от 0,68 до 1,96 мг/кг).

Загрязнение городских почв рассматриваемой группой тяжелых металлов рассчитывается по отношению к природному фону, в качестве которого использована территория горы Стрижамент. Определение

коэффициентов концентрации K_c показало достаточно неравномерный характер распределения загрязнении почв отдельными элементами по функциональным зонам. Медью сильнее загрязнены почвы промышленной и селитебной одно-, двухэтажной зон ($K_c=2,34$ и $2,18$ соответственно). Цинком больше загрязнены почвы промышленной и селитебной многоэтажной зон ($K_c=2,45$ и $2,28$ соответственно). Свинцом также сильнее загрязнены почвы промышленной и селитебной многоэтажной зон ($K_c=4,58$ и $3,44$ соответственно); кадмием – почвы промышленной зоны ($K_c=3,96$).

Построение моноэлементных карт загрязнения городских почв тяжелыми металлами показывает более детализированную картину распределения «центров» высоких концентраций загрязнителей. В данном случае наглядно представлена пространственная структура моноэлементного загрязнения городских почв цинком и свинцом (рис. 1-2). Анализ карт позволяет проводить сопоставление между собой «центров» высоких концентраций поллютантов с особенностями функциональной структуры города, с присущим территории антропогенным давлением.

Так, распределение загрязнения почв цинком имеет дифференцированный характер в пределах селитебных и промышленных зон. В почвах одно-, двухэтажной частной застройки более высокие уровни ($K_c=2,5-2,8$) установлены в районе долин реки Ташла (район Чапаевки), рек Желобовка и Мутнянка. Вероятно, это связано с аккумулярующим эффектом почв районов старой городской застройки, расположенных в понижениях рельефа. Загрязнение цинком почв промышленного назначения более интенсивное в пределах восточной промышленной зоны ($K_c=2,7-2,8$), где расположены предприятия «СТАПРИ», «Электроавтоматика», «Ставропольский инструментальный завод», «Стеклотара». Для почв северо-западной промышленной зоны свойственен меньший уровень загрязнения цинком ($K_c=2,3-2,4$).

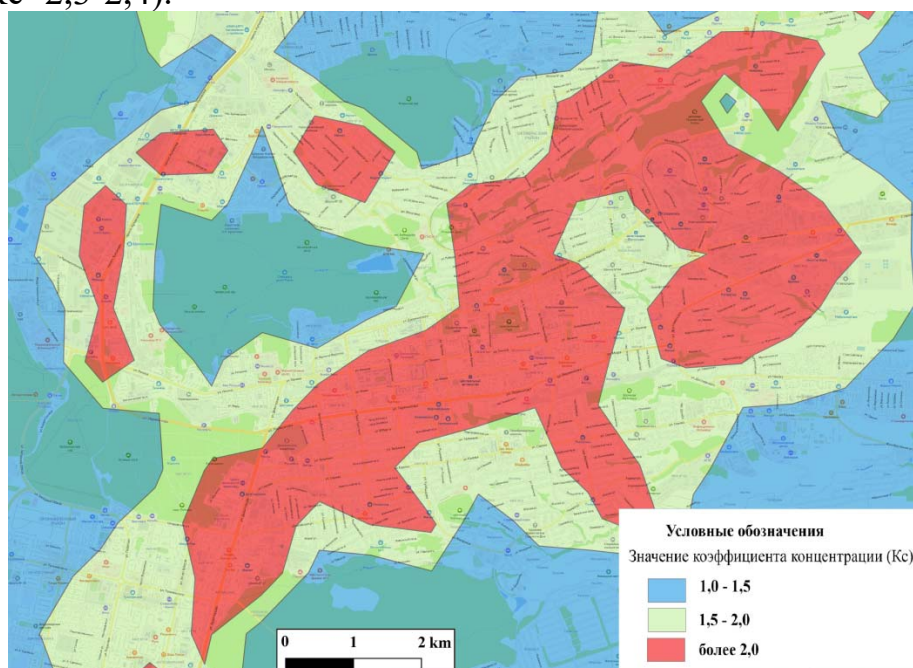


Рис.1. Загрязнение почв г.Ставрополя цинком

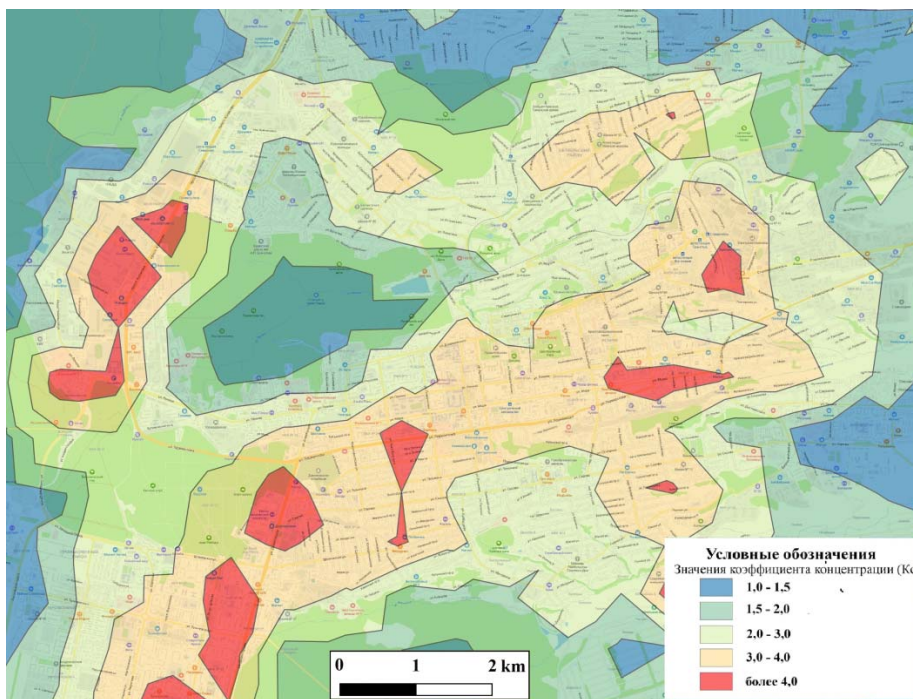


Рис.2. Загрязнение почв г.Ставрополя свинцом

По отношению к свинцу интенсивно загрязнены почвы газонов селитебной многоэтажной зоны в районе центрального автовокзала, улиц Лермонтова, Мира ($K_c=3,2-4,4$) и окрестностей железнодорожного вокзала ($K_c=3,1$). Высокие уровни загрязнения свинцом определены в пределах северо-западной и юго-западной промышленных зон ($K_c=5,4$ и $K_c=5,1$ соответственно). Несколько ниже загрязнены свинцом почвы восточной промышленной зоны ($K_c=4,6$). Как известно, свинец во многом поступает в почву в результате выбросов автотранспорта [15, 21]. Достаточно напряженные потоки автотранспорта в селитебной зоне многоэтажной застройки приводят к повышенному загрязнению свинцом почв газонов, примыкающих к городским автомагистралям (ул. Ленина, ул. Мира, ул. Доваторцев, пр. Кулакова). Коэффициенты концентраций K_c достигают здесь 4,2-4,8. Загрязнение свинцом почв города Ставрополя носит сплошной характер в силу многочисленности автотранспорта и его постоянного использования.

Загрязнение медью почв северо-западной промышленной зоны составляет 2,5-2,6 фона, что является максимальным значением для города. Достаточно значительно загрязнение почв медью ($K_c=2,2$) в пределах юго-восточной промышленной зоны, где расположены Биофабрика, предприятие «Аллерген», молочный комбинат «Ставропольский». Менее интенсивно загрязнены медью почвы восточной промышленной зоны ($K_c=1,6-1,9$). Северо-западная селитебная многоэтажная зона меньше загрязнена медью по сравнению с центральной селитебной многоэтажной зоной ($K_c=1,7-1,8$ и $K_c=1,8-2,1$ соответственно). Почвы дачных участков загрязнены медью почти

на уровне с почвами окраин лесопарковой зоны ($K_c=1,4-1,5$ и $K_c=1,47-1,6$ соответственно).

Для загрязнения городских почв кадмием также выявлена различающаяся картина. Выявлены отдельные точечные очаги загрязнения, которые приурочены к району центральной части города с селитебной частной застройкой ($K_c=3,9$). Установлено загрязнение почв промышленной северо-западной зоны ($K_c=3,6-4,0$), где расположены предприятия «Нептун», «Монокристалл», «Люминофор». Крупный техногенный ореол, имеющий интенсивность до 3,4 фона, расположен в балках р.Мутнянка и Желобовка. Загрязнение почв в районе железнодорожного вокзала составляет 3,9-4,2 фона; района Биофабрики – 2,5 фона. В целом, пространственная картина распределения загрязнения почв кадмием достаточно наглядно показывает площадной характер распространения поллютанта по городской территории.

Особенности пространственного распределения суммарного загрязнения городских почв четырьмя химическими элементами показаны на рис. 3. Для расчета использовался суммарный комплексный коэффициент загрязнения $\Sigma K_{кз}$, который предложен ранее [3]. Этот коэффициент позволяет проводить оценку суммарного загрязнения почв в случае небольшого количества химических элементов в отличие от традиционного суммарного показателя загрязнения Z_c Ю.Е. Саета [9].

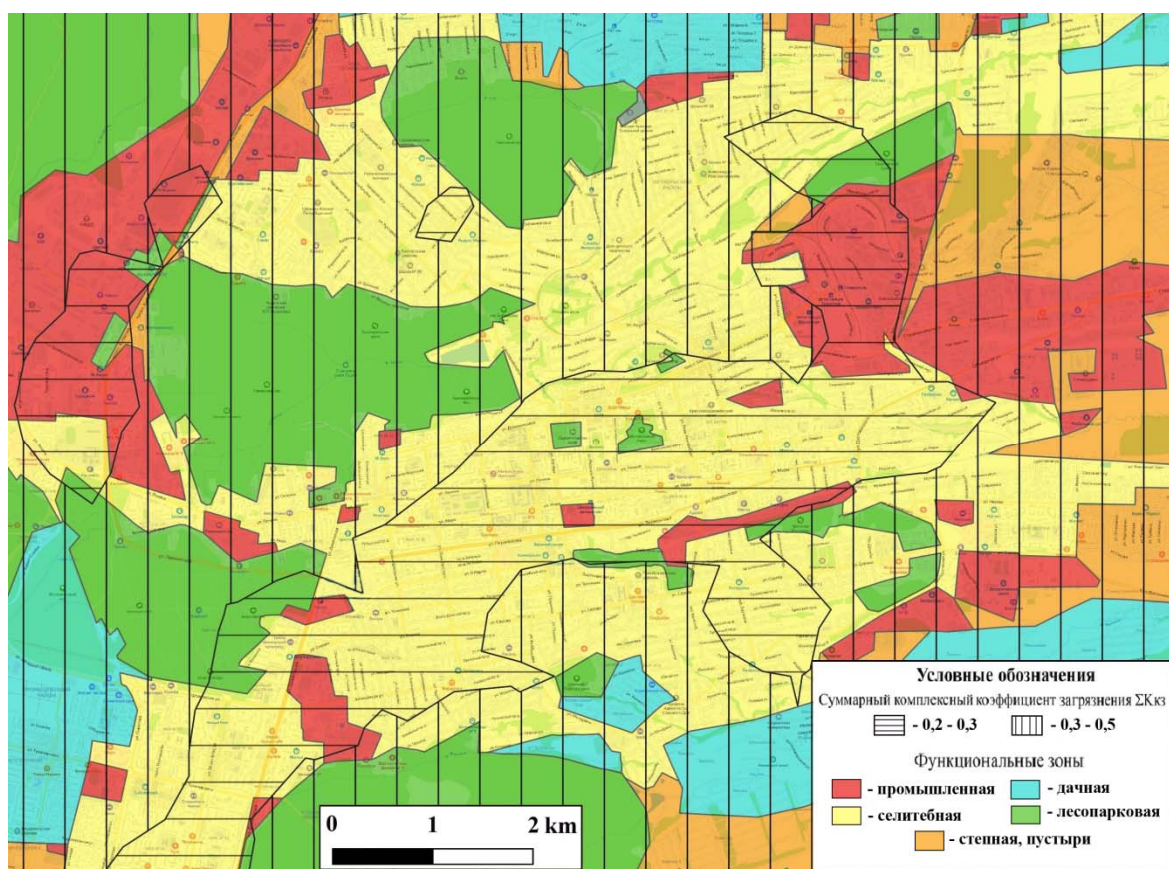


Рис.3. Суммарное загрязнение почв г. Ставрополя тяжелыми металлами

Определение суммарного комплексного коэффициента загрязнения $\Sigma K_{кз}$ показало сильную степень ($\Sigma K_{кз}=0,3-0,2$) антропогенной трансформации микроэлементного состава почв промышленной и селитебной зон г.Ставрополя. Умеренная («слабая») степень антропогенной трансформации микроэлементного состава почв ($\Sigma K_{кз} < 0,5-0,3$) установлена для лесопарковой и дачной функциональных зон. Очень сильной степени антропогенной трансформации микроэлементного состава городских почв ($\Sigma K_{кз} < 0,2$) в ходе исследования не выявлено.

Детализированная картина пространственного распределения суммарного загрязнения городских почв четырьмя химическими элементами свидетельствует о неоднородном характере этого показателя по функциональным зонам. В пределах промышленных зон установлены более низкие значения $\Sigma K_{кз}$ для северо-запада (0,25), юго-востока (0,26), района железнодорожного вокзала (0,27). Селитебная многоэтажная зона характеризуется более низкими значениями $\Sigma K_{кз}$ в районе ул. Ленина (0,25), ул.Мира (0,27), пр. Карла Маркса (0,26). В селитебной зоне одно-, двухэтажной застройки очаги более значимого суммарного загрязнения располагаются по долинам р. Ташла, р. Мутнянка, р. Желобовка ($\Sigma K_{кз}=0,27-0,29$). В лесопарковой зоне более интенсивное суммарное загрязнение свойственно парку Победы ($\Sigma K_{кз}=0,29$).

Таким образом, использование метода наложения значений коэффициента концентраций и суммарного комплексного коэффициента загрязнений на картографическую основу дает возможность проводить более детальный анализ распределения загрязнения по городской территории. Можно отметить основные возможности использования геоинформационных технологий при оценке загрязнения городских почв химическими элементами:

1. Геоинформационные технологии позволяют уточнять и наглядно показывать картину пространственного распределения поллютантов в городских почвах;
2. Геоинформационные технологии дают возможность интерполировать полученные данные аналитических исследований на неохваченные изучением территории;
3. Геоинформационные технологии дают возможность сопоставлять между собой территории в пределах одного функционального использования по степени загрязнения почвенного покрова химическими элементами.

Заключение

Проведенное наложение показателей моноэлементного и суммарного загрязнения почв г.Ставрополя тяжелыми металлами на картографическую основу показало большие функциональные возможности геоинформационных технологий в плане практического использования. Оценка загрязнения городских почв с использованием геоинформационных технологий позволяет максимально детализировать картину распределения химических элементов, делать ее объемной и репрезентативной. Существенным достоинством применения геоинформационных технологий при оценке загрязнения

городских почв является возможность сравнивать между собой городские территории по степени загрязнения.

Для города Ставрополя использование метода картирования моноэлементного и суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами с помощью программы QGIS и модуля Contour plugin позволило определить пространственные закономерности в распределении зон максимального и минимального превышения фона. Установлено, что максимальные значения коэффициентов загрязнения почв тяжелыми металлами дифференцируются внутри функциональных зон с промышленной, селитебной многоэтажной и селитебной одно-, двухэтажной нагрузкой. Минимальные уровни загрязнения тяжелыми металлами свойственны почвам лесопарковых массивов, расположенных по окраинам городской застройки, а также почвам дачных районов.

Выявленные особенности пространственного распределения моноэлементного и суммарного загрязнения городских почв тяжелыми металлами могут быть основой проведения дальнейших мониторинговых исследований с целью разработки природоохранных мероприятий. Их проведение позволит сократить негативный эффект воздействия загрязнения городских почв тяжелыми металлами на здоровье населения г. Ставрополя.

Список литературы

1. Берденов Ж.Г., Джаналеева Г.М. Применение гис-технологий при изучении геосистем техногенного происхождения Актюбинской агломерации. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Материалы Междунар. конф., 2015. Т. 21. Ч. 1. С. 133–138.
2. Водяницкий Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор). Почвоведение. 2013. № 7. С. 872–881.
3. Дегтярева Т.В. Особенности трансформации микроэлементного состава почв города Ставрополя под влиянием урбогенеза. Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2023. № 1. С. 4–9.
4. Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
5. Огурцов А.Н., Бахматова К.А., Машкин Ю.Л. Картографическое моделирование и ГИС-анализ геохимической аномалии почво-грунтов урбанизированной территории. ИнтерКарто. ИнтерГИС-19: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Междунар. конф., Курск, Богота (Колумбия), 2–7 февраля 2013 г. Курск, 2013. С. 120–128. DOI:10.24057/2414-9179-2013-1-19-120-128
6. Огурцов А.Н., Бахматова К.А. Интегральная оценка и пространственный анализ потенциальной устойчивости почвенного покрова урбанизированной территории к загрязнению тяжелыми металлами. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Материалы Междунар. конф., 2016. Т. 22. Ч. 2. С. 232–243. DOI:10.24057/2414-9179-2016-2-22-232-243
7. Почва. Город. Экология. Под ред. Г.В. Добровольского. М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. 320 с.
8. Савельева В.В. Природа города Ставрополя. Ставрополь: Ставропольсервисшкола, 2002. 192 с.
9. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
10. Синцов А.В., Бармин А.Н. Современная классификация почвенного покрова городских территорий. Геология, география и глобальная энергия. 2011. №3 (42). С. 149–155.

11. Сорокина Е.П. Картографирование техногенных аномалий в целях геохимической оценки урбанизированных территорий. Вопросы географии. М., 1983. № 120. С. 55–67.
12. Строганова М.Н., Мягкова А.Д., Прокофьева Т.В. Роль почв в городских экосистемах. Почвоведение. 1997. № 1. С. 96–101.
13. Тикунов В.С., Цапук Д.А. Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение. Москва-Смоленск: Изд-во СГУ, 1999. 176 с.
14. Шальнев В.А. Эволюция ландшафтов Северного Кавказа. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2007. 310 с.
15. Экогеохимия городских ландшафтов / под ред. Н.С. Касимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 336 с.
16. Экологический паспорт города Ставрополя. Ставрополь: Орфей, 1995. 64 с.
17. Birke M., Rauch U., Stummeyer J. Urban geochemistry of Berlin, Germany. Mapping the chemical environment of urban areas. Eds.: C.C. Johnson, A. Demetriades, J. Locutura, R.T. Ottesen. John Wiley & Sons, 2011. P. 245–268.
18. Zubkova T., Kavtaradze D. The importance of the soil in urban land ecological safety. *Acta Scientific Agriculture*. 2019. Vol. 3, no. 8. P. 179–183. DOI: 10.31080/ASAG.2019.03.0583
19. Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Ed. by B.J. Alloway. Dordrecht: Springer Science+Business Media, 2013. 613 p.
20. Kabata-Pendias A. Soil-plant transfer of trace elements – an environmental issue. *Geoderma*, 2004. V. 122. P. 143–149.
21. Limbeck A., Puls C. Particulate emissions from on-road vehicles. Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts. Ed. by F. Zereini, C.L.S. Wiseman. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2011. P. 63–79.
22. McHale M.R., Pickett S.T.A., Barbosa O., Bunn D.N., Cadenasso M.L., Childers D.L., Gartin M., Hess G.R., Iwaniec D.M., McPhearson T., Peterson M.N., Poole A.K., Rivers L., III, Shatters Sh.T., Zhou W. The New Global Urban Realm: Complex, Connected, Diffuse, and Diverse Social-Ecological Systems. *Sustainability*, 2015.V. 7. P. 5211–5240. DOI: 10.3390/su7055211

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРАТЕГИИ МУЛЬТИОБЛАЧНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В.А. Довгаль, С.К. Куижева

vdovgal@mkgtu.ru

Майкопский государственный технологический университет, Россия, г. Майкоп

***Аннотация.** В настоящей статье рассмотрены несколько крайне перспективных применений мультиоблачных решений, которые могут помочь достижению целей охраны окружающей среды и ее устойчивого развития, обеспечить экологические преимущества, помочь исследованиям дикой природы, ее сохранению и защите. Широкое внедрение стратегии использования нескольких облаков позволяет проиллюстрировать диапазон инициатив и подходов по уменьшению нагрузки на окружающую среду, применяемых правительственными учреждениями, неправительственными организациями и частными компаниями.*

***Ключевые слова.** Охрана окружающей среды; мультиоблачные вычисления; мультиоблачные платформы.*

1. Понятие мультиоблачной среды

Облачные вычисления (Cloud computing, CC) – это парадигма предоставления клиентам возможностей сетевого доступа к масштабируемому и эластичному пулу общих физических или виртуальных ресурсов на основе самообслуживания и администрирования по требованию [1]. С помощью сети клиент получает от более чем одного поставщика облачных услуг необходимые ему сервисы облачных вычислений для обработки и анализа наборов данных. Согласно ГОСТ ISO/IEC 17788-2016 [2] облачные вычислительные услуги подразделяются на семь служб облачных вычислений, называемых категориями: обмен информацией как услуга (Communications as a Service, CaaS), вычисления как услуга (Compute as a Service, ComaaS), хранение данных как услуга (Data Storage as a Service, DSaaS), инфраструктура как услуга (Infrastructure as a Service, IaaS), программное обеспечение как услуга (Software as a service, SaaS), платформа как услуга (Platform as a Service, PaaS) и сеть как услуга (Network as a Service, NaaS). Основной целью таких категорий является предоставление услуг через Интернет облачным клиентам на платной основе.

Мультиоблачное решение – это выполнение облачных вычислений, позволяющее клиенту развернуть приложения и службы в нескольких облачных инфраструктурах независимо от поставщика. Парадигма мультиоблачности для большинства предприятий и организаций означает использование решений от нескольких поставщиков облачных сервисов, таких как Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure и Google Cloud Platform (GCP). Мультиоблачные решения обычно строятся на основе облачных технологий с открытым исходным кодом (например, Kubernetes), которые позволяют запускать рабочие нагрузки в любом облаке, не привязываясь к конкретной платформе.

Организации, выбирающие многооблачную архитектуру, могут использовать любую комбинацию общедоступных облаков вместе с развертыванием частных облаков и традиционной локальной инфраструктурой – и эти среды необязательно должны быть интегрированы [3].

Благодаря стратегии использования нескольких облаков клиенты могут выбирать предпочтительные услуги у каждого поставщика облачных услуг на основе затрат, технических требований, географической доступности и других факторов. Например, компания может использовать GCP для сред разработки/тестирования, AWS для аварийного восстановления и Microsoft Azure для рабочих нагрузок бизнес-аналитики.

Традиционно специалисты различают мультиоблачное решение и гибридное облако. Основное различие между ними заключается в том, что гибридный облачный подход использует комбинацию общедоступного облака, частного облака и/или локальных платформ с некоторой формой интеграции или оркестровки между этими средами. В отличие от этого, мультиоблачный подход предполагает развертывание систем на облачных платформах, предоставляемых несколькими различными поставщиками. Это не обязательно требует скоординированных операций или интеграции между различными облачными средами.

На рис. 1 показана схема мультиоблачной технологии.

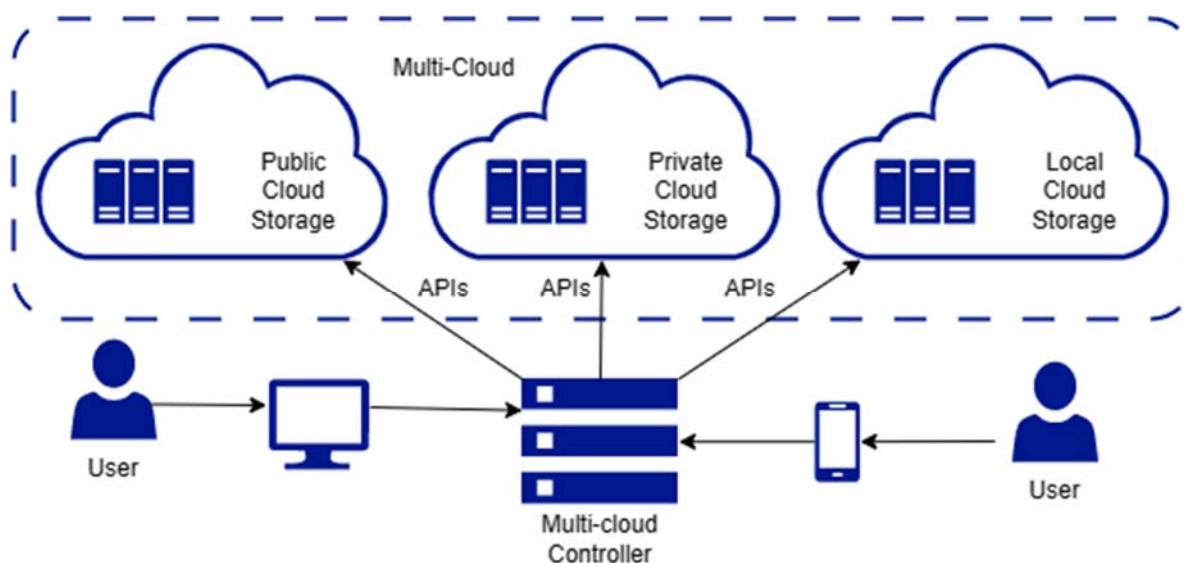


Рис. 1. Схема мультиоблачной технологии

2. Перспективные преимущества использования мультиоблачной среды

Рассмотрим достоинства использования клиентами нескольких облаков, которые оказывают влияние в том числе на уровень защиты окружающей среды [4].

А. Большая гибкость стратегии использования мультиоблачной среды дает природоохранным компаниям свободу выбора места и способа развертывания рабочих нагрузок, что предотвращает привязку клиента к

поставщику-монополисту. Таким образом, клиент снижает риск или ненужные затраты, которые могут возникнуть в результате использования услуг только одного поставщика. Кроме того, клиент не ограничивается предложениями или функциональными возможностями, предлагаемыми единственным облачным провайдером в текущий момент времени. Вместо этого клиент, обращаясь к разным поставщикам, может выбрать только необходимые ему услуги, исходя из конкретных ценовых предпочтений, требуемых уровней производительности, безопасности и соответствия требованиям.

В. Повышение уровня защиты информационной безопасности, обусловленное развертыванием бизнес-сервисов клиента в нескольких облаках и снижающее вероятность попадания под распределенные атаки типа "отказ в обслуживании" (DDoS) и инцидентам с единой точкой отказа (SPoF), а следовательно повышающее непрерывность и доступность данных. Многие предприятия также используют распределенное и избыточное развертывание в нескольких облаках для обеспечения бесперебойного перехода на другой ресурс и аварийного восстановления. Распределение рабочих нагрузок по нескольким облакам позволяет избежать риска недоступности ключевых приложений и данных в случае сбоя в работе одного из облаков.

С. Более высокая производительность стратегии использования мультиоблачной среды, обусловленная возможностью выбора поставщика облачных услуг с центрами обработки данных, географически близкими к их бизнес-пользователям или заказчикам. Тем самым задержки и другие проблемы с производительностью могут быть сведены к минимуму.

Однако мультиоблачность обладает и некоторыми недостатками, особенно с точки зрения управления идентификационными данными. Потенциальные проблемы включают в себя:

А. Больше облаков, больше сложности – увеличение сложности управления доступом к приложениям и средам, а также обеспечения безопасности при расширении количества поставщиков сервисов и приложений. Применение единой облачной платформы позволяет решать указанные проблемы достаточно безопасно и согласованно.

В. Необходимость нескольких групп высококвалифицированных специалистов, обслуживающих развертываемые в нескольких облаках сервисы. Кроме того, использование нескольких поставщиков облачных услуг требует использования дублирующих команд со специализированными навыками у этих поставщиков. Учитывая продолжающуюся нехватку ИТ-специалистов, наем и удержание специалистов с необходимым уровнем знаний в области облачной безопасности может оказаться непростой задачей.

С. Сложность управление затратами. Главная причина, по которой многие компании в первую очередь предпочитают переходить в облако – сокращение затрат, однако без тщательного планирования и управления работа с несколькими облаками может оказаться дорогостоящей. Гибкие модели взимания платы могут затруднить прогнозирование затрат, особенно

клиент не имеет четкого представления о том, какие пользователи будут получать доступ к тем или иным системам и ресурсам.

D. Рост опасений безопасного использования данных, находящихся в многооблачной архитектуре, обусловленный необходимостью обеспечения соблюдения многочисленных политик контроля доступа. Любые отклонения в защитных механизмах, строгом соблюдении централизованного подхода к управлению идентификационными данными открывают более широкий спектр уязвимостей в системе безопасности, приводящий к повышению риска возникновения проблем с защитой данных и нарушений безопасности.

3. Примеры использования мультиоблачной архитектуры в области сохранения и устойчивого развития.

Очевидно, что многооблачные среды могут быть полезны в области исследования окружающей среды, позволяя природоохранным организациям эффективно и экономно выявлять ключевые условия и тенденции в экологическом состоянии конкретных регионов, стран и планеты в целом. Применение многооблачной архитектуры способно принести большую пользу, будучи подкрепленным постоянными усилиями по обеспечению устойчивого развития.

Также мультиоблачные технологии могут сыграть значительную роль и в защите природных ресурсов. Использование природоохранными организациями услуг нескольких облачных провайдеров, может снизить риск потери данных или простоя в случае катастрофы или кибератаки, что может быть особенно важно для тех экологических организаций, которые полагаются на данные для мониторинга и защиты природных ресурсов.

Примеров активного использования стратегии использования нескольких облаков для защиты окружающей среды можно приводить очень много. Рассмотрим те из них, которые наиболее значимы и популярны в сети Интернет.

A. Система обработки информации об экологическом состоянии в облачной среде, интегрированная с датчиками, в целях расширенного управления несколькими рисками (Cloud environment for the Advanced Multi-risk Management, SIGMA), – использует мультиоблачные технологии для хранения данных, предоставляемых датчиками, контролирующими качество воды или уровень загрязнения воздуха [5]. Используя несколько облачных провайдеров, организации могут гарантировать, что их критически важные данные всегда будут доступны, даже если у одного провайдера произойдет сбой в работе. Кроме того, многооблачные архитектуры могут быть спроектированы со встроенными механизмами резервирования и отработки отказа для дальнейшего снижения риска потери данных.

Подобную схему обработки данных использует, например, проект Итальянской национальной оперативной программы (Italian National Operative Program, PON), направленный на сбор, интеграцию и вычисление разнородных данных из различных сенсорных сетей (погодные, сейсмические, вулканические, водные, дождевые, автомобильные и морские перевозки,

окружающая среда и т.д.), и позволяющий управлять опасными ситуациями как в процессе промышленного производства, так и на территории страны [6].

В. Использование специализированных сервисов от различных облачных провайдеров является одним из преимуществ компаний, применяющих мультиоблачные технологии для защиты природных ресурсов.

Например, компания, которая следит за качеством воды, может использовать услуги одного поставщика облачных услуг для хранения необработанных данных, полученных датчиками, другого поставщика, предлагающего расширенные аналитические возможности для обработки и анализа больших объемов экологических данных и их визуализации, и еще одного поставщика для резервного копирования данных и аварийного восстановления. Таким образом, если один облачный провайдер испытывает простои или потерю данных, компания-клиент облачных услуг всё равно может получить доступ к своим данным от другого поставщика. Кроме того, такие компании могли бы использовать специализированные сервисы, предоставляемые различными облачными провайдерами, такие как алгоритмы машинного обучения для выявления закономерностей в данных об окружающей среде или геопространственные инструменты для визуализации и анализа данных с удаленных датчиков.

В качестве примеров компаний, которые следят за качеством воды и используют облачные решения, можно привести:

- компания Aquatic Informatics (г. Ванкувер, Канада), предоставляющая программные решения для управления водными ресурсами для государственных учреждений, коммунальных служб и консалтинговых фирм [7]. Программное обеспечение, использующее мультиоблачные решения, помогает анализировать данные о качестве воды и решения по управлению водными ресурсами;

- аналитическая компания по рынку водных ресурсов Bluefield Research (г. Бостон) предоставляет данные, результаты анализа и аналитическую информацию водохозяйственным компаниям и инвесторам [8]. Компания использует облачные платформы для мониторинга качества воды, помогая клиентам принимать обоснованные решения об инвестициях в водоснабжение;

- компания Echologics, офисы которой расположены не только в Торонто (Канада), но и в Свободной зоне аэропорта Дубая (Объединенные Арабские Эмираты), в Лондоне, Сингапуре, а также Атланте (шт. Джорджия, США), предоставляет услуги по акустическому обнаружению утечек и оценке состояния труб для водоканалов по всему миру [9]. Используемые компанией несколько облачных платформ позволяют осуществлять мониторинг качества воды и распределительных сетей в режиме реального времени.

С. Прогнозирование стихийных бедствий с использованием мультиоблачных технологий – еще один пример применения услуг нескольких провайдеров для хранения и анализа данных, полученных различными источниками (такими как, спутниковые снимки, сводки погоды и сейсмическая активность). С помощью алгоритмов машинного обучения и

прогностической аналитики, организации могут выявлять закономерности и прогнозировать стихийные бедствия, такие как извержения вулканов, землетрясения, ураганы, наводнения, снежные лавины, цунами, пожары.

Среди примеров компаний, использующих мультиоблачные технологии для прогнозирования стихийных бедствий, есть как крупные, так и компании поменьше. Среди первых можно назвать:

- компания IBM, предоставляющая различные облачные решения для борьбы со стихийными бедствиями. Платформа искусственного интеллекта IBM Weather for Emergency Management включает облачные отраслевые пакеты, позволяющие анализировать данные из различных источников, включая социальные сети, новостные ленты и датчики, для получения информации и прогнозов в режиме реального времени [10]. Облачные решения IBM также могут помочь службам экстренного реагирования в распределении ресурсов и планировании логистики;

- компания Google, предоставляющая свое облачное решение Google Cloud с инструментами для реагирования на стихийные бедствия, включая платформы для анализа спутниковых снимков Earth Engine [11] и Google Maps, которые можно использовать для визуализации данных о бедствиях и создания пользовательских карт. Сервисы Google Cloud также предлагают инструменты машинного обучения для прогнозного моделирования и анализа данных.

Похожие решения предлагают и другие крупные компании типа Amazon (решение Amazon Web Services, AWS) [12] или Microsoft (решение Microsoft Azure) [13], предлагающие различные облачные инструменты для реагирования на стихийные бедствия, включая анализ данных в режиме реального времени, машинное обучение и географические информационные системы (ГИС).

Среди менее известных компаний, которые используют мультиоблачные технологии для прогнозирования стихийных бедствий, можно назвать:

- Everstream analytics – компания-разработчик программного обеспечения, предоставляющая решения для прогнозной аналитики для управления рисками в цепочке поставок [14]. Их облачная платформа использует алгоритмы машинного обучения для анализа данных из нескольких источников, таких как прогнозы погоды, схемы движения и пропускная способность операторов, чтобы помочь предприятиям предвидеть и смягчить сбои в цепочках поставок, вызванные стихийными бедствиями, такими как ураганы, наводнения и лесные пожары;

- проект «Планетарный компьютер» (Planetary Computer) – это инициатива Microsoft, которая предоставляет облачные инструменты и инфраструктуру для науки об окружающей среде и охраны природы [15]. Платформа объединяет данные из различных источников, таких как спутниковые снимки, климатические модели и наземные наблюдения, помогающие исследователям и органам управления отслеживать стихийные

бедствия, такие как засухи, наводнения и лесные пожары, и реагировать на них;

- стартап One Concern предлагает цифрового двойника окружающего нас мира, который использует искусственный интеллект и машинное обучение для прогнозирования и предотвращения скрытых рисков в искусственной и природной среде, связанных со стихийными бедствиями, экстремальными погодными условиями и изменением климата, на основе анализа данных из различных источников, включая спутниковые снимки, социальные сети и исторические записи [16]. Проект предоставляет облачные технологии, помогающие руководителям служб по чрезвычайным ситуациям и муниципальным чиновникам принимать решения, обоснованные полученными данными, и более эффективно распределять ресурсы во время стихийных бедствий.

Д. Природоохранные мероприятия также могут применять мультиоблачные технологии для хранения и анализа данных, полученных от удаленных датчиков, камер для мониторинга дикой природы и мест обитания животных [17]. Примеры таких компаний:

- WildTrack – некоммерческая организация, которая использует искусственный интеллект и машинное обучение для мониторинга исчезающих видов и мест их обитания [18]. Для неинвазивного мониторинга дикой природы компания применяет мультиоблачные технологии, анализирующие данные, поступающие от удаленных датчиков и фотоловушек, а также от местных сообществ и знаний коренных народов. Используемая компанией платформа может помочь защитникам природы идентифицировать отдельных животных, отслеживать их перемещения и оценивать состояние здоровья их популяций;

- TrailGuard AI – инструмент для облегчения защиты и мониторинга дикой природы, являющийся итогом сотрудничества компании Intel и некоммерческой организации Resolve [19]. Платформа искусственного интеллекта, используя мультиоблачные технологии для анализа данных с фотоловушек и датчиков движения для мониторинга исчезающих видов, таких как слоны и тигры, в режиме реального времени может обнаруживать браконьеров и предупреждать рейнджеров или сотрудников правоохранительных органов, чтобы предотвратить незаконную охоту и торговлю дикими животными;

- Wildlife Insights – платформа, разработанная некоммерческой организацией Conservation International, использующая мультиоблачные технологии для мониторинга дикой природы и мест их обитания, помогающая исследователям и защитникам природы выявлять и отслеживать виды, находящиеся под угрозой исчезновения, оценивать состояние экосистем и разрабатывать стратегии сохранения [20].

Е. Исследования в области изменения климата также могут использовать мультиоблачные технологии. Приведем примеры компаний, использующих алгоритмы машинного обучения и прогностическую аналитику для выявления

закономерностей и выполнения прогнозов относительно будущего окружающей среды:

- Climate Corporation – дочерняя компания концерна Bayer, разработала на основе мультиоблачных технологий платформу, помогающую фермерам оптимизировать урожайность своих культур, сократить потребление воды и смягчить последствия изменения климата на их фермах [21];

- Climate Group – международная некоммерческая организация, которая используя мультиоблачные технологии, а также данные из различных источников, таких как модели энергопотребления, данные о выбросах и основы политики, дает советы предприятиям и правительствам по переходу к низкоуглеродной экономике [22]. Для этого платформа определяет целевые показатели по сокращению выбросов, отслеживает их прогресс и делится передовым опытом с другими заинтересованными сторонами;

- Jupiter Intelligence – мультиоблачный стартап, позволяющий оценить риски, связанные с изменением климата [23]. Платформа предлагает предприятиям и правительствам определить районы, уязвимые к наводнениям, экстремальной жаре или другим опасностям, связанных с климатом, и разработать стратегии адаптации к этим рискам.

Г. Предотвращение лесных пожаров также может осуществляться с использованием мультиоблачных технологий. Приведем примеры:

- Descartes Labs – стартап, определяющий на основе обработки спутниковых данных, информации о состоянии лесов и риске лесных пожаров с помощью искусственного интеллекта и машинного обучения, районы, подверженные риску возникновения лесных пожаров. Платформа может помочь лесоводам принять профилактические меры для снижения риска пожаров в лесу [24];

- Exci – компания, предлагающая мультиоблачные платформы для раннего реагирования на чрезвычайные ситуации, эффективной координации усилий и более рационального распределения ресурсов в режиме реального времени [25];

- Лаборатории Декарта – проект, в рамках которого искусственный интеллект и методы машинного обучения анализируют данные, связанные с лесными пожарами, на основе плотности растительности, температуры и влажности [26];

- Аналитик по лесным пожарам – это программное обеспечение, которое обеспечивает анализ поведения лесных пожаров в режиме реального времени и моделирует распространение лесных пожаров, позволяя своевременно принимать эффективные решения [27].

Таким образом, мы находимся на пороге широкого внедрения технологий многооблачной архитектуры в охрану окружающего нас мира, сохранения и устойчивого развития природы. В настоящее время сервисы, предоставляемые описанными в статье инструментами, можно использовать для экологического прогнозирования процессов принятия решений как в государственном, так и в частном секторах. Следует подчеркнуть, что, для

решения проблем устойчивого развития важно поддерживать тесные связи между лицами, принимающими решения, и теми, кого они затрагивают. Применение средств искусственного интеллекта и методов машинного обучения позволяет лишь предоставить органам, охраняющим окружающую среду, подробные доказательства быстрых изменений в природе: от документирования экологичности нашей планеты до выявления мест, где незаконно добываются ресурсы. В конечном счете, должна существовать тесная связь между данными, собираемыми и обрабатываемыми облачными платформами, и программой устойчивого развития, чтобы гарантировать, что человечество еще имеет время и пространство для спасения не только окружающей нас среды, но и самого человечества.

Список литературы

1. Довгаль В.А., Довгаль Д.В. Обзор возможностей интеграции облачных вычислений и Интернета вещей // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2019. – № 4 (251). – С. 81-86.
2. Межгосударственный стандарт ГОСТ ISO/IEC 17788-2016. Информационные технологии (ИТ). Облачные вычисления. Общие положения и терминология – Москва: Стандартинформ, – 2019. – 20 с. [Электронный ресурс] URL: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=-1&page=0&month=-1&year=-1&search=&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=197607> (дата обращения: 02.03.2023).
3. Довгаль В.А., Довгаль Д.В. Использование Интернета вещей для охраны окружающей среды // В сборнике: Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Материалы V Международной научно-практической конференции. 2019. С. 152-157.
4. Аль-Бдаири, Г.А.Х. «Мультиоблако» как ключ к преимуществам // Современные тенденции развития науки и мирового сообщества в эпоху цифровизации: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Москва, 11 марта 2022 года. – Москва: ИП Овчинников Михаил Артурович (Типография Алеф), 2022. – С. 82-91.
5. Stecca, Giuseppe & Puliafito, Antonio & Simonetti, Marco & Mariotta, Guido & Sciuto, Pierluigi. (2016). A Cloud-based System to Protect Against Industrial Multi-risk Events. Procedia CIRP. 41. 650-654. 10.1016/j.procir.2015.12.093.
6. Ponricerca. Programme - PON Ricerca e Innovazione 2014-2020 [Электронный ресурс] URL: <http://www.ponricerca.gov.it/pon-ricerca/programme/>. Дата обращения: 03/03/2023.
7. Aquatic Informatics [Электронный ресурс] URL: <https://aquaticinformatics.com/>. Дата обращения: 04/04/2023.
8. Bluefield. We believe that water is the most pressing issue facing our generation. [Электронный ресурс] URL: <https://www.bluefieldresearch.com/>. Дата обращения: 04/04/2023.
9. Built to protect water networks [Электронный ресурс] URL: <https://www.echologics.com>. Дата обращения: 04/04/2023.
10. IBM Weather for Emergency Management, a cloud-based weather data service, enables Smarter Cities Emergency Management users to enrich their emergency management solutions with weather-based insights [Электронный ресурс] URL: <https://www.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=877/ENUSZP15-0071&infotype=AN&subtype=CA>. Дата обращения: 05/04/2023.
11. Earth Engine. A planetary-scale platform for Earth science data & analysis [Электронный ресурс] URL: <https://earthengine.google.com/>. Дата обращения: 08/04/2023.

12. AWS Disaster Response [Электронный ресурс] URL: <https://aws.amazon.com/ru/government-education/nonprofits/disaster-response/>. Дата обращения: 05/04/2023.
13. Using AI and IoT for disaster management [Электронный ресурс] URL: <https://azure.microsoft.com/es-es/blog/using-ai-and-iot-for-disaster-management/>. Дата обращения: 05/04/2023.
14. Riskpulse. [Электронный ресурс] URL: <https://www.everstream.ai/> Дата обращения: 05/04/2023.
15. A Planetary Computer for a Sustainable Future [Электронный ресурс] URL: <https://planetarycomputer.microsoft.com/>. Дата обращения: 05/04/2023.
16. Digital Infrastructure of the Physical World [Электронный ресурс] URL: <https://www.oneconcern.com>. Дата обращения: 05/04/2023.
17. Dovgal, V. Using Big data technology to protect the environment / V. Dovgal, S. Kuizheva // Russian Journal of Earth Sciences. – 2022. – Vol. 22. – No. S5. – P. ES0102. DOI: 10.2205/2022ES01SI02
18. Non-Invasive Wildlife Monitoring [Электронный ресурс] URL: <https://wildtrack.org>. Дата обращения: 05/04/2023.
19. TrailGuard. TrailGuard AI Powered by Intel: Technology to Stop Poachers Before They Kill AI. [Электронный ресурс] URL: <https://www.resolve.ngo/trailguard.htm>. Дата обращения: 05/04/2023.
20. Bringing Cutting-Edge Technology to Wildlife Conservation [Электронный ресурс] URL: <https://www.wildlifeinsights.org>. Дата обращения: 06/04/2023.
21. Climate Corporation. Digital Farming's Leading Software Platform [Электронный ресурс] URL: <https://climate.com/>. Дата обращения: 06/04/2023.
22. Driving climate action. [Электронный ресурс] URL: <https://www.theclimategroup.org/>. Дата обращения: 06/04/2023.
23. The Trusted Leader In Climate Risk Analytics [Электронный ресурс] URL: <https://www.jupiterintel.com/>. Дата обращения: 06/04/2023.
24. Geospatial intelligence for today's sustainable enterprise [Электронный ресурс] URL: <https://descarteslabs.com/>. Дата обращения: 06/04/2023.
25. Smoke alarm for the bush [Электронный ресурс] URL: <https://www.exci.ai/>. Дата обращения: 08/04/2023.
26. Geospatial intelligence for today's sustainable enterprise [Электронный ресурс] URL: <https://descarteslabs.com/>. Дата обращения: 08/04/2023.
27. Wildfire analyst [Электронный ресурс] URL: <https://descarteslabs.com/>. Дата обращения: 08/04/2023.

ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОЧВ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ

Т.С. Дудникова, С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина, А.И. Барбашев,
Е.М. Антоненко, А.В. Иванцов, Е.Г. Шуваев, Г.М. Бакоева

tyto98@yandex.ru

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

Аннотация. Вследствие интенсивности вовлечения земель в сельскохозяйственный оборот, а также повсеместного загрязнения почв опасными химическими загрязнителями необходимо разработать метод их ремедиации. Проведен многофакторный модельный опыт, направленный на изучение ни роста и развития ячменя ярового в условиях загрязнения чернозема обыкновенного бенз(а)пиреном (БаП) в концентрациях 5 и 10 ПДК и применении гуминового препарата (ГП) в качестве ремедиантов. В результате исследования показано, что оптимальными концентрациями гуминовой кислоты для ремедиации чернозема обыкновенного являются 0,001% и 0,01%.

Ключевые слова. ПАУ, чернозем обыкновенный, БаП, ПДК, органическое вещество, почва-растение

Почва ключевое звено биогеохимических циклов химических элементов. Почвенный покров выполняет функции биологического поглотителя, разрушителя и нейтрализатора различных загрязнений, а также почве отведена важнейшая роль в жизни общества, так как она представляет собой источник продовольствия, обеспечивающий 95-97 % продовольственных ресурсов для населения планеты [1]. Одной из глобальных проблем, можно назвать, техногенное загрязнение почвенного покрова органическими поллютантами. Среди органических поллютантов выделяют группу полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). ПАУ - это органические соединения, для которых характерно наличие в химической структуре двух и более конденсированных бензольных колец [2]. В основе практически всех техногенных источников ПАУ лежат термические процессы, связанные со сжиганием и переработкой органического сырья: нефтепродуктов, угля, древесины, мусора, пищи, табака и др. Одно из самых опасных соединений из группы ПАУ, является бенз(а)пирен (БаП) [3, 4]. Данное соединение, за счет своей токсичности, входит в ряды самых опасных представителей класса полициклических ароматических углеводородов и относится к канцерогенам и мутагенам 1 класса опасности [5]. Попадая на поверхность почвы, в первую очередь, БаП прочно аккумулируется верхними слоями почвы, а затем мигрирует вниз по почвенному профилю, как правило, не глубже 20 см, что обуславливает процессы распределения данного соединения в системе почва-растение и, соответственно, обеспечивает активную биоаккумуляцию токсиканта растениями. Многолетний комплекс

взаимодействий, существующий между почвами и растениями, является важным объектом контроля загрязнения окружающей среды БАП. Для снижения аккумуляции растениями токсикантов из почв, подвергшихся загрязнению, используют различные методы ремедиации. В последние годы в качестве метода ремедиации применяют гуминовые вещества, которые способствуют обогащению почв органическим веществом и улучшению физико-химических и биологических свойств почв [6]. Среди гуминовых веществ можно выделить класс уникальных природных соединений - гуминовые кислоты (ГК), которые являются полифункциональными высокомолекулярными органическими соединениями почвы, торфа и бурого угля, обладающие высокой сорбционной ёмкостью по отношению к органическим и неорганическим соединениям. Гуминовые кислоты и их соли (гуматы) способны не только активировать рост и развитие растений и микроорганизмов, но и эффективно связывать и трансформировать токсиканты [6, 7]. Поэтому важной задачей является изучение влияния гуминовых кислот на растения в условиях техногенного загрязнения.

Цель работы: изучить влияние гуминовых препаратов на рост и развитие ячменя при техногенном загрязнении почв.

Объекты и методы исследования. В эксперименте использовали почву, отобранную из верхнего слоя 0-20 см природного заповедника «Персиановский». Исследуемая почва - чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках со следующими характеристиками: содержание физической глины - 52%, ила - 30%, гумуса - 4,2%, $pH_{\text{вод}}$ - 7,5, $CaCO_3$ - 0,4%, ЕКО - 33 смоль(+)/кг.

Предварительно просушенную воздушно-сухую почву просеивали через сито диаметром 1 мм и помещали по 50 г в чашку Петри. На поверхность почвы вносили раствор БАП в ацетонитриле для создания концентрации загрязнителя в почве 100 нг/г и 200 нг/г, что соответствует 5 ПДК и 10 ПДК поллютанта в почве. Выбор доз внесения сорбентов основан на многолетних исследованиях санитарного состояния почв импактных зон промышленных предприятий, полигонов хранения твердых бытовых отходов и жидких промышленных стоков, где содержание БАП в почвах зачастую составляет 5-10 ПДК [8, 9]. Инкубация почвы, загрязненной БАП составила 1 неделю, по прошествии которой в почву вносили гуминовый препарат 0,001%, 0,005% и 0,01% от массы почвы в каждую чашку согласно схеме опыта (табл. 1). Гуминовый препарат марки АГРОВИТ-КОР приобретен у НЦ Нооэкофера-XXI Инкубация почв с гуминовым препаратом составила 1 неделю.

По истечению срока инкубации почвы с поллютантом и гуминовым препаратом сосуды засеивали тест-культурой ячмень яровой (*Hordeum Sativum*) сорта «Ратник» по 15 семян. Ячмень яровой выращивался в течение 10 дней. Повторность в опыте трехкратная.

По истечению десятидневного срока произрастания ячменя, растения достигли фазы развития 2 листа. После чего произведен отбор проб растений, растения отмывали от почвы, и отделяли побег от корневой части. В ходе

лабораторного опыта были определены следующие параметры: длина корней и побегов, всхожесть и энергия прорастания.

Таблица 1

Схема проведения модельного опыта

Контроль	Доза гуминовых в-в, % от массы почвы
Контроль + гуминовый препарат	0,001
Контроль + гуминовый препарат	0,005
Контроль + гуминовый препарат	0,01
5 ПДК БаП	
10 ПДК БаП	
5 ПДК БаП + гуминовый препарат	0,001
5 ПДК БаП + гуминовый препарат	0,005
5 ПДК БаП + гуминовый препарат	0,01
10 ПДК БаП + гуминовый препарат	0,001
10 ПДК БаП + гуминовый препарат	0,005
10 ПДК БаП + гуминовый препарат	0,01

На 3 день после посева семян ячменя была рассчитана всхожесть семян, а на 7 день рассчитывали энергию прорастания. Всхожесть (М) и энергия прорастания (М) были измерены по формуле:

$$M, V = X/X_{\text{общ}} * 100 \quad (1)$$

где X – количество проросших семян; X_{общ} – количество посаженных семян.

Расчёт индекса токсичности фактора с целью определения токсичности почвы определялся по формуле:

$$ИТФ = ТФ0 / ТФк \quad (2)$$

где ТФ0 – величина измеряемого показателя в исследуемом варианте; ТФк – на контроле.

Для оценки токсичности фактора использовалась следующая шкала: VI класс токсичности (стимуляция) – ИТФ >1,10; V (норма) - 0,91 – 1,10; IV (низкая токсичность) - 0,71 – 0,90; III (средняя токсичность) - 0,51 – 0,70; II (высокая токсичность) – 0,31 - 0,50; I (сверхвысокая токсичность) – < 0,30 среда не пригодна для жизни тест-объекта.

Статистический анализ данных, а также графическое оформление полученных результатов выполнено в программах Statistica 10. Статистические тесты включали описательные статистики (коэффициент вариации, среднее, стандартное отклонение), тестирование экспериментальных данных на предмет соответствия закону о нормальном распределении, а также критерий Стьюдента для определения статистической значимых различий между средними значениями различных показателей ячменя в модельном опыте.

Результаты и обсуждения. В результате исследования установлено, что по прошествии недели длина корня и побега ячменя на варианте без внесения БаП и гуминового препарата (контроль) составила 8,9 см и 17,7 см, соответственно. При этом всхожесть и энергия прорастания достигали 97% и 93% от общего количества высаженных растений ячменя (рис. 1, 2). Внесение

гуминового препарата в незагрязненную почву не оказывает значительного влияния на рост и развитие ячменя ярового в модельном опыте. Однако, при концентрации гуминового препарата в почве дозой 0,5% наблюдается тенденция к снижению длины корней растений на 7,5% по сравнению с контролем (рис. 2).

При внесении поллютантов дозой 5 ПДК и 10 ПДК все исследуемые характеристики роста ячменя ярового уменьшаются по отношению к контролю, что подтверждено с использованием критерия Стьюдента (при $p < 0,05$). В условиях загрязнения почвы 5 ПДК БаП длина корня снизилась на 48%, побега – 22%, всхожесть семян – на 25%, а энергия прорастания – на 36% по отношению к растению контрольного образца. С увеличением дозы внесенного поллютанта до 10 ПДК эффект усиливается. При этом наблюдалось угнетение длины корней на 74%, побега – 37%, всхожесть семян – на 54%, а энергия прорастания – на 62% по отношению к растению контрольного образца (рис. 1, 2).

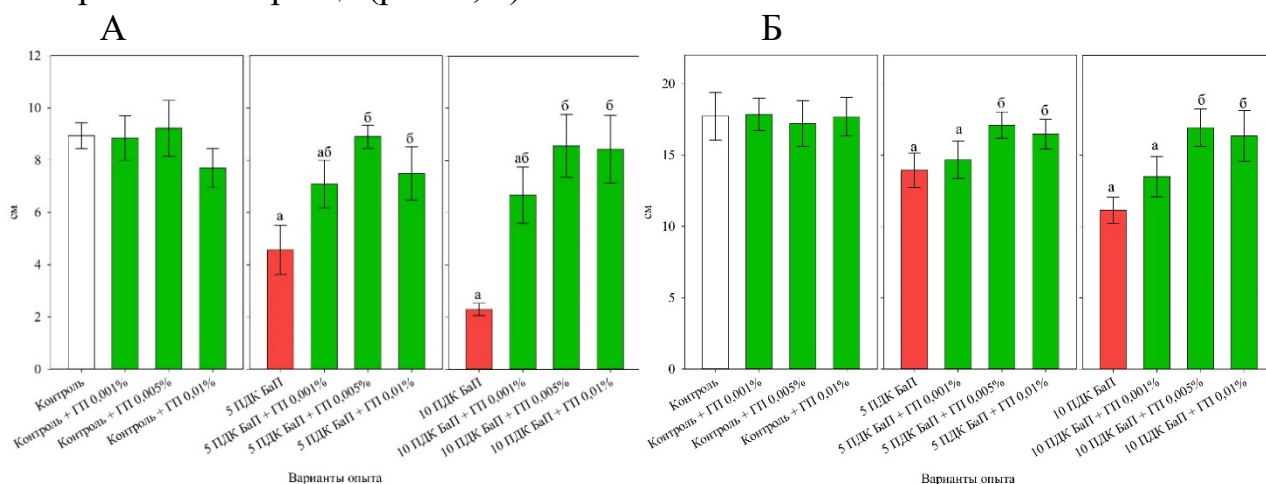


Рис. 1. Длина корня (А) и высота побега (Б) ячменя при различных концентрациях бенз(а)пирена (БаП) и гуминового препарата (ГП) в почве.

Примечание: а – различие средних значений статистически значимо в сравнении с растением контрольного варианта, б – различие средних значений статистически значимо в сравнении с растением, произрастающим на загрязненной почве.

Внесение гуминового препарата в загрязненную почву способствует улучшению ростовых и посевных качеств ячменя ярового. При этом значительный эффект наблюдается при внесении наименьшей дозы гуминового препарата (0,001%) в загрязненную 5 ПДК БаП и 10 ПДК БаП почву. Это особенно выражено для менее вариабельного показателя такого показателя как «длина побегов» так как при любой начальной концентрации внесения БаП в почву применение гуминового препарата дозой 0,001% достаточно для достижения побегом размера сопоставимого с растением контрольного варианта опыта (рис. 1). Тем не менее результаты длины корней ячменя, произрастающего на загрязненной БаП в количестве 5 ПДК или 10 ПДК статистически не отличимые от контрольного растения получены только при использовании гуминового препарата дозой 0,005%.

Внесение гуминового препарата в загрязненную почву БаП почва способствует повышению всхожести и энергии прорастания семян. С увеличением дозы вносимых органических мелиорантов эффект усиливается. Однако, результаты сопоставимые с растениями контрольного образца получены по показателям «всхожесть» и «энергия прорастания» получены только при 0,005-0,01% дозе внесения гуминового препарата в загрязненную 5 ПДК БаП почву. При большем начальном загрязнении БаП (10 ПДК) применение 0,01% гуминового препарата способствует улучшению посевных характеристик ячменя ярового, однако полученные результаты статистически значимо отличаются от контрольных значений растения, произрастающего вне загрязнения почвы (рис. 2).

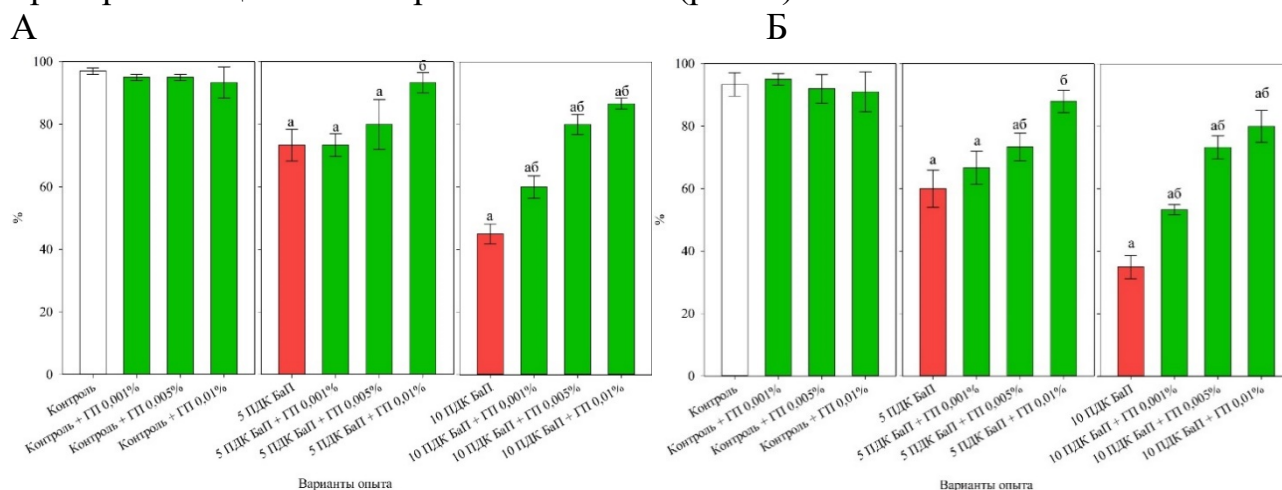


Рис. 2. Всхожесть (А) и энергия прорастания (Б) ячменя при различных концентрациях бенз(а)пирена (БаП) и гуминового препарата (ГП) в почве.

Примечание: а – различие средних значений статистически значимо в сравнении с растением контрольного варианта, б – различие средних значений статистически значимо в сравнении с растением, произрастающим на загрязненной почве.

На основе полученных результатов ростовых характеристик и посевных качеств ячменя ярового, произрастающего на почве с различным уровнем внесения БаП и гуминового препарата рассчитан ИТФ (рис. 3). Показано, что внесение гуминовых препаратов в не загрязненную почву не оказывает токсического действия на тест-культуру – ячмень яровой. Внесение БаП дозой 5 ПДК приводит к повышению класса токсичности почвы до III (средняя токсичность), а 10 ПДК – до II (высокая токсичность). Применение гуминовых препаратов в дозе 0,005% снижает класс токсичности почвы, загрязненной 5 ПДК БаП, до V (норма). При большем загрязнении почвы (10 ПДК БаП), для достижения V класса (норма) требуется большая концентрация гуминового препарата – 0,01% (рис. 3).

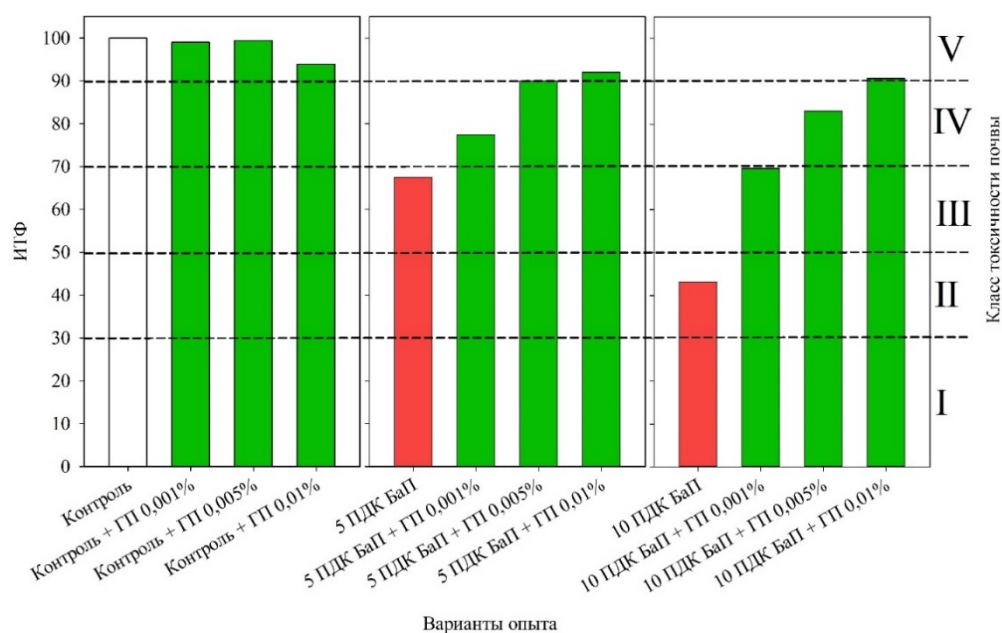


Рис. 3. Индекс токсичности фактора (ИТФ) в почве модельного опыта

Выводы. Таким образом, в результате исследования установлено, что внесение БаП дозой 200 нг/г способствовало угнетению роста и развития ячменя ярового. При увеличении дозы вносимого поллютанта эффект усиливался. ИТФ соответствовал уровню средней токсичности при 5 ПДК БаП в почве и высокой токсичности 10 ПДК БаП. Внесение ремедиантов гуминового препарата способствовало снижению класса токсичности почвы, что в итоге приводило к улучшению морфо-биометрических показателей растения и посевных качеств семян. Оптимальными дозами внесения гуминового препарата являются 0,005% и 0,01% при загрязнении почвы 5 ПДК БаП и 10 ПДК БаП, соответственно.

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. Montanarella L., Badraoui M., Chude V., Baptista Costa I. D. S., Mamо T., Yemefack M., Zhang, G. L. Status of the World's Soil Resources Main report. – 2018.
2. Ровинский Ф. Я., Теплицкая Т. А., Алексеева Т. А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Гидрометеоиздат. Л. – 1988. – 20 с.
3. СанПиН 1.2.2353-08 Канцерогенные факторы и основные требования к профилактике канцерогенной опасности Постановление главного государственного врача РФ от 21 апреля 2008 г. № 27
4. СанПиН 1.2.3685-1. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания // Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 03.02.2021, N 0001202102030022.

5. IARC. List of classifications, volumes 1-123 // IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks
6. Перминова И. В. Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот: дис. д-ра хим. наук. – Москва, 2000. – 360 с.
7. Fernández-Calviño D., Soler-Rovira P., Polo A., Arias-Estévez M., Plaza C. Influence of humified organic matter on copper behavior in acid polluted soils // *Environmental Pollution*. – 2010. – V. 158. – P. 3634-3641.
8. Gorovtsov A., Demin K., Sushkova S., Minkina T., Grigoryeva T., Dudnikova T., Kocharovskaya Y. The effect of combined pollution by PAHs and heavy metals on the topsoil microbial communities of Spolic Technosols of the lake Atamanskoe, Southern Russia // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2022. – Vol. 44(4). – P. 1299-1315.
9. Sushkova S., Minkina T., Deryabkina I., Rajput V., Antonenko E., Nazarenko O., Mohan D. Environmental pollution of soil with PAHs in energy producing plants zone // *Science of the Total Environment*. – 2019. – V. 655. – P. 232-241.

ВОЗМОЖНОСТИ СПУТНИКОВОГО РАДИОТЕПЛОВИДЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА РЕГИОНАЛЬНОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО БАЛАНСА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

^{1,2}Д.М. Ермаков, ¹Е.В. Пашинов, ¹С.А. Втюрин, ¹А.В. Кузьмин,
¹В.В. Стерлядкин, ²А.П. Чернушич

*pldime@gmail.com; pashinove@mail.ru; vturinsa@gmail.com;
alexeyvladkuzmin@mail.ru; sterlyadkin@mail.ru; andrey@chernushich.com*

¹Институт космических исследований РАН, Россия, г. Москва

²Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН, Россия, Московская область, г. Фрязино

Аннотация. Рассмотрены возможности применения подхода спутникового радиотепловидения для мониторинга регионального гидрологического баланса и предупреждения стихийных бедствий (засух, наводнений). Обсуждены особенности, преимущества, перспективы и основные проблемные аспекты метода. Приведены примеры расчетов для практического случая анализа многолетнего гидрологического баланса в верховьях р. Оби.

Ключевые слова. Спутниковое радиотепловидение, региональный гидрологический баланс, дистанционный мониторинг, предупреждение стихийных бедствий.

Эффективность подхода к анализу долгосрочного гидрологического режима внутренних водоемов на основе решения уравнения баланса атмосферной влаги с привлечением данных регулярных гидрометеорологических наблюдений продемонстрирована в ряде работ, например, [1,2]. В указанных работах в качестве входной информации были использованы данные радиозондовых измерений. Безусловно, привлекательной представляется возможность использования данных спутникового дистанционного зондирования Земли, в первую очередь – пассивного микроволнового (СВЧ-радиометрического). Этот тип наблюдений, благодаря свойствам «всепогодности», высокой периодичности наблюдений, обеспечению глобального суточного охвата, однородности качества информации открывает перспективы регулярного детального многолетнего мониторинга гидрологического режима любых территорий и объектов, в том числе, труднодоступных и плохо обеспеченных данными наземных метеорологических измерений. С одной стороны, архивы регулярных спутниковых СВЧ-радиометрических наблюдений охватывают уже более тридцати лет непрерывных наблюдений [12], что, в принципе, позволяет ставить и решать задачи регионального климатического мониторинга: исследования долгосрочных тенденций заболачивания и опустынивания территорий, многолетних вариаций стоков рек и уровней внутренних водоемов. С другой стороны, оперативность и гарантированная высокая периодичность измерений востребована для многих практических приложений, требующих среднесрочного и краткосрочного анализа и

прогноза режима осадков: предсказания засух и наводнений, детектирования пожароопасных ситуаций.

В обоих случаях (анализа долгосрочных и краткосрочных вариаций гидрологического режима) применим следующий подход. Общее содержание атмосферной влаги внутри области, охваченной произвольным контуром, меняется под действием двух процессов: адвекции воздушных масс разной влажности (горизонтальный перенос влаги) и вертикального обмена влагой с подстилающей поверхностью, как суммарного итога осадкообразования и испарения. Таким образом, имея регулярную информацию об общем содержании влаги в атмосфере и о горизонтальном, интегрированном по высоте атмосферы, потоке влаги через ограничивающий контур, легко получить интегральную по времени наблюдения и площади территории разность между количеством выпавшей и испарившейся воды в пределах заданного контура. Последнее и является характеристикой интенсивности обмена влагой между атмосферой и подстилающей поверхностью; хронологические ряды этой характеристики дают возможность исследования гидрологического режима территории на разных временных масштабах.

При реализации этого общего подхода на основе данных спутниковых СВЧ-радиометрических наблюдений следует принять во внимание следующие две проблемы:

1) Характеристики атмосферы (в том числе, интересующая в первую очередь величина интегрального влагосодержания) по спутниковым СВЧ-радиометрическим наблюдениям над сушей восстанавливаются с существенно большими погрешностями, чем над океаном, что связано с особенностями формирования собственного и отраженного микроволнового излучения этими двумя типами подстилающей поверхности.

2) Прямые измерения интегральных по высоте горизонтальных потоков водяного пара по спутниковым измерениям невозможны. Если над океаном в качестве косвенной характеристики может быть использована восстанавливаемая скорость приводного ветра [11], то над сушей такой подход не применим в принципе, поскольку скорость ветра слабо и неоднозначно влияет на излучательные и отражательные характеристики поверхности.

Решение первой проблемы заключается в развитии средств наблюдений и методик обработки получаемых данных. В этом направлении в последнее десятилетие наметился серьезный прогресс, например, [6]. Авторы настоящей работы ранее предложили свой подход к восстановлению интегрального влагосодержания атмосферы на базе нейросетевых технологий [3], обеспечивающий абсолютные погрешности восстановления над сушей не более 3 кг/м^2 , что является приемлемым для многих практических приложений (см. ниже).

Вариантом решения второй проблемы является применение подхода спутникового радиотепловидения [7], в рамках которого векторные поля адвекции водяного пара восстанавливаются по хронологической последовательности полей интегрального влагосодержания атмосферы с использованием алгоритмов «анализа оптического потока». Такой подход

успешно опробован для анализа динамических процессов в системе «океан-атмосфера», например, [8], однако следует отметить, что при переходе к системе «суша-атмосфера» соотношение сигнал/шум существенно убывает вследствие того, что характерные значения влажности воздуха и скорости ветра над сушей ниже, чем над океаном.

В работе [4] авторами проведен анализ требований к точностям восстановления необходимых характеристик для применения описанного выше подхода к мониторингу гидрологического режима территорий в практических приложениях (на примере прогноза наводнений на р. Амур). Показана принципиальная применимость и эффективность подхода, при том, что ключевым вопросом является точность восстановления полей скорости адвекции водяного пара.

Для повышения точности восстановления полей адвекции водяного пара над сушей было проведено сравнительное исследование результатов применения нескольких алгоритмов анализа оптического потока к длинным рядам данных наблюдений радиометрами SSMIS на спутниках серии DMSP [13]. В качестве иллюстрации на рис. 1 приведены расчетные поля скорости адвекции (в условном масштабе), наложенные поверх полей интегрального влагосодержания атмосферы, восстановленных по данным приборов SSMIS. Для одной и той же даты проведены расчеты с помощью трех различных алгоритмов анализа оптического потока: Dense Inverse Search (DIS) [10] (вверху), Farneback [9] (по центру); Lucas-Kanade [5] (внизу). Установлено, что над сушей наилучшим образом работает алгоритм DIS, который обеспечивает плотные и гладкие решения для поля адвекции. Основная проблема состоит в слабой контрастности воздушных масс по содержанию водяного пара и сравнительно низких скоростях адвекции. Это приводит к появлению большого числа ложных решений в виде нулевых векторов адвекции (движение не детектируется). Решение, обеспечиваемое DIS, не только содержит минимальное число нулевых векторов, но и хорошо соотносится с потоками водяного пара, вычисляемыми по данным реанализа ERA5.

В качестве примера обработки данных по предложенному подходу на рис. 2 приведены результаты расчетов длинных рядов основных элементов гидрологического баланса для области верхнего течения р. Оби, ограниченных 52° и 57° северной широты и 60° и 90° восточной долготы. Исходя из этих данных легко рассчитать годовые количества накопленных над указанной территорией осадков из уравнения баланса атмосферной влаги. Из сопоставления с независимыми измерениями годового стока р. Обь, а также с данными реанализа следует, что полученные оценки в целом верно характеризуют гидрологический режим рассмотренной территории, что подтверждает перспективность предложенного метода исследований.

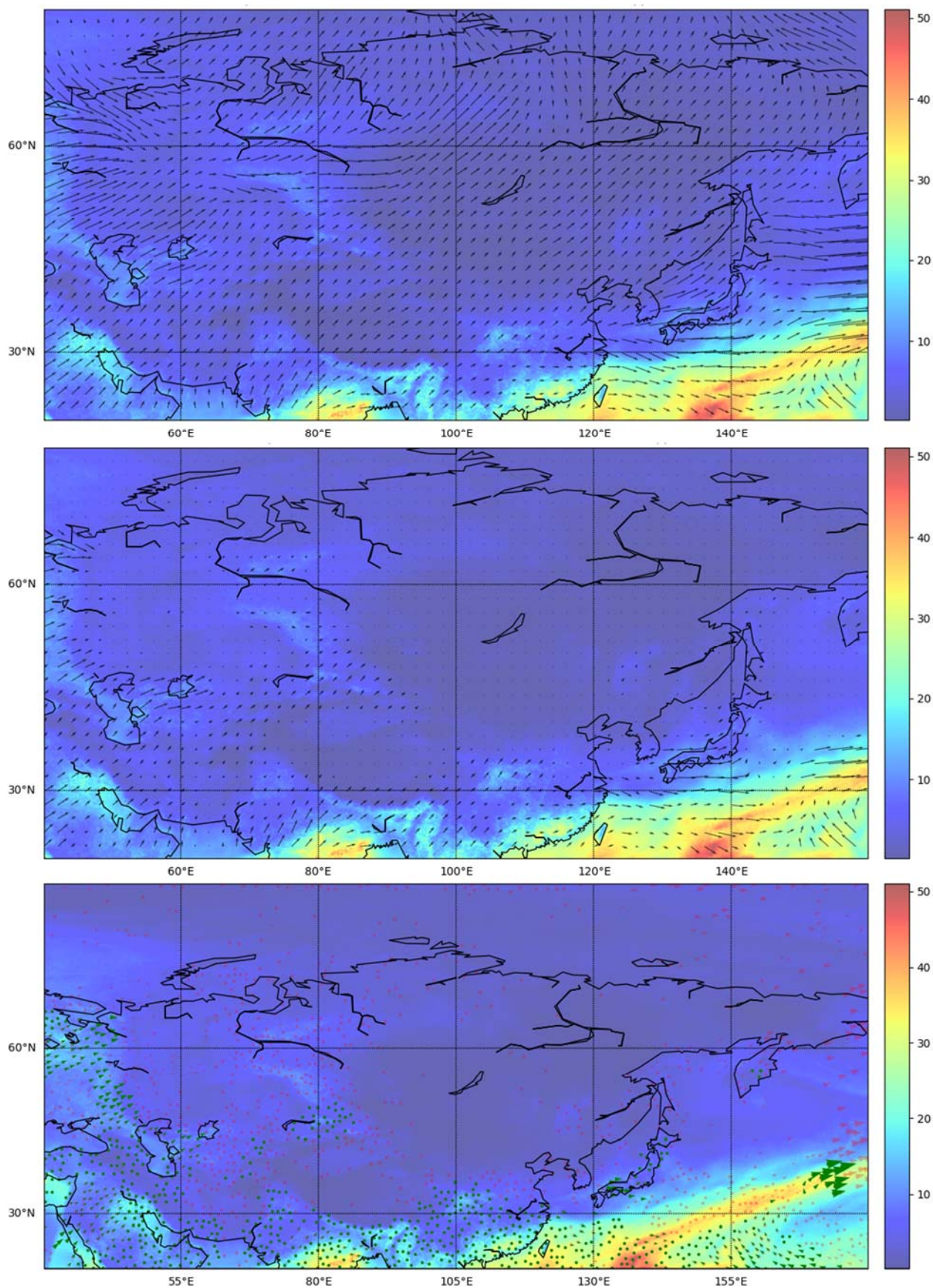


Рис. 1. Поле интегрального влагосодержания над территорией России 01.01.2013 (цвет, цветовая шкала значений – справа) и скорости адвекции водяного пара (стрелки, масштаб условный) по алгоритмам [10,9,5] (сверху вниз)

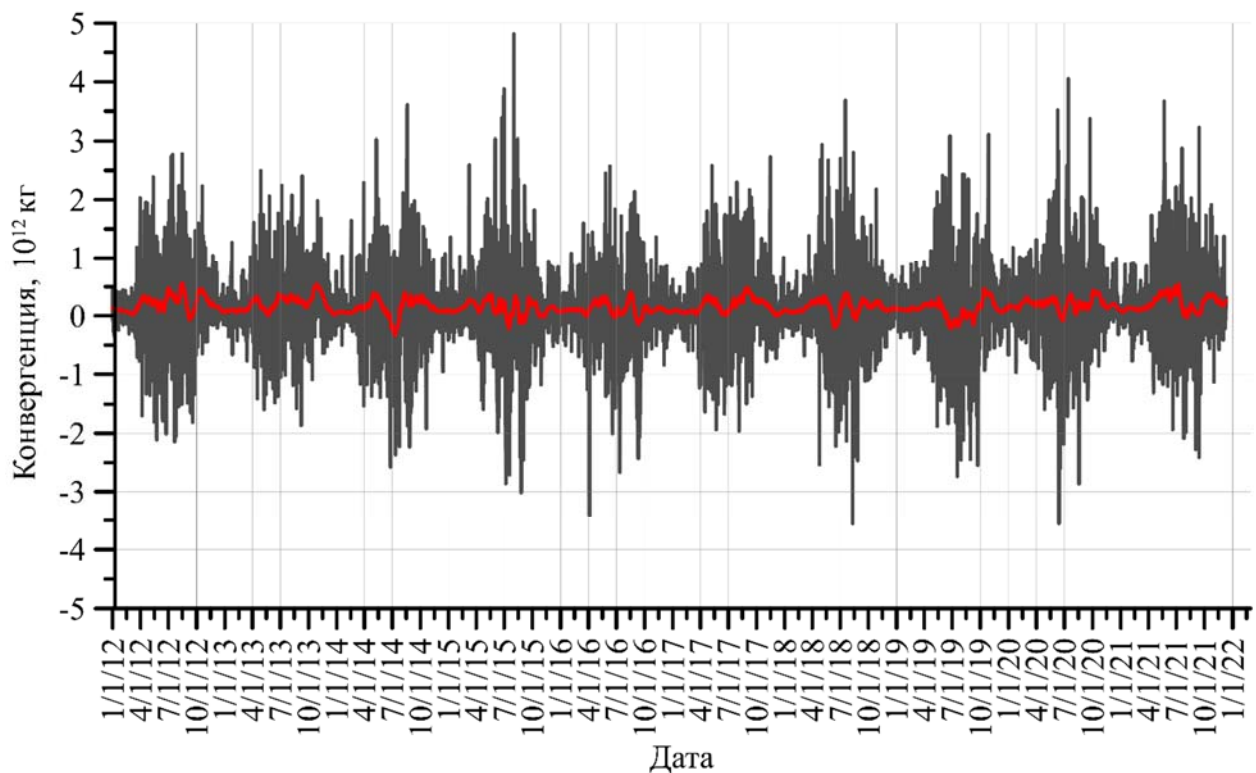
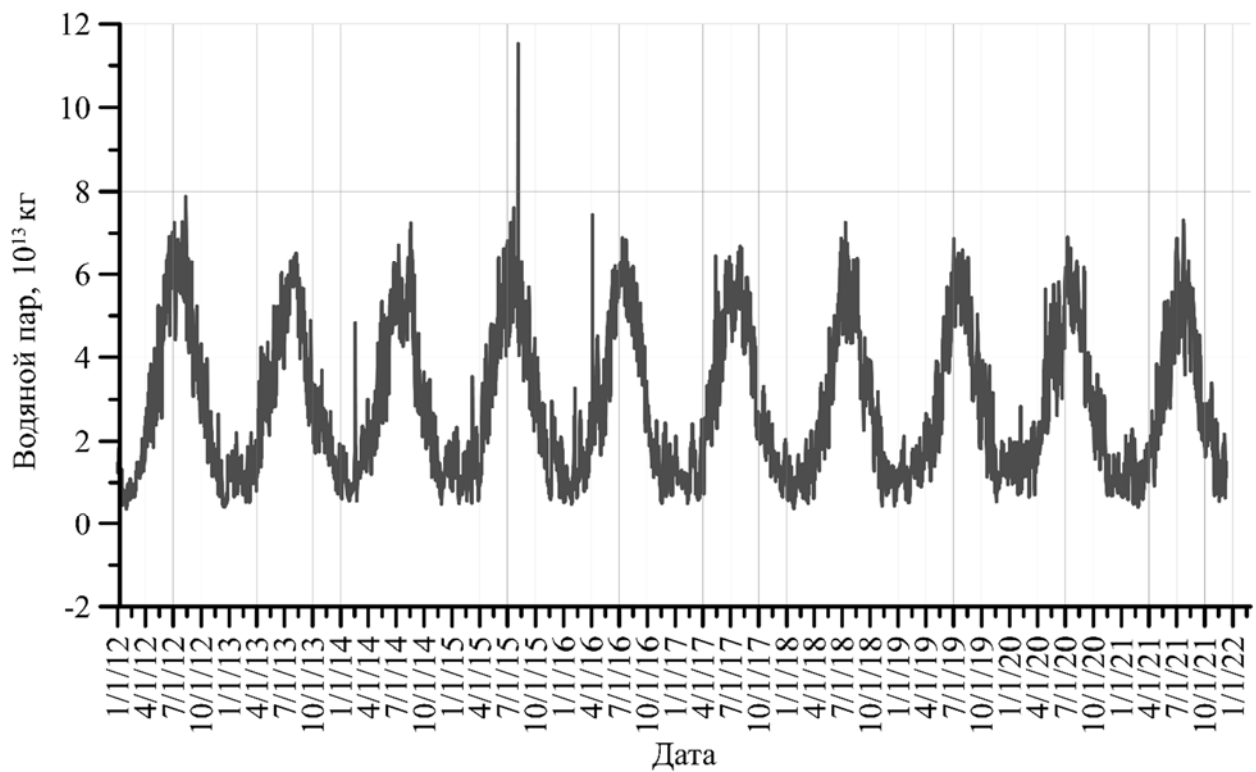


Рис. 2. Многолетние ряды полного влагосодержания атмосферы над районом верхнего течения р. Оби (вверху) и конвергенции водяного пара внутри границы этого района (внизу) с шагом по времени 3 часа (красная линия – сглаживание в скользящем месячном окне), по горизонтали – дата в формате ММ/ДД/ГГ

Работа по внедрению подхода спутникового радиотепловидения для задач спутникового мониторинга регионального гидрологического цикла (Д.М. Ермаков, А.П. Чернушич) выполнена в рамках гос. задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН; обработка и комплексный анализ спутниковых данных (Д.М. Ермаков, Е.В. Пашинов, С.А. Втюрин, А.В. Кузьмин, В.В. Стерлядкин) выполнена в рамках гос. задания ИКИ РАН (тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8).

Список литературы

1. Малинин В. Н. Проблема прогноза уровня Каспийского моря. – СПб.: РГГМИ, 1994. – 154 с.
2. Малинин В. Н., Гордеева С. М. Влияние влагообмена в Северной Атлантике на увлажнение Европейской части России и годовой сток Волги //Водные ресурсы. – 2019. – Т. 46. – № 3. – С. 318-332.
3. Пашинов Е. В., Втюрин С. А., Ермаков Д. М. Длинные ряды данных о глобальной циркуляции водяного пара в атмосфере Земли на основе спутникового радиотепловидения //Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». – Москва: ИКИ РАН, 2022. – С. 439.
4. Стерлядкин В.В., Ермаков Д.М., Кузьмин А.В., Пашинов Е.В. Предсказание наводнений на крупных реках по радиометрическим микроволновым измерениям из космоса. Возможно ли это? //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19. – № 5. – С. 40-52.
5. Baker S., Matthews I. Lucas-Kanade 20 years on: A unifying framework //International journal of computer vision. – 2004. – V. 56. – P. 221-255.
6. Du J., Kimball J. S., Jones L. A., Kim Y., Glassy J., Watts J. D. A global satellite environmental data record derived from AMSR-E and AMSR2 microwave Earth observations //Earth System Science Data. – 2017. – V. 9. – N. 2. – P. 791-808.
7. Ermakov D. Satellite radiothermvision of atmospheric processes: method and applications. – Cham: Springer, 2021. – 226 p.
8. Ermakov D., Kuzmin A., Pashinov E., Sterlyadkin V., Chernushich A., Sharkov E. Comparison of vertically integrated fluxes of atmospheric water vapor according to satellite radiothermvision, radiosondes, and reanalysis //Remote Sensing. – 2021. – V. 13. – 1639. <https://doi.org/10.3390/rs13091639>.
9. Farneback G. Two-frame motion estimation based on polynomial expansion //Image Analysis, 13-th Scandinavian Conference, SCIA 2003, Halmstad, Sweden, June 29 - July 2, 2003, Proceedings / ed. Bigün J., Gustavsson T. Springer. – 2003. – V. 2749. – P. 363-370.
10. Kroeger T., Timofte R., Dai D., van Gool L. Fast optical flow using dense inverse search //Computer Vision – ECCV 2016. – 2016. – P. 471-788.
11. Liu W. T. Moisture and latent heat flux variabilities in the Tropical Pacific derived from satellite data //Journal of Geophysical Research. – 1988. V. – 93. – N. C6. – P. 6749-6760.
12. Schluessel P., Emery W. J. Atmospheric water vapour over oceans from SSM/I measurements //International Journal of Remote Sensing. – 1990. – V. 11. – N. 5. – P. 753-766.
13. Sun N., Weng F. Evaluation of Special Sensor Microwave Imager/Sounder (SSMIS) Environmental Data Records //IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2008. – V. 46. – N. 4. – P. 1006-1016.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД АВЗЯНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО РАЙОНА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Г.М. Казбулатова, С.В. Мичурин, А.М. Карамова

kazbulatova@mail.ru

Институт геологии УФИЦ РАН, Россия, г. Уфа

Аннотация. Мониторинг уровней химических веществ в поверхностных водах горнорудных районов и экологическая оценка их состояния являются важнейшими мерами по обеспечению качества питьевой воды и снижению рисков для здоровья населения. В данной работе проводилось определение содержаний микроэлементов, в том числе тяжелых металлов и металлоидов, в поверхностных водах Авзянского золоторудного района и оценка экологического риска здоровью населения. Поверхностные воды исследуемого района характеризуются неблагоприятным экологическим состоянием. В более половине проб отмечается превышение предельно допустимой концентрации по марганцу, железу, сурьме и вольфраму, в единичных пробах – по ванадию, меди и мышьяку. Локально установлен участок экстремально высокой загрязнённости по алюминию. В целом из проанализированных элементов сурьма, вольфрам и алюминий имеют наиболее высокие средние значения кратности превышения предельно допустимой концентрации. Основным загрязняющим элементом является сурьма, превышающая предельно допустимую концентрацию в 1,2–7,6 раза. Уровень загрязнённости вод этим элементом является высоким и экстремально высоким. По результатам исследований построена карта степени загрязнённости поверхностных вод сурьмой. По значениям коэффициентов комплексности загрязнённости (8,7–30,4 %) и показателям коэффициентов комплексности высокого и экстремально высокого уровней загрязнения (до 4,3 %) поверхностные воды Авзянского золоторудного района являются умеренно токсичными и относятся к I–II категории загрязнённости. На основе значений суммарных коэффициентов опасности определен неканцерогенный риск для здоровья населения, который заключается в возможных неблагоприятных последствиях и связан в основном с высокими концентрациями сурьмы в воде. Преобладающими растворенными формами мышьяка являются оксианионы $HAsO_4^{2-}$ и $H_2AsO_4^-$, сурьмы – $Sb(OH)_6^-$.

Ключевые слова. Авзянский золоторудный район, поверхностные воды, Большой Авзян, сурьма, мышьяк.

Исследования, посвященные качеству воды в золоторудных районах, свидетельствуют о высоких концентрациях в ней Fe, Zn, As, Sb и некоторых других элементов, что определяет высокий риск для здоровья населения и серьезно ограничивает доступ человека к чистой питьевой воде [1–4]. Авзянский золотрудный район (АЗР) располагается в 70–80 км юго-западнее г. Белорецка. Руды коренных золоторудных объектов АЗР относятся главным образом к малосульфидному золото кварцевому, а также к золото-сульфидно-

кварцевому и золото-сульфидному типам [5–7]. Минералогический состав руд представлен кварцем, железистыми карбонатами, сульфидами (пиритом, пирротином, халькопиритом, галенитом и др.) и сульфоарсенидами (арсенопиритом, герсдорфитом).

Нами изучались правые притоки и среднее течение реки Большой Авзян, дренирующего рудопоявления и месторождения коренного (Горный Прииск, Калашникова жила, Богряшка, Рамеева жила, Улюк-Бар, Кургашлинское) и россыпного (Карасмаякское, Кургашлинское, Надеждинское, Большой Ключ, Богряшка, Рыжова Поляна, Каменный ключ, Авзянское) золота. Целью исследования являлось определение содержаний микроэлементов в поверхностных водах АЗР, в том числе тяжелых металлов и металлоидов и оценка экологического риска здоровью населения близлежащих сел – Исмакаево и Верхний Авзян.

Пробы воды были отобраны в июле–августе 2021 г согласно ГОСТу [8]. Положение точек отбора показано на рис. В воде измерялись кислотность (рН), окислительно-восстановительный потенциал (Еh), общая минерализация (TDS) и содержание 23 элементов спектральным атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС). Для сравнения нами использовались ПДК химических веществ в воде хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых водных объектов по гигиеническим нормативам [9] и рыбохозяйственных водных объектов по рыбохозяйственным нормативам [10].

Для оценки состояния поверхностных вод АЗР рассчитывались коэффициенты комплексности загрязненности (Кк), кратность превышения ПДК (β), коэффициент комплексности высокого уровня загрязнённости воды (Квз) и коэффициент комплексности экстремально высокого уровня загрязнённости воды (Кэвз). По этим параметрам проводилась оценка загрязнённости поверхностных вод АЗР согласно методическим указаниям [11]. При расчете показателей загрязненности учитывался перечень определяемых элементов.

Оценка неканцерогенного риска здоровью населения проводилась путем расчета коэффициента опасности при приеме внутрь по уравнениям, приведенным в работах [1, 12–13]. Более подробно расчеты приведены в работе [14]. Расчет проводился по каждому элементу из группы тяжелых металлов и металлоидов, установленные концентрации которых были выше предела обнаружения.

Воды реки Большой Авзян и ее притоков в целом имеют среду близкую к нейтральной – значения рН варьируют от 6,85 до 7,18. Величина Еh колеблется от 212 до 286 mV. По химическому составу они являются гидрокарбонатно-кальциевыми и обладают минерализацией от 90 до 270 мг/л.

Содержания элементов в поверхностных водах АЗР приводятся в таблице. Большинство элементов (Li, B, Na, Mg, Si, P, Ca, Ti, Cr, Ni, Zn, Sr, Ba, U) имеют низкие содержания в воде, значительно меньше ПДК. Превышение ПДК установлено для Al ($\beta_{cp}=5,7$; $n=3$), V ($\beta_{cp}=2$; $n=2$), Mn ($\beta_{cp}=2,9$; $n=11$), Fe

($\beta_{cp}=2,7$; $n=11$), Cu ($\beta_{cp}=2$; $n=2$), As ($\beta_{cp}=1,9$; $n=2$), Sb ($\beta_{cp}=3,7$; $n=13$), W ($\beta_{cp}=3,6$; $n=8$).

В притоках реки Большой Авзян ($n=8$) концентрации Sb и As равны соответственно 5–38 и ≤ 5 –19, в реке Большой Авзян ($n=5$) – 6–31 и ≤ 5 , в колодце села Исмакаево – 14 и ≤ 5 .

Сравнение полученных данных по содержанию химических элементов в поверхностных водах АЗР с нормативными ПДК в водах хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного значения выявило, что во всех точках отбора наблюдается их превышение (таблица). Уровень загрязненности вод по Sb (превышение ПДК в 1,2–7,6 раз во всех отобранных пробах) в большинстве случаев является высоким и экстремально высоким. В воде из колодца в с. Исмакаево содержание Sb превышает ПДК в 2,8 раза. Кроме того, экстремально высокие загрязненности отмечаются локально: по Al ($\beta=12,7$) в ручье Большой Ключ вблизи месторождения Улюк-Бар. В целом из проанализированных элементов Al, Sb и W имеют наиболее высокие средние значения кратности превышения ПДК. Превышение ПДК по Mn, Fe, Sb и W отмечается в более половине проб, а по Al, V, Cu, As – в единичных пробах. Вместе с тем по кратности превышения ПДК по этим элементам, помимо Sb и Al, поверхностные воды АЗР нельзя отнести к высоко и экстремально высоко загрязненным. По показателю Кк они являются умеренно токсичными и относятся к I–II категории загрязненности [11].

В целом коэффициенты комплексности высокого (K_{B3}) и экстремально высокого ($K_{ЭB3}$) уровней загрязненности в поверхностных водах АЗР достигают 4,3 % (таблица 1) и являются незначительными. Вода по этим показателям обладает сравнительно невысокой степенью загрязнения и может быть отнесена к I категории загрязненности [11].

Наиболее сильно загрязняющим элементом поверхностных вод АЗР является Sb. Экстремально высокие уровни загрязненности по Sb имеют пробы воды, отобранные: из реки Большой Авзян, вблизи устья ручья Большой Ключ; из ручьев Караелга и Железка (рис.). Наиболее высоким коэффициентом комплексности загрязненности ($K_k=26,1$ –30,4 %, таблица) обладает вода ручья Большой Ключ вблизи месторождения Улюк-Бар. Она обладает худшим качеством по сравнению с остальными.

Потребление загрязненной токсичными элементами воды реки Большой Авзян может подвергать риску заболеваний население близлежащих сел Исмакаево и Верхний Авзян, общее количество жителей которых превышает 2300 человек. Нами для оценки воздействия качества воды на здоровье населения использовались данные по питьевой воде из колодца в с. Исмакаево, а также данные по воде из реки Большой Авзян. Неканцерогенный риск для здоровья населения был определен на основе значений суммарных коэффициентов опасности Hl_{ing} , которые для взрослых оказались равными 1,1–1,3; для детей – 4,0–4,9. Это указывает на возможные неблагоприятные последствия для здоровья населения, связанные главным образом с высокими концентрациями Sb в воде. Причем для детей неканцерогенный риск выше, поскольку они потребляют больше воды на единицу массы тела и более

уязвимы к последствиям от потребления загрязненной воды, чем взрослые. Взрослое население мало подвержено риску неканцерогенных воздействий.

Таблица 1

Содержания химических элементов в поверхностных водах Авзянского золоторудного района и коэффициенты, характеризующие уровень их загрязненности

Показатель	ПДК, мкг/л	Концентрация элемента в точке отбора, мкг/л													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 класс опасности															
As	10	19*	6	<5	<5	<5	<5	10	<5	<5	<5	<5	<5	19*	<5
2 класс опасности															
B	500	5	6	5	4	5	5	4	4	4	5	5	5	6	5
Li	30	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Mo	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sb	5	13*	20*	5	12*	31*	21*	15*	31*	6*	12*	14*	14*	38*	14*
Si**	10	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Va	700	27	14	11	8	10	8	8	11	10	9	8	10	12	13
U	100	5	6	<5	13	5	<5	5	7	8	11	5	10	11	14
3 класс опасности															
Cr ³⁺	500	<1	<1	<1	2	<1	2	1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1
Cr ⁶⁺	50														
Cu	1	1	<1	<1	<1	2*	<1	<1	1	1	<1	<1	1	<1	2*
Ni	10	2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1	1	<1
Sr	400	160	147	129	123	165	139	99	129	153	134	137	133	166	127
V	1	2*	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	1	<1	<1	<1	<1	2*
W	0,8	6*	1*	4*	3*	<1	<1	<1	<1	2*	1*	4*	2*	<1	<1
Zn	10	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
4 класс опасности															
Al	40	509*	<5	<5	<5	<5	<5	23	88*	88*	32	7	<5	9	<5
Ca**	180	41	39	42	44	51	46	16	53	52	45	48	38	52	41
Fe	100	538*	29	100	135*	143*	83	161*	439*	325*	335*	223*	157*	414*	126*
Mg**	40	6	3	3	4	4	4	2	4	4	4	4	4	6	3
Mn	10	37*	6	11*	12*	15*	14*	11*	60*	36*	36*	15*	10	70*	2
Na**	120	3	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2
P	50	16	12	5	10	12	<5	15	33	14	8	6	9	8	13
Ti	60	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	2	<1	<1
Кк, %		30,4	8,7	8,7	17,4	17,4	8,7	13,0	17,4	21,7	17,4	17,4	13,0	17,4	17,4
Квз, %		4,3	4,3	–	–	–	4,3	4,3	–	–	–	–	–	–	–
Кэвз, %		–	–	–	–	4,3	–	–	4,3	–	–	–	–	4,3	–
β(Sb)		2,6	4,0	–	2,4	6,2	4,2	3	6,2	1,2	2,4	2,8	2,8	7,6	2,8
Уровень загрязненности воды: 1 – высокий; 2 – экстремально высокий															
по β(Sb)		–	1	–	–	2	1	1	2	–	–	–	–	2	–

Примечание. ПДК и класс опасности для Mo, Cu, Ni, Sr, V, W, Zn, Al, Fe, Mg, Mn, Na, P, Ti приводится по [10], для остальных элементов – в соответствии с гигиеническими нормативами [9]; * – значения, превышающие ПДК; ** – элементы, концентрации которых приведены в мг/л; Кк – коэффициент комплексности загрязненности воды; Квз – коэффициент комплексности высокого уровня загрязненности воды; Кэвз – коэффициент комплексности экстремально высокого уровня загрязненности воды; β – кратность превышения ПДК.

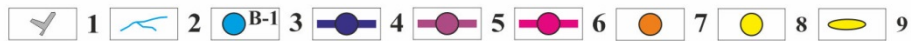
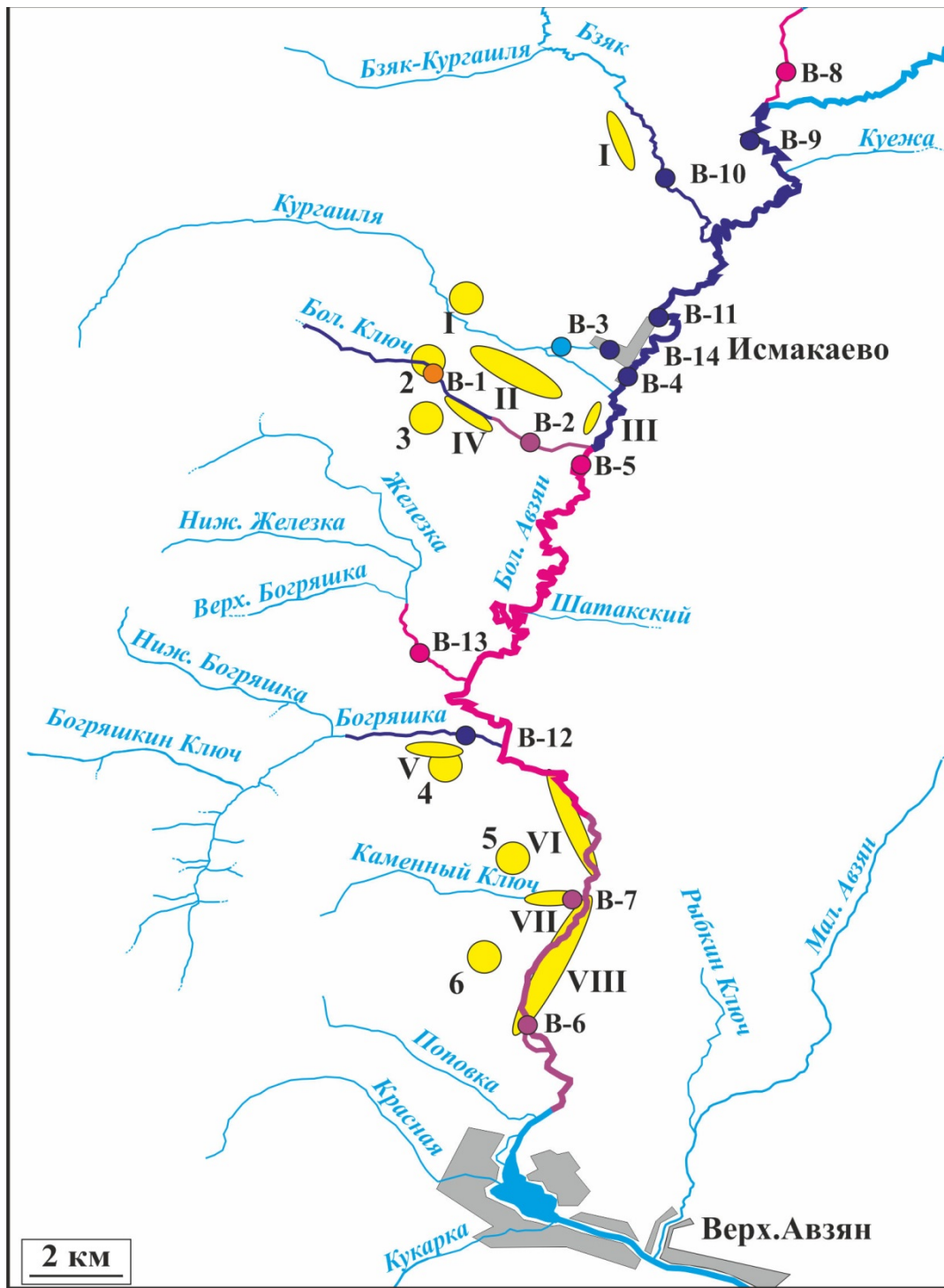


Рис. Оценка загрязнённости поверхностных вод АЗР по содержанию в них Sb и Al: 1 – населенные пункты; 2 – реки и ручьи; 3 – незагрязнённые участки; 4–6 – уровни загрязнённости по Sb: 4 – низкий, 5 – высокий, 6 – экстремально высокий; 7 – экстремально высокий уровень загрязнённости по Al; 8 – месторождения и рудопроявления коренного золота (1 – Кургашлинское, 2 – Улюк-Бар, 3 – Рамеева жила, 4 – Богряшка, 5 – Калашникова жила, 6 – Горный Прииск); 9 – месторождения россыпного золота (I – Карасмякское, II – Кургашлинское, III – Надеждинское, IV – Большой Ключ, V – Богряшка, VI – Рыжова Поляна, VII – Каменный ключ, VIII – Авзянское).

Токсичность Sb и As зависит от степени их окисления. Как правило, неорганические соединения мышьяка и сурьмы более токсичны [15]. В

соответствии с полученными данными кислотности и окислительно-восстановительного потенциала ($pH=6,85-7,18$; $Eh=212-286$ mV) в поверхностных водах АЗР мышьяк и сурьма присутствуют в пятивалентном состоянии и, согласно диаграммам $Eh-pH$, приводимым в работах [16–18], их преобладающими формами для As являются оксианионы $HAso_4^{2-}$ (около 75 %) и $H_2AsO_4^-$ (около 25 %), а для Sb – $Sb(OH)_6^-$.

Выводы.

1. Поверхностные воды Авзянского золоторудного района характеризуются неблагоприятным экологическим состоянием. Основным загрязняющим элементом является сурьма, содержания которой в воде в 1,2–7,6 раза превышают допустимые нормативы. Вода по этому элементу характеризуется высокой и экстремально высокой степенью загрязнённости. По результатам исследований построена карта степени загрязнённости поверхностных вод сурьмой.

2. В целом из проанализированных элементов алюминий, сурьма и вольфрам имеют наиболее высокие средние значения кратности превышения предельно допустимой концентрации (3,6–5,7 раза). Превышение предельно допустимой концентрации по марганцу, железу, сурьме и вольфраму отмечается в более половине проб, а по алюминию, ванадию, меди и мышьяку – в единичных пробах. По значениям коэффициентов комплексности загрязнённости (8,7–30,4 %) поверхностные воды являются умеренно токсичными и относятся к I–II категории загрязнённости.

3. Локально установлен участок экстремально высокого загрязнения по алюминию. В целом по показателям коэффициентов комплексности высокого и экстремально высокого уровней загрязнённости (до 4,3 %) поверхностные воды Авзянского золоторудного района обладают сравнительно невысокой степенью загрязнённости и могут быть отнесены к I категории загрязнённости.

4. На основе значений суммарных коэффициентов опасности (Hl_{ing}) определен неканцерогенный риск для здоровья населения, который заключается в возможных неблагоприятных последствиях. Для детей неканцерогенный риск, связанный главным образом с большими концентрациями сурьмы в воде, выше ($Hl_{ing} = 4,0-4,9$), чем для взрослых ($Hl_{ing} = 1,1-1,3$).

Исследования выполнены по теме № FMRS-2022-0015 госзадания ИГ УФИЦ РАН.

Список литературы

1. Human risk from exposure to heavy metals and arsenic in water from rivers with mining influence in the Central Andes of Peru / M. Custodio, W. Cuadrado, R. Peñaloza, R. Montalvo, S. Ochoa, J. Quispe // Water. – 2020. – V. 12 (7). – P. 1946–1966.
2. Geogenic and anthropogenic interactions at a former Sb mine: environmental impacts of As and Sb / L. Mbadugha, D. Cowper, S. Dossanov, G.I. Paton // Environmental Geochemistry and Health. – 2020. – V. 42. – P. 3911–3924.
3. In situ arsenic immobilization for coastal aquifers using stimulated iron cycling: lab-based viability assessment / A. Barron, J. Sun, S. Passaretti, C. Sbarbati, M. Barbieri, N. Colombani, J. Jamieson, B.C. Bostick, Y. Zheng, M. Mastrocicco, M. Petitta, H. Prommer // Applied Geochemistry. – 2022. – V. 136. – 105155.

4. Antimony contamination and its risk management in complex environmental settings: a review / N. Bolan, M. Kumar, E. Singh, A. Kumar, L. Singh, S. Kumar, S. Keerthanan, S.A. Hoang, A. El-Naggar, M. Vithanage, B. Sarkar, H. Wijesekara, S. Diyabalanage, P. Sooriyakumar, A. Vinu, H. Wang, M.B. Kirkham, S.M. Shaheen, J. Rinklebe, K.H.M. Siddique // *Environment International*. – 2022. – V. 158. – 106908.

5. Мичурин С.В., Ковалев С.Г., Горожанин В.М. Генезис сульфидов и сульфатов в нижнерифейских отложениях Камско-Бельского авлакогена и Башкирского мегантиклинория. – Уфа: ДизайнПолиграф-Сервис, 2009. – 192 с.

6. Сульфидная минерализация, самородное золото и его геохимические связи в рифейских отложениях Авзянского рудного района (Южный Урал) / С.В. Мичурин, А.А. Шарипова, М.Т. Крупенин, Д.А. Замятин, А.М. Мусина, В.А. Попов // *Литосфера*. – 2018. – Т. 18. – № 1. – С. 61–81.

7. Шарипова А.А. Минералогия и геохимия месторождений и рудопроявлений золота Авзянского рудного района (Южный Урал): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Уфа, 2021. – 17 с.

8. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартинформ, 2019. – 36 р.

9. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. – М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. – 152 с.

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

11. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. – Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2003. – 49 с.

12. Степанова Н.В., Валеева Э.Р., Фомина С.Ф. Оценка неканцерогенного риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – Казань: К(П)ФУ, ИФМиБ, 2015. – 112 с.

13. Методические рекомендации. Расчет доз при оценке риска многосредового воздействия химических веществ. – М.: Санэпидмедиа, ГУ НИИ ЭЧ и ГОС имени А.Н. Сысина РАМН, ММА имени И.М. Сеченова, Консультационный Центр по оценке риска, Центр госсанэпиднадзора в г. Москве, 2003. – 28 с.

14. Казбулатова Г.М., Мичурин С.В., Карамова А.М. Геоэкологическая оценка состояния поверхностных вод Авзянского золоторудного района Республики Башкортостан // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2022. – Т. 333. – № 8. – С. 139–152.

15. Багрянцева О.В., Хотимченко С.А. Токсичность неорганических и органических форм мышьяка // *Вопросы питания*. – 2021. – Т. 90. – № 6. – С. 6–17.

16. Takeno N. Atlas of Eh-pH diagrams intercomparison of thermodynamic databases Geological Survey of Japan. – Japan: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Research Center for Deep Geological Environments Naoto TAKENO, 2005. – 285 p.

17. Smedley P.L., Kinniburgh D.G. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters // *Appl. Geochemistry*. – 2002. – V. 17 (5). – P. 517–568.

18. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Поведение мышьяка в почвах, горных породах и подземных водах. Трансформация, адсорбция/десорбция, миграция: аналит. обзор. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, ИГЭ РАН, 2011. – 249 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ

Н.Л. Кехирипа, Я.Ш. Кишмария

Lasha.1111@icloud.com; Yamze.kishmariya@mail.ru

Абхазский государственный университет, Абхазия, г. Сухум

***Аннотация.** Исследование грозовой активности в атмосфере является одним из важнейших направлений в метеорологии. Гроза – атмосферное явление, негативно влияющее на многие отрасли жизнедеятельности человека. Нередки случаи, когда во время грозы молния попадает в метеорологическое оборудование на полосе и приборы выходят из строя. В статье рассмотрены вопросы грозовых явлений в Республике Абхазия в период глобальных изменений климата. Проведен анализ сезонных и межгодовых изменений грозовой активности.*

***Ключевые слова.** Грозовая активность, Кавказский регион, Республика Абхазия, мировая активность грозовых явлений.*

На территории Северо-Западного Кавказа расположена горная страна Абхазия. Северо-западная и северная граница Республики Абхазия проходит по р. Псоу, а затем по гребню Главного водораздельного хребта Большого Кавказа. Именно здесь проходит граница с субъектами Российской Федерации - Краснодарским краем, Республикой Адыгея и Карачаево-Черкесской Республикой. На востоке граница проходит по Сакянскому хребту, южным отрогам Кодорского (Панаюского) хребта и нижнему течению р. Ингур. На этой территории Абхазия граничит с Республикой Грузия и ее этнографическими провинциями - Сванетией и Мингрелией. Юг Республики Абхазия омывается водами Черного моря [6].

С северо-запада на юго-восток, средняя протяженность Абхазии равна 170 км, с юга на север 66 км. Она лежит между 43° 35' и 42° 27' северной широты и 40° и 42° 08' восточной долготы. Общая площадь страны равна 8, 665 тыс. кв. км.

Практически на всей территории Абхазии расположены высокие, сильно расчлененные горные цепи. Общее поднятие территории идет в направлении с юго-запада на северо-восток. Горная область опоясана холмистыми предгорьями, которые переходят в низменную приморскую равнину на востоке страны, или прямо обрываются к берегу моря на запад.

Главный хребет Большого Кавказа на северо-западной границе Абхазии, у истоков реки Ауадхара, поднимается до высоты 2500 м. над уровнем моря, на восточной границе страны высота хребтов составляет уже 3500-4000 м. Наивысшей точкой является гора Домбай-Ульген - 4048 м. над уровнем моря.

Все 14 перевалов через Главный хребет в пределах Абхазии лежат на высотах от 2300 до 3000 м. над уровнем моря, большинство из них труднодоступны и большую часть года закрыты для сообщения. Это перевалы Адзапш - 2497 м, Санчара - 2589 м, Магана - 2265 м, Наур - 2839 м, Птыш - 2995 м, Нахар - 2885 м и другие. В прошлые века осуществлялись весьма

оживленные коммуникации через Клухорский перевал (2782 м), лежащий на Военно-Сухумской дороге, а также через Марухский перевал (2747 м). Перевалы - это тропы, которые может пройти пешеход или вьючная лошадь.

У подножия южного склона Большого Кавказа лежат продольные глубокие долины, в которых протекают реки.

Самыми крупными являются - Ауадхара, Бавю, Баул, исток реки Бзыбь и Чхалта, а также верхнее течение реки Кодор и нижнее течение реки Сакен. На востоке Абхазии полосу продольных долин замыкает Сакенский хребет - это высокий эрозионный отрог Большого Кавказа, являющийся водоразделом между реками бассейнов Кодора и Ингура. Вершина горы Хуарихра (3710 м) является высшей точкой этого хребта.

На востоке Абхазии от вершины Ходжал (3309 м) до реки Кодор, параллельно Главному хребту, поднимается Кодорский или Панаюский хребет, сложенный плотными туфо-порфиристыми породами. Его острые гребни и скалистые пики по крутизне и высоте сравнимы с Главным хребтом Большого Кавказа

На северо-востоке страны параллельно Главному хребту проходит Чхалтинский хребет, или Жургь, на западе продолжающийся Чедымским хребтом (вершина Химса - 3150 м). Пилообразные гребни этих хребтов в глубоких карах древних оледенений несут небольшие современные ледники. К югу рельеф характеризуется чередованием меридиональных эрозионно-денудационных хребтов и глубоких речных ущелий

На большей части северо-западной территории расположились два обширных известняковых массива - Гагрский хребет (с вершиной Арбаика (Арабика) - 2656 м) и Бзыбский хребет (вершина Напра - 2684 м). Эти массивы состоят из мощных толщ известняка, смятых в пологие складки и отличающихся активными карстовыми процессами. В Абхазии находятся глубочайшие карстовые пещеры мира: Крубера (Воронья), разведанная глубина которой составляет 2080 м, Сарма - 1543 м, пещера Понтюхина на Гагрском хребте - 1480 м, пещера Снежная на Бзыбском хребте - 1370 м, а также грандиозная по объему Ново-Афонская пещера, ее внутренний объем составляет 1, 5 млн. кубометров.

Разрезают известняковые массивы Гагрского и Бзыбского хребтов реки Юпшара и Бзыбь, образуя глубокие каньоны и ущелья.

В восточной части Абхазии полоса развития известняков наиболее узкая, и все известняковые хребты отделяются отчетливым уступом от пояса холмистых предгорий, которые понижаются на юг к морскому побережью. Предгорья, понижаясь, переходят в плоскую приморскую равнину. На северо-западе она появляется только отдельными участками в устьях рек, а к востоку от Сухума расширяется в обширную сплошную полосу, достигающую в Самурзаканской низменности 30 км в ширину.

Орфографическая территория Абхазии состоит из четырех продольных зон:

- а) зона Главного хребта Большого Кавказа;

б) зона боковых скалистых хребтов с глубокими продольными и поперечными долинами рек;

в) зона холмистых предгорий;

г) зона приморской аллювиальной низменности, состоящая из отдельных участков - Цандрипшского, Бзыбского, Гудаутского, Сухумского, Абжуйского и Самурзаканского. Данные описания характеризуют Абхазию как территорию обладающей сравнительно высокой степенью географической изоляции.

Для Абхазии характерна резко выраженная вертикальная дифференциация климатических зон и исключительное разнообразие климатических условий. От берега Черного моря и до Главного хребта Большого Кавказа прослеживаются практически все климатические зоны - от влажных субтропиков до вечных снегов и ледников. Расположена Абхазия на границе двух климатических поясов земного шара - субтропического и умеренного. Количество прямой солнечной радиации в теплое время года в Абхазии приближено к японским субтропикам, а в холодное - к субтропикам средиземноморских стран Европы.

Для туристов привлекателен мягкий, теплый и влажный климат. Климат побережья со среднегодовой температурой +15 С, со средней температурой летом +27 С, зимой - +7 С. Прибрежная часть Абхазии — это зона влажного субтропического климата (она тянется примерно до абсолютной высоты 400 м).

Самый жаркий месяц - август. Осадков выпадает 1300-1500 мм в год. Влажность воздуха 70% и выше. Дожди в теплый период выпадают обильными ливнями, сразу после них устанавливается солнечная и жаркая погода. Иногда погода меняется несколько раз в день. Снег на побережье выпадает не каждый год, зима начинается в конце декабря - январе, а уже в феврале часто зацветают алыча и мимоза. В марте, как правило, наступает разгар весны [3].

С мая до начала октября длится купальный сезон. Температура морской воды в августе достигает +28 С. Самая снежная зима на побережье, во время которой снежный покров в Сухуме превысил 2 м, снег продержался более 2 месяцев, а мороз достиг -8 С, зафиксирована в 1910-1911 г.

В предгорьях климат умеренно-континентальный, со снежными зимами, во время которых глубина снега достигает 5, а иногда и 8 м. В зоне альпийских лугов климат холодный и влажный, зима продолжается около 7 месяцев. Выше, на вершинах гор - зона вечных снегов и ледников. Вечные снега начинаются с высоты 2100 м, ледники - с высоты 2700-3000 м [4]

Годовое количество осадков и их географическое распределение по территории Абхазии зависит от близости моря, направления господствующих воздушных масс и характера рельефа. Среднегодовое количество осадков составляет в среднем 1400 мм. При этом количество осадков на побережье увеличивается с севера на юг, но особенно хорошо выражено повышение осадков с высотой. Так, к примеру, Сухум (35 м над уровнем моря) получает 1390 мм, Цабал (426 м над уровнем моря) - 1788 мм.

Еще выше в верховьях р. Кодор количество осадков превышает 2000 мм в год, а в отдельных районах высокогорья, вероятно, эта величина может составлять 4000 мм в год и выше [5].

Атмосферное давление - 750 мм.

Число часов солнечного сияния в столице республики составляет 2238 часов в год. Максимум приходится на лето - 812 часов, минимум на зиму - 317 часов.

В процентном соотношении грозы на Северном Кавказе отмечаются при переносе воздушных масс с северо-запада на юго-восток в 50 процентах случаев, при северном вторжении воздушных масс – в 30 процентах случаев, и минимальное количество случаев в условиях малоградиентного барического поля в средней атмосфере, когда над центральной частью Кавказа располагается ложбина или очаг холода. Обычно грозовая активность на территории Северного Кавказа характерна для тёплого времени года. В зимние месяцы грозы могут наблюдаться на Черноморском побережье, но редко. В среднем 1-2 дня в месяц. При удалении от моря число зимних гроз уменьшается [1,2]. В таблице 2 представлены данные количества дней, когда регистрировалась гроза, по декадам четырёх месяцев, полученные по результатам многолетних наблюдений.

Таблица 1

Число дней с грозой и продолжительность гроз на Северном Кавказе

Характеристики грозы	Значения характеристик по месяцам и декадам											
	май			июнь			июль			август		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Число дней с грозой	1	3	4	3	4	4	5	3	4	-	2	1
Продолжительность грозы, ч	2.5	3.4	3.3	4,8	3,4	3.5	4	2	2,2	2.5	1.7	1.2

Наибольшая повторяемость гроз отмечается в 1-й декаде июля. Среднегодовое значение количества дней с грозой составляет 41 день со средним квадратичным отклонением 7. Максимальное значение продолжительности грозовой активности зафиксировано в первой декаде июня (4.8 часа), минимальное значение – в третьей декаде августа (1.2 часа). Число дней с грозой на разных метеостанциях Кавказского региона может различаться [2].

На территории Абхазии распределение количества дней с интенсивными грозами носит сезонный характер (рис.1).

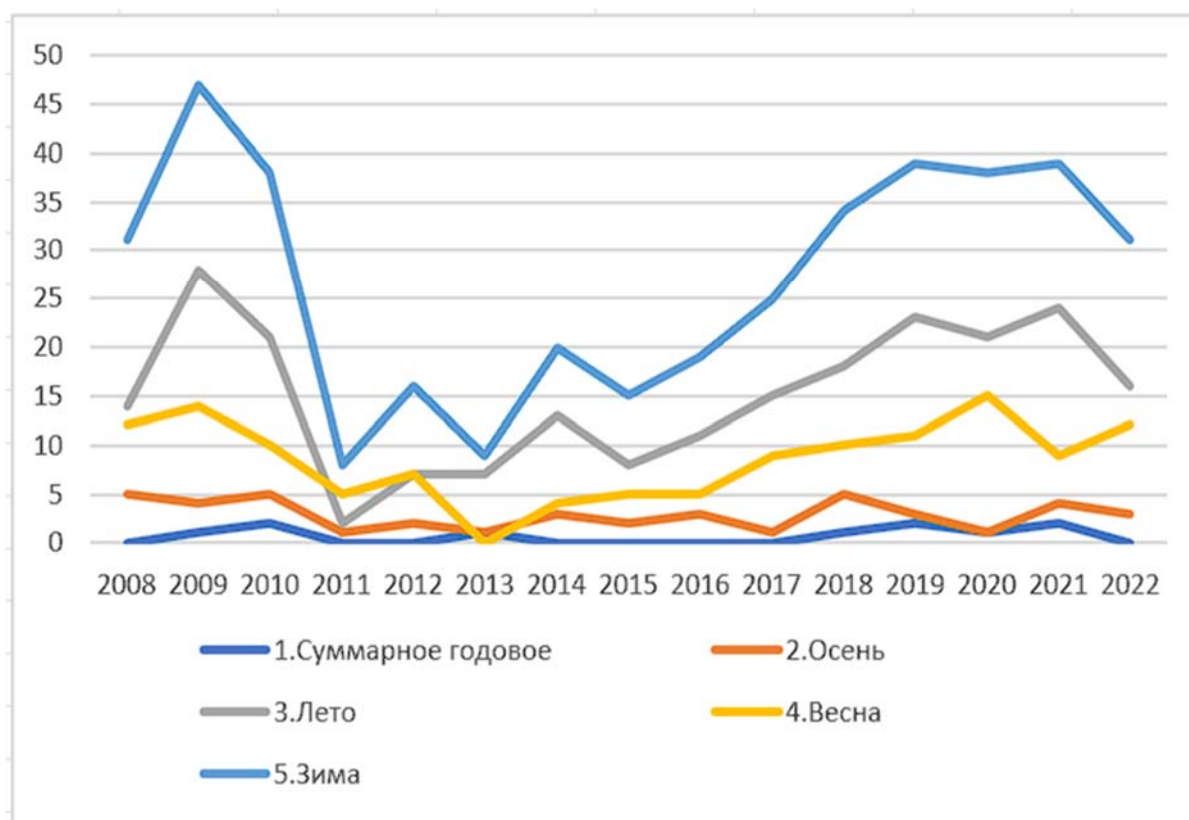


Рис .1. Сезонное распределение дней с грозовой активностью по данным метеостанции «Сухумский маяк» за последнее десятилетие: 1-годовое, 2-осень, 3-лето, 4-весна, 5-зима

По сезонам года наибольшая грозовая активность наблюдается в летний сезон (июнь-июль), количество дней с грозами может достигать 13 в июле, 11 в июне. При этом однозначной связи с количеством и интенсивностью атмосферных осадков не наблюдается. Грозовые явления в Абхазии наблюдаются и в зимнее время и связано с выпадением жидких осадков.

Таким образом, грозы относятся в условиях Абхазии к опасным явлениям погоды, наносящим существенный ущерб особенно транспортным коммуникациям. Территориально чаще всего они проявляются на побережье на границе морской акватории и суши, где всегда существует контраст температур, усиливающий активность конвективных движений.

Список литературы

1. Аджиев, А.Х. Атмосферно-электрические явления на Северном Кавказе [Текст] / А.Х. Аджиев, Г.В. Куповых. –Таганрог: Изд. ТРТУ, 2004. – 122 с.
2. Аджиев, А.Х. Территориальные особенности грозовой активности на Северном Кавказе по метеорологическим и инструментальным данным [Текст] / А.Х. Аджиев, А.А. Аджиева, З.М. Князева, В.Н. Стасенко // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 4. С. 46-52.
3. Ахсалба А.К., Эмба Я.А. Влияние изменений климата на сельскохозяйственное производство Абхазии. Геосистемы: факторы развития, рациональное использование, методы управления. Туапсе, 2008. - С. 53-54.
4. Ахсалба А.К. Основные особенности климата последних десятилетий территории Абхазии // Материалы XII Международного симпозиума «Проблемы экоинформатики». М.: МНТОРЭС, 2016. – С. 120-124.

5. Эмба Я.А., Ахсалба А.К. Вековая динамика климата и его воздействие на наземные экосистемы Абхазии. Материалы Международной научной конференции с элементами научной школы «Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата»/ под ред. М.Т. Абшаева, А.А. Лиховида, А.Г. Погорельцева. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2013. С. 289- 294.

6. Эмба Я.А., Дбар Р.С. Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии. Сочи, 2007. - 324 с.

РАЗРАБОТКА АТЛАСА РЕСУРСОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

¹С.В. Киселева, ¹Ю.Ю. Рафикова, ¹Т.И. Андреевко, ²Р.В. Горбунов,
²Т.Ю. Горбунова, ²А.А. Келип, ³С.Е. Фрид, ¹В.П. Шакун
k_sophia_v@mail.ru

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

²ФИЦ Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН,
Россия, г. Севастополь

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

Аннотация. Работа посвящена вопросам разработки регионального атласа ресурсов возобновляемой энергии. Рассмотрены источники данных, которые могут быть использованы для оценки ресурсов солнечной, ветровой энергии, энергии отходов сельского хозяйства и энергии малых рек. Представлены карты, вошедшие в Атлас ресурсов возобновляемой энергии Крыма, а также основные результаты изучения пространственного распределения ресурсов возобновляемой энергии по территории Крыма. Предложены методики расчета производительности фотоэлектрических, ветроэнергетических и биогазовых установок для составления карт технических потенциалов возобновляемой энергии регионального масштаба.

Ключевые слова. Возобновляемые источники энергии, ресурсы, Крым, картографирование, солнечная энергия, энергия ветра, энергия отходов сельского хозяйства, энергия малых рек.

Введение. Актуальность создания атласов возобновляемой энергии (ВЭ) для регионов РФ обусловлена развитием научных исследований в области геоинформационного картографирования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в последние десятилетия в России. Настоящая работа стала продолжением совместных работ авторов национального масштаба [1, 2], а также научно-исследовательских работ, выполненных в 2016-2018 гг. в рамках проекта РФФИ №16-05-01015\16 (Разработка научных подходов и апробация методов оценки и картографирования потенциала возобновляемых источников энергии на региональном уровне (на примере территории Крымского полуострова)). Таким образом, в данной работе были использованы понятия ресурсов и потенциалов ВЭ, принятые авторами в более ранних работах. В научной литературе обычно нет четко обозначенного различия в терминах «ресурсы» и «потенциалы» возобновляемых источников энергии. В «Атласе возобновляемой энергии на территории Крыма» термин «ресурсы» связан с физическими носителями энергии возобновляемых источников, а именно, приходящей солнечной радиацией, движением воздушных и водных масс, биомассой органических отходов. Соответственно характеристиками ресурсов выступают их доступные физические объемы: мощность и/или суточные суммы приходящей солнечной радиации, скорости

и повторяемости ветра, масса органических отходов, образующихся в течение года и т.д.

Под термином «потенциалы» в работе понимается энергия, заключенная в этих ресурсах. Для подчеркивания энергетической направленности исследования авторами также используется термин «энергетический потенциал». При этом в Атласе дифференцированы понятия «валовый» и «технический» потенциалы ВИЭ. Согласно [3], валовый потенциал ВИЭ – это годовой объем энергии, который содержится в данном виде возобновляемого источника при полном ее превращении в полезную энергию; технический потенциал ВИЭ – это часть валового, преобразование которого возможно при современном уровне развития техники и соблюдении требований по охране окружающей среды. При этом технический потенциал солнечной и ветровой энергии в Атласе приведен в виде удельной производительности конкретных типов современных фотоэлектрических и ветровых энергоустановок, что обеспечивает возможность практического применения представленных результатов.

Методология. В Атласе представлены характеристики ресурсов, валового и технического потенциалов солнечной, ветровой и энергии биомассы, а именно:

- характеристики ресурсов солнечной энергии (поток солнечной радиации на различных образом ориентированные поверхности), ветровой энергии (средняя скорость ветра на высоте 100 м);
- валовый потенциал энергии биомассы (энергосодержание различных видов сельскохозяйственных отходов, образующихся за год на территории муниципальных образований Крыма), потенциал малых водных потоков;
- технический потенциал солнечной, ветровой энергии и энергии биомассы (производительность современных высокоэффективных фотоэлектрических модулей и ветроэнергоустановок, потенциальное производство тепловой энергии и биогаза из отходов растениеводства и животноводства соответственно).

Кроме того, в Атлас включены карты некоторых полезных для оценок и проектирования характеристик указанных видов ВИЭ: продолжительность солнечного сияния, количество часов с различной скоростью ветра, количество затиший и т.д. Источники данных и их характеристики, использованные для расчётов валового и технического потенциалов различных видов ВИЭ Крыма приведены в таблице 1.

В качестве технического потенциала солнечной энергетики в Атласе представлена средняя суточная производительность современных высокопроизводительных фотоэлектрических модулей (ФЭМ) в пространственной сетке $(1 \times 1)^\circ$. При расчете производительности модулей были использованы технические характеристики следующих видов ФЭМ, которые представлены на российском рынке и отражают уровень современного развития технологий фотоэнергетики: 1) Nevel 395 (российское производство, ссылка на сайте производителя [10]); 2) JaSolarHalfCellPERC 72 cellsJAM72S30 [11]; 3) Futura Sun Zebra 345 W [12].

Таблица 1

Источники данных, использованные при разработке Атласа возобновляемой энергии Крыма

Вид источника энергии	Источник данных	Пространственное разрешение	Временное разрешение данных	Временной период данных
Солнце (валовый потенциал)	База данных SARA H2 проекта The Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CMSAF) [4]	0,05° x 0,05°	месяц, сутки и 30-минутные интервалы	1983-2017 гг.
Солнце (технический потенциал)	База данных проекта NASA «The Clouds and the Earth's Radiant Energy System» (NASA CERES) [5], а также усредненные с помощью пакета Climate Data Operators (CDO) [6] по пространственной сетке CERES (1°x1°) среднечасовые температуры воздуха и скорости ветра у поверхности Земли из базы данных ERA5 Европейского центра среднесрочного прогноза погоды [7]	1°x1°	средние месяцы сезона и год	2000-2020 гг.
Ветер	База данных реанализа ERA5 [7]	0,25° x 0,25°	1 час	с 1950 г. по наст. время
Малые реки	Данные по гидроэнергетическому потенциалу рек Крыма [8]	По муниципальным образованиям		
Отходы биомассы	Материалы Федеральной службы государственной статистики (Росстат) [9]	По муниципальным образованиям	год	2014-2021 гг.

Расчет выполнялся путем динамического моделирования работы СЭС в системе TRNSYS [13]. При этом использовались стандартные и сервисные модули TRNSYS, моделирующие работу ФЭМ на основе заданных потоков суммарной солнечной радиации на поверхностях произвольной ориентации. Рассматривалась ориентация ФЭМ на юг и углы наклона модуля к горизонту 0° (горизонтальное расположение); широта, 90° (вертикальное расположение). Предполагалось, что контроллер ФЭМ «идеальный», т.е. при любой мощности модуля КПД контроллера равен 100%. На картах Атласа представлена средняя удельная суточная производительность фотоэлектрических модулей

(производительность, нормированная на пиковую мощность модуля), Втч/Вт в сутки за средние месяцы сезона и год для территории Крыма с пространственной детализацией $0,1^\circ$ для горизонтальной, вертикальной и наклоненной под углом, равным широте, плоскостей установки ФЭМ.

Технический ветроэнергетический потенциал – это количество электроэнергии, которое может быть выработано из энергии ветрового потока при существующем уровне развития технологий. В Атласе в качестве технического потенциала представлены удельные производительности современных ветроэнергоустановок (ВЭУ) различной мощности и высоты: 1) Vestas V126, пиковая мощность 3400 кВт, высота 100 м; 2) Lagerwei L100, пиковая мощность 2500 кВт, высота 100 м; 3) Siemens Gamesa SG 3.4-132, пиковая мощность 3400 кВт, высота 154 м; 4) Komai Haltec KWT300, пиковая мощность 300 кВт, высота 43 м. Приведены средние многолетние значения удельной производительности ВЭУ (кВтч/кВт пиковой мощности ВЭУ) за центральные месяцы сезона и за год.

При расчетах учитывались технические характеристики ветроустановок, которые отображаются кривой мощности, т.е. зависимостью мощности ВЭУ (P_i) от скорости ветра. В качестве пример на рис. 1 приведена зависимости P_i (V_i) для ВЭУ Lagerwei L100.

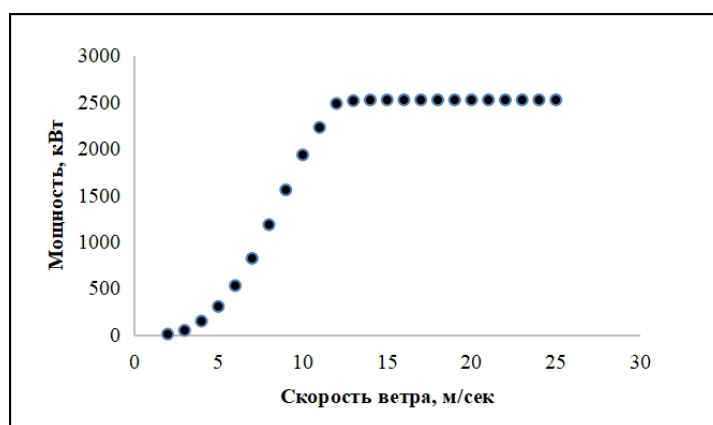


Рис. 1. Общий вид кривой мощности ВЭУ LAGERWEY L100-2.5MW

Расчеты удельной производительности ВЭУ проводились на основе данных о средних часовых скоростях ветра за период с 01.01.2001г. по 31.12.2021 г. В качестве источника данных о средних часовых скоростях ветра использовалась база данных ERA5 [7] с пространственным разрешением $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Значения технического потенциала также представлены с пространственной детализацией $0,25^\circ$.

Для высот, отличающихся от 10 м и 100 м, для которых в БД ERA5 предоставляются ветровые характеристики, скорость ветра рассчитывается по степенной зависимости:

$$v = \left(\frac{h}{100}\right)^m \text{ где } m = \ln(v_{100}/v_{10})/\ln 10.$$

По рассчитанной скорости ветра с использованием кривой мощности ветроагрегата, предварительно интерполированной сглаживающим (аппроксимационным) сплайном, рассчитывалась почасовая производительность, нормированная на пиковую мощность ВЭУ (кВтч/кВт). При скорости ветра более 25 м/с выработка считается нулевой.

Гидроэнергетический потенциал малых водотоков определяется перепадом уровня воды в пределах рассматриваемого участка и величиной годового стока. В Крыму насчитывается 1657 водотоков общей протяженностью 5996 км, многие из которых берут свое начало в Горном Крыму на высоте 600–1000 м. Значительное количество рек относится к пересыхающим. Наличие карстовых отложений также оказывает большое влияние на водность рек и часто приводит к тому, что водотоки пересыхают еще до впадения в реки или море. В Атласе были использованы результаты расчетов гидроэнергетического потенциала рек Крыма, проведенных З.В. Тимченко и опубликованных в работе [8]. В ней приведены средние многолетние расходы Q_j на выделенных створах рек Крымского полуострова, средние уклоны (от истока до гидропоста) H_j и мощности в створе $N_j = \rho g Q_j H_j$.

На основе полученных из [8] данных о мощности водных потоков в створах был рассчитан средний валовый потенциал гидроэнергии в каждом створе (энергия, проносимая через сечение створа за год). Результаты оценок были далее генерализованы и представлены в виде суммарных валовых гидроэнергетических потенциалов в пределах муниципальных образований Республики Крым.

Ресурсы и потенциалы биоэнергетики Республики Крым были рассчитаны в предположении, что источниками биомассы являются отходы агропромышленного комплекса – растениеводства и животноводства. Под ресурсами биоэнергетики подразумеваются фактические объемы биомассы, доступные для переработки с получением энергии (электрической, тепловой) или топлива. Валовым и техническим потенциалом биоэнергетики являются, соответственно, полное количество энергии, заключенное в этой биомассе, и количество энергии, которое возможно произвести из доступной биомассы современными технологиями с учетом технических характеристик оборудования (коэффициентов преобразования энергии), экологических и иных ограничений. Расчеты ресурсов и потенциалов для отображения в Атласе проводились с детализацией до муниципальных образований Крыма и включали ряд этапов:

1 этап – определение источников биомассы и объёмов ее производства, которые теоретически могут быть использованы для производства энергии (например, урожай сельскохозяйственных культур, поголовье скота);

2 этап – определение доли биомассы, которая в соответствии с территориальными физико-географическими и социально-экономическими факторами может быть использована для получения энергии за некоторый

период времени (например, доля отходов от урожая сельскохозяйственных культур, норма отходов для различных видов скота);

3 этап – определение энергосодержания указанной доли биомассы;

4 этап – определение количества тепловой, электрической энергии или топлива, которое может быть получено при преобразовании энергии отходов с учетом современных технологических возможностей, экологических и иных ограничений.

В соответствии с изложенными выше этапами определения ресурсов, валового и технического потенциалов биоэнергетики, масса M_i ежегодно образующихся органических отходов рассчитывается с использованием статистических данных о годовом (или среднем многолетнем) урожае растительных культур или поголовья скота N_i на основе экспериментально определенных норм образования отходов (например, соотношения отходов и полезной части растения) L_i :

$$M_i = N_i * L_i ,$$

здесь i – вид растительных культур и (или) направление животноводства.

На основе определённой таким образом массы отходов валовый энергетический потенциал отходов (Q_i) рассчитывался как произведение массы отходов на их удельное энергосодержание (K_i):

$$Q_{вал} = M_i * K_i$$

Тогда суммарный валовый биоэнергетический потенциал рассматриваемой территории, учитывающий все виды органических отходов сельскохозяйственного производства (обозначены индексом i), определяется как:

$$Q_{вал} = \sum_{i=1}^n M_i * K_i$$

При расчетах технического потенциала отходов растениеводства рассматривалось использование отходов для получения тепловой энергии. При этом принимались следующие допущения: для получения *тепловой энергии* из биомассы отходов растениеводства используется Мини-ТЭС с прямым сжиганием, для которой коэффициент преобразования энергии равен $КП_T=0,80$, доля энергии на собственные нужды установки – $СН_T=0,14$. Тогда технический потенциал получения тепловой энергии из биомассы отходов выражается как:

$$Q_{раст.i}^{тех-тепло} = Q_{раст.i}^{вал} * КП_T * (1 - СН_T)$$

Суммарный технический потенциал получения тепла рассчитывается как сумма технических потенциалов по всем видам отходов:

$$Q_{раст}^{тех-тепло} = \sum_{i=1}^n Q_{раст.i}^{тех-тепло}$$

При расчётах технического потенциала учитывалось также, что, помимо энергетических, существуют другие направления использования отходов растениеводства. Так солома используется в животноводстве (подстилка для

скота), запахивается в почву для повышения плодородия пашни и т.п. Предполагалось, что только 50% валового энергетического потенциала соломы может быть преобразовано в технический потенциал тепловой энергии.

Расчёты объемов отходов (ресурсов) и их валового энергетического потенциала проведены отдельно по отдельным видам сельскохозяйственных культур и направлениям животноводства. Это связано с тем, что различные виды отходов отличаются нормами образования и удельным энергосодержанием. Энергетический потенциал отходов полевого растениеводства рассчитывался по основным видам: зерновые (пшеница, рожь, тритикале, ячмень, просо (все – озимые и яровые), овес, кукуруза на зерно; масличные культуры (подсолнечник на зерно, рапс (озимый и яровой), соя). В Атласе в качестве сырья для производства энергии также рассмотрены древесные отходы ежегодной обрезки плодовых деревьев и лозы винограда по данным 2021 г. с учетом того, что для Республики Крым площади многолетних насаждений остаются достаточно стабильными на протяжении нескольких последних лет.

В расчетах энергетического потенциала биомассы *отходов животноводства и птицеводства* учитывались отходы содержания следующих видов скота и птицы: 1) крупный рогатый скот (КРС); 2) свиньи; 3) птица (куры-несушки).

Одной из самых эффективных технологий утилизации отходов сельскохозяйственного животноводства, имеющей статус наилучшей доступной технологии переработки навоза как в европейских, так и в отечественных технологических справочниках, является технология анаэробного сбраживания органических отходов с получением биогаза и сбалансированных удобрений [14, 15].

Выход биогаза подсчитывался в кубических метрах на единицу массы сухого вещества, содержащегося в физиологических отходах животных. Масса сухого вещества при влажности исходного $W\%$, составляет

$$M_{i.c.v.} = N_i * L_i * (100 - W) / 100.$$

Если усреднённый выход биогаза на тонну сухого вещества данной биомассы – B_i , то количество биогаза из навоза (помёта) данного вида животных:

$$V_i = N_i * L_i * (100 - W) / 100 * B_i.$$

В расчетах использовались значения выхода биогаза для самого распространённого мезофильного режима сбраживания отходов после 10-20 дней ферментации. В качестве технического энергетического потенциала отходов животноводства принималась тепловая энергия, которая может быть получена из биогаза с использованием газовых водогрейных котлов атмосферного типа с КПД 90%.

Результаты и обсуждение

Разработанный «Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории Крыма» даёт представление о пространственном распределении и количественных характеристиках ресурсов, валового и технического

потенциалов солнечной и ветровой энергии, гидроэнергии (малых рек), энергии биомассы (сельскохозяйственные отходы). Вошедшие в Атлас карты позволяют увидеть не только среднегодовые значения, но и отследить динамику потенциалов солнечной и ветровой энергии в течение года. Значительной прикладной особенностью Атласа является наличие пространственных данных по выработке конкретных фотоэлектрических и ветровых установок, производящихся в России или представленных на российском рынке и активно используемых в проектах ВИЭ.

Исследованная территория Крыма характеризуется наиболее значительным энергетическим потенциалом ресурсов солнечной и ветровой энергии (рис. 2, 3). При этом солнечная энергия и ветровая энергия распределяются в противоположной зависимости не только территориально (высокие значения ветровой энергии преобладают в северных и восточных районах Крыма, а высокие значения солнечной энергии – напротив, в южной и западной части полуострова). Также можно отметить и противоположную динамику изменений солнечной и ветровой энергии в течение года: закономерно солнечная энергия выдаёт меньшие мощности зимой, в то время как ветровая энергия – наоборот, характеризуется зимой более высокими значениями, а летом – меньшими.

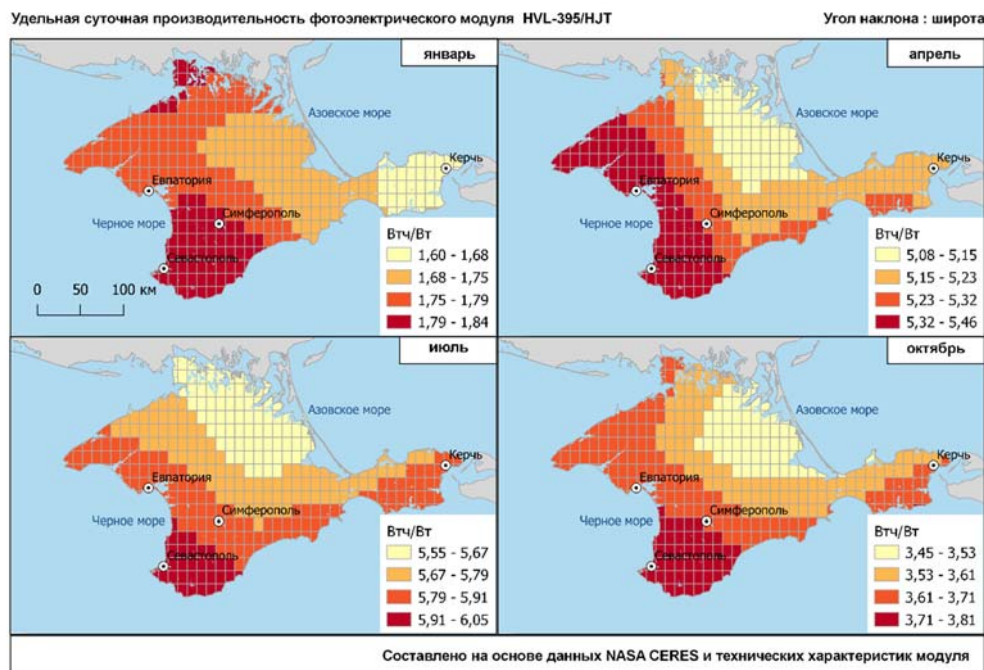


Рис. 2. Фрагмент Атласа. Карты производительности фотоэлектрического модуля Nevel-395/HJT, для центральных месяцев сезонов, угол наклона - по широте

Ресурсы биоэнергетики Крыма, хотя и уступают в энергопотенциале ветровым и солнечным ресурсам, но, имея более локализованный характер, являются довольно крупным возможным источником энергии для сельского населения. Наибольшим энергетическим потенциалом обладают отходы зерновых (солома) – до 58 500 т у.т. в год в Сакском, Красногвардейском, Ленинском и Джанкойском районах (рис. 4).

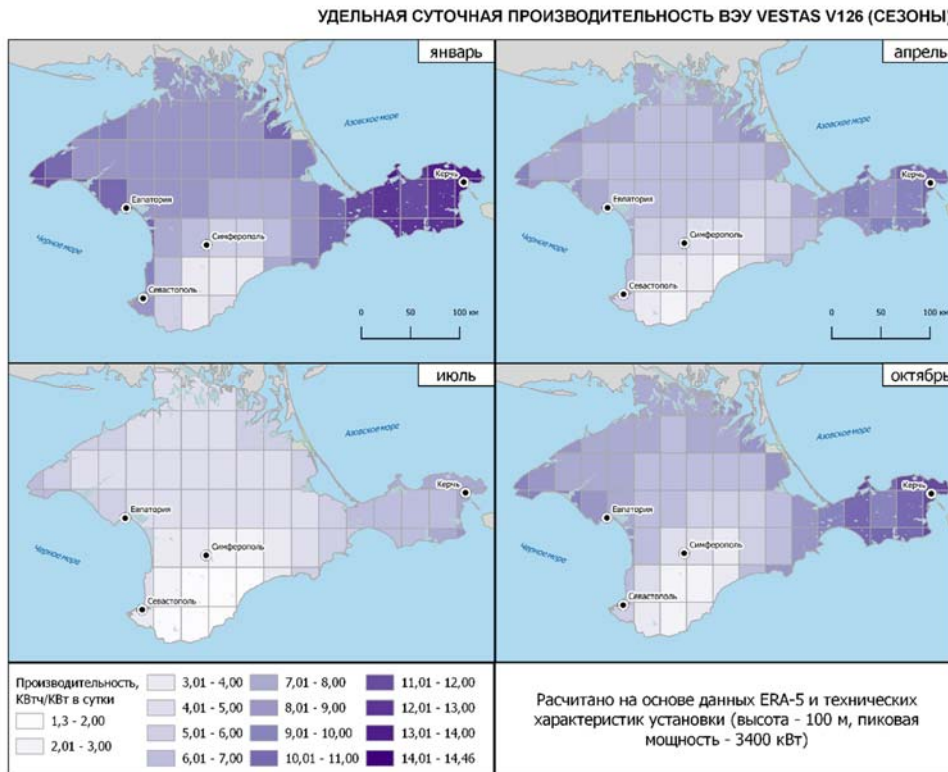


Рис. 3. Фрагмент Атласа. Карты производительности ветроустановок Vestas V126, для центральных месяцев сезонов

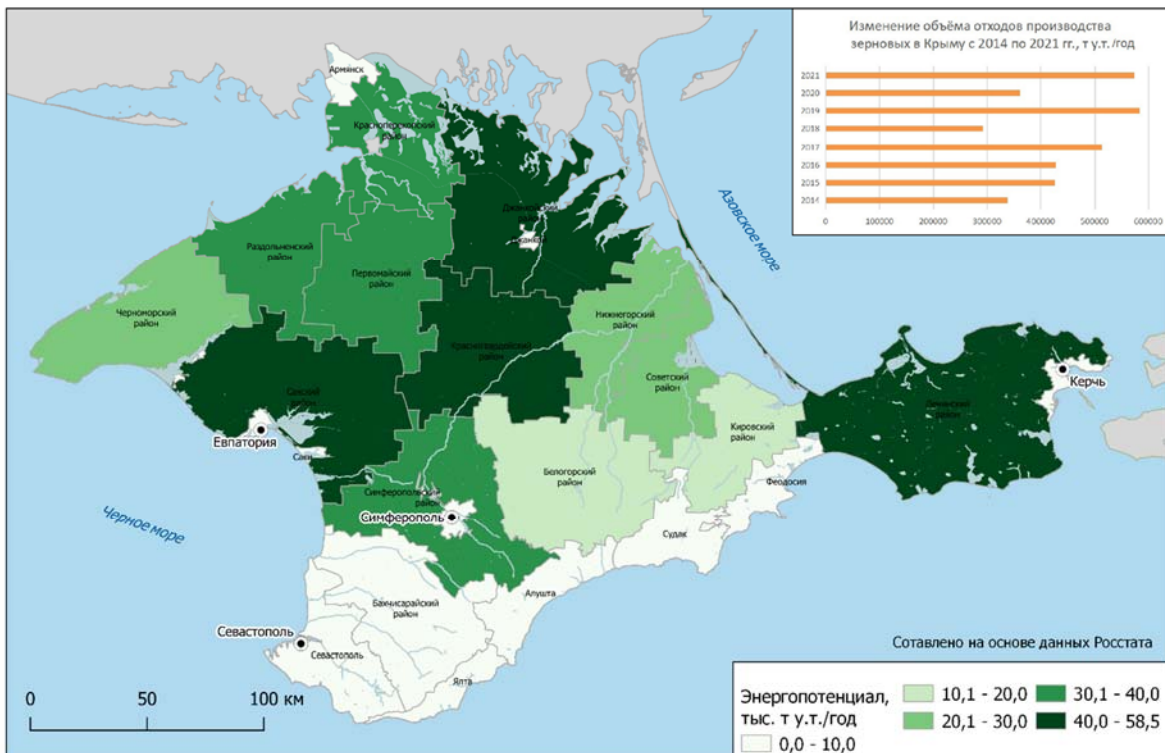


Рис. 4. Фрагмент Атласа. Карта валового энергопотенциала отходов производства зерновых (соломы) (среднее за 2014-2021 гг.)

Ресурс этот достаточно стабильный с преобладанием к увеличению в последние 7 лет, что связано с активным использованием

сельскохозяйственных земель Крыма не только местными компаниями, но и арендаторами. Наряду с этим ресурсом в Севастопольском и Бахчисарайском районах не меньшим энергопотенциалом обладают отходы обрезки садов (до 5 490 т у.т. в год) и виноградников (до 8 660 т у.т. в год), которые так же, как и солома, легко преобразуются в тепловую энергию путём сжигания в топливных котлах, и уже в последние годы получили распространение в качестве топлива у местного населения и туристов.

Оценка пространственного распределения энергопотенциалов малых рек показала, что фактически перспективы использования водотоков Крыма в энергетических целях (без учета природоохранных и технических факторов) присутствуют только в районах: Бахчисарайский, Ялта, Алушта, Белогорский и достигают суммарно по району максимально 22 917 кВт (Бахчисарайский район). В картах Атласа отображены полученные оценки с детализацией до муниципальных образований.

Заключение

Работа над Атласом ресурсов возобновляемой энергии Крыма позволила уточнить и окончательно определить перечень источников данных и методы оценки валового и технического потенциала ВЭ в региональном масштабе исследований. Фактически подобная работа проведена впервые для одного из регионов РФ и может быть тиражирована для других регионов.

Представленный Атлас дает основу не только для сравнительного анализа ресурсов и потенциалов ВИЭ различных районов Крыма, но и для оценок производительности конкретных энергоустановок, что имеет непосредственную практическую значимость. Достоверность результатов определяется многолетними верифицированными массивами исходных данных, апробированными методиками и современными расчетными инструментами, использованными при подготовке Атласа.

Список литературы

1. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России / О. С. Попель, С. Е. Фрид, Ю. Г. Коломиец и др. — Изд-во МФТИ Москва, 2010. — 83 с.
2. Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России: науч. издание / Т.И. Андреевко, Т. С. Габдрахманова, О. В. Данилова и др. — РХТУ им. Д.И.Менделеева Москва, 2015. — 160 с.
3. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива: (показатели по территориям)/ Под ред. П.П. Безруких – М.: ИАЦ Энергия, 2007. 272 с.
4. База данных SARAH2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewDoiDetails?acronym=SARAH_V002_01
5. База данных The Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) SYN1deg. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ceres-tool.larc.nasa.gov/ord-tool/jsp/SYN1degEd41Selection.jsp>
6. База данных Climate Data Operators. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo>
7. База данных ERA5 hourly data on single levels from 1959 to present. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>
8. Тимченко З.В. Гидрография и гидрология рек Крыма. Симферополь: Изд-во Ареал. 2012. 290 с.

9. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/>
10. Официальный сайт производителя Hevel 395. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.hevelsolar.com/catalog/solnechnye-batarei/modul-fotoelektricheskii-hvl-395hjt/>
11. Официальный сайт производителя JaSolar. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eeusolar.com/pdf/JAM72S30-525-550-MR.pdf>
12. Официальный сайт производителя FuturaSun. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.futurasun.com/wp-content/uploads/2020/02/2020_120m_340-350W_Zebra_en.pdf?x97762
13. TRNSYS. Transient System Simulation Tool // URL: <http://www.trnsys.com/>
14. ГОСТ Р 113.15.01 -2019 Наилучшие доступные технологии. Рекомендации по обработке, утилизации и обезвреживанию органических отходов сельскохозяйственного производства. М. Стандартиформ, 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data/712/71248.pdf>.
15. Наилучшие доступные технологии переработки навоза – для активных свиноводческих комплексов в странах ЕС Балтийского региона. BALTICSEA 2020. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://balticsea2020.org/images/Bilagor/best_practice_manure_handling_rus_ny.pdf

ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ «ГЛОБАЛЬНЫЙ МЕСЯЧНИК РАСПРЕДЕЛЁННОГО АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ»: ОПЫТ, ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ

¹К.В. Кислов, ²С.П. Никитин

kvkislov@yandex.ru

¹ *Институт теории прогноза землетрясений и математической*

геофизики РАН, Россия, г. Москва

² *ООО «Т8 Сенсор», Россия, г. Москва*

Аннотация. *Распределенное акустическое зондирование (DAS) – это технология использования оптоволоконного кабеля в качестве линейного массива виртуальных сейсмических датчиков. Применения DAS в геофизике многочисленны и быстро расширяются. Среди них: системы раннего предупреждения о землетрясениях, вулканология, гляциология, морская геофизика, инженерная геофизика. DAS может использоваться как самостоятельно, так и в комплексе с обычными сейсмическими датчиками, сетями и антеннами. В период с 1 по 28 февраля 2023 г. проводился международный эксперимент, в котором все желающие участники со всего мира, используя различную аппаратуру DAS, синхронно регистрировали сигналы, возникающие в результате землетрясений с магнитудой $M > 5$ (по каталогу Геологической службы США). Цель эксперимента заключалась в определении возможного облика глобальной системы DAS для регистрации землетрясений, выявлении узких мест, возникающих при регистрации, хранении и обмене данными и сопутствующие юридические вопросы. С российской стороны в эксперименте участвовало ООО "Т8 Сенсор". Объем и разнообразие данных полученных в эксперименте открывает возможность целого ряда исключительно интересных научных исследований.*

Ключевые слова. *Программно-аппаратный комплекс "Дунай", распределенное акустическое зондирование (DAS), глобальный месячник DAS, землетрясения в Турции 2023г.*

За последнее десятилетие распределенное акустическое зондирование (Distributed acoustic sensing — DAS) превратилось в захватывающую тему в наблюдательной сейсмологии [1].

При прохождении импульса света по оптоволокну каждый его участок, понимаемый нами как виртуальный сейсмический прибор, рассеивает часть света. Свет, рассеянный в обратном направлении, может быть записан в начале кабеля, причем каждому участку записи соответствует свой участок волокна. Если при прохождении следующего импульса обратное рассеяние на этом участке изменяется по амплитуде или фазе, значит, оптоволоконный кабель подвергается какому-то воздействию. К кабелю подключается оконечное устройство, известное как интерегагор. Устройство посылает непрерывную последовательность лазерных импульсов, а затем записывает очень слабые отражения, возникающие при рассеянии каждого импульса вдоль волокна.

Тем самым оптическое волокно используется и для передачи информации, и в качестве набора датчиков.

По сравнению с сейсмической сетью традиционных сейсмических датчиков, DAS имеет ряд преимуществ. При длине волоконно-оптического кабеля в 100 км, расстояние между датчиками (каналами) может быть всего в метр. Имея частоту импульсов в килогерцовом диапазоне, этот метод обеспечивает очень точную запись изменения напряжения вдоль волокна в пространстве и во времени. DAS может предоставить огромное количество информации, которое невозможно получить с помощью обычных сейсмометров при любой разумной цене.

Оконечное устройство можно подключить к уже существующим телекоммуникационным волоконно-оптическим линиям [13]. Такие подключения позволяют проводить исследования в мегаполисах [24] на дне моря [25]; в сейсмически неактивных регионах, где очень редкая сейсмическая сеть [23]. Быстрое развёртывание наблюдений особенно полезно при исследовании афтершоков сильных землетрясений [16].

При использовании уже проложенных кабелей необходимо определять точные координаты каналов. Отклонение линии кабеля от нарисованного на плане или карте положения может быть весьма значительным. Особенно велико это отклонение у подводных кабелей. Определяют истинное положение каналов с помощью тестовых сигналов (рис. 1).



Рис. 1. Определение координат прокладки кабеля

В системах DAS нет проблемы синхронизации между каналами; не нужны индивидуальные источники питания датчиков и их обслуживание.

Низкая стоимость и широкая распространённость материалов тоже большое преимущество.

Технология DAS уже коммерчески освоена в мониторинге строительных конструкций [3], грунтовых дамб и насыпей, склонов и оползней [10], проседаний грунта и трещин, а также в охранных системах. DAS применяется при вертикальном сейсмическом профилировании, мониторинге скважин [9], при разведке и добыче нефти и газа [22]. Используется эта технология и для сейсмической томографии подповерхностных слоев [7], мониторинга резервуаров CO₂ [21] и исследований в области геотермальной энергии [26], фиксации маломagnitudeных и микроземлетрясений [8], в морской геофизике [19] для раннего предупреждения о землетрясениях и цунами [18], в вулканологии [6], гляциологии [5] и во многих других приложениях.

Конечно, использованию DAS в сейсмометрии сопутствуют определённые трудности. Измерения деформации $\varepsilon = dL/L$ не всегда достаточны для решения многих задач сейсмологии, которые обычно ориентированы на кинематические компоненты движения грунта [15]. DAS регистрирует только осевую деформацию оптоволокна, т.е. каждый его виртуальный датчик однокомпонентный. Каждый датчик имеет более высокий уровень шума, чем обычный широкополосный сейсмометр. Тип оптоволоконного кабеля [30] и процедуры установки [4] также влияют на амплитудный отклик DAS. Длина измерительной линии пока не превосходит 180 км [27].

Пока еще недостаточно развита метрология сейсмологических измерений DAS. Непросто определить передаточную функцию [17], которая является двумерной функцией частоты и волнового вектора [11] и может быть не одинаковой на разных участках кабеля. Отношение сигнал/шум (SNR) на разных участках кабеля также может быть разным. Не проводится учет дополнительной погрешности измерений, связанной с влияниями изменений температуры, влажности, давления, внешних нагрузок, промерзания/оттаивания и т.п.

Существует проблема обработки и хранения данных, поскольку линия DAS достаточно большой длины дает несколько терабайт данных в сутки.

По инициативе Андреаса Вюстefeldда [28] из независимого исследовательского фонда NORSAR в период с 1 по 28 февраля 2023 г. проводился международный эксперимент, в котором все желающие в разных регионах земного шара, используя различную аппаратуру DAS, одновременно регистрировали сигналы землетрясений с магнитудой $M > 5$ (по каталогу USGS). Цель эксперимента заключалась в определении возможного облика глобальной системы DAS для мониторинга и анализа телсейсмических событий, выявлении узких мест при регистрации, хранении и обмене данными, сопутствующие юридические трудности.

Организаторы эксперимента сформулировали следующие требования к регистрации:

- Частота дискретизации: до 100 Гц,

- Пространственная выборка: ~20 м
- Длина используемого волокна: от 800 м
- Продолжительность записи: 1 час на событие.
- Дополнительно 14 февраля 2023 г. была проведена непрерывная регистрация продолжительностью 24 часа с частотой дискретизации, 50 Гц.

Особое внимание уделялось метаданным, которые позволяют использовать записи без обращения к конкретным участникам.

Не смотря на громадный поток желающих, принять участие эксперименте смогли только 14 сторон (рис. 2). Основной трудностью оказался отказ собственников проложенных оптоволоконных кабелей разглашать их истинную географию.

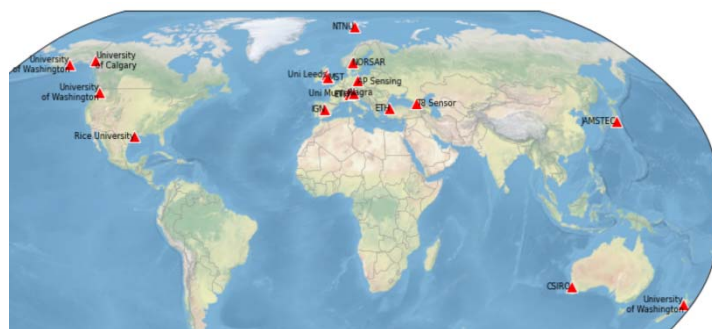


Рис. 2. Потенциальные участники (на конец 2022 года) эксперимента [20]

Каждый участник загрузил свои данные в центральное хранилище, организованное в Мичиганском университете на базе платформы Globus. Данные доступны для всех желающих [29].

Самые предварительные результаты были доложены на конференции EGU 2023 [12].

С российской стороны в эксперименте участвовал ООО "Т8 Сенсор", проводивший регистрацию с помощью системы DAS "Дунай" собственной разработки (рис. 3).



Рис. 3. Интегратор системы DAS "Дунай"

Компания "Т8 Сенсор" проводит научные исследования в области фотоники и разработки многофункциональных систем технологического мониторинга и охраны. Программно-аппаратный комплекс «Дунай» предназначен для широкого спектра применения: вертикального сейсмопрофилирования, мониторинга объектов транспортной инфраструктуры (железнодорожные пути, метро, взлетно-посадочные полосы,

мосты, тоннели, автомагистрали), периметральной охраны, мониторинга трубопроводов и мониторинга оптической инфраструктуры операторов связи. Постоянная модернизация аппаратуры и пакета программ позволила расширить спектр решаемых задач в область сейсмологии. «Дунай» может использоваться как со стандартным телекоммуникационным одномодовым волокном (G.652, G.655, G.657), так и со специальными волокнами [14], в том числе многомодовыми, волокнами с повышенным обратным рассеянием и т.д. В основе работы системы лежит принцип когерентной рефлектометрии. В волокно периодически поступают оптические импульсы. Часть света рассеивается на неоднородностях волокна и распространяется в обратном направлении. При микродеформациях волокна, вызванных сейсмическими воздействиями, параметры рассеянного сигнала изменяются. Анализируя изменения в интерференционной картине сигнала обратного рассеяния, можно определить характер этого воздействия. Длина чувствительного элемента (волокна) до 75 - 100 км (в зависимости от конфигурации). При работе нескольких устройств «Дунай» программное обеспечение развертывается на внешнем сервере. Пространственное разрешение 10 м. «Дунай» спроектирован на работу сроком более 10 лет.

Для проведения эксперимента система «Дунай» была развернута на полигоне Кавказской горной обсерватории ГАИШ. Для уточнения карты прокладки существующего на полигоне кабеля проводилась стандартная процедура простукивания почвы. Программное приложение позволяет компании определять координаты волокна на местности и формирует базу данных координат (рис. 4).

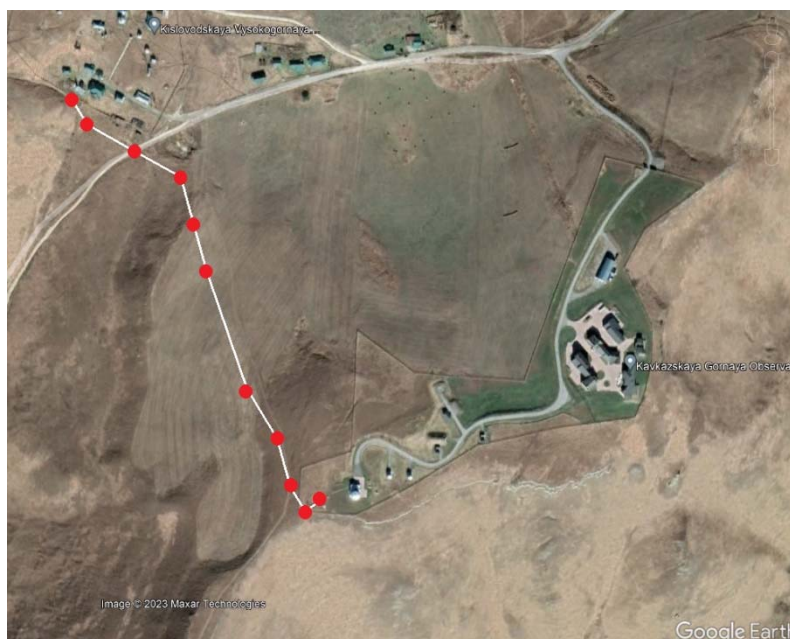


Рис. 4. Расположение оптоволоконного кабеля на полигоне Кавказской горной обсерватории ГАИШ

Во время эксперимента по всему миру произошло около 150 землетрясений с магнитудой больше 5. Некоторые попали даже в один и

тот же часовой интервал записи. Разрушительные землетрясения в Турции (рис. 5) были зафиксированы всеми участниками эксперимента как в относительной близости от места событий, так и на других континентах. От оптоволоконного кабеля, на котором была развернута система «Дунай» это меньше чем 900 км.

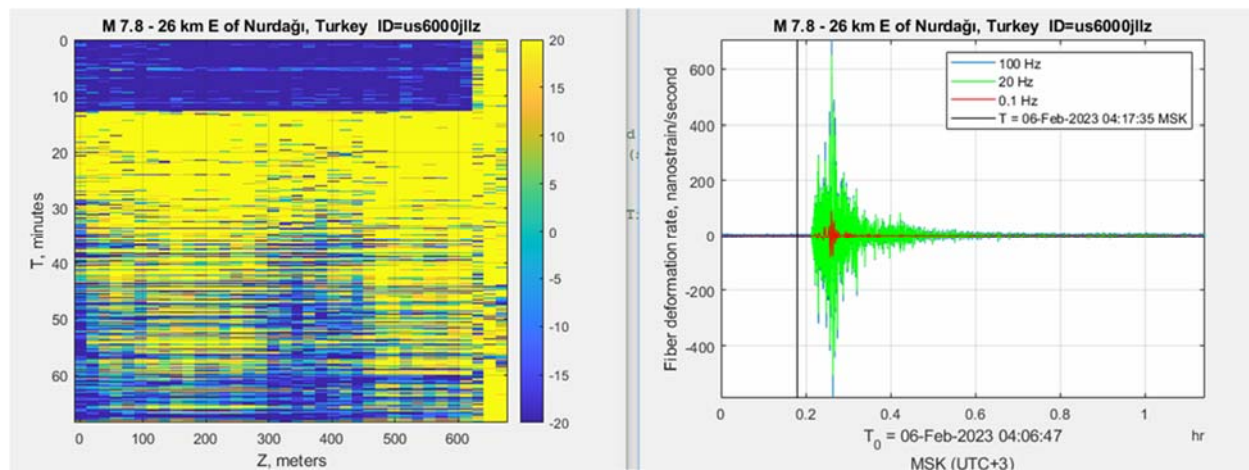


Рис. 5. Землетрясение в Турции с магнитудой 7,8, в районе Шехиткамиль 6 февраля 2023г. Слева - запись события всем кабелем: по горизонтальной оси расстояние вдоль кабеля, по вертикальной оси (сверху вниз) время. Справа - объединенная запись трех виртуальных датчиков (каналов).

На левом рисунке хорошо видно, что передаточная функция сильно меняется по длине кабеля. Контакт кабеля с грунтом явно слабее на первых 100 метрах и между 300 и 450 метров. После 650 метров кабель выходит на поверхность (вертикальная желтая полоса). Правый рисунок можно считать записью деформографа с базой 60 м.

Объем и разнообразие данных полученных в эксперименте открывает возможность целого ряда исключительно интересных научных исследований в области использования DAS в геофизике [2]. Сейчас наступил момент, когда специалисты по фотонике должны четко представлять, какие требования к системе DAS могут предъявить геофизики, а геофизики должны определить, в каких задачах и как использовать эту систему. В ближайшее время ожидается волна публикаций, посвященных результатам обработки данных глобального эксперимента. В этом же русле планируется ряд семинаров, обсуждений на конференциях, совещаний. Мы пытаемся понять, каковы текущие ограничения этой технологии, и как далеко мы можем их раздвинуть.

Список литературы

1. Кислов К.В., Гравиров В.В. Распределенное акустическое зондирование: новый инструмент или новая парадигма // Сейсмические приборы. – 2022. – Т. 58. – № 2. – С. 5–38. <https://doi.org/10.21455/si2022.2-1>
2. Никитин С.П., Кислов К.В., Старовойт Ю.О., Бенгальский Д.М., Спиридонов Е.П., Харасов Д.Р., Фомиряков Э.А., Наний О.Е., Трещиков В.Н. Возможности и перспективы использования распределенных оптоволоконных датчиков в геофизике // Приборы и техника эксперимента (в печати).

3. Bado M.F., Casas J.R. A review of recent distributed optical fiber sensors applications for civil engineering structural health monitoring // *Sensors*. – 2021. – V. 21. – Iss. 5. – Art. 1818. <https://doi.org/10.3390/s21051818>
4. Becker M.W., Ciervo C., Coleman T. Laboratory testing of low frequency strain measured by distributed acoustic sensing // *SEG Technical Program Expanded Abstracts*. 2018. P. 4963–4966. <https://doi.org/10.1190/segam2018-2997900.1>
5. Booth A.D., Christoffersen P., Schoonman C., Clarke A., Hubbard B., Law R., Doyle S.H., Chudley T.R., Chalari A. Distributed acoustic sensing of seismic properties in a borehole drilled on a fast-flowing greenlandic outlet glacier // *Geophys. Res. Lett.* – 2020. – V. 47. – N 13. – Art. e2020GL088148. <https://doi.org/10.1029/2020GL088148>
6. Currenti G., Jousset P., Chalari A., Zuccarello L., Napoli R., Reinsch T., Krawczyk C. Fibre optic distributed acoustic sensing of volcanic events at Mt Etna // *EGU General Assembly*, 2020. EGU2020-11641. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-11641>
7. Fernández-Ruiz M.R., Soto M.A., Williams E.F., Martin-Lopez S., Zhan Z., González-Herráez M., Martins H. Distributed acoustic sensing for seismic activity monitoring // *APL Photonics*. – 2020. – V. 5. – Art. 030901. <https://doi.org/10.1063/1.5139602>
8. Huff O., Lellouch A., Luo B., Jin G., Biondi B. Validating the origin of microseismic events in target reservoir using guided waves recorded by DAS // *Lead. Edge*. – 2020. – V. 39. – P. 776–784. <http://dx.doi.org/10.1190/tle39110776.1>
9. Hull R., Meek R., Bello H., Woller K., Wagner J. Monitoring horizontal well hydraulic stimulations and geomechanical deformation processes in the unconventional shales of the Midland Basin using fiber-based time-lapse VSPs, microseismic, and strain data // *Lead. Edge*. – 2019. – V. 38. – Iss. 2. – P.82–168. <https://doi.org/10.1190/tle38020130.1>
10. Ivanov V., Longoni L., Ferrario M., Brunero M., Arosio D., Papini M. Applicability of an interferometric optical fibre sensor for shallow landslide monitoring – Experimental tests // *Engineering Geology*. – 2021. – V. 288. – Art. 106128. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106128>
11. Jousset P., Reinsch T., Ryberg T., Blanck H., Clarke A., Aghayev R., ... & Krawczyk C. M. Dynamic strain determination using fibre-optic cables allows imaging of seismological and structural features // *Nature communications*. – 2018. – V.1. – P. 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04860-y>
12. Jousset P., Wuestefeld A., Krawczyk C., Baird A., Currenti G., Landrø M., Nowacki A., Spica Z., Barajas S. R., Lindner F., Konca Ö. A., Edme P., Lai V.H., Treshchikov V., Urmantseva L., Morten J.P., Lienhart W., Lipovsky B.P., Schoenball M., Ma K.-F. and the “DAS-month” team (sample only!): Global Distributed Fibre Optic Sensing recordings of the February 2023 Turkey earthquake sequence // *EGU General Assembly 2023*, Vienna, Austria, 2023, EGU23-17618, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-17618>, 2023
13. Kislov K.V., Gravirov V.V. Acquisition of Seismological Data Using Fiber Optic Communication Lines // XIV школа-конференция с международным участием “Problems of Geocosmos–2022”, Санкт-Петербург, Россия, 2022. GC2022-SG008.
14. Kislov K.V., Gravirov V.V. Regarding the Metrology of Special Lines of the Distributed Acoustic Sensing // XIV школа-конференция с международным участием “Problems of Geocosmos–2022”, Санкт-Петербург, Россия, 2022. GC2022-SG009.
15. Li Y., Karrenbach M., Ajo-Franklin J. Using Sound and Vibration Signals to Understand the Subsurface // *Eos*. – 2022. – V. 103. <https://doi.org/10.1029/2022EO215001>
16. Li Z., Shen Z., Yang Y., Williams E., Wang X., Zhan Z. Rapid response to the 2019 Ridgecrest earthquake with distributed acoustic sensing // *AGU Advances*. – 2021. – N 2. – Art. e2021AV000395. <https://doi.org/10.1029/2021AV000395>
17. Lindsey N.J., Rademacher H., Ajo-Franklin J.B. On the broadband instrument response of fiber-optic DAS arrays // *J. Geophys. Res.: Solid Earth*. – 2020. – V. 125. – N. 2. – e2019JB018145. <https://doi.org/10.1029/2019JB018145>

18. Lior I., Rivet D., Ampuero J.P. Sladen A., Barrentos S. et al. Magnitude estimation and ground motion prediction to harness fiber optic distributed acoustic for earthquake early warning // *Scientific Reports*. – 2023. – V. 13. – 424. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-27444-3>
19. Min R., Liu Z., Pereira L., Yang C., Sui Q., Marques C. Optical fiber sensing for marine environment and marine structural health monitoring: A review // *Opt. Laser Technol.* – 2021. – V. 140. – Art. 107082. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2021.107082>
20. NORSAR Global DAS monitoring month <https://www.norsar.no/in-focus/global-das-monitoring-month-february-2023>. Последний просмотр 21.04.2023
21. Popik S., Pevzner R., Bona A., Tertyshnikov K., Glubokovskikh S., Gurevich B. Estimation of P-wave anisotropy parameters from 3D vertical seismic profile with distributed acoustic sensors and geophones for seismic imaging in the CO2CRC Otway Project // *Geophys. Prospect.* – 2021. – V. 69. – P. 842–855. <https://doi.org/10.1111/1365-2478.13080>
22. Shuvalov A.A., Pnev A.B., Ignatev V.I., Zhirnov A.A., Chernutsky A.O., Nesterov E.T. Possibility of distributed acoustic sensing (DAS) for geophysical problems solution // *Conference Proceedings, Engineering and Mining Geophysics 2018. European Association of Geoscientists & Engineers, 2018. V. 2018. P.1–7.* <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201800591>
23. Smolinski K., Paitz P., Bowden D., Edme P., Kugler F., Fichtner A. Urban distributed acoustic sensing using in-situ fibre beneath Bern, Switzerland // *EGU General Assembly, 2020. EGU2020-8225.* <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-8225>
24. Spica Z.J., Pertou M., Martin E.R., Beroza G.C., Biondi B. Urban Seismic Site Characterization by Fiber-Optic Seismology // *J. Geophys. Res. Solid Earth.* – 2020. – V. 125. – P. 1–14. <https://doi.org/10.1029/2019JB018656>
25. Tonegawa T., Araki E., Matsumoto H., Kimura T., Obana K., Fujie G., Arai R., Shiraishi K., Nakano M., Nakamura Y., Yokobiki T., Kodaira S. Extraction of P wave from ambient seafloor noise observed by distributed acoustic sensing // *Geophysical Research Letters.* – 2022. – V. 49. – Iss. 4. – e2022GL098162. <https://doi.org/10.1029/2022GL098162>
26. Tribaldos V.R., Ajo-Franklin J.B. Aquifer monitoring using ambient seismic noise recorded with distributed acoustic sensing (DAS) deployed on dark fiber // *J. Geophys. Res. Solid Earth.* – 2021. – V. 126. – N 4. – Art. e2020JB021004. <https://doi.org/10.1029/2020JB021004>
27. Wang Z.N., Zeng J.J., Li J., Fan M.Q., Wu H., Peng F., Zhang L., Zhou Y., Rao Y.J. Ultra-long phase-sensitive OTDR with hybrid distributed amplification // *Opt. Lett.* – 2014. – V. 39. – P. 5866–5869. <https://doi.org/10.1364/OL.39.005866>
28. Wüstefeld A. Global DAS monitoring month <https://www.norsar.no/in-focus/global-das-monitoring-month-february-2023>. Последний просмотр 21.04.2023
29. Spica Z.J., Ajo-Franklin J., Beroza G.C., Biondi B., Cheng F., Gaito B., Luo B., Martin E., Shen J., Thurber C., Viens L., Wang H., Wuestefeld A., Xiao H., Zhu T. PubDAS: A PUBLIC Distributed Acoustic Sensing Datasets Repository for Geosciences. *Seismological Research Letters.* – 2023. – V. 94. – N. 2A. – P. 983–998. doi: <https://doi.org/10.1785/0220220279>
30. Zhang C.-C., Shi B., Zhu H.-H., Wang B.-J., Wei G.-Q. Toward distributed fiber-optic sensing of sub-surface deformation: A theoretical quantification of ground-borehole-cable interaction // *J. Geophys. Res. Solid Earth.* – 2020. – V. 125. – N 3. – Art. e2019JB018878. <https://doi.org/10.1029/2019JB018878>

НАБЛЮДЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОЛН БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ В АРКТИКЕ ПО ДАННЫМ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

¹И.Е. Козлов, ^{1,2}И.О. Копышов, ^{1,3} Д.И. Фрей, ³И.П. Медведев,
³К.П. Сильвестрова, ¹ В.Р. Жук, ¹П.В. Гайский, ^{2,3} А.А. Осадчиев,
^{2,3}Н.Б. Степанова
igor.eko@gmail.com

¹Морской гидрофизический институт РАН, Россия, г. Севастополь

²Московский физико-технический институт, Россия, г. Долгопрудный

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

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты наблюдения короткопериодных внутренних волн большой амплитуды в проливе Карские Ворота по данным 58-ой экспедиции НИС «Академик Иоффе» в Карское море по программе «Плавучий университет ИО РАН». Измерения включали вертикальное профилирование с помощью термокос, учащенные STD-зондирования, фото- и видеосъемку с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и спутниковые наблюдения. Измерения внутренних волн проводились в сизигию, когда скорость приливных течений была максимальной. В ходе измерений было зарегистрировано 18 выраженных колебаний термоклина с диапазонами высот от 4 до 40 м и периодами от 2 до 30 минут в слое 15-50 м, подтверждая существование интенсивных внутренних волн в этом районе.

Ключевые слова. Океанские внутренние волны, динамика океана, спутниковые наблюдения, контактные измерения, Арктика.

Как известно, океанские внутренние волны (ВВ) могут оказывать существенное влияние на перенос тепла, взвеси и загрязнений в океане за счет трансформации приливной энергии и возникновения турбулентности при их обрушении. Исследования последних лет наглядно показывают существование в Арктике нелинейных ВВ больших амплитуд, генерация, распространение и обрушение которых может приводить к существенной интенсификации перемешивания и переноса тепла по вертикали [1-3].

В настоящей работе будут представлены результаты исследования вертикальных, пространственных и кинематических характеристик короткопериодных внутренних волн (КВВ) в проливе Карские Ворота по данным натурных измерений за 12 августа 2021 г., полученных в ходе 58-ой экспедиции НИС «Академик Иоффе» в Карском море по программе «Плавучий университет ИО РАН». Измерения включали данные трех термокос, учащенные STD-зондирования, съемку с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и оперативное обеспечение спутниковой информацией. Измерения проводились в сизигию, когда скорость приливных течений максимальна. Данные спутниковых измерений и БПЛА-съемки показали, что в проливе наблюдается система пакетов КВВ, распространяющихся вдоль пролива в южном и юго-западном направлениях. В ходе измерений было зарегистрировано 18 выраженных колебаний

термоклина с диапазонами высот от 4 до 40 м и периодами от 2 до 30 минут в слое 15-50 м, подтверждая существование интенсивных внутренних волн в этом районе.

Измерения трех разнесенных в пространстве приборов позволили определить фазовую скорость и направление распространения наблюдаемых КВВ. Согласно измерениям, внутренние волны были направлены на северо-восток в сторону Карского моря и распространялись с фазовой скоростью около 0,8-0,9 м/с. Полученные значения фазовой скорости КВВ хорошо согласуются с теоретическими расчётами для нелинейных внутренних волн в двуслойном приближении. Однако определенные из судовых наблюдений направления распространения КВВ отличаются от полученных ранее результатов спутниковой съемки [4,5]. Возможные причины такого расхождения обсуждаются в работе.

Настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ 21-17-00278 (анализ БПЛА- и судовых измерений для оценки вертикальной структуры и фазовой скорости внутренних волн), а также в рамках государственного задания по теме № FNNN-2021-0010 (анализ спутниковых данных для определения пространственно-временных характеристик внутренних волн в Карском море). Данные натурных измерений получены в экспедиции 58-го рейса НИС «Академик Иоффе» в рамках программы «Плавучий университет ИО РАН» при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Московского физико-технического института и Института океанологии им. П.П. Ширшова.

Список литературы

1. Rippeth T. P., Vlasenko V., Stashchuk N., Scannell B. D., Green J. A. M., Lincoln B. J., Bacon S. Tidal conversion and mixing poleward of the critical latitude (an Arctic case study) // *Geophysical Research Letters*. 2017. V. 44. No. 24, P. 12349–12357. DOI: 10.1002/2017GL075310.
2. Fer I., Koenig Z., Kozlov I. E., Ostrowski M., Rippeth T. P., Padman L., Bosse A., Kolas E. Tidally forced lee waves drive turbulent mixing along the Arctic Ocean margins // *Geophysical Research Letters*. 2020. V. 47. No. 16. DOI: 10.1029/2020GL088083.
3. Marchenko A.V., Morozov E.G., Kozlov I.E., Frey D.I. High-amplitude internal waves southeast of Spitsbergen // *Continental Shelf Research*. 2021. V. 227. No. 104523. DOI: 10.1016/j.csr.2021.104523.
4. Kozlov I. E., Kudryavtsev V. N., Zubkova E. V., Zimin A. V., Chapron B. (2015) Characteristics of short-period internal waves in the Kara Sea inferred from satellite SAR data // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2015. V. 51. No. 9. P. 1073–1087. DOI: 10.1134/S0001433815090121.
5. Morozov E. G., Kozlov I. E., Shchuka S. A., Frey D. I. Internal tide in the Kara Gates Strait // *Oceanology*. 2017. V. 57. No. 1. P. 8–18. DOI: 10.1134/S0001437017010106.

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В РЕЖИМЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

Е.А. Корчагина

helena.a.k@mail.ru

*Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр РАН»,
Центр географических исследований, г. Нальчик*

Аннотация. Предгорные территории Западного Кавказа характеризуются высокой степенью освоенности. Растет степень рекреационной освоенности горных территорий. Это определяет актуальность исследования состояния природной опасности в регионе. Цель настоящего исследования – выявить изменения в режиме атмосферных осадков на территории Краснодарского края, способные оказать влияние на режим стока рек в регионе и степень активности опасных природных процессов гидрологического характера. Поскольку не все исследуемые ряды подчиняются нормальному закону распределения, количественно скорости изменения параметра оценивались как методом наименьших квадратов (линейная регрессия), так и непараметрическим методом (оценочная функция Тейла-Сена, коэффициент корреляции Спирмэна). Обнаружен рост значений различных характеристик режима осадков в марте. Это рост как средних, так и максимальных характеристик сумм осадков и их интенсивности. Тенденции к снижению различных характеристик суточной интенсивности на исследуемой территории обнаруживаются зимой, в апреле и в августе.

Ключевые слова. Изменение климата, атмосферные осадки, Западный Кавказ, Краснодарский край, непараметрические статистические методы.

Введение

Климатические условия, такие как интенсивность осадков, температура воздуха, накопление снега, влияют на уровень воды в реках. В период сильных ливней и таяния снега велика опасность таких явлений, как наводнения и оползни. Климатические изменения могут увеличить риск опасностей, имеющих в своем генезисе гидрологическую составляющую.

Освоенность территории также имеет важное значение. Застройка на берегах водоемов? изменение ландшафта для целей сельскохозяйственной или промышленной деятельности, приводят к нарушению естественного гидрологического режима территории, что грозит опасностью роста числа оползней и наводнений.

Развитие экономики, туризма, аграрного сектора и других отраслей в Краснодарском крае повышают уровень освоенности региона. В совокупности с климатическими изменениями это приводит к росту хозяйственных и человеческих ресурсов, подвергающихся природной опасности.

В связи с этим, изучение климатических изменений является актуальным вопросом в контексте его влияния на активность и частоту опасных природных процессов.

Исследования изменений климата на Северном Кавказе показали, что характерным вариантом изменения режима осадков в регионе является слабая вариативность годовых сумм, а вот интенсивность осадков и число дней с осадками большой интенсивности имеют статистически подтвержденные тенденции [1] – [4].

При этом авторы прогнозируют дальнейший рост экстремальных осадков [4] – [6].

Также исследователи отмечают рост числа наводнений и связанных с ними угроз для населения и экономики в связи с ростом экстремальности атмосферных осадков и температуры воздуха [7] – [8].

Прогноз изменения климата на основе моделирования выявил [8], [9] что при повышении средней температуры экстремальность осадков становится меньше во влагодефицитных районах и растет в регионах с высокой влажностью. В следствие чего динамика климата на разных территориях неоднородна.

Цель настоящего исследования выявить изменения в режиме атмосферных осадков на территории Краснодарского края, способные оказать влияние на режим стока рек в регионе и степень активности опасных природных процессов гидрологического характера.

Методы исследования динамики климатических факторов

Динамика средних годовых, месячных и суточных характеристик атмосферных осадков на Западном Кавказе построена по данным специализированных массивов ВНИИГМИ МЦД [10] с применением методов математической статистики. Используются данные следующих метеорологических станций: Анапа, Туапсе, Красная поляна, Сочи, Краснодар.

Суточные данные метеостанций, в результате обработки которых построены временные ряды средних, расчетных и экстремальных параметров атмосферных осадков, доступны с 1960 по 2021 годы [11].

При выявлении тенденций динамики временных рядов наибольшую популярность имеют параметрические методы и регрессионный анализ [2]. При этом, не все временные ряды характеристик режима осадков имеют нормальное распределение. В связи с этим, в настоящем исследовании сравнивались результаты параметрических и непараметрических методов выявления тенденции. При построении выводов предпочтение отдавалось результатам тех методов, что больше соответствуют форме плотности распределения исходного ряда.

Все исследуемые ряды тестировались на соответствие нормальному закону распределения. Наличие тенденции устанавливалось с помощью расчета коэффициентов ранговой корреляции Кендала (тау-коэффициент) и Спирмэна, рекомендованных в [12], и проведения тестов на их значимость. Выделялись тенденции, значимые на уровнях 0,05 и 0,1.

Предгорная зона (Черноморское побережье)

Осадки на Западном Кавказе достигают значительных величин вследствие взаимного расположения влагонесущих воздушных масс и склонов хребтов. Климат отличается высокой влажностью.

Метеостанция Сочи находится на юго-западе предгорной зоны Главного Кавказского хребта. Динамика годового хода и средние многолетние значения месячных сумм осадков представлены на рисунке 1.

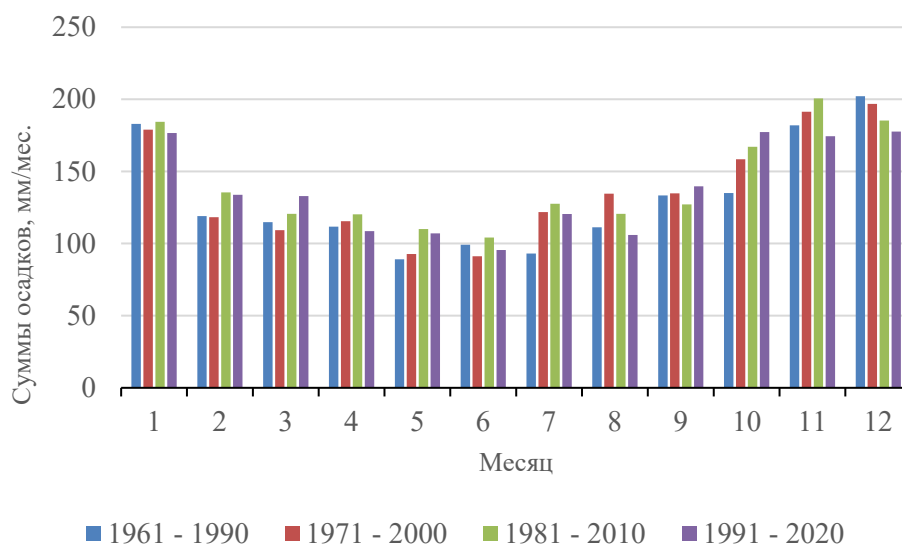


Рис. 1. Динамика годового хода осадков, метеостанция Сочи

Результаты исследования динамики средних месячных сумм осадков на Черноморском побережье Кавказа на примере метеостанции Сочи приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Тренды месячных сумм осадков, 1961-2021 годы, метеостанция Сочи

Месяц	I_{mean}	σ	b_{Theil}	b_{low}	b_{high}	b_{Linear}	$p-value$	Normal
1	180	78,29	2,19	-11,18	15	0,16	0,98	True
2	127,21	62,22	1,6	-7,43	14	1,57	0,75	True
3	122,26	46,1	4,47	-3,76	12	4,67	0,19	True
4	111,28	47,47	-3,48	-11,55	5	-2,78	0,45	False
5	98,39	59,91	3,78	-4,54	11	4,34	0,35	False
6	97,65	66,7	-0,31	-7,45	8	0,19	0,97	False
7	107,28	65,16	8,45	-0,7	19	8,59	0,08	True
8	109,82	86,96	-6,94	-20,43	4	-7,57	0,26	False
9	134,58	105,08	3	-9,5	19	5,64	0,49	False
10	156,21	94,71	7,21	-4,57	21	8,77	0,23	False
11	178,67	100,36	-1,24	-17,67	14	-0,82	0,92	True
12	189,11	87,11	-5,96	-20,37	8	-5,23	0,44	True

Здесь I_{mean} – среднее за указанный период месячное значение суммы осадков, мм;

σ – среднее квадратическое отклонение исследуемого ряда;

b_{Theil} – оценочная функция Тейла-Сена (медиана по коэффициентам наклона), мм/10 лет;

b_{low} и b_{high} – верхняя и нижняя границы доверительных интервалов для коэффициентов модели, мм/10 лет;

b_{Linear} – оценки линейной регрессионной модели мм/10 лет;

p -value – вероятность того, что отклонение оценки тренда от нуля является случайным;

Normal – логический признак нормального распределения ряда, равен True если выборка происходит из нормального распределения.

Расчеты и статистические тесты показали, что динамический ряд месячных сумм осадков в июле имеет положительный тренд, значимый на уровне 0,1. Плотность распределения ряда подчиняется нормальному закону, скорость роста параметра $b_{Linear} = 8,6$ мм/10 лет.

Таблица 2

Коэффициенты ранговой корреляции, 1961-2021 годы, метеостанция Сочи

Месяц	$\tau_{Kendall}$	p -value	r_s	p -value
1	0,03	0,7424	0,03	0,7954
2	0,04	0,6873	0,04	0,7873
3	0,1	0,2541	0,14	0,2868
4	-0,09	0,3442	-0,12	0,3813
5	0,08	0,3511	0,14	0,2993
6	-0,01	0,9145	0,0	0,9762
7	0,17	0,0613	0,25	0,0613
8	-0,12	0,1909	-0,17	0,2002
9	0,05	0,5777	0,08	0,5672
10	0,1	0,2459	0,16	0,2286
11	-0,01	0,8774	-0,02	0,8984
12	-0,08	0,3477	-0,12	0,3661

Здесь $\tau_{Kendall}$ – коэффициент ранговой корреляции Кендалла;

r_s – коэффициент ранговой корреляции Спирмэна;

p -value – вероятность того, что корреляция незначима.

В рядах динамики сезонных осадков в предгорной зоне устойчивых трендов не обнаружено.

Период устойчивого роста приземной температуры воздуха принимается с 1976 года. Тесты на значимость коэффициентов ранговой корреляции показали наличие устойчивых тенденций в марте и апреле на уровне 0,1. В марте тренд положительный, степень полноты устойчивости слабая, плотность вероятности подчиняется нормальному распределению, $b_{Linear} = 10,5$ мм/10 лет. В апреле тенденция имеет обратный знак, степень полноты устойчивости слабая, плотность вероятности не подчиняется нормальному распределению, $b_{Theil} = -12,5$ мм/год.

Устойчивых трендов сезонных рядов с 1976 года по 2021 год не обнаружено.

Среднегорная зона приморской части Западного Кавказа

Метеостанция Красная поляна расположена в среднегорной зоне бассейна р. Мзымта, 43°41' с.ш. 40°12' на высоте 564 м над уровнем моря.

Динамика годового хода с 1961 года представлена на рисунке 2.

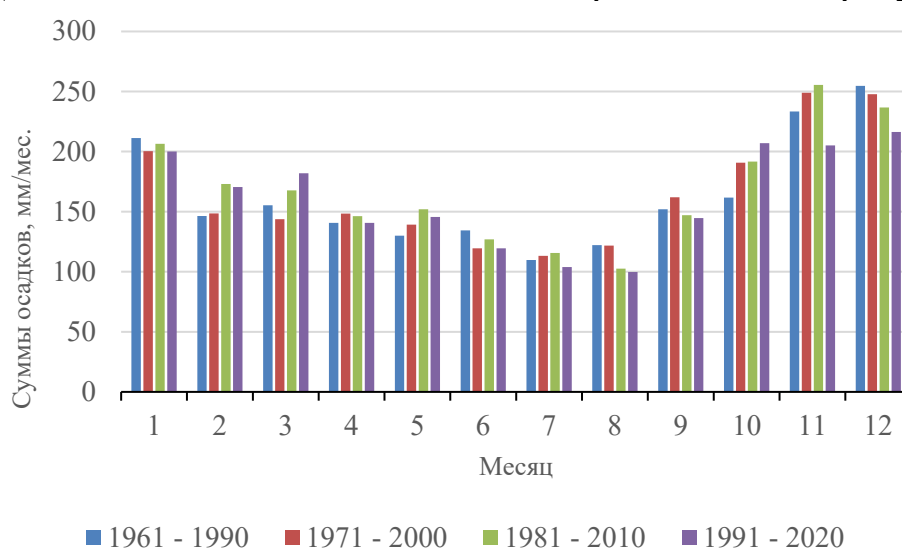


Рис. 2. Годовой ход осадков 1961-1920 годы, метеостанция Красная поляна

Максимум осадков приходился на ноябрь и декабрь. За последние 30 лет 1991-2020 годы осадки за эти месяцы уменьшились и приблизились к значениям января. Перераспределение осадков произошло таким образом, что к настоящему времени с октября по март месячные суммы превышают 150 мм (180 – 216 мм). С апреля по сентябрь месячные суммы меньше 150 мм и составляют 100-145 мм/мес.

Характеристики рядов и оценки линейных трендов и функции Тейла-Сена трендов и оценки линейных трендов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Тренды месячных сумм осадков, 1961-2021 годы, Красная поляна

Месяц	I_{mean}	σ	b_{Theil}	b_{low}	b_{high}	b_{Linear}	$p-value$	Normal
1	206,76	115,07	4,57	-10,25	22	-1,6	0,8576	False
2	160,35	86,17	0,31	-13,69	15	2,3	0,7298	True
3	167,02	81,56	8,71	-2,21	23	11,17	0,073	False
4	140,86	58,2	0,52	-7,2	9	2,17	0,6296	False
5	137,87	70,4	-0,21	-9,26	10	1,13	0,8358	False
6	126,28	56,72	-1,33	-9,45	7	-3,1	0,4794	False
7	106,76	59,56	-1,96	-10,63	9	-1,41	0,7602	True
8	111,57	66,73	-7,82	-16,95	1	-10,29	0,0425	False
9	147,43	98,81	-1,32	-14,72	13	-0,31	0,968	False
10	184,98	98,24	7,44	-7,42	24	9,21	0,2231	True
11	218,54	118,67	-6,19	-26,55	12	-4,41	0,6318	True
12	233,52	120,57	-14,25	-31,67	4	-13,81	0,1354	True

Тесты на значимость коэффициентов ранговой корреляции сезонных рядов с 1961 года по 2021 год показали наличие отрицательных устойчивых

тенденций на уровне 0,1 в августе ($b_{Theil} = -7,8$ мм/год) и декабре ($b_{Linear} = -14,3$ мм/10 лет) (таблица 4). Что составляет 7 %/10 лет и 6 %/10 лет от среднего значения выборки I_{mean} соответственно.

Таблица 4

Коэффициенты ранговой корреляции месячных сумм осадков, 1961-2021 годы, метеостанция Красная поляна

Месяц	$\tau_{Kendall}$	p -value	r_s	p -value
1	0,05	0,5606	0,06	0,6653
2	0,01	0,9531	0,02	0,9049
3	0,13	0,136	0,2	0,1359
4	0,01	0,9115	0,01	0,9506
5	-0,0	0,9625	0,01	0,9695
6	-0,03	0,7289	-0,04	0,7542
7	-0,04	0,6899	-0,06	0,6481
8	-0,16	0,0808	-0,25	0,0608
9	-0,02	0,7936	-0,04	0,7743
10	0,09	0,3299	0,15	0,271
11	-0,06	0,5153	-0,09	0,5012
12	-0,14	0,1001	-0,2	0,122

Тренды сезонных сумм осадков в период 1961-2021, метеостанция Красная поляна говорят о тенденции к снижению летних осадков, значимой на уровне 0,1. Выборка подчиняется нормальному распределению, $b_{Linear} = -5$ мм/10 лет, что составляет 4 %/10 лет от среднего. Рост осадков весной значим на уровне 0,1 со скоростью 5 мм/10 лет, что компенсирует летнее снижение и приводит к постоянному годовому балансу.

В период интенсивного роста температуры воздуха с 1976 года тесты на значимость коэффициентов ранговой корреляции показали наличие устойчивых тенденций в марте ($\alpha=0,1$) и апреле на уровне ($\alpha=0,05$). В марте тренд положительный, степень полноты устойчивости слабая, $b_{Theil} = 18,7$ мм/год, 11 %/10 лет от I_{mean} .

В апреле тенденция имеет обратный знак, степень полноты устойчивости слабая, плотность вероятности подчиняется нормальному распределению, $b_{Linear} = -11$ мм/10 лет, 4 %/10 лет.

Для сезонов с 1976 года обнаружена значимая на уровне 0,1 тенденция снижения летних осадков. Ряд распределен нормально, полнота устойчивости тенденции слабая ($r_s < 0.3$), $b_{Linear} = -7,7$ мм/10 лет, 7 %/10 лет.

Равнинная зона

Метеостанция Краснодар находится в южной части Восточно-Европейской равнины на Прикубанской низменности, По геоморфологическому районированию территория г. Краснодара относится к Прикубанской равнине.

Характер годового хода осадков носит черты как континентального (максимум в июне), так и морского (максимум в декабре) климата. Если в период 1961-1990 годы, который считается базовым для выявления изменений

климата, главный максимум приходился на декабрь, то к настоящему времени летний максимум превалирует (рис. 3).

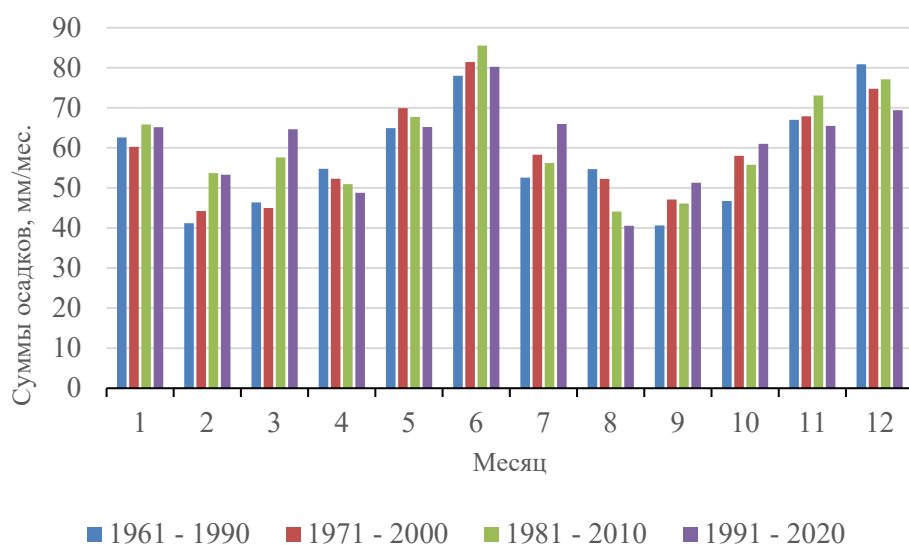


Рис.3. Динамика годового хода осадков, м. Краснодар, Круглик

С 1961 года значимым на уровне 0,1 является рост суммы осадков в марте ($\tau_{Kendall} = 0,16$, $p\text{-value} = 0,077$, $b_{Theil} = -12,5$ мм/год). И снижение количества осадков в декабре ($\tau_{Kendall} = -0,7$, $p\text{-value} = 0,055$; $b_{Linear} = -4,4$ мм/10 лет).

Для сезонных сумм осадков в период 1961-2021 статистически значимых трендов сезонных сумм за период 1961-2021 года по результатам тестов не обнаружено.

В равнинной части с 1976 года значим на уровне 0,05 тренд на снижение осадков в апреле (таблица 5). Плотность вероятности выборки не подчиняется нормальному закону распределения, $b_{Theil} = 6,9$ мм/год, что составляет около 7 %/10 лет от среднего значения ряда I_{mean} .

Таблица 5
Коэффициенты ранговой корреляции месячных сумм осадков, 1976-2021 годы, метеостанция Краснодар, Круглик

Месяц	$\tau_{Kendall}$	$p\text{-value}$	rs	$p\text{-value}$
1	0,1	0,3462	0,13	0,3937
2	0,12	0,2628	0,19	0,2194
3	0,14	0,177	0,24	0,114
4	-0,24	0,0195	-0,36	0,0163
5	0,0	1	0,0	0,9824
6	0,02	0,8397	0,01	0,9631
7	0,12	0,2489	0,16	0,2877
8	-0,12	0,2573	-0,16	0,3015
9	-0,0	0,9758	-0,0	0,9786
10	0,05	0,6417	0,07	0,6376
11	-0,06	0,5507	-0,09	0,5647
12	-0,15	0,1568	-0,25	0,1

Оценки трендов сезонных сумм осадков в период 1976-2021 гг. показали, что плотность распределения рядов с 1976 года для всех сезонов подчиняется нормальному закону распределения и не имеет значимых трендов.

Таким образом, установлено, что, несмотря на отсутствие значительных изменений в рядах годовых сумм осадков в регионе, существует внутригодовое перераспределение осадков. Обнаружены статистически значимые изменения их суточных характеристик.

С 1961 года значимы на уровне 0,1 в предгорьях Черноморского побережья положительные тенденции в июле. В среднегорной зоне Причерноморья положительная достоверен рост осадков весной (уровень 0,05) и в марте ($\alpha = 0,01$) и их снижение летом ($\alpha = 0,01$) и в августе ($\alpha = 0,1$). В равнинной зоне положительны тренды в марте ($\alpha = 0,05$), июле ($\alpha = 0,1$) и отрицательны август ($\alpha = 0,001$) и декабрь ($\alpha = 0,1$).

С 1976 года в предгорной зоне положительная тенденция в марте ($\alpha = 0,1$) и отрицательная в апреле ($\alpha = 0,05$). В среднегорной зоне обнаружена положительная тенденция в марте и отрицательные в августе, ноябре, декабре, летом и за год в летом на уровне 0,1. В равнинной зоне положительные тренды в марте и отрицательные в апреле и декабре.

Выводы

Территория Краснодарского Края включает в себя Черноморское побережье, горные территории западной части Южного склона Кавказа, прилегающую равнину. Эти части различаются природно-климатическими условиями. Вследствие этого режим атмосферных осадков различается как в абсолютных значениях, так и в годовом распределении. Тем не менее, удалось установить некоторые общие черты в изменении режима осадков.

Исследование изменения режима осадков проведено на основе анализа рядов наблюдаемых на метеостанциях значений сумм атмосферных осадков. Исследованы средние многолетние, годовые, месячные и суточные суммы.

В результате во всех исследованных районах обнаружен рост значений различных характеристик режима осадков в марте. Это рост как средних, так и максимальных характеристик сумм осадков и их интенсивности.

Тенденции к снижению различных характеристик суточной интенсивности на исследуемой территории обнаруживаются зимой, в апреле и в августе.

Изменения режима осадков в Краснодарском Крае сопровождаются устойчивый рост приземной температуры воздуха в регионе.

Список литературы

1. Korchagina E. A. Long-term dynamics of the climatic factors of the natural hazards formation in the Northern Caucasus // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Nalchik, 08–10 сентября 2021 года. – Nalchik, 2021. – P. 012036. – DOI 10.1088/1755-1315/840/1/012036.

2. Ташилова А.А. Изменения в распределении региональных осадков в ответ на глобальное потепление // Наука. Инновации. Технологии. 2021. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmeneniya-v-raspredelenii-regionalnyh-osadkov-v-otvet-na-globalnoe-poteplenie> (дата обращения: 07.04.2023).

3. Корчагина Е. А. Характеристика суточных сумм атмосферных осадков на Западном Кавказе // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2021. – № 3. – С. 25-32. – DOI 10.17308/geo.2021.3/3597.
4. Korchagina E. Modern changes in the precipitation and air temperature regime in the mountainous regions of the Dagestan Republic // Russian Journal of Earth Sciences. – 2022. – Vol. 22, No. 5. – P. 0104. – DOI 10.2205/2022ES01SI04.
5. Prein A.F., Rasmussen R.M., Ikeda K., Liu C.H., Clark M.P., Holland G.J. The future intensification of hourly precipitation extremes // Nature climate change, 2017. V.7. No.1. pp.48+
6. Trenberth K. Changes in Precipitation with Climate Change. Climate Change Research. // Climate Research. - 47. – pp. 123-138. –DOI:10.3354/cr00953.
7. Yin, Jiabo; Gentine, Pierre; Zhou, Sha; Sullivan, Sylvia C.; Wang, Ren; Zhang, Yao; Guo, Shenglian Large increase in global storm runoff extremes driven by climate and anthropogenic changes// Nature communications, 2018. V.9. No.4389 Article Number 4389 DOI: 10.1038/s41467-018-06765-2
8. Blöschl G et al. Changing climate both increases and decreases European river floods. Nature. 2019. Sep; 573(7772):108-111. DOI: 10.1038/s41586-019-1495-6.
9. Wasko, C.; Sharma, A. Global assessment of flood and storm extremes with increased temperatures // Scientific reports, 2017. V.7. No. Article Number 7945. DOI 10.1038/s41598-017-08481-1
10. Bulygina O. N., Razuvaev, V. N. Daily temperature and precipitation data for 518 Russian meteorological stations. Oak Ridge, Tennessee: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, 2012. – DOI: 10.3334/CDIAC/cli.100
11. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В. «Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России». - Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394 - URL: <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения 07.04.2023)
12. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. – WMO, 2017. – № 1203. – 29 p.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ЯРКОСТИ И ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Е.Н. Корчёмкина, Е.В. Маньковская

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

Морской гидрофизический институт РАН, Россия, г. Севастополь

***Аннотация.** В работе представлены и обсуждаются характеристики коэффициента яркости, полученные на основе анализа материалов двух экспедиций Морского гидрофизического института РАН, выполненных в Черном море в 2019 и 2021 гг. на НИС «Профессор Водяницкий». Рассчитаны цветовые характеристики вод моря: доминирующая длина волны в спектре излучения моря, чистота цвета воды. Показана сравнительная изменчивость коэффициента яркости и цветовых характеристик за аналогичные весенние периоды 2019 и 2021 гг.*

***Ключевые слова.** Спектральный коэффициент яркости, доминирующая длина волны, чистота цвета.*

Воды Черного моря испытывают значительную антропогенную нагрузку и содержат большое количество взвешенного и растворенного органического вещества. Концентрации таких веществ можно оценить путем оптических измерений, например, коэффициента яркости моря.

Коэффициент яркости (КЯ) водной толщи представляет собой отношение яркости восходящего из моря излучения к яркости диффузно отражающего белого экрана. Яркость выходящего из водной толщи излучения в основном формируется в фотическом (деятельном) слое и зависит от концентрации взвешенных частиц (минеральная взвесь, клетки фитопланктона, детрит) и растворенного органического вещества (РОВ). Соотношение вклада этих веществ в суммарное поглощение и рассеяние света определяет не только величины КЯ, но и форму его спектра и расположение спектральных максимумов.

По значениям КЯ можно судить о процессах, происходящих в поверхностном слое, например, таких как распространение в море речных стоков, наличие примесей различного происхождения, образование мезомасштабных вихрей, фронтальных зон и др. Коэффициент яркости может быть измерен с борта судна или дистанционно. Он является ключевой характеристикой при дистанционном оптическом зондировании Земли. На основе значений КЯ строится решение обратной задачи спутникового мониторинга водоемов, т.е. определение концентраций различных оптически активных веществ в верхнем слое моря.

Собственный цвет вод моря зависит от наличия различных примесей. Так возрастание концентрации фитопланктона и соответствующее увеличение содержания пигментов в воде сопровождается изменением ее цвета. В бедных с точки зрения биологической продуктивности районах вода имеет фиолетово-

синий или голубой цвет, а в высокопродуктивных областях она приобретает зеленоватые, желтовато-зеленые и даже желто-коричневые оттенки.

Видимый цвет моря определяется формой спектра коэффициента яркости. Для характеристики цветности существуют различные параметры, например, номер пробирки на шкале Фореля-Уле [1], цветовые координаты и угол цветности [2-4], доминирующая длина волны и чистота цвета [5].

В настоящей работе рассмотрены оптические экспедиционные измерения, выполненные за аналогичные весенние периоды 2019 и 2021 гг., что позволило провести сравнительную изменчивость коэффициента яркости и цветовых характеристик вод моря. Использованы данные измерений спектрального коэффициента яркости толщи вод, полученные в период 18.04 – 13.05.2019 (106-й рейс) и 22.04 – 08.05.2021 (116-й рейс) в ходе экспедиций НИС «Профессор Водяницкий» по Черному морю. Съемка выполнена в северной и северо-восточной частях Черного моря. Измерения спектрального коэффициента яркости проводились с борта судна спектрофотометром, разработанным в отделе оптики и биофизики моря МГИ РАН [6]. Глубина видимости белого диска (относительная прозрачность) определялась по стандартной методике [7].

На рис. 1 показаны распределения максимумов коэффициента яркости вод Черного моря, измеренных в ходе экспедиций. Черными точками показаны координаты станций. Всего сделано 89 измерений в 2019 г. и 68 – в 2021 г. Полигон исследования был разделен на следующие различные по своим характеристикам зоны: прибрежная зона Крыма с глубинами до 200 м, прибрежная зона Кавказа с глубинами до 1000 м, центральная глубоководная часть и северо-западный шельф (в 2019 г.).

Сопоставление величин КЯ, полученных в двух экспедициях, показывает, что они в целом выше в 2021 г., чем в 2019 г. При этом в 2019 г. изменчивость КЯ высока и соответствует делению на районы исследования. На северо-западном шельфе и в центральной глубоководной части полигона были зафиксированы самые низкие значения КЯ. В восточной части полигона и вдоль южного побережья Крыма наблюдались повышенные величины. Следует отметить, что все спектры КЯ имеют характерную для вод Черного моря форму, подобную друг другу. Наблюдаются отличия только в расположении максимумов КЯ: в восточной и глубоководной областях полигона он находится около 480 нм, в прибрежной зоне – около 490 нм. В районе г. Сочи наблюдался пик, обусловленный стоком р. Мзымта. Здесь форма спектра коэффициента яркости изменялась, максимум смещался в сторону длинных волн до 497 нм.

Изменчивость КЯ в исследуемой области в 2021 г. была сравнительно низкой. Форма спектров и величины КЯ практически не отличались в глубоководной и прибрежной частях полигона. Исключение составляла только часть исследуемого полигона в районе г. Феодосия. Здесь разброс величин максимумов КЯ был от 0,049 в Феодосийском заливе до 0,02 на шельфе за пределами залива. Наибольшие значения КЯ расположены вдоль

Кавказского побережья и соответствуют известным источникам взвеси – речному стоку.

Цветовые характеристики (доминирующая длина волны и чистота цвета) вод Черного моря рассчитаны на основе спектральных распределений КЯ. Определение доминирующей длины волны λ_{dom} в спектре излучения моря основано на колориметрической системе X, Y, Z [3]. Сама величина λ_{dom} равна длине волны монохроматического (доминирующего) излучения, которое надо смешать в определенной пропорции с белым излучением, чтобы получить видимый цвет моря. Значение данной пропорции (в процентах) представляет собой чистоту цвета воды P. Эта величина связана с её прозрачностью: в высокопрозрачных водах чистота цвета высокая, в мутных водах – низкая.

Осредненные измеренные и расчетные оптические и цветовые характеристики вод Черного моря в районах экспедиционных исследований 2019 и 2021 гг. показаны в табл. 1.

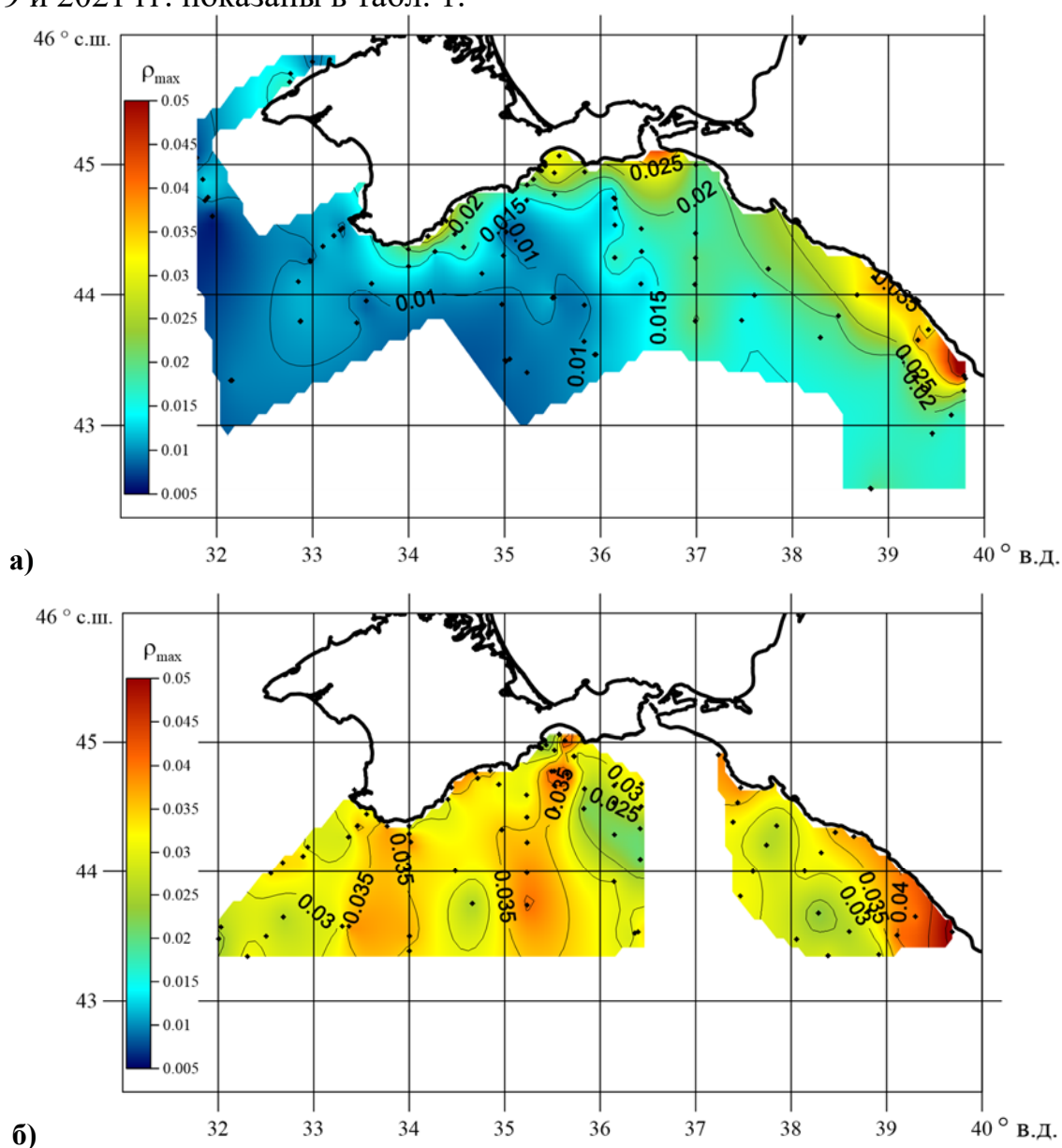


Рис. 1. Распределение спектральных максимумов КЯ: а – 2019 г., б – 2021 г.

Изменчивость значений доминирующей длины волны в 2019 г. лежит в пределах 482 – 496 нм. На диаграмме цветности диапазон длин волн 480 – 490 нм соответствует голубому цвету, а диапазон 490 – 500 нм – голубовато-зеленому. Смещение цвета в длинноволновую область оценочно соответствует повышению содержания органических веществ в воде.

Чистота цвета в 2019 г. изменялась от 24 до 56%. Более мутные воды с низкими значениями P наблюдались в плюме возле г. Сочи, в районе г. Ялта и г. Феодосия, а также в районе 33° в.д., 44° с.ш. По визуальным оценкам воды на данных станциях имели более зеленоватый оттенок по сравнению с водами остальной части полигона. В восточной части глубоководной области получены высокие значения чистоты цвета.

Изменчивость значений доминирующей длины волны в 2021 г. составила 486 – 509 нм. Низкие значения чистоты цвета $P = 13\%$ получены для прибрежной зоны Кавказского побережья, где также визуально наблюдались воды с зеленоватым оттенком. Как и в 2019 г. высокие величины (до $P = 47\%$) отмечены в глубоководной части полигона.

Таблица 1

Средние по районам величины: спектральный максимум КЯ (ρ_{\max}) и соответствующая ему длина волны (λ_{\max} , нм), доминирующая длины волн (λ_{dom} , нм), чистота цвета (P , %)

Район	ρ_{\max}	λ_{\max} , нм	λ_{dom} , нм	P , %
2019 г.				
Северо-западный шельф	0.012±0.004	485 ± 9	489 ± 2	38 ± 3
Прибрежная зона Крыма	0.021±0.009	491 ± 6	491 ± 4	35 ± 7
Глубоководная центральная часть	0.014±0.004	482 ± 7	485 ± 2	45 ± 6
Прибрежная зона Кавказа	0.039±0.009	486 ± 6	489 ± 3	35 ± 7
2021 г.				
Прибрежная зона Крыма	0.032±0.008	492 ± 5	490 ± 2	36 ± 6
Глубоководная центральная часть	0.032±0.005	491 ± 6	490 ± 2	36 ± 4
Прибрежная зона Кавказа	0.040±0.005	503 ± 12	495 ± 6	26 ± 7

Выводы

Средние значения коэффициентов яркости толщи вод в 2021 г. выше, чем в 2019 г. При этом изменчивость КЯ на исследуемом полигоне, наоборот, больше в 2019 г. Форма спектров КЯ характерна для вод Черного моря и одинакова в 2019 и 2021 гг. Визуальные и расчетные характеристики цвета вод моря соответствуют пространственным распределениям величин КЯ. В 2019 г. преобладают воды голубого цвета, в 2021 г. – голубовато-зеленого цвета.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № FNNN-2021-0003 «Оперативная океанология», № FNNN-2021-0005

«Прибрежные исследования», данные получены в 106 и 116 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. Ерлов Н.Г. Оптика моря. Л.: Гидрометеиздат, 1980. С. 181–191.
2. Smith, Thomas; Guild, John (1931). The C.I.E. colorimetric standards and their use // Transactions of the Optical Society. 33 (3): 73–134. doi:10.1088/1475-4878/33/3/301
3. Шифрин К.С. Глубина видимости белого диска и цвет моря // Введение в оптику океана. Л.: Гидрометеиздат, 1983. С. 23–30.
4. Woerd H.J.v.d., Wernand M.R. True Colour Classification of Natural Waters with Medium-Spectral Resolution Satellites: SeaWiFS, MODIS, MERIS and OLCI // Sensors. 2015. 15. P. 25663–25680. doi:10.3390/s151025663
5. Маньковский В.И., Маньковская Е.В., Соловьев М.В. Гидрооптические характеристики Черного моря. Справочник. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. 90 с.
6. Ли М.Е., Шибанов Е.Б., Корчёмкина Е.Н., Мартынов О.В. Определение концентрации примесей в морской воде по спектру яркости восходящего излучения // Морской гидрофизический журнал. 2015. № 6 (186). С. 17–33.
7. Определение относительной прозрачности и цвета морской воды // Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. Л.: Гидрометеиздат. 1977. С. 299–303.

СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ И НА ВЫСОКОГОРЬЕ

^{1,2}Е.А. Костяная, ^{1,2,3}А.Г. Костяной

evgeniia.kostianaia@ocean.ru, kostianoy@gmail.com

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

²Геофизический центр РАН, Россия, г. Москва

³Московский университет им. С.Ю. Витте, Россия, г. Москва

Аннотация. Воздействие климатических изменений на железнодорожный транспорт проявляется в различных последствиях, таких как температурный выброс железнодорожного пути, затопление рельсов и инфраструктуры, перегрев электрооборудования и его выход из строя, размыв мостов и земляного полотна, осадка грунта, износ покрытия, повреждение волноломов, береговая эрозия путей и земляных валов, а также увеличение числа железнодорожных аварий в целом. Такие воздействия могут привести к значительному нарушению работы железных дорог и привести к серьезным финансовым затратам на ремонт железнодорожной инфраструктуры. Поэтому крайне важно включить стратегии адаптации уже на этапе проектирования строительства железной дороги, чтобы обеспечить стабильность и целостность железнодорожных операций. В статье представлен обзор литературы по вопросам адаптации железных дорог к изменению климата в Канаде, Швеции и Китае, а также обсуждаются проблемы изменения климата, с которыми эти страны сталкиваются в своих железнодорожных системах. В заключении даются рекомендации по адаптационным подходам на основе рассмотренного международного опыта, которые могут быть полезны руководителям железнодорожных компаний.

Ключевые слова. Региональное изменение климата, железнодорожный транспорт, железнодорожная инфраструктура, экстремальные погодные явления, стратегии адаптации.

Изменение климата стало общепризнанной глобальной угрозой для окружающей среды в самом широком смысле этого слова, проявляющейся в значительных последствиях для производства продуктов питания, здоровья человека, инфраструктуры и предоставления услуг. В последнее время расширились исследования воздействия изменения климата на железнодорожную инфраструктуру. Потенциальные последствия разнообразны, в том числе температурный выброс пути, затопление рельсов и мостов, перегрев электрооборудования и его повреждение, разрушение земляных сооружений, осадка грунта, ухудшение состояния дорожного покрытия, повреждение волноломов, береговая эрозия путей, а также увеличение числа железнодорожных происшествий в целом [8, 9, 10, 14]. Такие изменения требуют тщательной оценки реальных воздействий, прогнозов региональных изменений климата и адаптационных мер.

Вклад Второй Рабочей группы в Шестой оценочный доклад МГЭИК об изменениях климата, озаглавленный «Изменение климата в 2022 г.: воздействия, адаптация и уязвимость», предлагает всестороннюю оценку текущего состояния знаний о наблюдаемых воздействиях и прогнозируемых рисках изменения климата вместе с вариантами адаптации для людей, природы и социально-экономических систем [6]. Инфраструктура, включая транспортные и энергетические системы, подвергается риску из-за экстремальных и медленно развивающихся погодных явлений, что приводит к экономическим потерям и последствиям для жизни и благополучия людей. Например, сильные дожди в Германии, Бельгии, Люксембурге и соседних странах с 12 по 15 июля 2021 года привели к сильному затоплению крупного региона Западной Европы между Альпами и Нидерландами. Это наводнение привело к гибели не менее 222 человек и серьезному повреждению дорог, домов, инфраструктуры связи, автомагистралей, железнодорожных путей и мостов [6]. Риски, связанные с изменением климата, для городов и ключевой инфраструктуры будут быстро возрастать в среднесрочной и долгосрочной перспективе по мере дальнейшего глобального потепления. Затраты на техническое обслуживание и реконструкцию инфраструктуры будут расти с уровнем глобального потепления, и прогнозируется, что связанные с этим функциональные нарушения будут значительными для городов и инфраструктуры, расположенных на вечной мерзлоте в холодных регионах и на морских побережьях [6].

Вклад Второй Рабочей группы в Шестой оценочный доклад МГЭИК об изменениях климата также содержит много ценной информации, в частности, о воздействии изменения климата и адаптации железнодорожной инфраструктуры [6]. Например, Koks et al. [7] представили первые глобальные оценки подверженности множественным опасностям и рискам для железнодорожной и автомобильной инфраструктуры из-за прямого ущерба от сильных ветров, поверхностных, речных и прибрежных наводнений. Большая часть этого вызвана поверхностными водами и наводнениями из-за разлива рек: около 27% всех автомобильных и железных дорог в мире подвержены опасности, а около 7,5% всех дорог подвержены наводнениям с периодичностью 1/100 лет. Глобальный ожидаемый ежегодный ущерб (EAD) из-за прямого ущерба автомобильным и железнодорожным сетям дорог составляет от 3,1 до 22 миллиардов долларов США в год, из которых около 73% вызвано поверхностными и речными наводнениями. Интересно, что этот ущерб оценивается всего в 0,02% мирового ВВП, однако в некоторых странах EAD может достигать от 0,5 до 1% ВВП ежегодно, что для некоторых стран равнозначно величине бюджета национальной транспортной инфраструктуры.

Koks et al. [7] показали, что из 20 стран, в которых автомобильная и железнодорожная инфраструктура, как ожидается, больше всего пострадает в абсолютном выражении из-за множественных опасностей, половина находится в Азии. В странах с низким и средним уровнем дохода во всем мире прямые убытки компаний из-за перебоев в работе транспорта составляют

около 107 миллиардов долларов США в год, не считая только затрат, связанных с потерями продаж или задержками поставок товаров [5].

Ожидается, что изменения режима осадков и температуры увеличат геотехнические разрушения насыпей, земляных валов и мостов из-за оползней, просадок, провалов, процессов высыхания и замерзания-оттаивания [1, 13, 16]. Например, Pk et al. [12] показывают, что это может привести к снижению инженерного коэффициента безопасности земляных насыпей в Южном Онтарио (Канада) на 30%. Увеличение речного стока во многих водосборных бассейнах также приведет к увеличению случаев разрушения мостов из-за размыва [4]. Что касается температурного анализа, Forzieri et al. [4] пришли к выводу, что волны тепла будут представлять собой наиболее значительный риск для транспортной инфраструктуры ЕС в 2080-х годах в результате повреждения автомобильных и железных дорог из-за теплового расширения, плавления дорожного асфальта и размягчения дорожного материала. Волны тепла могут еще больше ограничить скорость движения поездов во многих странах [11]. Это имело место, когда волны тепла в 2015 и 2018 годах в Западной, Центральной и Северной Европе вызвали плавление дорог, выход из строя железнодорожных сетей и ограничения скорости, чтобы снизить вероятность температурного выброса пути [3, 17].

Было опубликовано большое количество научных статей и отчетов с целью анализа воздействия изменения климата на железнодорожную инфраструктуру, которая является важной частью экономического сектора и транспортной сети любой страны. Тем не менее, Vubeck et al. [2] утверждают, что эмпирические данные об ущербе транспортной инфраструктуре (например, железным дорогам), охватывающей различные европейские страны, систематически не собирались, а косвенные экономические последствия перебоев в работе транспортных сетей недостаточно изучены. Этот дефицит информации приводит к неопределенностям, связанным с воздействием изменения климата на транспортные потоки, и косвенным воздействиям, связанным с задержками, экономическими потерями и т.д. Rotter et al. [15], анализируя железнодорожную систему Германии, пришли к выводу, что отсутствие ведущего и мощного институционального органа с достаточными исследовательскими ресурсами, сосредоточенными на оценке рисков изменения климата, может ограничивать способность к адаптации.

Меры по адаптации железнодорожной инфраструктуры уже обсуждаются во многих публикациях. Kostianaia et al. [9] сделали краткий обзор влияния изменения климата на железнодорожную инфраструктуру в России, Европе, Канаде, США и Китае, включая некоторые примеры адаптационных мер. В данном исследовании продолжен обзор стратегий и технологий адаптации, разработанных в разных странах для минимизации воздействия изменения климата на железнодорожную инфраструктуру. Мы сосредоточимся на конкретных мерах по адаптации железнодорожной инфраструктуры, расположенной в высоких широтах (Канада и Швеция) и высокогорных районах (Высокогорный Китай), поскольку во многих случаях они аналогичны вопросам, характерным для высоких широт. Исследование

выполнено в рамках проекта РНФ № 21-77-30010 (2021-2024 гг.) «Системный анализ динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействие на развитие и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта». Этот проект выполняется Геофизическим центром РАН (Москва) совместно с ОАО «РЖД» с 2021 года. Одной из целей проекта является исследование региональных изменений климата на северо-западе России и их влияния на инфраструктуру и работоспособность железных дорог. Район исследований охватывает большую территорию от 60° с.ш. (широта Санкт-Петербурга) до побережья Баренцева и Карского морей на севере и от государственной границы с Финляндией на западе до 85° в.д. к востоку от Обской губы.

В работе [8] выполнен обзор обширной литературы по адаптационным мерам, применяемым в Канаде, Швеции и в Высокогорном Китае. Приведенные в данной статье примеры показали, что меры по адаптации постепенно интегрируются в проектирование, строительство и техническое обслуживание железнодорожных систем в различных странах, однако многое еще предстоит сделать. Основываясь на международном опыте, кроме конкретных технических решений, применяемых в этих странах, были предложены следующие рекомендации общего характера, которые могут быть полезны в отношении развития сети железных дорог в северных регионах Российской Федерации.

1) Целесообразно создать специальные комитеты в железнодорожных компаниях для изучения и мониторинга последствий изменения климата на отдельных участках железных дорог. Такой мониторинг должен касаться изменений регионального климата в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе. Эти комитеты должны разработать подробные и целенаправленные планы адаптации для предотвращения повреждения железных дорог, человеческих и финансовых потерь. В состав таких комитетов должны входить не только эксперты в области изменения климата, но и представители управленческих департаментов для консультирования по инвестиционным возможностям, инженеры для комментариев возможных технических решений по адаптации, операторы поездов и обслуживающий персонал железных дорог для предоставления подробной информации об актуальных проблемах, с которыми они сталкиваются в своей работе.

2) Любое решение по адаптационным мероприятиям должно основываться на тщательном анализе прогноза изменения климата для конкретного региона или участка железной дороги. Поскольку последствия изменения климата различаются даже в пределах региона, разумным подходом будет разделение такого региона на более мелкие участки для составления более точных планов адаптации. Кроме того, решения по адаптации должны учитывать экономическое и социальное развитие конкретного региона в целом, а также планы развития железнодорожных дорог в этом районе. Следует также учитывать культурные и экологические факторы.

3) Грузовые железнодорожные и пассажирские перевозки могут потребовать различных адаптационных решений. Поэтому мы еще раз подчеркиваем важность междисциплинарных комитетов, чтобы менеджеры и инженеры могли информировать экспертов по изменению климата об особенностях железных дорог. Железнодорожные перевозки грузов и пассажиров имеют разные руководящие принципы и процедуры.

4) Стратегия адаптации железнодорожной инфраструктуры к изменению климата должна иметь долгосрочный целостный и активный подход. Он должен охватывать все возможные компоненты железнодорожной системы в самом широком смысле, и следует уделять пристальное внимание всем системам, таким как контактные сети, дренажные системы, окружающая растительность, системы кондиционирования воздуха и др. В связи с тем, что железнодорожная инфраструктура рассчитана на длительный срок службы, важно учитывать как можно больше потенциальных воздействий изменения климата на различные системы, чтобы избежать любых непредвиденных расходов, связанных с необходимостью установки новых компонентов и внесения любых изменений при проектировании железнодорожной системы на более позднем этапе.

5) Ввиду сложного характера воздействия изменения климата на железнодорожную инфраструктуру мы хотели бы подчеркнуть необходимость всестороннего анализа и компиляции адаптационных мер по всему миру с оценкой затрат и выгод, оценкой рисков и обсуждением конкретных примеров инвестиций в меры по адаптации и финансовой отдачи. Такие подробные, прозрачные, понятные тематические исследования могут служить наиболее эффективным обоснованием активного подхода к адаптации железнодорожной инфраструктуры к изменению климата.

В этом международном обзоре стратегий и мер адаптации для железнодорожного транспорта показаны различные шаги, предпринятые в Канаде, Швеции и Китае для обеспечения безопасности и стабильности железнодорожной инфраструктуры [8]. Поскольку это относительно новая тема исследования, необходимы дальнейшие исследования для понимания всех элементов стратегий адаптации, от разработки их дизайна до мониторинга и оценки, от концептуальных до инженерных и финансовых аспектов, а также от определения наиболее подходящих инженерных решений до дальнейшего развития способов их совместной реализации. Ожидается, что такой междисциплинарный подход и обмен успешным опытом и практиками на международном уровне окажут большую помощь в развитии этой темы прикладных исследований.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ 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. Briggs K.M., Loveridge F.A., Glendinning S. Failures in transport infrastructure embankments. // *Engineering Geology*. – 2017. – V.219. – P. 107-117. – <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.07.016>.
2. Bubeck P., Dillenardt L., Alfieri L., Feyen L., Thielen A.H., Kellermann P. Global warming to increase flood risk on European railways. // *Climatic Change*. – 2019. – V.155. – N 1. – P. 19-36.
3. Ferranti E., Chapman L., Lee S., Jaroszowski D., Lowe C., McCulloch S., Quinn A. The hottest July day on the railway network: insights and thoughts for the future. // *Meteorological Applications*. – 2018. – V.25. – N2. – P. 195-208.
4. Forzieri G., Bianchi A., Silva F.B.E., Herrera M.M.M., Leblois A., Lavallo C., Aerts J., Feyen L. Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe. // *Global environmental change*. – 2018. – N 48. – P. 97-107.
5. Hallegatte S., Rentschler J., Rozenberg J. *Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity (Sustainable Infrastructure)*. World Bank Group Publications. – 2019. – <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/978-1-4648-1430-3>.
6. IPCC. *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, 2022. – 3056 pp. – DOI:10.1017/9781009325844.
7. Koks E.E., Rozenberg J., Zorn C., Tariverdi M., Voudoukas M., Fraser S.A., Hall J.W., Hallegatte S. A global multi-hazard risk analysis of road and railway infrastructure assets. // *Nat Commun*. – 2019. – V.10. – N1. – 2677. – DOI:10.1038/s41467-019-10442-3.
8. Kostianaia E.A., Kostianoy A.G. Railway transport adaptation strategies to climate change at high latitudes: A review of experience from Canada, Sweden and China. // *Transport and Telecommunication*. – 2023. – V.24. – N2. – P. 180-194. DOI: 10.2478/ttj-2023-0016 .
9. Kostianaia E.A., Kostianoy A.G., Scheglov M.A., Karelov A.I., Vasileisky A.S. Impact of regional climate change on the infrastructure and operability of railway transport. // *Transport and Telecommunication*. – 2021. – V.22. – N2. – P. 183-195. DOI 10.2478/ttj-2021-0014.
10. Li D., Kaewunruen S. Effect of extreme climate on topology of railway prestressed concrete sleepers. // *Climate*. – 2019. – V.7 – N1 – P. 17.
11. Palin E.J., Thornton H.E., Mathison C.T., McCarthy R.E., Clark R.T., Dora J. Future projections of temperature-related climate change impacts on the railway network of Great Britain. // *Climatic Change*. – 2013. V. 120. – N1. – P. 71-93.
12. Pk S., Bashir R., Beddoe R. Effect of climate change on earthen embankments in Southern Ontario, Canada. // *Environ. Geotech.* – 2018. – V.8 – N2. – P.148–169.
13. Powrie W., Smethurst J. Climate and vegetation impacts on infrastructure cuttings and embankments. In: *The International Congress on Environmental Geotechnics*. Zhan, L., Y. Chen and A. Bouazza (Eds.). Springer, Singapore, 2018. – P. 128–144.
14. Rail Safety and Standards Board. *Tomorrow's Railway and Climate Change Adaptation: Executive Report*. 2016 https://www.adaptationscotland.org.uk/download_file/view_inline/390.
15. Rotter M., Hoffmann E., Pechan A., Stecker R. Competing priorities: how actors and institutions influence adaptation of the German railway system. // *Climatic change*. – 2016. – V.137. – N3. – P. 609-623.
16. Tang A.M., Hughes P.N., Dijkstra T.A., Askarinejad A., Brenčić M., Cui Y.J., Diez J.J., Firgi T., Gajewska B., Gentile F. and Grossi G. Atmosphere–vegetation–soil interactions in a climate change context; impact of changing conditions on engineered transport infrastructure slopes in Europe. // *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*. – 2018. – V.51. – N2. – P. 156-168.
17. Vogel M.M., Zscheischler J., Wartenburger R., Dee D., Seneviratne S.I. Concurrent 2018 hot extremes across Northern Hemisphere due to human induced climate change. // *Earth's Future*. – 2019. – V.7. – N7. – P. 692-703.

СОЗДАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ОСНОВНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ЗА 1980-2022 ГГ. ПО ДАННЫМ АТМОСФЕРНЫХ РЕАНАЛИЗОВ

^{1,2,3}А.Г. Костяной, ^{2,4,5}С.А. Лебедев

kostianoy@gmail.com, sergey_a_lebedev@mail.ru

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

² *Геофизический центр РАН, Россия, г. Москва*

³ *Московский университет им. С.Ю. Витте, Россия, г. Москва*

⁴ *Майкопский государственный технологический университет,
Россия, г. Майкоп*

⁵ *Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Россия, г. Москва*

Аннотация. *Состояние экосистем Каспийского моря и его побережья вызывает серьезную тревогу, обусловленную не только антропогенными, но и природными причинами (климатическими изменениями, экстремальными метеорологическими и гидрологическими явлениями, опасными природными явлениями, а также частотой их повторения и т.д.). В связи с этим, возникает необходимость комплексного анализа, как климатических изменений, так и всех явлений связанных с ними. С апреля 2023 г. в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (г. Москва) при поддержке гранта РФФИ N 23-77-00027 выполняется проект «Исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря по данным дистанционного зондирования». Основными задачами проекта являются: (1) анализ климатической изменчивости основных гидрометеорологических параметров; (2) анализ экстремальных гидрологических и метеорологических явлений; (3) анализ откликов состояния морской поверхности на экстремальные метеорологические явления. Данная работа посвящена созданию региональной базы данных основных гидрометеорологических параметров за 1980-2022 гг. на основе глобальных баз данных атмосферных реанализов (NCEP/NCAR, NASA MERRA-2, ERA5 ECMWF, ERA-20C, ERA-Interim). Приведены примеры использования базы данных основных метеорологических параметров Каспийского моря, созданной на основе атмосферного реанализа MERRA-2 за 1980-2022 гг.*

Ключевые слова. *Региональное изменение климата, Каспийское море, атмосферные реанализы, температура воздуха, температура воды, атмосферное давление, скорость ветра, влажность, осадки, морской лед, состояние растительного покрова.*

Состояние экосистем Каспийского моря и его побережья вызывает серьезную тревогу, обусловленную не только антропогенными, но и природными причинами (климатическими изменениями, экстремальными метеорологическими и гидрологическими явлениями, опасными природными явлениями, а также частотой их повторения и т.д.). В связи с этим, возникает

необходимость комплексного анализа, как климатических изменений, так и всех явлений, связанных с ними [1-3, 6, 9].

Каспийское море имеет важное народнохозяйственное (рыбный промысел, судоходство, добыча на шельфе и транспортировка нефти и газа, курортные зоны и порты на принадлежащих России участках побережья) и военно-стратегическое значение, особенно в связи с реальным сужением границ российского влияния в этих морях после распада СССР. Характерными для Каспийского моря являются отсутствующий водообмен с открытыми акваториями, пониженное (по сравнению с океаном) содержание соли и тот факт, что его водный баланс в значительной степени определяется стоком впадающих в них рек и испарением. Отсутствующий водообмен делает его чрезвычайно чувствительным как к изменениям глобального и регионального климата, так и к антропогенному воздействию, обусловленному стоком рек и его зарегулированностью, отходами курортных зон и промышленных центров на берегу, добычей и транспортировкой нефти и т.д., что может приводить к изменениям на экосистемном уровне. Следствием климатических изменений являются изменения температуры поверхности моря, его солёности и уровня, начала образования и продолжительности ледяного покрова, связанные с климатообусловленными изменениями температуры воздуха, скорости и направления ветра, стока впадающих в море рек и осадков/испарения с поверхности. Экологические задачи и поддержание инфраструктуры на берегу требуют постоянного контроля изменений этих гидрологических и метеорологических параметров.

С апреля 2023 г. в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (г. Москва) при поддержке гранта РНФ N 23-77-00027 выполняется проект «Исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря по данным дистанционного зондирования».

Главными фундаментальными задачами проекта являются:

(1) Анализ климатической изменчивости основных физических параметров состояния моря (температуры поверхности, уровня, ветрового волнения, морской лед и т.д.) и метеорологических параметров (скорости приводного ветра, интегрального содержания водяного пара, содержания водяного пара в облаках, осадков) над акваторией Каспийского моря.

(2) Применение классического анализа «экстремальности» (т.е. резко выделяющихся на фоне «нормы» явлений) к исследованию изменчивости основных параметров состояния Каспийского моря и атмосферы над его акваторией. Анализ экстремальных гидрологических и метеорологических явлений будет проводиться с использованием данных дистанционного зондирования и данных реанализов). Это позволит дать научно-обоснованные рекомендации для реализации «Стратегии развития российских морских портов в Каспийском бассейне, железнодорожных и автомобильных подходов к ним в период до 2030 года», принятой Распоряжением Правительства РФ от 8 ноября 2017 г. № 2469-р.

(3) Анализ откликов состояния морской поверхности на экстремальные метеорологические явления, наблюдаемых над акваторией моря и/или

побережьем таких как: изменчивость апвеллинга; аномальное цветение водорослей или содержание хлорофилла в морской воде; положение и интенсивность квазистационарных вихрей и вихревой активности; ледовой обстановки.

В настоящее время в Институте космических исследований РАН успешно работает Центр коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг», составной частью которого является информационная система «See the Sea». Данная система содержит большой объем данных дистанционного зондирования различных аппаратов космического базирования. Однако в большинстве своем они представляют собой «сырые» данные, т.е. отсутствует блок пересчета данных дистанционного зондирования в физические параметры состояния морской поверхности и атмосферы над морской акваторией. Поэтому одной из основных задач проекта является адаптация существующих алгоритмов или разработка новых для расчета физических параметров состояния моря и атмосферы по данным дистанционного зондирования и совместная с ЦКП «ИКИ-Мониторинг» разработка и программное обеспечение блока системы для решения этой задачи. На основе полученных данных и будет проводиться исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря.

Геофизический центр РАН располагает разработанной в нем «Интегрированной базой данных спутниковой альтиметрии «ИБДСА – Каспийское море» (высоты морской поверхности, скорости приводного ветра и высоты морских волн), которая в рамках данного проекта будет интегрирована в информационную систему «See the Sea». Это позволит расширить функционал ЦКП, а также по отработанной технологии расширить базу данных спутниковой альтиметрии для других морей России, а в перспективе – для Мирового океана.

Таким образом, проект ставит перед собой еще две задачи:

(1) Адаптация существующих алгоритмов или разработка новых для расчета основных физических параметров состояния моря и атмосферы по данным дистанционного зондирования и интегрирование их в информационную систему «See the Sea» ЦКП «ИКИ-Мониторинг»;

(2) расширение функционала данной системы за счет интегрирования в нее «Интегрированной базой данных спутниковой альтиметрии «ИБДСА – Каспийское море», разработанной в Геофизическом центре РАН.

Одной из важнейших задач проекта, стоящих на 2023 г., является - создание региональной базы данных основных метеорологических параметров за 1980-2022 гг.:

- по данным береговых метеостанций, расположенных на побережье Каспийского моря (Махачкала, Баку, Форт-Шевченко, Туркменбаши (бывший Красноводск) и др.);

- на основе глобальных баз данных реанализа (NCEP/NCAR, NASA MERRA-2, ERA5 ECMWF, ERA-20C, ERA-Interim);

- по данным СВЧ-радиометрии и спутниковой альтиметрии для акватории Каспийского моря, включая данные миссии CFOSAT.

Данная работа посвящена созданию региональной базы данных следующих метеорологических параметров за 1980-2022 гг. на основе глобальных баз данных атмосферных реанализов (NCEP/NCAR, NASA MERRA-2, ERA5 ECMWF, ERA-20C, ERA-Interim): температура воздуха, температура воды, атмосферное давление, скорость ветра, влажность, осадки, морской лед, состояние растительного покрова.

Реанализы представляют собой результаты модельных расчетов (ретроспективных прогнозов) атмосферных или океанских полей, произведенных с использованием всего комплекса имеющихся данных наблюдений. Там, где такие данные отсутствуют, они дополняются соответствующими модельными результатами. В последние несколько десятилетий в разных странах создан ряд постоянно пополняемых и совершенствуемых архивов данных и атмосферных и морских реанализов, которыми успешно пользуются для анализа глобального или регионального изменения климата [4]. Среди них можно выделить следующие базы данных:

NCER/NCAR (совместный продукт Национального центра экологического прогнозирования и Национального центра атмосферных исследований США) – реанализ, использующий данные широкого набора метеорологических параметров (температура, альbedo, атмосферное давление, облачность, осадки, длинноволновая и коротковолновая радиация, протяженность морского льда и пр.) с 1948 года по настоящее время на глобальной сетке $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ от $0,0$ до $357,5^{\circ}$ в.д., от 90° с.ш. до 90° ю.ш. и на 17 уровнях по вертикали. Доступны ежедневно обновляемые данные в исходном формате четыре раза в день и в виде средних значений за день [4, 8].

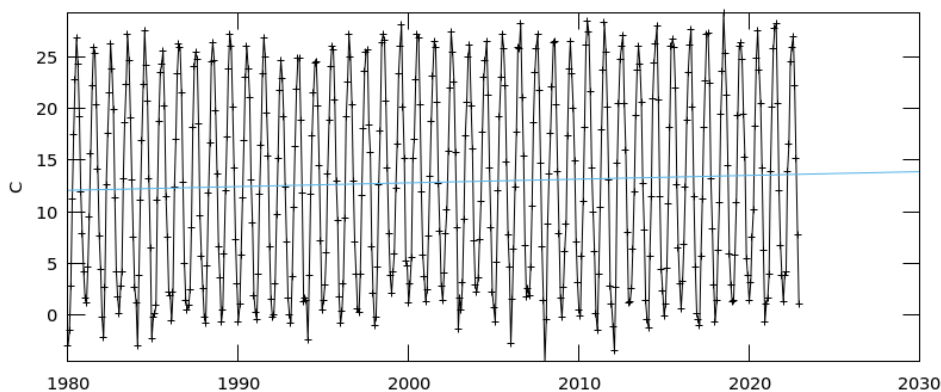
MERRA-2 (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США, NASA) – глобальный реанализ атмосферы, охватывающий эпоху спутниковых наблюдений с 1980 года по настоящее время. Он предоставляет упорядоченные записи параметров глобальной атмосферы с регулярной привязкой и включает дополнительную информацию о климатической системе: газовые следы (стратосферный озон), улучшенное представление поверхности Земли и криосферные процессы. MERRA-2 – первый глобальный реанализ спутниковой эры, ассимилирующий космические наблюдения за аэрозолями и представляющий их взаимодействие с другими физическими процессами в климатической системе [4, 7].

ERA5 (Европейский центр прогнозов погоды) предоставляет ежечасные оценки большого набора климатических переменных для атмосферы, суши и океана. Данные покрывают Землю на сетке 30 км и с разрешением в атмосфере 137 уровней от поверхности до высоты 80 км. времени. Предварительные ежедневно обновляемые наборы данных доступны пользователям в режиме реального времени в течение пяти дней. ERA5 объединяет обширный массив исторических наблюдений в глобальные оценки с использованием передовых систем моделирования и усвоения данных [4, 5].

В данной работе приведены примеры использования базы данных основных метеорологических параметров Каспийского моря, созданной на

основе атмосферного реанализа MERRA-2 за 1980-2022 гг. На рис. 1-8 представлена сезонная и межгодовая изменчивость и гистограммы распределения температуры воздуха, температуры воды, атмосферного давления, скорости ветра, влажности, осадков, площади морского льда и состояния растительного покрова, соответственно. Границы района исследования определены как 36-48⁰с.ш., 46-55⁰в.д.

Time Series, Area-Averaged of 2-meter air temperature monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2IMNXASM v5.12.4] C over 1980-Jan - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N

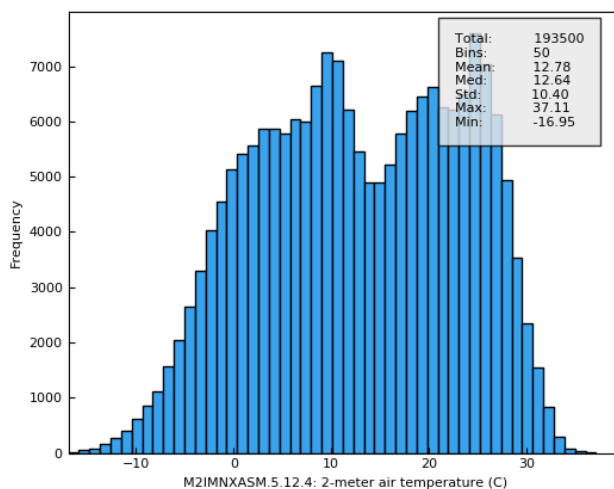


— Fitted line

- The user-selected region was defined by 46E, 36N, 55E, 48N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 46.25E, 36N, 55E, 48N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

(a)

Histogram of 2-meter air temperature monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2IMNXASM v5.12.4] C over 1980-Jan - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N

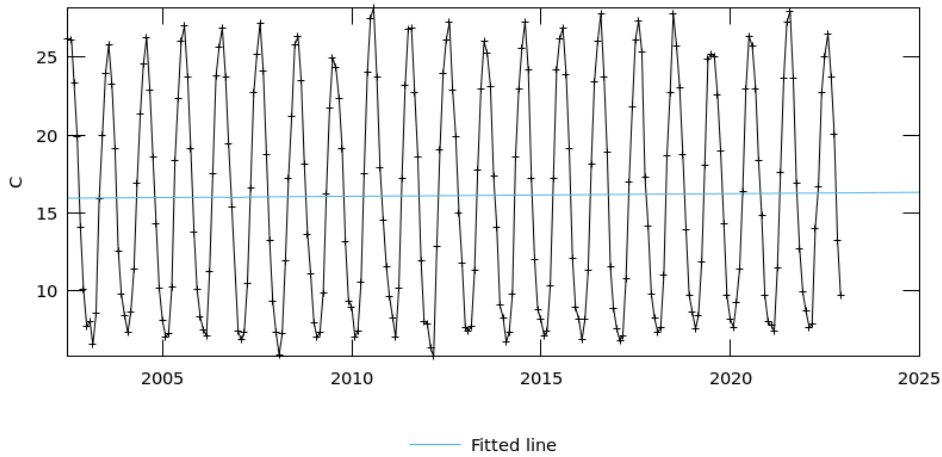


- The user-selected region was defined by 46E, 36N, 55E, 48N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 46.25E, 36N, 55E, 48N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

(б)

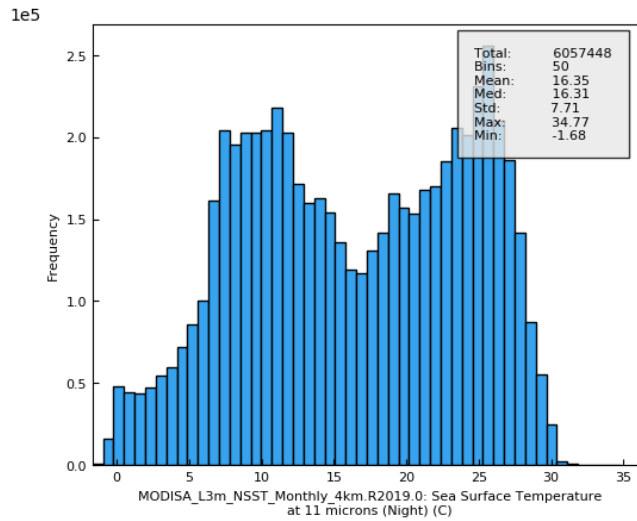
Рис. 1. Сезонная и межгодовая изменчивость (а) и гистограмма распределения (б) температуры воздуха над регионом Каспийского моря за 1980-2022 гг.

Time Series, Area-Averaged of Sea Surface Temperature at 11 microns (Night) monthly 4 km [MODIS-Aqua MODISA_L3m_NSST_Monthly_4km vR2019.0] C over 2002-07-04 00:00:10Z - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N



(a)

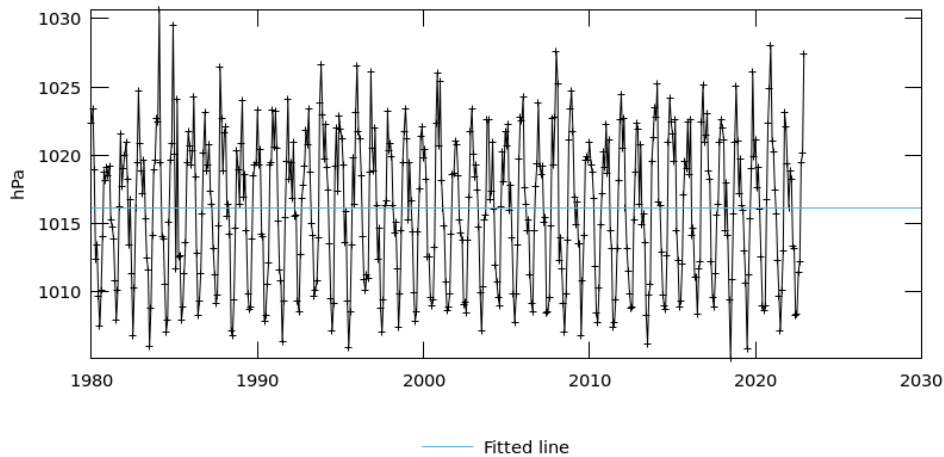
Histogram of Sea Surface Temperature at 11 microns (Night) monthly 4 km [MODIS-Aqua MODISA_L3m_NSST_Monthly_4km vR2019.0] C over 2002-07-04 00:00:10Z - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N



(б)

Рис. 2. Сезонная и межгодовая изменчивость (а) и гистограмма распределения (б) температуры поверхности Каспийского моря за 2022-2022 гг.

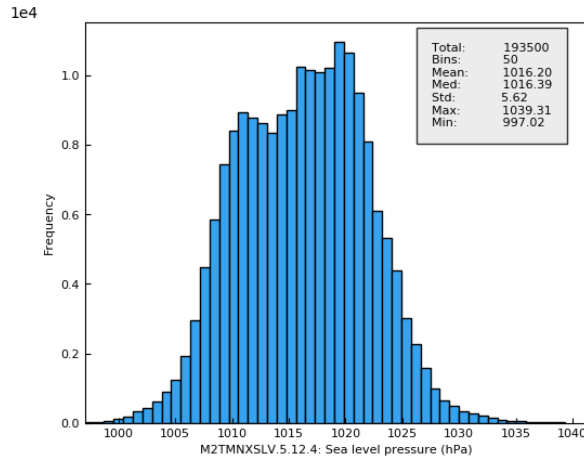
Time Series, Area-Averaged of Sea level pressure monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2TMNXSLV v5.12.4] hPa over 1980-Jan - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N



(a)

- The user-selected region was defined by 46E, 36N, 55E, 48N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 46.25E, 36N, 55E, 48N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

Histogram of Sea level pressure monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2TMNXSLV v5.12.4] hPa over 1980-Jan - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N

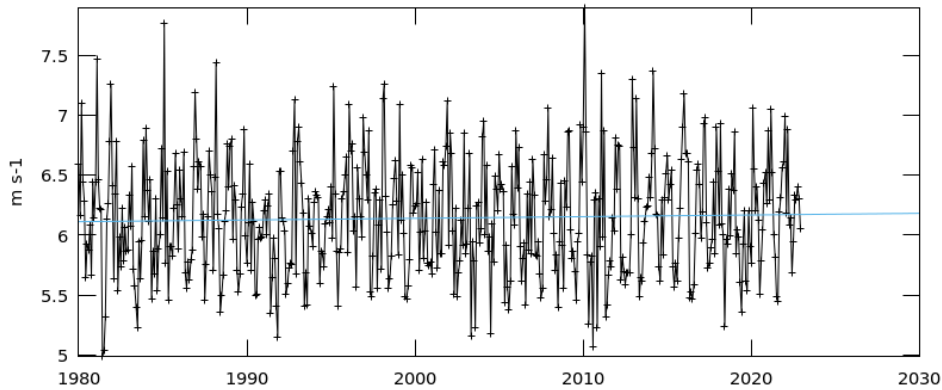


- The user-selected region was defined by 46E, 36N, 55E, 48N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 46.25E, 36N, 55E, 48N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

(б)

Рис. 3. Сезонная и межгодовая изменчивость (а) и гистограмма распределения (б) атмосферного давления над регионом Каспийского моря за 1980-2022 гг.

Time Series, Area-Averaged of Surface wind speed monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2IMNXLFO v5.12.4] m s-1 over 1980-Jan - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N

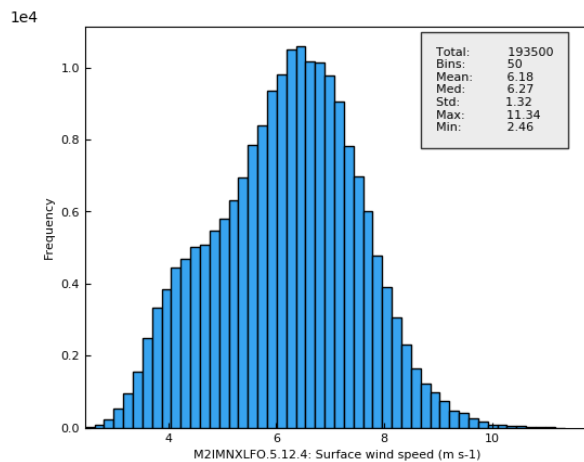


— Fitted line

- The user-selected region was defined by 46E, 36N, 55E, 48N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 46.25E, 36N, 55E, 48N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

(а)

Histogram of Surface wind speed monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2IMNXLFO v5.12.4] m s-1 over 1980-Jan - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N

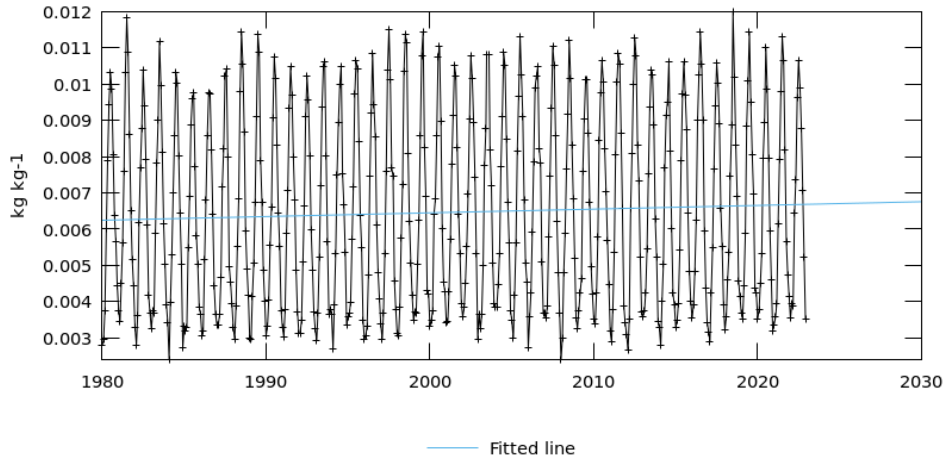


- The user-selected region was defined by 46E, 36N, 55E, 48N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 46.25E, 36N, 55E, 48N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

(б)

Рис. 4. Сезонная и межгодовая изменчивость (а) и гистограмма распределения (б) скорости ветра у поверхности Каспийского моря за 1980-2022 гг.

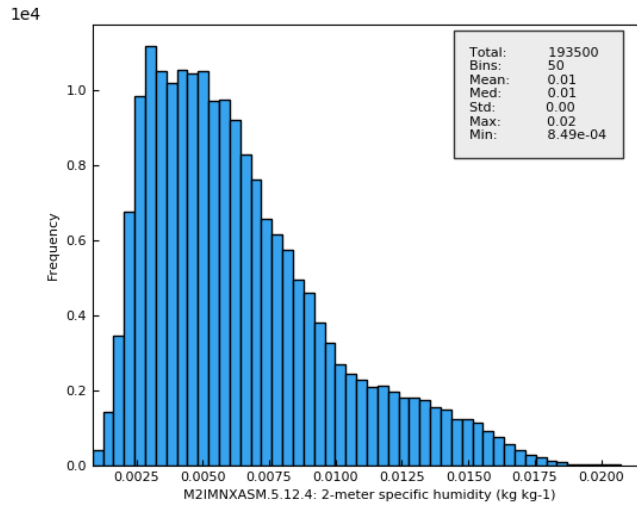
Time Series, Area-Averaged of 2-meter specific humidity monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2IMNXASM v5.12.4] kg kg⁻¹ over 1980-Jan - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N



- The user-selected region was defined by 46E, 36N, 55E, 48N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 46.25E, 36N, 55E, 48N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

(a)

Histogram of 2-meter specific humidity monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2IMNXASM v5.12.4] kg kg⁻¹ over 1980-Jan - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N

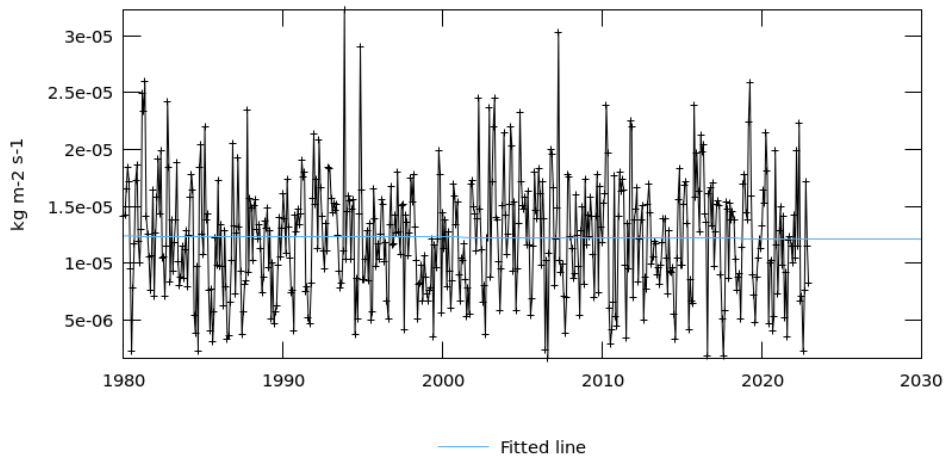


- The user-selected region was defined by 46E, 36N, 55E, 48N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 46.25E, 36N, 55E, 48N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

(б)

Рис. 5. Сезонная и межгодовая изменчивость (а) и гистограмма распределения (б) абсолютной влажности у поверхности Каспийского моря за 1980-2022 гг.

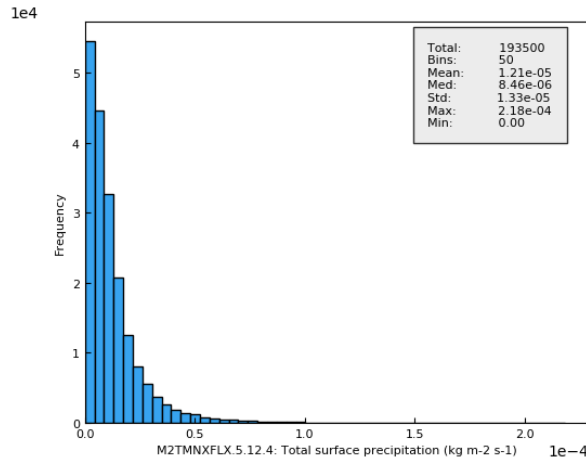
Time Series, Area-Averaged of Total surface precipitation monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2TMNXFLX v5.12.4] kg m⁻² s⁻¹ over 1980-Jan - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N



- The user-selected region was defined by 46E, 36N, 55E, 48N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 46.25E, 36N, 55E, 48N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

(a)

Histogram of Total surface precipitation monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2TMNXFLX v5.12.4] kg m-2 s-1 over 1980-Jan - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N

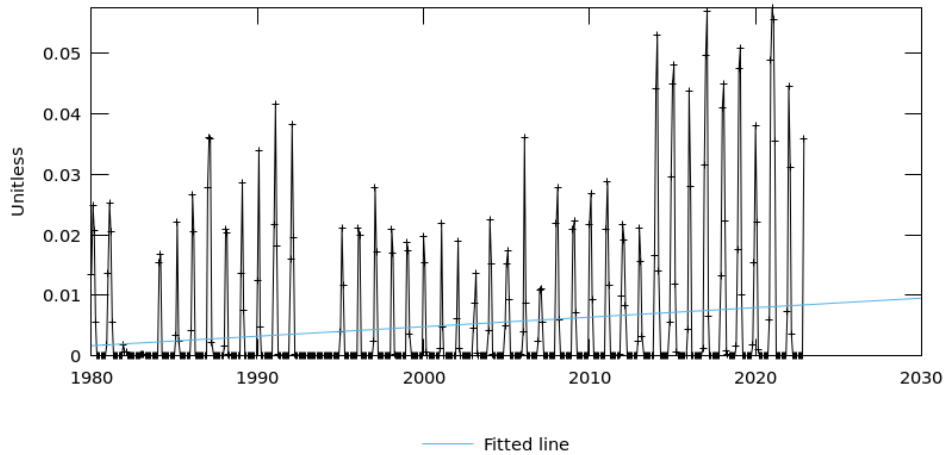


- The user-selected region was defined by 46E, 36N, 55E, 48N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 46.25E, 36N, 55E, 48N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

(б)

Рис. 6. Сезонная и межгодовая изменчивость (а) и гистограмма распределения (б) атмосферных осадков в регионе Каспийского моря за 1980-2022 гг.

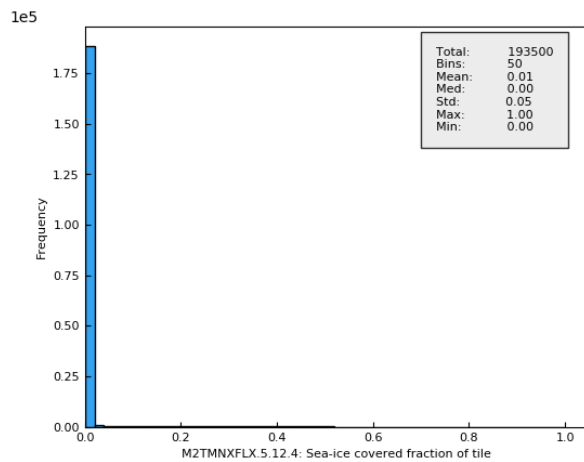
Time Series, Area-Averaged of Sea-ice covered fraction of tile monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2TMNXFLX v5.12.4] over 1980-Jan - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N



- The user-selected region was defined by 46E, 36N, 55E, 48N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 46.25E, 36N, 55E, 48N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

(а)

Histogram of Sea-ice covered fraction of tile monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2TMNXFLX v5.12.4] over 1980-Jan - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N

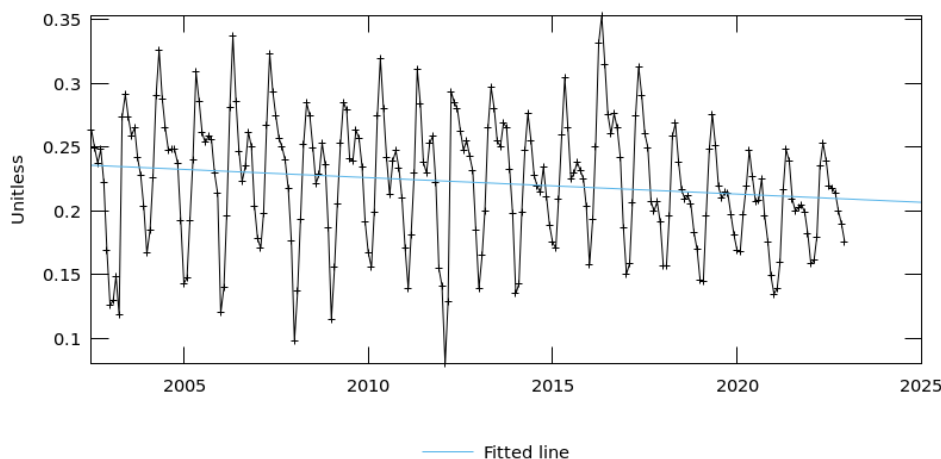


- The user-selected region was defined by 46E, 36N, 55E, 48N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 46.25E, 36N, 55E, 48N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

(б)

Рис. 7. Сезонная и межгодовая изменчивость (а) и гистограмма распределения (б) площади морского льда в Каспийском море за 1980-2022 гг.

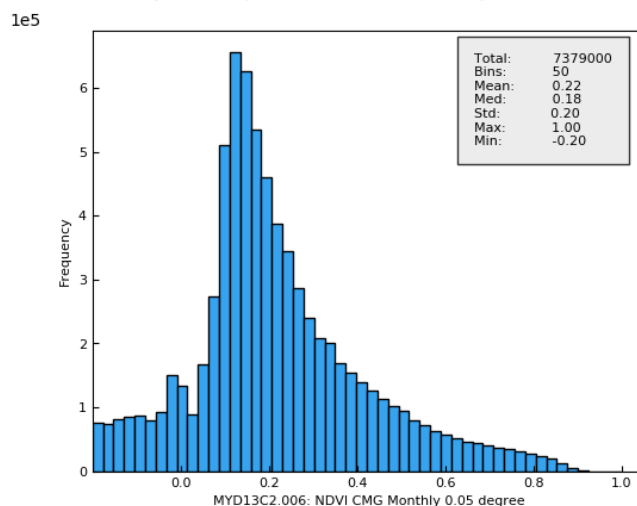
Time Series, Area-Averaged of NDVI CMG Monthly 0.05 degree monthly 0.05 deg. [MODIS-Aqua MYD13C2 v006] over 2002-Jul - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N



- The user-selected region was defined by 46E, 36N, 55E, 48N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 46.025E, 36.025N, 54.975E, 47.975N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetting granules that went into making this visualization result.

(a)

Histogram of NDVI CMG Monthly 0.05 degree monthly 0.05 deg. [MODIS-Aqua MYD13C2 v006] over 2002-Jul - 2022-Dec, Region 46E, 36N, 55E, 48N



- The user-selected region was defined by 46E, 36N, 55E, 48N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 46.025E, 36.025N, 54.975E, 47.975N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetting granules that went into making this visualization result.

(б)

Рис. 8. Сезонная и межгодовая изменчивость (а) и гистограмма распределения (б) состояния растительного покрова в регионе Каспийского моря за 1980-2022 гг.

Полученные данные представляют большой интерес для анализа изменения климата в регионе Каспийского моря за 1980-2022 гг., а также являются основой для изучения экстремальных гидрометеорологических явлений. Будет проведен расчет климатической изменчивости и «нормы», а также определение пороговых значений метеорологических параметров для выделения экстремальных явлений по региональным базам данных (береговые метеостанции, данные реанализа и данные дистанционного зондирования Земли).

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ N 23-77-00027 «Исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря по данным дистанционного зондирования» (2023-2026), <https://rscf.ru/project/23-77-00027/>.

Список литературы

1. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шерemet Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. Москва: ИКИ РАН, 2011. 470 с.
2. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М., ИКИ РАН, 2016, 334 с.
3. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы исследования изменчивости Каспийского моря. — М.: ИКИ РАН, 2022.— 250 с.
4. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В. М. Катцова; Росгидромет. — Санкт-Петербург: Научное издание, 2022. — 678 с.
5. ERA-5. Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horányi A., Muñoz-Sabater J., Nicolas J., Peubey C., Radu R., Schepers D., Simmons A., Soci C. S., Bechtold P., Biavati G., Bidlot J., Bonavita M. G., Dee D., Diamantakis M., Dragani R., Flemming J., Forbes R., Fuentes M., Geer A., Haimberger L., Healy S., Hogan R., Holm E., Janisková M., Keeley S., Laloyaux P., Lopez P., Lupu C., Radnoti G., Rosnay P., Rozum I., Vamborg F., Villaume S., Thepaut J. The ERA5 global reanalysis // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. — 2020. — V. 146. — P. 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
6. Kostianoy A.G., Kosarev A.N. (Eds.). “The Caspian Sea Environment”. The Handbook of Environmental Chemistry. Vol.5: Water Pollution, Part 5P. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 2005. 271 pp. <https://doi.org/10.1007/b138238>.
7. MERRA-2. Gelaro R., McCarty W., Suárez M. J., Todling R., Molod A., Takacs L., Randles C. A., Darmenov A., Bosilovich M. G., Reichle R., Wargan K., Coy L., Cullather R., Draper C., Akella S., Buchard V., Conaty A., da Silva A. M., Gu W., Kim G., Koster R., Lucchesi R., Merkova D., Nielsen J. E., Partyk G., Pawson S., Putman W., Rienecker M., Schubert S. D., Sienkiewicz M., Zhao B. The Modern- Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2) // Journal of Climate. — 2017. — V. 30. — N14. — P. 5419-5454. — <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/30/14/jcli-d-16-0758.1.xml>.
8. NCEP/NCAR. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins, W. Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K. C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D. The NCEP/ NCAR 40-year reanalysis project // Bulletin of American Meteorological Society. — 1996. — V. 77. — P. 437-470.
9. Zonn I.S., Kostianoy A.G., Kosarev A.N., Glantz M. “The Caspian Sea Encyclopedia”. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 2010. 527 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11524-0>.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЯХ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Е.А. Котельянец, К.И. Гуров, Е.А. Тихонова, В.А. Кальпа
plistus@mail.ru

Морской гидрофизический институт РАН, Россия г. Севастополь

Аннотация. В настоящей работе проанализированы данные полученные в ходе комплексных экспедиционных исследований, проводимых с 2003 по 2020 гг. в бухтах Севастопольского региона (Казачья бухта, Балаклавская бухта). Изучены особенности пространственного распределения Pb, Zn, Cr, Cu в донных отложениях с различным гранулометрическим составом.

Ключевые слова. Тяжелые металлы, донные осадки, Черное море.

Мониторинг морских донных отложений актуален для прибрежных акваторий Черного моря, и особенно для районов Крымского полуострова. Исследование физико-химических характеристик донных осадков позволяет определять особенность накопления в них различных загрязняющих веществ (тяжелых металлов).

В работе анализировались данные полученные в ходе комплексных экспедиционных исследований, проводимых с 2003 по 2020 гг. в бухтах Севастополя (Казачья бухта, Балаклавская бухта). Данные акватории играют важную роль в поддержании и развитии рекреационного и природохозяйственного потенциала региона. Объектами исследования в работе были донные отложения мелководных акваторий с затрудненным водообменом. Валовое содержание исследуемых тяжелых металлов (Pb, Zn, Cr, Cu) определялось методом рентгенфлуоресцентного анализа (РФА).

Установлено, что донные осадки, покрывающие дно исследуемых акваторий, разнообразны по фазовому и гранулометрическому составу. Особенности их распределения обуславливаются морфометрией бухт с одной стороны и хозяйственной деятельностью – с другой. В результате интенсификации различных природных и антропогенных процессов в исследуемых акваториях за многолетний период, в отдельных их частях значительно изменилось соотношение важных геохимических параметров. Увеличение доли мелкодисперсных фракций, обладающих повышенным сорбционным потенциалом, в конечном счёте, может привести к накоплению в донных осадках различных загрязняющих веществ. Об интенсификации данного процесса свидетельствуют повышенные по сравнению с данными 2003 г. концентрации свинца, цинка, хрома и меди. Видимо в акваториях исследуемых бухт происходит перераспределение концентраций исследуемых элементов в донных отложениях, обусловленное изменением гидродинамического режима водоема и геохимическими условиями района исследования.

В рамках изучения особенностей пространственного распределения исследуемых металлов были выделены районы их максимальных концентраций, а также получены корреляционные зависимости между накоплением различных элементов, физическими (гранулометрический состав) характеристиками донных отложений.

Сравнивая результаты исследований, полученных в 2003-2020 гг. можно сделать вывод, что содержание максимальных концентраций Pb, Zn, Cr и Cu были определены в донных отложениях Севастопольской бухты. Что свидетельствует о достаточно высоком антропогенном воздействии на данную акваторию.

Работа Е.А. Котельянец выполнена в рамках государственного задания по теме № FNNN-2022-0005 «Прибрежные исследования» и гранта РФО.

Список литературы

1. Котельянец Е. А. Особенности накопления макро- и микроэлементов в донных отложениях прибрежных акваторий Крыма (Черное море) с различной интенсивностью водообмена по данным РФА // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2021. № 2. С. 106–120.

2. Геоэкология Черноморского шельфа Украины / В. А. Емельянов [и др.]. Киев: Академперіодика, 2004. 296 с.

3. Котельянец Е. А., Коновалов С. К. Тяжелые металлы в донных отложениях Керченского пролива // Морской гидрофизический журнал. 2012. № 4. С. 50.

ПЬЕЗОСЕНСОРНЫЙ АНАЛИЗАТОР ИНТЕНСИВНОСТИ ЗАПАХА ВОДЫ

¹Ж.Ю. Кочетова, ²Н.В. Маслова, ³А.В. Дубачева, ¹А.В. Шишкин
zk_vva@mail.ru

¹ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Россия, г. Воронеж

²Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Россия, г. Воронеж

³Воронежский государственный университет, Россия, г. Воронеж

Аннотация. Представлено миниатюрное переносное устройство для определения интенсивности запаха вод (природных, сточных, питьевых). Чувствительным элементом в измерительном устройстве служит пьезокварцевый резонатор, модифицированный пленкой сорбента. Время высокоточного анализа интенсивности запаха одной пробы воды занимает ~5 минут, один и тот же чувствительный элемент можно использовать более 2500 раз.

Ключевые слова: интенсивность запаха, качество воды, анализатор газов, пьезосенсор, летучие вещества

Один из важнейших показателей качества вод различного генезиса – интенсивность ее запаха. Запах вод обуславливают летучие вещества, которые поступают в воды в результате процессов жизнедеятельности микроорганизмов, разложения органических веществ под воздействием различных природных факторов, химического взаимодействия содержащихся в воде веществ. В природные воды летучие вещества поступают с промышленными, сельскохозяйственными и хозяйственно-бытовыми стоками. На запах вод оказывают влияние качественный и количественный химический состав растворенных в ней веществ, температура, кислотность, биологическая обстановка, гидрологические условия. Запах питьевой воды также зависит от способов ее очистки и обеззараживания, состояния трубопроводов.

Интенсивность запаха вод определяют по пятибалльной шкале при температурах 20 ± 2 и 60 ± 5 °С органолептическим методом, изложенным в государственном стандарте [1]. Готовят серию стандартных образцов воды с известной интенсивностью запаха при заданных температурах, затем проводят обучение дегустаторов. Экспертная комиссия дегустаторов (в составе не менее 5 человек) проводит органолептический анализ пробы воды при разных температурах и оценивает интенсивность ее запаха по дискретной шкале. К здоровью экспертов предъявляется ряд требований, которые ужесточаются с каждым годом. Как показали ранее проведенные исследования, неподготовленный человек вообще не может различать пробы различной бутилированной воды не только по запаху, но даже по вкусу [2]. Подготовка и оплата труда дегустаторов стоит не дешево, поэтому их услуги доступны далеко не всем лабораториям, проводящим анализ вод. Но основной

недостаток существующего способа оценки интенсивности запаха воды – низкая точность, что обусловлено влиянием субъективных факторов (в том числе эмоциональным и физическим состоянием дегустатора, уровнем его профессиональной подготовки), а также низким разрешением дискретной шкалы, включающей 5 рангов с шагом 1 балл.

Инструментальных методов для анализа интенсивности запаха воды на сегодняшний день нет. Поэтому разработка экономичного и мобильного устройства для экспресс-анализа интенсивности запаха вод является актуальной задачей.

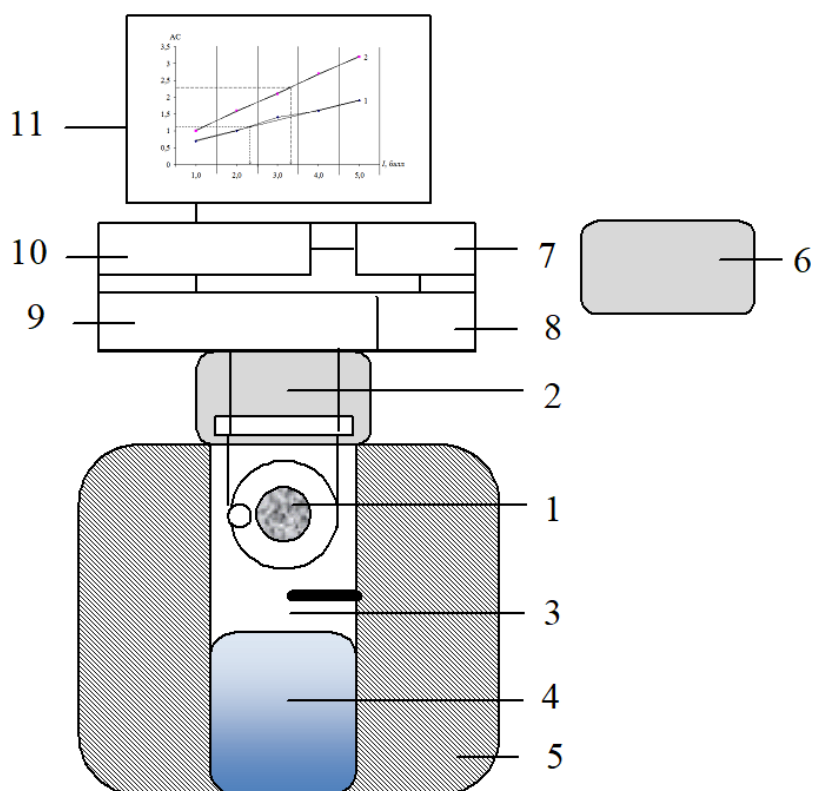
В качестве чувствительного элемента измерительного устройства выбран пьезокварцевый резонатор, представляющий собой тонкий диск из кварца АТ-среза с собственной частотой колебаний $F_0=12-15$ МГц [3]. С двух сторон на кварц напылены электроды (из алюминия, золота или серебра). При адсорбции летучих веществ на электродах собственная частота колебаний кварцевой пластины снижается на величину ΔF , пропорциональную массе адсорбированного вещества. По сути, пьезокварцевые резонаторы представляют собой микровесы, взвешивающие молекулы летучих веществ из воздуха. На сегодняшний день пьезокварцевые резонаторы являются наиболее чувствительными из всех известных микровесов. Чувствительность микровзвешивания достигает 2,5 МГц/мг, а их разрешающая способность – 10^{-11} г. При этом погрешность лучших микровесов составляет 1–2 % [4].

Недостаток пьезокварцевых микровесов – низкую селективность – снижают двумя способами. Первый заключается в покрытии электродов пьезокварцевого резонатора тонкой пленкой сорбента, проявляющего высокое сорбционное сродство к анализируемому соединению или группе родственных веществ [5]. Второй способ более сложный и дорогостоящий, его применяют для анализа сложных газовых смесей с целью установления соответствия их качественного и количественного состава заранее выбранному эталону. Для этого применяют одновременно от 3 до 130 пьезокварцевых резонаторов с различными сорбционными покрытиями, характеризующимися перекрестной чувствительностью к компонентам газовой пробы. Устройства на основе множества чувствительных элементов называются электронными носами [6, 7]. Для решения задачи одновременного микровзвешивания летучих запахообразующих компонентов воды без расшифровки их качественного состава достаточно использовать один пьезокварцевый резонатор, модифицированный стабильным пленочным покрытием с большим «временем жизни», что снижает погрешность анализа и продлевает срок эксплуатации анализатора без замены чувствительного элемента на аналогичный.

В качестве сорбционного покрытия электродов пьезокварцевого резонатора применяли многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ), которые характеризуются высокой сорбционной емкостью благодаря разветвленной удельной поверхности и высокой устойчивостью даже к таким агрессивным средам, как легкие нефтепродукты. Проведенные ранее

исследования показали, что МУНТ можно использовать более 2500 циклов «сорбция-десорбция» без изменения сорбционных свойств [8].

Устройство для определения интенсивности запаха воды представлено на рисунке 1. Оно состоит из модифицированного МУНТ пьезокварцевого резонатора 1, закрепленного в съемной крышке 2 ячейки детектирования 3 с меткой для контроля уровня анализируемой воды 4, термостата 5 с регулятором и измерителем температуры жидкости, в котором анализируемая проба воды в ячейке детектирования с дополнительной крышкой 6 выдерживается до достижения заданной температуры. Блок питания 7 соединен со схемой возбуждения частоты колебаний пьезосенсора 8, устройством для измерения скорости частоты колебаний пьезосенсора 9 и цифровым табло 10. Аналитический сигнал сопоставляется с построенной заранее непрерывной шкалой для оценки интенсивности запаха воды 11 для соответствующей температуры.



1 – пьезокварцевый резонатор, модифицированный сорбентом, 2 – крышка ячейки детектирования с держателем для резонатора, 3 – ячейка детектирования, 4 – метка для контроля уровня воды, 5 – термостат, 6 – крышка, 7 – блок питания, 8 – генератор частоты колебаний, 9 – процессор, 10 – цифровое табло, 11 – компьютер

Рис. 1. Пьезосенсорный анализатор запаха воды

При проведении анализа в ячейку детектирования 3 помещают анализируемую пробу воды 4 до риски, как указано на рисунке. Ячейку детектирования закрывают крышкой 6 и помещают в термостат 5 с регулятором и измерителем температуры. На термостате устанавливают заданную температуру определения интенсивности запаха воды $20 \pm 0,2$ или

60±0,2 °С в соответствии с ГОСТ [1]. О достижении заданной температуры воды судят по встроенному в термостат измерителю температуры. В крышку ячейки детектирования 2 помещают модифицированный универсальным сорбентом пьезосенсор 1, включают блок питания 7, соединенный со схемой возбуждения частоты колебаний пьезосенсора 8, устройством для измерения скорости частоты колебаний пьезосенсора 9 и цифровым табло 10. Затем производят быструю замену крышки ячейки детектирования 6 на крышку с пьезосенсором 2. Измерения проводят в течение 30 с. С электронного табло 10 считывают аналитический сигнал, равный, например, 1,2 Гц/с при температуре воды 20±0,2 °С или 2,3 при температуре воды 60±0,2 °С. Сопоставляют аналитические сигналы с непрерывными шкалами интенсивности запаха воды 11, построенными заранее в тех же условиях, что и проводимые измерения. Порядок приготовления стандартных растворов воды с различной интенсивностью запаха приведен в ГОСТ [1].

Примеры построенных непрерывных шкал для определения интенсивности запаха воды приведены на рисунке 2, где линия 1 и линия 2 – зависимости аналитических сигналов (АС) от интенсивности запаха воды (*I*, балл) при температурах соответственно 20±0,2 °С и 60±0,2 °С; 1–5 – ранги интенсивности запаха воды, описание которых приведено в ГОСТ [1].

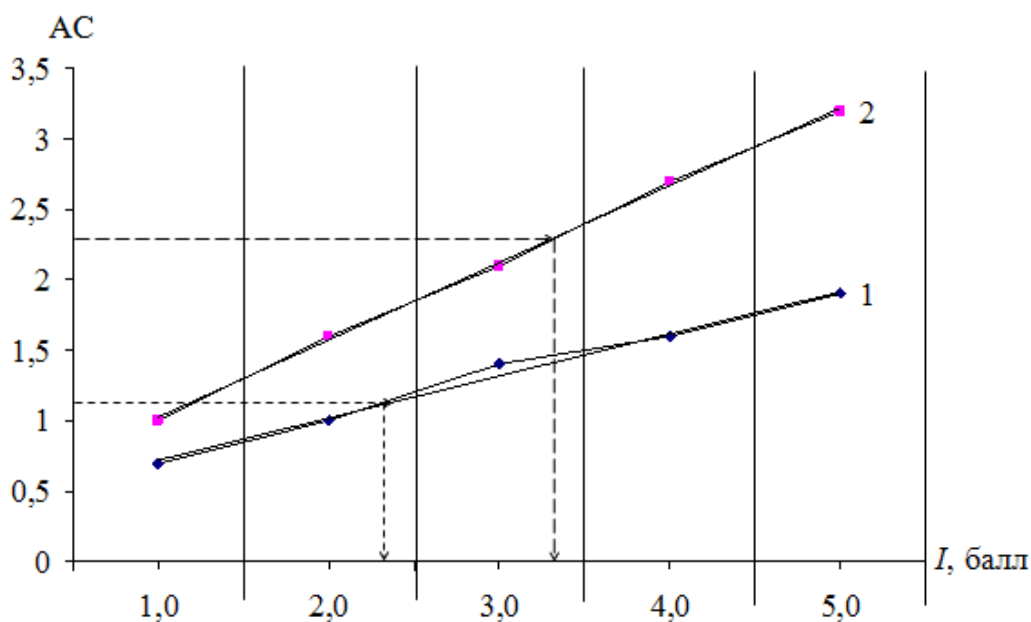


Рис. 2. Зависимость аналитического сигнала пьезокварцевого резонатора от интенсивности запаха воды при 20±0,2 °С (1) и 60±0,2 °С (2)

В соответствии с приведенным примером значения интенсивности запаха анализируемой воды составляют 2,9 (рисунок 2, линия 1) и 3,8 (рисунок 2, линия 2) баллов. По дискретной оценочной шкале полученные в примере значения аналитических сигналов соответствуют рангам 2 (запах слабый, не вызывающий неодобрительного отзыва) и 3 (запах легко замечается и вызывает неодобрительные отзывы) [1].

Устройство для определения интенсивности запаха воды позволяет суммарно определять летучие компоненты исследуемой жидкости, формирующие запах воды; определять интенсивность запаха воды при различных температурах, как требует ГОСТ Р 57164-2016 [1], а также повысить точность определения интенсивности запаха воды (погрешность измерений не более 2 %). Время анализа, включающее отбор пробы, помещение ее в ячейку детектирования, нагревание в термостате до заданной температуры, проведение измерения и установления интенсивности запаха воды по градуировочным графикам, не превышает 5 минут. Предложенный анализатор энерго- и ресурсоэкономичен, мобилен, прост в эксплуатации. Для работы с ним не требуются специальные навыки лаборантов, дополнительное лабораторное оборудование и химические реактивы.

Список литературы

1. ГОСТ Р 57164-2016. Национальный стандарт РФ. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности. Дата введения: 01.01.2018.
2. Маслова С.С., Маслова Н.В., Кочетова Ж.Ю. Результаты исследования качества бутилированной воды / Материалы VI Международной научной конференции «Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности». – Донецк: Донецкий национальный университет, 2021. – С. 119–121.
3. Малов В. В. Пьезорезонансные датчики. – М.: Энергия, 1978. – 248 с.
4. Проблемы аналитической химии / Научный совет по аналитической химии ОХНМ РАН. – М.: Наука, 2010. – Т. 14. Химические сенсоры / под ред. Ю.Г. Власова. – 2011. – 399 с.
5. Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Кучменко Т.А., Мишина А.А., Щербак К.П. Определение влажности воздуха в широком диапазоне температур и концентраций // Аналитика и контроль. – 2012. – Т. 16. – № 1. – С. 53–56.
6. Кочетова Ж.Ю., Кучменко Т.А., Карлов П.А., Тимошинов О.В. Применение восьмисенсорного «электронного носа» для оценки загрязнения воды керосином и ацетоном // Успехи современного естествознания. – 2017. № 11. – С. 12–17.
7. Маслова Н.В., Кочетова Ж.Ю. Комплексный экспресс-анализ загрязнения вод // Региональные геосистемы. – 2021. – Т. 45. – № 3. – С. 382–392.
8. Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Кучменко Т.А., Маслова Н.В. Экологические проблемы авиационно-ракетного кластера и оптимизация геомониторинга с применением пьезосенсорного датчика // Экология и промышленность России. – 2018. – Т. 22. – № 8. – С. 32–38.

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЪЕМНЫХ КОЛЕБАНИЙ В АТМОСФЕРЕ

А.В. Кочин

amarl@mail.ru

Центральная аэрологическая обсерватория, Россия, г. Долгопрудный

Аннотация. Мезомасштабные волновые процессы являются транспортным механизмом для обмена энергией между тропосферой и стратосферой, поскольку тропопауза блокирует такой обмен. Считается, что внутренние гравитационные волны (ВГВ) являются основными волновыми процессами в атмосфере. Однако для образования ВГВ требуется первоначальное возмущение выбранного воздушного участка, что маловероятно при отсутствии мощных атмосферных процессов. Данные экспериментов с радиозондированием по обнаружению волновых процессов показывают наличие заметных колебательных движений не только во время прохождения фронтов или других возмущений, но и в хорошую погоду. В качестве альтернативы ВГВ я рассматриваю возможный процесс генерации объемных акустических колебаний за счет формирования акустического резонатора в атмосфере. Вероятность образования таких колебаний высока, поскольку для их появления не требуется наличия резких изменений параметров атмосферы.

Ключевые слова. Атмосфера, генерация колебаний, радиозонд, акустический резонатор.

Введение

Волновые движения являются важными и неотъемлемыми компонентами динамических процессов в атмосфере. Они образуют связи между различными слоями атмосферы. Они являются одним из видов мезомасштабной турбулентности и определяют значения коэффициентов переноса в масштабах десятков и сотен километров. Тропопауза блокирует обмен между тропосферой и стратосферой из-за резкого снижения коэффициента турбулентного переноса. Следовательно, обмен массой и энергией вблизи тропопаузы в значительной степени определяется волновыми процессами. Также волновые процессы влияют на скорость перемещения воздуха в общей циркуляции атмосферы, что влияет на перераспределение воздушных масс над поверхностью Земли (Alexander 2010). Для того чтобы адекватно учитывать вклад волновых процессов в потоки энергии и импульса, необходимо знать пространственные и временные характеристики области возмущения. Однако физические механизмы, определяющие процессы генерации и распространения волн в атмосфере, остаются до конца не изученными. В настоящее время внутренние гравитационные волны (ВГВ) считаются основным волновым процессом, оказывающим заметное влияние на атмосферу (Alexander 2004; Gossard 1975, Holton 2004, Plougonven 2014). Однако возможность генерации ВГВ вызывает некоторые сомнения (Kochin 2022), поэтому нет оснований предполагать, что ВГВ является единственно возможным и основным типом колебаний. Поэтому поиск

альтернативных типов волновых движений представляется актуальной проблемой.

Результаты запуска радиозонда

Для обнаружения колебательных движений в атмосфере был организован эксперимент по измерению скорости подъема двух радиозондов, запущенных с 300-секундной задержкой один за другим в 12:00 по Гринвичу и 12:05 по Гринвичу 5 июня 2013 года на верхней воздушной станции "Долгопрудная" (27713) под Москвой. Известно, что вертикальная скорость радиозонда, поднятого на воздушном шаре, наполненном водородом или гелием, изменяется незначительно. Нет никаких причин для изменения скорости подъема в виде колебательного процесса, поскольку количество газа внутри баллона и упругие свойства баллона остаются постоянными. Подъемная сила изменяется плавно, но не может изменяться в соответствии с периодическим законом (Shutts 1988, Moffat-Griffin 2017, Marlton 2016). Скорость подъема составляла 5 м/с, поэтому расстояние по вертикали между радиозондами составляло около 1500 метров. Горизонтальная скорость потока составляла около 10 м/с, поэтому расстояние по горизонтали варьировалось от 3 до 5 км.

На рис. 1 показаны записи вертикальной скорости подъема двух радиозондов, запущенных в этом эксперименте, и спектр колебаний скорости. Эти данные демонстрируют, что амплитуда колебаний скорости увеличивается с высотой. Колебания вертикальной скорости происходят синхронно. Изменения вертикальной скорости могут быть вызваны только колебательными движениями воздуха. Следовательно, происходит процесс, который вызывает общее колебание всей атмосферы. Период колебаний скорости близок к 350 секундам. Вертикальные колебательные смещения радиозондов от невозмущенной траектории полета составляли до 50 метров.

Согласно данным зондирования, в тропосфере наблюдался температурный профиль со средним вертикальным градиентом около $0,8^{\circ}\text{C}/100$ м. Температурный профиль в стратосфере соответствовал изотермическому. Облачного покрова не было. Период частоты Брента-Вяйсяля для измерения температурного профиля составил около 730 секунд в тропосфере и около 300 секунд в стратосфере. Обработка данных с одиночных запусков показала, что часто наблюдается период колебаний в 350 секунд, но иногда максимум в спектре колебаний наблюдается на периоды до 500-800 секунд.

Генерация объемных акустических колебаний

Наличие периодических движений воздуха в атмосфере в виде колебаний с разными периодами подтверждается большим количеством различных измерений (Alexander 2004, Gossard 1975, Khaykin 2015, Kochin 2014, Kulichkov 2017). Возможными причинами колебаний являются любые возмущения атмосферы, а не только резкие изменения атмосферных параметров во время прохождения терминатора, фронтов и мощных кучево-дождевых облаков. Описанный выше двойной запуск (рис. 1) показал наличие колебаний амплитудой до 50 метров при хороших погодных условиях.

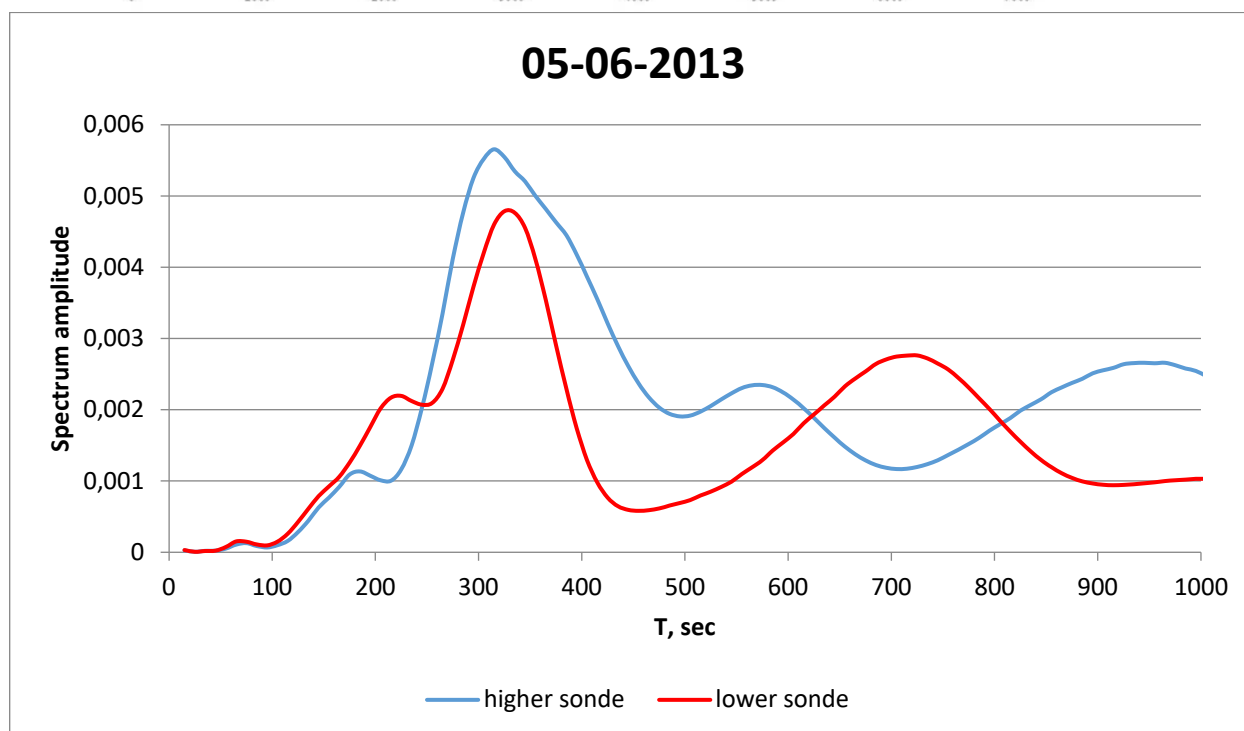
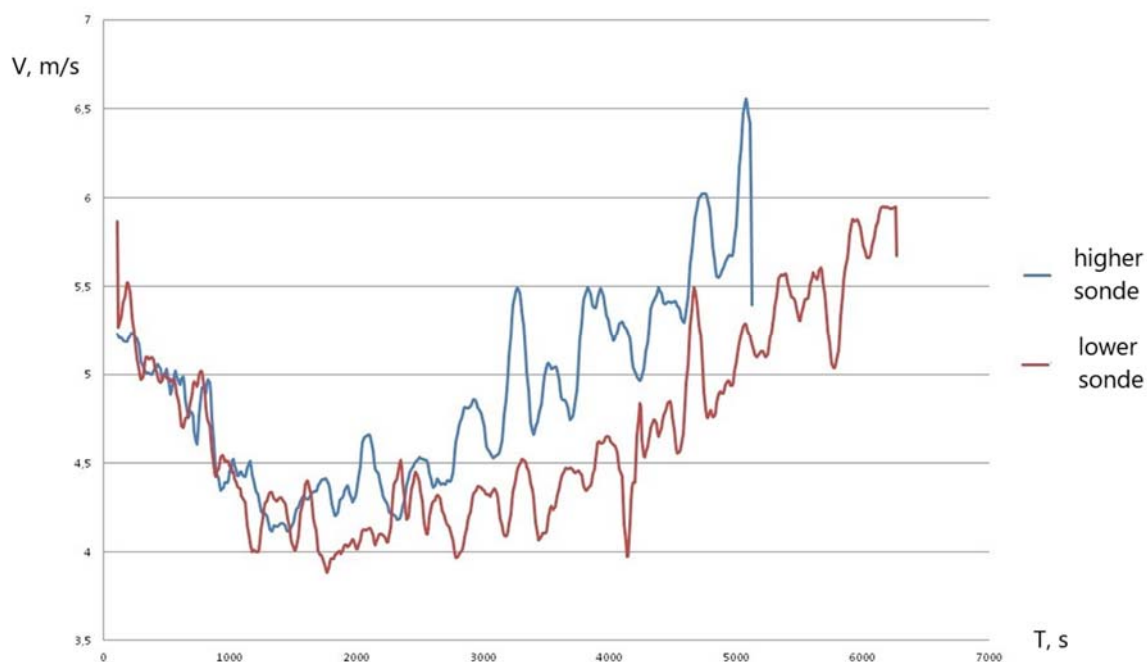


Рис.1. а) Вертикальные скорости радиозондов, которые были запущены один за другим с задержкой в 300 секунд 05.06.2013. На верхнем рисунке ось X — это время в секундах с момента запуска второго (нижнего) радиозонда (данные показаны красной линией), ось Y — скорость вертикального подъема в м/с. Расчетное время пересечения тропопаузы, расположенной на высоте около 10 км, составляет 1500 секунд для первого радиозонда (расположенного вверху) (синяя линия) и около 1800 секунд для второго радиозонда (расположенного внизу) (красная линия). б) Спектр колебаний скорости радиозондов за все время полета показан под графиком со скоростями, ось X — время в секундах.

Ветровой поток над орографическими неоднородностями вызывает вертикальное смещение воздушных масс сопоставимой величины, что может вызвать колебания при хороших погодных условиях. Горы усиливают

возмущения потока из-за углубления рельефа и вызывают увеличение амплитуды колебаний в таких районах (Кочин 2016), что приводит к значительным ошибкам в определении температуры при зондировании верхних слоев воздуха. По мере усиления ветра возмущения усиливаются. Возмущения в атмосфере в виде сдвигов ветра, как и любая неоднородность, также приведут к генерации волновых процессов.

Вертикальные перемещения воздушной массы из-за любых возмущений приводят к отклонению вертикального профиля давления от гидростатического состояния.

Таким образом, отклонения давления от гидростатического давления (показано серым цветом на рис. 2) требуют последующего перераспределения массы в атмосферу для восстановления гидростатического равновесия. Перераспределение масс приводит к появлению упорядоченных воздушных потоков $V(t)$. Однако эти воздушные потоки не уменьшаются до нуля, когда атмосфера достигает гидростатического равновесия, эти воздушные потоки вызывают колебательные движения в вертикальном направлении.

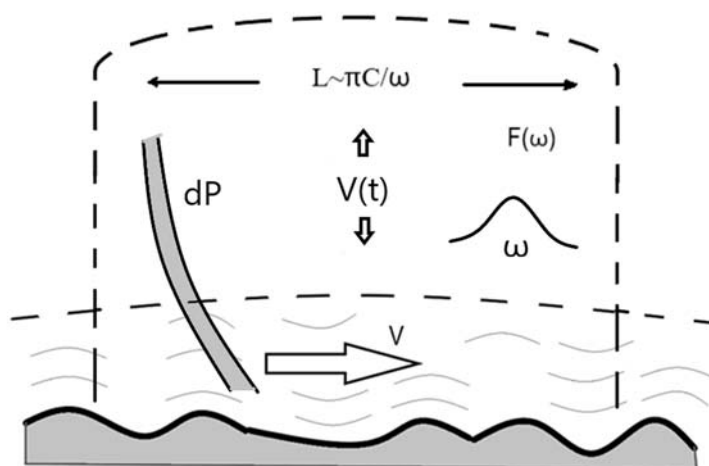


Рис.2. Генерация колебаний из-за отклонения давления dP (выделено серым цветом) от гидростатического давления. $V(t)$ вертикальные потоки воздуха для восстановления гидростатического равновесия, V — скорость ветра, обтекающего орографические неоднородности, ω — частота акустического резонатора, $F(\omega)$ — реакция акустического резонатора на внешние воздействия. L - вероятная горизонтальная протяженность зоны колебаний; C - скорость звука.

Эффект полностью аналогичен действию выталкивающих сил при формировании ВГВ, за исключением формирования определенной резонансной частоты ω . В то же время влияние внешних возмущений аналогично воздействию шума на резонансную систему. Подобно резонансному контуру, реакция акустического резонатора на белый шум представляет собой квазигармонический процесс, амплитуда U и фаза ϕ которого случайным образом изменяются с течением времени. Частота этих колебаний равна центральной частоте резонатора ω . Подробные исследования возникновения колебаний в акустических резонаторах уже содержатся в работах Пуанкаре и Рэля (Rayleigh 1887), но этот конкретный случай детально не изучен и требует специального анализа. Типичный размер

колебательной области соответствует однофазному движению воздуха, что соответствует расстоянию, на котором фаза колебаний не меняется на противоположную из-за времени распространения волны. Например, при скорости звука 330 м/с и периоде около 400 секунд размер в области фазы достигнет 50-60 км.

Один из возможных сценариев формирования акустического резонатора показан на рис. 3.

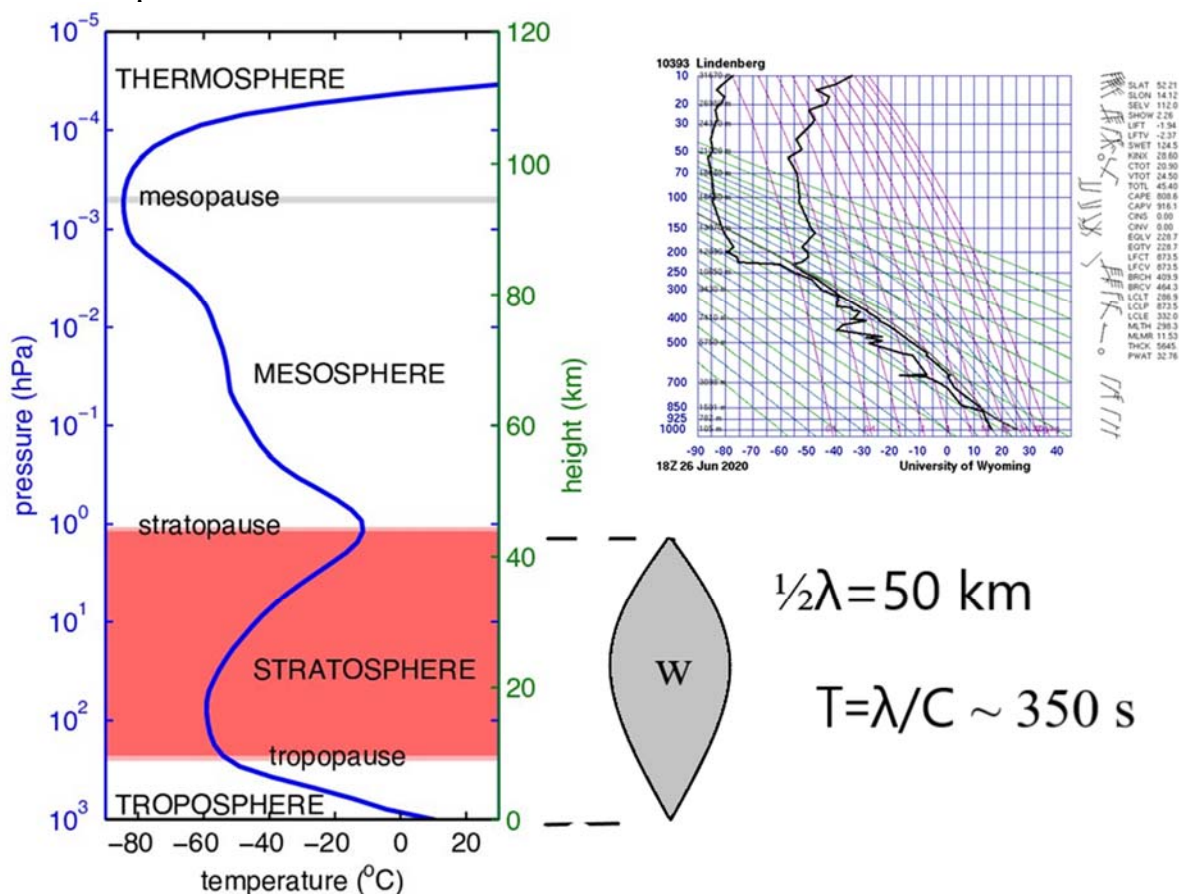


Рис.3. Формирование акустического резонатора между поверхностью Земли и стратопазузой и формирование стоячей волны (выделено серым цветом). Профиль температуры атмосферы (Gerber, 2012) показан в левой части рисунка. Левая ось Y - давление (ГПа), правая ось Y - высота над уровнем моря (км), ось X - температура ($^{\circ}\text{C}$). Пример данных зондирования верхних слоев атмосферы с изменением направления ветра на высотах полярной и тропической тропопаузы показан в правой части рисунка. Ось Y - давление (ГПа) и высота над уровнем моря (в метрах); ось X - температура ($^{\circ}\text{C}$). Профиль ветра показан стрелками справа от графика температуры (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>).

Резкие перепады температуры в атмосфере могут привести к образованию акустического резонатора. Стратопауза расположена на высоте около 50 км и характеризуется резким изменением температуры (рис. 3), что создает звукоотражающую границу в атмосфере. В этом случае создаются условия для образования стоячей волны между поверхностью Земли и стратопазузой. Половина длины стоячей волны (показана серым цветом на рис. 3) соответствует расстоянию между границами. Соответственно, длина волны составляет около 100 км, что соответствует периоду волны около 350 секунд.

Высота стратопазы иногда достигает 80 км. В этом случае период будет близок к 600 секундам, что соответствует наблюдаемым значениям периода колебаний в атмосфере (Кочин 2014).

В полярной и тропической тропопаузе наблюдается разворот ветра на 180 градусов. Пример данных зондирования верхних слоев атмосферы, демонстрирующих этот поворот ветра, показан на рис. 4. Из-за пространственной изменчивости коэффициента поглощения света (Kochin 2021) вертикальный температурный профиль может быть неоднородным. Это вызовет нарушения в разгар тропопаузы. Смещение высоты тропопаузы из-за нарушения вертикального профиля давления также может вызвать стоячую волну в резонаторе, показанном на рис. 3. Эффект аналогичен ветровому потоку вокруг орографических неоднородностей, но он может быть сильнее из-за сдвига ветра в тропопаузе. В этом случае стоячая волна возбуждается между полярной тропопаузой и стратопазой. Фронты и мощные кучевые облака вызывают резкое изменение высоты тропопаузы. Возможно, этим объясняется увеличение амплитуды колебаний в таких условиях. Характер изменения вертикальной скорости на рис. 3 скорее соответствует возбуждению колебаний между полярной тропопаузой и стратопазой.

Потенциально колебания могут быть усилены за счет термоакустического эффекта. В 1877 году лорд Рэлей сформулировал концепцию термоакустического эффекта в своей книге «Теория звука»: «Если газу отдается тепло в момент наибольшего сжатия, а тепло отводится в момент наибольшего разрежения, то это стимулирует акустические колебания». В литературе это явление также называют тепловым возбуждением звука или термоакустическими колебаниями (Basok 2018, Rott 1980). Когда воздух поднимается (адиабатическое разрежение), он адиабатически охлаждается, а когда опускается (адиабатический нагрев), происходит адиабатический нагрев. Смещение, измеренное в хорошую погоду на расстоянии до 50 метров, соответствует $0,5^{\circ}\text{K}$ и потенциально может усиливать колебания из-за термоакустического эффекта.

Приведенные выше аргументы о генерации волн в атмосферном акустическом резонаторе все еще являются гипотезой. Однако эта гипотеза выглядит работоспособной и может стать основой для дальнейшей теоретической и экспериментальной работы.

Заключение

Поскольку тропопауза блокирует обмен энергией между тропосферой и стратосферой, мезомасштабные волновые процессы являются основным транспортным механизмом такого обмена. Также волновые процессы влияют на скорость перемещения воздуха в общей циркуляции атмосферы, что влияет на перераспределение воздушных масс над поверхностью Земли.

Считается, что ВГВ являются наиболее важным волновым процессом в атмосфере. Однако объяснение процесса ВГВ нельзя считать достаточно обоснованным. Причины появления выбранной воздушной посылки в

атмосфере, на которую влияет первоначальное возмущение, подробно не рассматривались.

Данные экспериментов показывают наличие заметных колебательных движений не только при прохождении мощных кучевых облаков или фронтов, но и в безоблачную погоду. Полученная информация позволила оценить амплитуду и скорость движения воздуха при колебательных движениях, которые составляют десятки метров и до 1 м/с соответственно. Период оказался близким к 350 секундам.

Процесс генерации объемных акустических колебаний за счет формирования акустического резонатора в атмосфере можно рассматривать как альтернативу ВГВ. Вероятность образования таких колебаний будет высока, поскольку для их формирования не требуется наличия резких изменений параметров атмосферы.

Восстановление гидростатического равновесия, когда ветер обтекает орографические неровности или изменения высоты тропопаузы, может вызвать колебания. Резкие изменения высоты тропопаузы также могут вызывать колебательные движения. Стратопауза может быть верхней границей акустического резонатора.

Автор благодарит сотрудников Центральной аэрологической обсерватории за их помощь в работе, а также сотрудников аэрологической станции Долгопрудная (27713) за запуск радиозондов.

Список литературы

1. Alexander, M., May P. and Beres J. 2004. Gravity waves generated by convection in the Darwin area during the Darwin Area Wave Experiment. *J. Geophys. Res.* doi:10.1029/2004JD004729
2. Alexander M. & al. 2010 Recent developments in gravity-wave effects in climate models and the global distribution of gravity-wave momentum flux from observations and models. <https://doi.org/10.1002/qj.637>
3. Basok B., V. V. Gotsulenko. 2018. Self-oscillations excited by the heat sink from the heated gas flow. The journal Proceedings of MIPT 2018. V. 10, № 4.
4. Gerber R. & al. 2012. Assessing and Understanding the Impact of Stratospheric Dynamics and Variability on the Earth System. BAMS. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00145.1
5. Gossard E., Hooke W. 1975. Waves in the Atmosphere.
6. Holton J. 2004. An Introduction to Dynamic Meteorology. Elsevier.
7. Khaykin, S. M., Hauchecorne A., Mzé N., and Keckhut P.. 2015. Seasonal variation of gravity wave activity at midlatitudes from 7 years of COSMIC GPS and Rayleigh lidar temperature observations, *Geophys. Res. Lett.*, 42, doi:10.1002/2014GL062891.
8. Kochin A. 2021. Examination of Optical Processes in The Atmosphere During Upper Air Soundings. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. DOI: 10.1175/JTECH-D-20-0158.1
9. Kochin A. 2014. Detection of the atmosphere oscillatory motion in the spectra of the electric field and pressure fluctuations. XV International Conference on Atmospheric Electricity, Norman, Oklahoma, USA.
10. Kochin A. 2016. Correction of variation due to non-hydrostatic effects the observed temperature in upper-air sounding. TECO-2016 Madrid, Spain, September 2016.
11. Kochin A. 2022. The occurrence of internal gravitational waves and volumetric acoustic oscillations in the atmosphere. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2210.11283>

12. Kshevetsky S., Kulichkov N. 2015. Influence of internal gravity waves from convective clouds on atmospheric pressure and spatial distribution of temperature disturbances. **Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics**. DOI: 10.7868/S000235151501006X
13. Kulichkov S.N., Chunchuzov I.P., Popov O.E., Perepelkin V.G., Golikova E.V., Bush G.A., Repina I.A., Tsybul'skaya N.D., Gorchakov G.I. Internal gravity and infrasound waves during a hurricane in Moscow On May 29, 2017. **Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics**. doi: 10.31857/S0002-351555232-40
14. Marlton P. & al 2016. On the detection and attribution of gravity waves generated by the 20 March 2015 solar eclipse. *Phil. Trans. R. Soc. A*. <http://doi.org/10.1098/rsta.2015.0222>
15. Moffat-Griffin & al. 2017. The South Georgia Wave Experiment (SG-WEX): radiosonde observations of gravity waves in the lower stratosphere. Part I: Energy density, momentum flux and wave propagation direction. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* <https://doi.org/10.1002/qj.3181>
16. Plougonven, R., and F. Zhang (2014), Internal gravity waves from atmospheric jets and fronts, *Rev. Geophys.*, 52, doi:10.1002/2012RG000419.
17. Rayleigh 1887. *The theory of sound*.
18. Rott, Nikolaus (1980). "Thermoacoustics". *Advances in Applied Mechanics* doi:10.1016/S0065-2156(08)70233-3. ISBN 9780120020201.

ГЕНЕРАЦИЯ ЗАРЯДОВ В СЛОИСТО- И КУЧЕВО-ДОЖДЕВЫХ ОБЛАКАХ

А.В. Кочин

amarl@mail.ru

Центральная аэрологическая обсерватория, Россия, г. Долгопрудный

Аннотация. Поражение самолетов молниями происходит не только в кучево-дождевых, но в слоисто-дождевых облаках. Прогнозирование электрической активности слоисто-дождевых облаков синоптическими службами сейчас не производится ввиду отсутствия соответствующей модели и методики. В работе рассматривается модель образования электрических зарядов в слое таяния в слоисто-дождевых облаках. В основе модели индукционный механизм образования зарядов при распаде крупных капель в слое таяния. Анализируется возможность реализации этого механизма в кучево-дождевых облаках, в частности, при образовании града.

Ключевые слова. Электрический заряд, полоса таяния, слоисто- и кучево-дождевые облака, индукционный механизм, град.

1. Введение

Поражение самолета молниевым разрядом может вывести из строя бортовые системы. В большинстве случаев это не приводит к фатальным последствиям, так как современные самолеты имеют цельнометаллический корпус. Из резонансных случаев можно отметить происшествие при первом официальном вылете президента Франции Олланда в Германию, когда после удара молнии самолет вернулся на аэродром. Авиакомпании часто скрывают факт происшествия, чтобы создать видимость безаварийности. Например, 26 апреля 2018 г. в Шереметьево в два самолета ударила молния, но известно об этом только потому, что один самолет не продолжил полет, а совершил посадку.

Несмотря на распространенное мнение об опасности в плане молниевой активности только мощных кучево-дождевых облаков на одно поражение самолета в кучево-дождевых облаках приходится шесть поражений самолета в слоисто-дождевых облаках. Это связано с тем, что полеты в кучево-дождевых облаках являются опасными сами по себе и самолеты не приближаются к ним. В то время как слоисто-дождевые облака считаются безопасными и полеты в них разрешены. В настоящее время в соответствии с действующими стандартами прогноз электрической активности слоисто-дождевых облаков синоптическими службами аэропорта не производится.

Экспериментальные данные об электрических процессах в слоисто-дождевых облаках недостаточны для разработки статистически значимого прогноза. Для надежного прогнозирования требуется разработка модели электрических процессов. Количественная модель генерации зарядов в слоисто-дождевых облаках была разработана в начале 90-х и достаточно хорошо описывает наблюдаемые эффекты (Кочин, 1995).

Любая модель, предназначенная для описания формирования электрического заряда и происхождения электрического поля в облаках, должна объяснять два явления, которые можно было бы назвать микро- и макромасштабным разделением зарядов.

На стадии микро-масштабного разделения заряда электрически нейтральные гидрометеоры (капли, хлопья снега, градины) заряжаются с помощью элементарных механизмов электризации. Например, быстрое замерзание капли сопровождается отколом небольших кусочков от ледяного покрова, которые могут быть электрически заряжены. В ответ изначально нейтральная капля приобретает равный заряд противоположного знака. Аналогичным образом, поток воздуха, проходящий через таящую градину, сдувает мелкие заряженные капли, таким образом заряжая градину зарядом противоположного знака. Было исследовано большое количество механизмов электризации (Mason, 1971; Мучник, 1974).

Однако никаких значительных электрических полей при микро-масштабном разделении зарядов не индуцируется, поскольку носители зарядов разных знаков находятся близко друг к другу и взаимно компенсируют индуцированные электрические поля.

После завершения микро-масштабного разделения заряды разных знаков должны собираться в областях, разделенных в пространстве, при этом концентрация зарядов одного знака должна превышать концентрацию зарядов противоположного знака (т.е. разделение заряда на макроуровне).

Как правило, распределение заряда на макроуровне связано с вертикальными осадками. Обычно носители зарядов разных знаков имеют разную скорость гравитационного осаждения. Например, если скорость восходящего потока составляет 3-6 м/с, скорости гравитационного осаждения отрицательных и положительных носителей заряда составляют 0,5 - 2 м/с и 7-8 м/с, верх и основание облака будут заряжены отрицательно и положительно соответственно. Некоторые механизмы не требуют сильных восходящих потоков для макромасштабного разделения зарядов (например, во время упомянутого таяния градин, хотя для возникновения градин по своей сути требуются сильные восходящие потоки).

2. Генерация электрического заряда в полосе таяния

Частицы осадков образуются из водяного пара главным образом в холодной части облака. Затем частицы льда (снежные хлопья, снежные агрегаты) попадают в теплую зону и превращаются в капли, образуя таким образом так называемый слой таяния. Его вертикальная протяженность составляет несколько сотен метров.

Расстояние, пройденное падающей частицей льда до ее полного таяния, приблизительно пропорционально кубическому корню из массы частицы (Кочин, 1994). В нижней части слоя таяния самые крупные ледяные частицы превратятся в самые крупные капли. Капли, диаметр которых превышает 4 мм, нестабильны и имеют тенденцию распадаться на большое количество мелких капель. Процесс заключается в следующем. Капля с первоначальным диаметром 4-5 мм вырастает до 40-50 мм, преобразуя свою форму в форму

парашюта. Затем верхняя часть парашюта распадается на большое количество мелких капель, в то время как нижняя часть образует несколько крупных (Mason, 1971). Если спектр частиц льда содержит кристаллы, образующие капли диаметром более 4 мм, эти капли распадаются. Радиолокационные наблюдения подтвердили разрушение капель в слое таяния в Ns и Cb (Кочин, 1994).

Распад происходит в электрическом поле Земли, которое поляризует каплю и фрагменты оказываются заряженными. Капля дождя в электрическом поле ведет себя как проводящая сфера и реагирует на напряженность электрического поля. При разрушении большой капли в электрическом поле образуются электрически заряженные фрагменты (Mason, 1971; Мучник, 1974). Верхняя часть капли разрыва превращается в маленькие капельки с электрическими зарядами, знак которых соответствует знаку вертикальной составляющей электрического поля. Нижняя часть капли превращается в крупные капли с зарядами противоположного знака.

Обычно вертикальная составляющая электрического поля Земли отрицательна, поэтому маленькие и большие капли будут заряжены отрицательно и положительно соответственно. Величины образующихся зарядов пропорциональны напряженности поля (Mason, 1971; Мучник, 1974). Таким образом, происходит микро-масштабное разделение зарядов. Мелкие фрагменты, образуются из верхней части распадающейся капли, заряжены отрицательно и оседают медленно, крупные из нижней, заряжены положительно и падают быстро (рис.1).

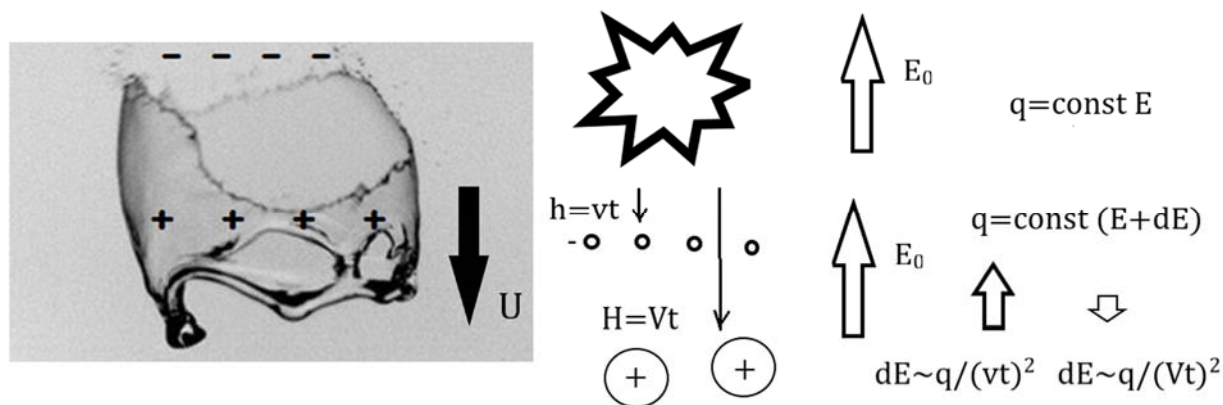


Рис.1. Индукционный механизм электризации при распаде крупных капель в полосе таяния. H - расстояние, на которое смещаются крупные капли, V - скорость падения крупных капель, t - время, h - расстояние, на которое смещаются мелкие капли, v - скорость падения мелких капель, q - заряд, который образуется в полосе таяния

Макромасштабное разделение зарядов происходит из-за различных скоростей падения носителей зарядов разных знаков. Поскольку скорости мелких капель меньше, их концентрация вблизи слоя таяния будет намного больше, чем концентрация крупных капель. Таким образом, там образуется отрицательно заряженная область. Скорость роста заряда описывается соотношением (1).

$$Q(t) = const \left(E_0 + \int_0^t \frac{q_+ \vec{r}_+}{4\pi\epsilon r_+^3} dt - \int_0^t \frac{q_- \vec{r}_-}{4\pi\epsilon r_-^3} dt \right) N, \quad (1)$$

где E_0 - напряженность электрического поля Земли, q - величины зарядов заряженных фрагментов, r - расстояние до заряженных фрагментов, N - число распадающихся капель.

Константа зависит от физических особенностей процесса распада. Решение уравнения (1) численным методом получено для случая слоисто-дождевых облаков и хорошо описывает наблюдаемые эффекты, в частности, экспоненциальный рост напряженности электрического поля (Mason, 1971; Мучник, 1974), а также наличие области с большой концентрацией зарядов в районе полосы таяния (McCready, 1965; Vonnegut, 1958).

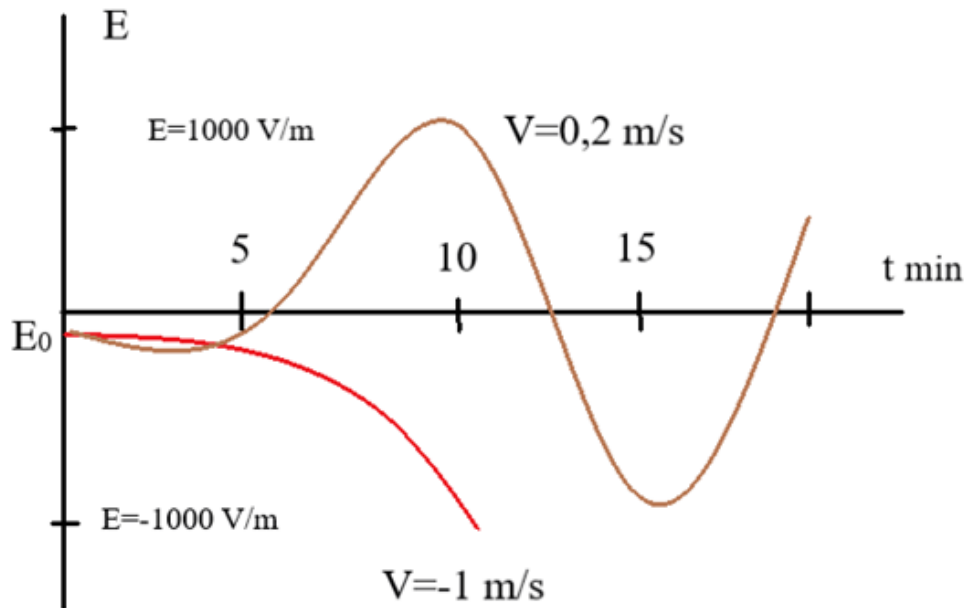


Рис. 2. Зависимость изменения напряженности электрического поля E от скорости вертикального потока V

Временной ход напряженности электрического поля в зависимости от скорости вертикального потока приведен на рис.2. При восходящем потоке воздуха напряженность электрического поля имеет колебательный характер. Величина максимальной напряженности электрического поля E_{\max} при нисходящем потоке со скоростью 0,5-1 м/с хорошо описывается (для $I > 5$ мм/ч, $t > 60$ с) соотношением

$$E_{\max} = 250 \exp \left[0.01 \frac{I^2 - 20}{I^2} t \right], \quad (2)$$

где E_{\max} выражается в В/м; I - скорость выпадения осадков, мм/ч; t - время, с.

Результаты численного моделирования также показали, что

1) в пределах восходящих потоков или слабых (менее 0,3 м/с) нисходящих потоков напряженность электрического поля составляет около 300-3000 В/м, при этом максимальные значения лишь незначительно зависят

от скорости выпадения осадков и имеют пространственную и временную изменчивость знака заряда;

2) максимальная напряженность электрического поля достигается в слое с температурой $+2^{\circ}\text{C}$;

3) когда скорость нисходящего потока составляет 0,5 - 1 м/с, скорость образования заряда является наибольшей, а скорость роста напряженности электрического поля увеличивается по мере увеличения количества осадков. В этом случае напряженность электрического поля достигает значений 10^5 – 10^6 В/м через 15 мин после начала осадков интенсивностью 10-15 мм/ч.

3. Сравнение с экспериментальными данными

Экспериментальные данные об электрической активности облаков N_s хорошо согласуются с теоретическими результатами:

- типичная напряженность электрического поля в облаках N_s совпадает с результатами модели в соответствии с пунктом 1) (Брылев и др., 1989);

- максимальная частота ударов молнии по самолету наблюдается на уровне с температурой $+1^{\circ}\text{C}$ (Брылев и др., 1989);

- по оценкам различных исследователей, электрический разряд начинается, когда напряженность электрического поля достигает 10^5 – 10^6 В/м (Mason, 1971), что требует скорости выпадения осадков не менее 10 мм/ч в течение более 15 минут.

Наблюдения автора за 5 зимними грозами в 1992/1993 и 1993/1994 годах подтверждают результаты пункта 3), т.е. разряды происходят при сильных осадках.

Результаты модели подтверждаются экспериментом Воннегута (Vonnegut and Moore, 1958), объяснение которого создает проблемы для многих моделей. Длинный провод протяженностью 16 км был подвешен над поверхностью Земли. На него подавалось высокое напряжение. Было замечено, что если высокое напряжение включалось, когда облако проходило над проводом, знак заряда осадков менялся. Этот факт объясняется предложенной моделью.

4. Влияние поглощения электрических зарядов поверхностью Земли на генерацию зарядов в слоисто-дождевых облаках

Основным источником распадающихся гидрометеоров в слоисто-дождевых облаках является полоса таяния, поэтому как положительно, так и отрицательно заряженные фрагменты смещаются за счет гравитационного оседания к поверхности Земли. При низкой высоте нулевой изотермы изменение электрического поля за счет изменения расстояния будет незначительным. Если полоса таяния находится относительно невысоко над поверхностью Земли, то возникает изменение поля за счет поглощения зарядов крупных фрагментов поверхностью Земли. Например, при температуре у поверхности Земли 3°C слой с распадающимися каплями будет расположен на высоте примерно 200 метров. Скорость падения крупных фрагментов 5 м/с, мелких 0,5 м/с. Таким образом, образовавшиеся в некий момент времени крупные фрагменты вносят вклад в поле в течение 40 секунд,

а мелкие - 400 секунд. Так как проводимость поверхности Земли велика, то заряд от крупных фрагментов растекается и перестает влиять на напряженность поля в полосе таяния. Именно этот процесс является определяющим при формировании грозовой активности в облаках осенне-зимнего периода.

В этом случае задача сводится к плоской одномерной модели. Заряженные фрагменты различных знаков можно представить в виде бесконечных плоскостей, которые создают вертикально направленное электрическое поле. Пока они совместно смещаются от полосы таяния к Земле их суммарное поле в полосе таяния равно нулю. Когда очередная плоскость с крупными фрагментами постигнет поверхности Земли ее вклад в суммарное поле исчезнет. Таким образом, электрическое поле в момент t создается мелкими фрагментами, образовавшимися между моментом падения крупных фрагментов и моментом падения мелких капель. Для зависимости поверхностной плотности образующегося заряда $\sigma(t)$ можно записать

$$\sigma(t) = 3\pi\varepsilon_0 N(I)R^2 \left[E_0 + \frac{1}{2\varepsilon_0} \int_{t-H/V}^{t-H/v} \sigma(t_i) dt_i \right], \quad (3)$$

где $N(I)$ - число распадающихся капель на единичной площади, зависящее от интенсивности осадков I ; R - радиус частиц в момент распада (0,025 м для распада крупных капель); E_0 - начальная напряженность электрического поля; H - высота слоя таяния над Землей; v - скорость падения мелких фрагментов ($\sim 0,5$ м/с); V - скорость падения крупных фрагментов (~ 5 м/с).

5. Реализация предлагаемого механизма в кучево-дождевых облаках

Предлагаемый механизм, наряду с другими механизмами электризации, внесет вклад в электрические процессы в кучево-дождевых облаках. Согласно результатам моделирования, при скорости восходящего потока, близкой к нулю, напряженность электрического поля достигает значения 300-3000 В/м без дальнейшего увеличения напряженности электрического поля. При сильных восходящих потоках напряженность электрического поля изменяется в диапазоне -300 - +300 В/м. Это соответствует наблюдаемым значениям в конвективных облаках без молний.

Для того чтобы была достигнута напряженность поля, типичная для грозы, важно, чтобы область выпадения осадков совпадала с нисходящими потоками.

Обычно восходящий поток концентрируется в центре грозы, в то время как нисходящие потоки занимают периферию облаков. Нижняя часть облака объединяет горизонтальные воздушные потоки, в то время как верхняя часть является областью расхождения. В соответствии с предложенной моделью заряды должны генерироваться на периферии облака. Область генерации заряда, состоящая из отдельных ячеек, образует узкое кольцо или серповидную форму. Это явление уже было обнаружено в ходе экспериментов (Williams, 1989), но не получило теоретического объяснения.

Кроме того, вблизи слоя таяния должны наблюдаться следующие явления:

- быстрое изменение значения и знака заряда гидрометеора;
- максимальные значения зарядов на гидрометеорах.

Оба эффекта были обнаружены во время снижения самолета по спирали на периферии грозы (McCready and Proudfit, 1965).

Наиболее часто встречаются двухзарядные облака с положительно заряженными верхними частями и отрицательно заряженными средними (Mason, 1971). Исследования градовых облаков показали (Мучник, 1974), что рост градин сопровождается сильным радиоизлучением, типичным для стадий зарождения и развития грозы. Наблюдаемая структура зарядов в кучево-дождевом облаке свидетельствует о наличии в области интенсивных восходящих потоков также областей со значительным зарядом. На рис. 3 приведены фото молний в кучево-дождевых облаках, которые иллюстрируют этот эффект.



Рис.3. Структура молниевых разрядов в кучево-дождевых облаках

Возможным объяснением может быть процесс таяния града в области интенсивных восходящих потоков. В процессе роста градин их скорость падения увеличивается и в некоторый момент времени они окажутся в области положительных температур. Когда ледяная частица растает, она распадется на мелкие фрагменты, заряженные отрицательным зарядом и на крупные частицы, заряженные положительным зарядом. Мелкие частицы будут унесены воздушным потоком в верхнюю часть облака, Крупные фрагменты поднимутся на некоторую высоту над областью таяния, где скорость восходящего потока уравнивает их скорость оседания. В результате над нулевой изотермой образуется область положительного заряда

протяженностью в несколько километров, а над ней область с отрицательным зарядом. Знак зарядов может быть обратный, потому что влияние начального поля E_0 (уравнение (1)) очень быстро становится много меньше поля образовавшихся зарядов, поэтому в начальный момент времени будет происходить осцилляция знака зарядов мелких и крупных фрагментов. С большей вероятностью будет реализовываться биполярная структура с положительно зараженной областью в центре облака в области, где вертикальная скорость воздуха составляет около 5 – 7 м/с. Детальный расчет характеристик процесса генерации зарядов в кучево-дождевом облаке в соответствии с этими представлениями можно осуществить численными методами с использованием уравнения (1) и численной модели кучево-дождевого облака с учетом микрофизических процессов. Трудностью является слабая изученность процессов таяния градин, а также процессов электризации фрагментов градин в процессе распада. Возможная модель образования заряда в кучево-дождевом облаке представлена на рис. 4.

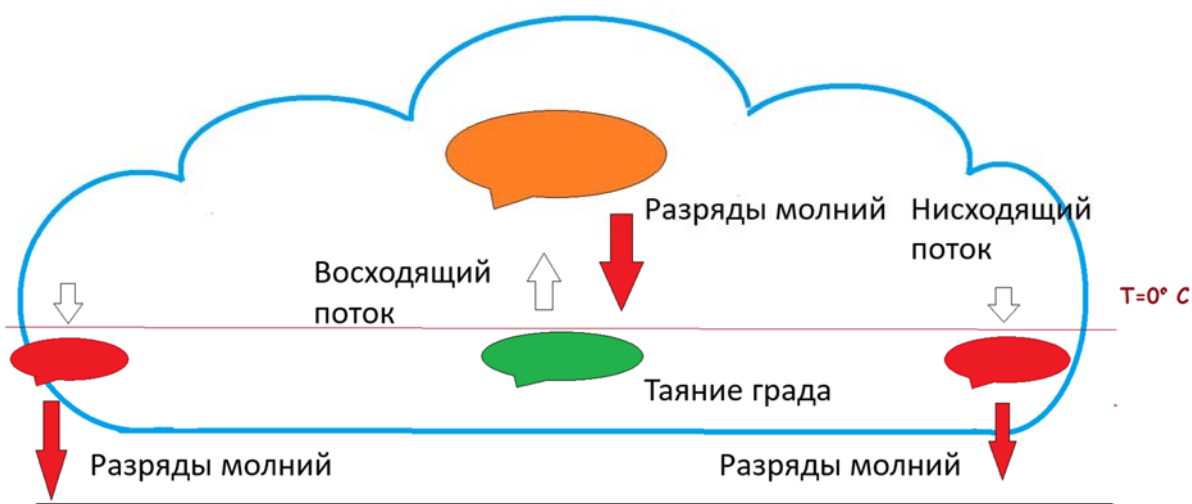


Рис.4. Образование электрических зарядов в полосе таяния кучево-дождевого облака

В соответствии с предлагаемой моделью в кучево-дождевых облаках будут три электрически активные зоны. Одна расположена на периферии облака на 200 – 300 метров ниже нулевой изотермы, вторая по центру облака в зоне интенсивных восходящих потоков на 2 – 3 км выше нулевой изотермы, третья расположена по центру облака в области нулевой изотермы.

Для упрощения моделирования процессов в кучево-дождевых облаках можно применить уравнение (3). В процессе роста градин их скорость падения увеличивается и в некоторый момент времени они окажутся в области положительных температур. Когда ледяная частица растает, она распадется на мелкие фрагменты, заряженные отрицательным зарядом и на крупные частицы, заряженные положительным зарядом. Мелкие частицы будут унесены воздушным потоком в верхнюю часть облака, Крупные фрагменты поднимутся на некоторую высоту над областью таяния, где скорость восходящего потока уравновесит их скорость оседания. В результате над нулевой изотермой образуется область положительного заряда

протяженностью в несколько километров, а над ней область с отрицательным зарядом. Этот процесс можно представить в виде взаимного смещения заряженных плоских дисков. Развитие вышеописанного подхода представляется перспективным для численной оценки скорости генерации зарядов.

6. Заключение

Представленные результаты обосновывают возможность реализации индукционного механизма электризации за счет распада гидрометеоров в слое таяния, так как удовлетворительно согласовываются с известными экспериментальными фактами.

Также предложенный механизм представляется перспективным для объяснения возникновения молний при напряженности электрического поля много меньше требуемой для пробоя сухого воздуха. Одновременное движение частиц с разным зарядом будет вызывать микро-разряды между ними при их сближении. Следовательно, воздух будет ионизирован и для его пробоя требуется напряженность много меньше, чем для сухого воздуха.

Тем не менее, несмотря на удовлетворительное соответствие между полученными теоретическими результатами и экспериментальными данными, для верификации модели необходимы специальные эксперименты. Эксперимент должен включать регистрацию начального момента и скорости разрушения капли (например, с помощью радиолокационных методов) и измерения напряженности электрического поля. Такой эксперимент позволит сделать вывод о том, верны ли физические основы предложенной модели.

Автор благодарен доктору И.Л. Бухбиндеру и доктору В.Л. Кузнецову за полезные обсуждения, а также В.Р. Мегалинскому и коллегам из Центральной аэрологической обсерватории за их помощь в проведении экспериментов.

Список литературы

1. Брылев Г.Б., Гашина С.Б., Евтеев Б.Ф., Комалдина И.И. Характеристики электрически активных зон в слоистообразных облаках. – Ленинград: Гидрометиздат, 1989.
2. Имянитов И.М., Чубарина Е.В. Электричество свободной атмосферы. – Ленинград: Гидрометеоздат. 1965.
3. Кочин А.В. Радиолокационные исследования микрофизических процессов в полосе таяния // Метеорология и гидрология. – 1994. - № 10.
4. Кочин А.В. Механизм образования электрического заряда в слоисто-дождевых и кучево-дождевых облаках // Метеорология и гидрология. – 1995. - № 10.
5. Moson V. J. The physics of clouds. - Clarendon Press, Oxford, 1971.
6. Мучник В.М. Физика грозы. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1974.
7. Rogers R.R. A short course in cloud physics. - Pergamon Press, 1976.
8. McCready J.B. and A. Proudfit. Observations of hydrometeor charge evolution in thunderstorm. - Quart. J. Roy. Met. Soc. - 1965. - V.91. - No 387.
9. Vonnegut B. and C.B. Moore. Preliminary attempts to influence convective electrification in cumulus clouds by the introduction of space charge into the lower atmosphere. - Recent advances in atmospheric electricity. Pergamon Press, 1958.
10. Williams E.R. The tripole structure of thunderstorms. - J. Geoph. Res. – 1989. - V. 94.

ОЦЕНКА ОБЪЕМА ЛИТОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ НАНОСОВ АККУМУЛЯТИВНОГО ТЕЛА АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

В.В. Крыленко, М.В. Крыленко, Д.В. Крыленко

krylenko.slava@gmail.com

*Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Южное отделение,
Россия, г. Геленджик*

Аннотация. Анапская пересыпь – крупная морская береговая аккумулятивная форма на СЗ Кавказского побережья Черного моря. Для определения устойчивости аккумулятивного тела, необходимо получение информации о происхождении слагающего его материала, его запасах. На основе комплексного анализа, включающего ряд палеогеографических, геоморфологических, картографических, гранулометрических, минералогических исследований, предложена оценка запаса наносов Анапской пересыпи, определяющих её современный литодинамический режим.

Ключевые слова. Черное море, Анапская пересыпь, аккумулятивная форма, литодинамическая система, объем наносов.

Введение

Анапская пересыпь – морская береговая аккумулятивная форма длиной 47 км на СЗ Кавказского побережья Черного моря (рис. 1). Аккумулятивное тело сложено преимущественно кварцевым песком с примесью ракушечного детрита и гальки. В последние десятилетия наблюдается отступление морского берега пересыпи, на некоторых участках величина этого отступления составила около 80 м за 50 лет. Основной причиной этого отступления являются природные процессы, обусловившие дефицит наносов в литодинамической системе пересыпи. На некоторых участках существенное негативное влияние оказало антропогенное воздействие, связанное с разрушением дюн и изъятием песка. К сожалению, данное воздействие имеет тенденцию к увеличению, что на фоне повышения уровня моря грозит ускорить отступление берега, а в дальнейшем – привести к деградации всей геосистемы Анапской пересыпи [1, 2]. Для определения пределов устойчивости аккумулятивного тела пересыпи необходимо получение информации о происхождении слагающего его материала, его запасах. Определение бюджета наносов для всей литодинамической системы Анапской пересыпи, выявление тенденций изменения общего объема имеющихся наносов представляет сложную задачу. На основе комплексного анализа, включающего ряд палеогеографических, геоморфологических, картографических, гранулометрических, минералогических исследований, предложена оценка запаса наносов Анапской пересыпи, определяющих её современный литодинамический режим.

Представленная в работе оценка объема потенциально литодинамически активной части отложений Анапской пересыпи базируется на анализе современной динамики её берегов, точных цифровых моделях подводного и надводного рельефа, данных о составе и возрасте отложений [3, 4, 5].

В рассматриваемом контексте, к активным отложениям отнесены те наносы, которые могут быть потенциально вовлечены в литодинамические процессы в ближайшие 100 лет – период, для которого нормативно производятся расчеты устойчивости для объектов 1-2 класса капитальности. Наиболее вероятными природными процессами, при которых это может произойти, является подъем уровня моря или активизация волнового воздействия, что приведет к размыву морского берега пересыпи. Изменения в режиме выпадения атмосферных осадков могут привести к усилению размыва лиманного берега или внутренних частей пересыпи при резких подъемах воды в лиманах (как это наблюдалось летом 2021 г.). Кроме того, вероятно усиление эолового разрушения или трансформации имеющихся дюн, которое способно охватить практически всю толщу сухопутных отложений вплоть до уровня грунтовых вод.

Материалы и методы

Определение объема аккумулятивного тела Анапской пересыпи невозможно без определения границ этого тела. Наиболее продуктивным методом определения пространственных границ современного аккумулятивного тела Анапской пересыпи представляется выделение только тех его частей, в которых наносы вовлечены в литодинамические процессы или могут быть вовлечены в них на инженерных периодах времени – не более 100 лет). В этом контексте к литодинамическим процессам следует отнести различные гидрогенные процессы, протекающие на её поверхности, подводном береговом склоне, морском и лиманном берегах пересыпи, а также эоловые процессы.

Исследования механического состава наносов на подводном склоне пересыпи показывают [2], что граница распространения наносов волнового поля примерно совпадает с изобатой 7.5 м. На этой же глубине замыкаются зафиксированные прямыми батиметрическими промерами изменения конфигурации подводных валов [4], являющихся неотъемлемой частью аккумулятивного тела пересыпи. Таким образом, изобату 7.5 м можно принять как морскую пространственную границу аккумулятивного тела.

Прямые наблюдения, в том числе шурфовки [1, 5], а также анализ распространения определенных видов растительности [6], позволяет достаточно четко определить на лиманном берегу пересыпи пространственную границу распространения наносов, характерных для прибрежно-морского аккумулятивного тела. Кроме того, отмечено, что наносы морского генезиса, попадая в акваторию лиманов под действием эоловых и гидрогенных процессов, немедленно вовлекались во вдольбереговую перенос и не удалялись от берега. Как правило, их этих наносов образовывались береговые аккумулятивные формы, чаще всего – в виде береговых валов, прослеживающихся практически по всему лиманному берегу пересыпи [1]. Таким образом, эти валы можно принять за лиманную пространственную границу аккумулятивного тела.

Сложнее определить пространственную границу аккумулятивного тела на участках, где оно примыкает к останцам коренных, чаще всего абразионных

берегов. На участках, где ширина такой террасы невелика, как на участке Благовещенского останца, сухопутной границей можно условно считать подножие клифа. На участках, где между клифом и образующейся пересыпью оказывался отчлененный участок акватории, характер осадконакопления имел комплексный характер. Сюда мог поступать делювий с прилегающих коренных склонов, аллювий временных и постоянных водотоков, могла накапливаться лагунная органика. Одновременно, сюда могли поступать наносы непосредственно с пересыпи, чаще всего – с эоловым переносом, реже – гидрогенным перемещением при сильных штормах. Ситуация усугубляется тем, что практически вся поверхность Веселовской и Анапской аккумулятивных террас подверглась техногенному преобразованию, поэтому выявление каких-либо границ прямыми наблюдениями или по косвенным признакам невозможно. Единственным выходом оказалось проведение границ по подножиям отмерших клифов и береговым линиям лагун, обозначенным на исторических картах или прослеживающихся на архивных космических снимках.

Современные методы изучения рельефа, как подводного, так и надводного, позволяют получить достоверные сведения о верхней границе аккумулятивного тела, совпадающей с дневной поверхностью. В данной работе для определения строения надводного рельефа использованы результаты воздушного лазерного сканирования, выполненного в 2013 и 2015 гг. [7]. На основе этих данных построены цифровые модели рельефа (ЦМР) на всю площадь пересыпи с разрешением 1x1 м. Для определения строения подводного рельефа использованы данные батиметрических съемок, ежегодно выполнявшихся в 2012-2022 гг. сотрудниками Института океанологии РАН в ходе комплексного мониторинга геосистемы Анапской пересыпи [4]. На основе этих данных построена ЦМР для подводного склона пересыпи. Объединение ЦМР для подводной и надводной части позволило получить единую ЦМР на исследуемую территорию (Рис. 1).

Наиболее сложно проведение нижней границы аккумулятивного тела, то есть подошвы слоя отложений, объём которого определяется. Современная пересыпь лежит на основании из десятков и сотен метров предшествующих отложений, зачастую имеющих близкий генезис и состав – голоценовых аллювиальных песках или лагунных осадках и только вблизи коренных склонов – на неогеновых глинах, суглинках, песках [8, 9]. Проведение точной границы между этими отложениями может быть основано только на данных прямых наблюдений – путем бурения, отбора и анализа проб. Такие исследования чрезвычайно дороги и не могут дать сведения по всей площади пересыпи. Геофизические методы исследования, даже самые современные, имеют существенные ограничения по точности проведения границ даже слоев отложений контрастного состава, для родственных грунтов проведение таких границ практически невозможно (Рис. 2). Тем не менее, эти данные позволяют определить положение уровня грунтовых вод.



Рис. 1. Рельеф Анапской пересыпи

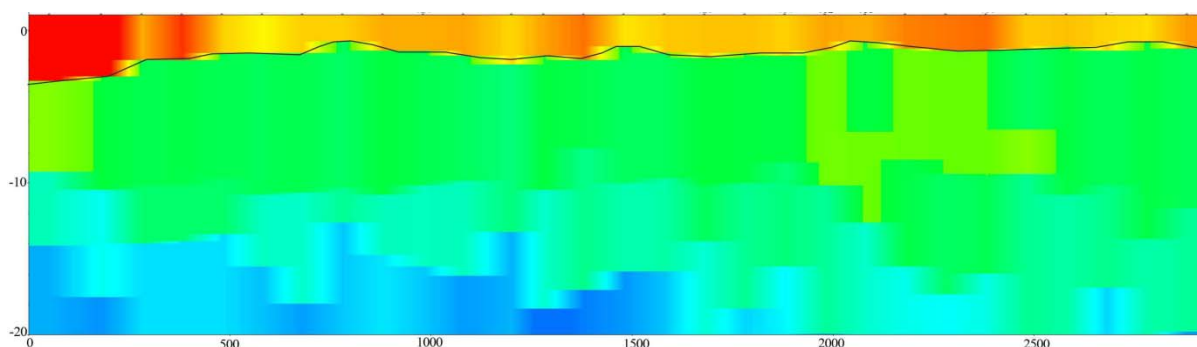


Рис. 2. Пример геофизического профиля вдоль пляжа СЗ части Витязевской пересыпи [1] (глубина и расстояние в метрах). Оттенки зеленого – водонасыщенные пески, оранжевые – пески смешанного состава, красные – чистые пески с преобладанием минеральной компоненты над органической. Голубовато-синие цвета – илесто-глинистые отложения.

Исходя из вышеперечисленных предпосылок, на подводном склоне нижняя граница слоя литодинамически активных отложений начинается с изобаты 7.5 м, далее в сторону берега её глубина определяется глубиной наиболее низких отметок межваловых ложбин (на каждом профиле по всему периоду наблюдений). Глубина заложения границы в пределах пересыпей была определена положением кровли подстилающих лагунных илов (по материалам шурфовок или бурения). Расчетное положение нижней границы активного слоя отложений Анапской пересыпи приведено на рисунке 3.



Рис. 3. Расчетное положение нижней границы активного слоя отложений Анапской пересыпи



Рис. 4. Карта мощности активного слоя отложений Анапской пересыпи

Вычитанием из ЦМР (цифровой модели рельефа) для всей Анапской пересыпи, включающей прибрежную акваторию, цифровой модели нижней границы активного слоя отложений была получена модель мощности активного слоя отложений Анапской пересыпи и рассчитан объем этих отложений. На рисунке 4 приведена карта мощности слоя активных отложений Анапской пересыпи. Для оценки влияния метода интерполяции, используемого для построения цифровых моделей, были использованы два алгоритма и несколько вариантов расчетных параметров.

Результаты

Объем активного слоя отложений Анапской пересыпи, по представленной в работе оценке, составляет от 80 млн. м³ до 87 млн. м³. Для оценки корректности полученных значений, приведем сравнительные данные:

1. Исходя из [10, 11, 12], коренной берег Таманского полуострова к юго-востоку от мыса Железный Рог в ходе развития современной Анапской пересыпи активно отступал. Величина отступления за период около 5 тыс. лет составила не менее 2 км на участке берега длиной около 10 км. При средней высоте клифа около 40 м, и содержании в толще отложений 10% песка, только с этого участка могло поступить не менее 80 млн. м³ пляжеобразующего материала. Помимо него, были размывы участок коренного берега в западной части Благовещенского останца и на месте банки Марии Магдалины.

2. Исходя из данных [13], до зарегулирования стока реки Кубань на гидрологическом посту Тиховский количество стока влекомых наносов составляло 352000 т в год. Если считать, что средняя плотность наносов составляла не более 1500 кг/м³, а в южный (черноморский) рукав Кубани уходила примерно половина общего стока реки, то за год в него поступало примерно 117000 м³ наносов, преимущественно песка. Для выноса песка в объеме, достаточном для формирования современной Анапской пересыпи, потребовалось бы не более 750 лет.

Таким образом, полученная нами величина объема наносов Анапской пересыпи соответствует мощности потенциальных источников сформировавших её наносов. Поскольку при определении общего объема наносов в Анапской пересыпи мы были вынуждены в некоторых случаях использовать косвенные данные, что привело к неизбежному огрублению границ её аккумулятивного тела, соответственно – полученные результаты могут быть весьма дискуссионными. Тем не менее, эти величины позволяют производить качественные оценки происходящих в последние десятилетия изменений в литодинамической системе Анапской пересыпи.

Список литературы

1. Косьян Р.Д., Крыленко В.В., Крыленко М.В. Геосистема Анапской пересыпи. М.: Научный мир. – 2021. – 262 с.
2. Косьян Р.Д., Косьян А.Р., Крыленко В.В., Федорова Е.А. Состав и распределение осадков Анапской пересыпи // Океанология. – 2020. – Т.60. – №2. – С.30-14.
3. Кравцова В.И., Крыленко В.В. Природные условия формирования ландшафтно-морфологической структуры Витязевской пересыпи (Черноморское побережье Краснодарского края) // География и природные ресурсы. – 2021. – Т. 42. – № 1 (165). – С. 84-92.

4. Косьян Р.Д., Федорова Е.А. Деформации подводного берегового склона Анапской пересыпи с 2012 по 2018 гг. // *Океанология*. – 2019. – том 59. – №5. – С.764-770.
5. Крыленко Д.В., Крыленко В.В., Крыленко М.В. Полевые исследования строения осадочной толщи северной части Витязевской пересыпи // *Бюллетень науки и практики*. – 2022. – №11. – С. 119-127.
6. Карагян А.В., Крыленко С.В. Выделение породного состава древесно-кустарниковой растительности по данным воздушного лазерного сканирования на примере Анапской пересыпи (Черное море) // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. – 2022. – № 3. С. 93–103.
7. Другов М.Д., Тутубалина О.В., Крыленко В.В. Оценка изменений рельефа береговой зоны по данным воздушного лазерного сканирования и съёмок с беспилотных летательных аппаратов (на примере Анапской пересыпи) Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18. – № 2. – С. 115-127.
8. Fouache E., Porotov A., Gorlov M. The role of neo-Tectonics in the variation of the relative mean sea level throughout the last 6000 years on the Taman Peninsula (Black Sea, Azov Sea, Russia) *Polish Geological Institute Special*. – 2004. – Papers 11:47-58.
9. Измайлов Я.А. Эволюционная география побережий Азовского и Черного морей. Книга 1. Анапская пересыпь. Сочи. – 2005. – 174 с.
10. Зенкович В.П. Морфология и динамика берегов Черного моря в пределах границ СССР, ТОМ III, Часть III. Региональная; Раздел II. Центральная часть (Южный Крым, полуострова Керченский и Таманский). М.: изд-во ИО АН СССР, 1954. С. 152.
11. Айбулатов Н.А., Щербаков Ф.А., Кузнецов В.Г. Студзинский В.П. Новые данные о происхождении Анапской пересыпи и прилегающих районов шельфа Черного моря // *Современные процессы осадконакопления на шельфах Мирового океана*. М.: Наука, 1990.– С. 89-95.
12. Измайлов Я.А. Эволюционная география побережий Азовского и Черного морей. Книга 1. Анапская пересыпь. Сочи. – 2005. – 174 с.
13. Михайлов В.Н., Магрицкий Д.В., Иванов А.А. Гидрология дельты и устьевого взморья Кубани. М.: ГЕОС. – 2010. – 728 с.

ДИНАМИКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В НОВОАФОНСКОЙ ПЕЩЕРЕ ПРИ МАРШРУТНОЙ ДОЗИМЕТРИИ

¹Т.М.Кудерина, ^{1,2}Грабенко Е.А., ¹Кудиков А.В.

tmkud@yandex.ru; grabenko@inbox.ru; a.v.kudikov@gmail.com

¹Институт географии РАН, Россия, г. Москва

²Адыгейский государственный университет, Россия, г. Майкоп

Аннотация. Представлены результаты маршрутной дозиметрии Новоафонской пещерной системы за 2017, 2019 и 2023 годы, которые могут быть использованы для оптимизации дальнейшей ее эксплуатации.

Ключевые слова. Новоафонская пещерная система, карстовые процессы, радиационный фон, маршрутная дозиметрическая съемка.

Новоафонская пещерная система (НАПС) – уникальное карстовое образование Западного Кавказа, где при взаимодействии карбонатных пород с разломными водами и обильными для этой области атмосферными осадками происходят интенсивные поверхностные и подземные карстовые процессы. Научные исследования многими специалистами проводились как в советское время [9], так и в последние тридцать лет [1- 8, 10-12, 14, 15].

Новоафонский пещерный комплекс стал туристическим объектом с 70-х годов прошлого столетия после проведения подземной железной дороги. В настоящее время этот объект эксплуатируется круглогодично и объем рекреационного потока неуклонно возрастает. При активной рекреационной нагрузке особый интерес вызывает радиологические исследования подземных пространств.

Целью наших многолетних исследований было определение радиационного фона внутри изучаемой пещерной системы, связанная с ее приуроченностью к активным структурным элементам.

По данным геолого-геоморфологических исследований залы пещеры сформировались в замыкании сложной антиклинальной складки в известняках баррема. Присутствие легкорастворимых гипсов в известняках, с меньшей растворимостью, способствовало более легкому разрушению таких смешанных пород по сравнению с чистыми известняками, формированию полостей больших объемов, которые характерны для Новоафонской пещеры и других пещер этого района; формирование обширной гипсовой минерализации в стенах и сводах залов под действием инфильтрационных, конденсационных и паводковых вод могло способствовать обрушению сводов и частичному растворению вмещающих пород и их обломков[13].

Микроклиматические параметры, определенные установленными нами в период исследования термогигрохронами, следующие: температура воздуха 14-17°C, влажность воздуха - 100%, температура воды в озере Анатолия – 11,9°C.

При маршрутной дозиметрии в 2017 и 2019 годах использовался портативный дозиметр ЭКОРАД 1, а в 2023 году, наряду с ним, применялись газоразрядный портативный дозиметр AtomTag и сцинтилляционный портативный дозиметр AtomSwift российского производства. Измерения

проводились в ключевых точках обустроенного в пещере маршрута (места остановки экскурсионных групп для осмотра достопримечательностей пещеры, конечные точки ответвлений залов, естественные понижения и повышения маршрута).

Маршрутная дозиметрическая съемка 2017 года показала самые высокие уровни гамма-излучения в Новоафонской пещере. Так, в точке «Белая гора» в зале Махаджиров при повышенном увлажнении, уровень радиации составляла 0,05-0,11 мкЗв/ч. Довольно высокий уровень гамма-излучения нами был зафиксирован в районе озера Нартаа, где наблюдались свежие намывы глинистых отложений, уровень радиации которых повышался до 0,50 мкЗв/ч и выше, в то время как доза старых глинистых выходов составляла 0,19 мкЗв/ч. В зале Гиви Смыра мощность радиоактивного излучения составляла 0,10 мкЗв/ч.

В феврале 2019 года дозиметрия в НАПС нами проводилась уже во всех ее залах также по пешеходным маршрутам (таблица 1)

Таблица 1

Маршрутная дозиметрия в Новоафонской пещерной системе, 2019 г.

Место измерений	мкЗв/ч
Зал Анакопия	0,09-0,28
Зал Махаджиров	0,09
штольня	0,18
Зал Нартаа	0,21-0,36
Зал Гиви Смыра (глины)	0,21-0,36
Зал Гиви Смыра (карбонаты)	0,27-0,32
Зал Храм	0,20-0,42
Зал Апхярца	0,19
Гелектитовый зал	0,14-0,19
Зал Апсны	0,08-0,11

Таблица 2

Маршрутная дозиметрия в Новоафонской пещерной системе в 2023 г., мкЗв/ч

Место измерений	ЭКОРАД 1	АТОМ SWIT	АТОМ TAG
1 станция	0,05-0,10	0,06	0,02
Зал Анакопия	0,11-0,13	0,10-0,16	0,08-0,10
метеостанция	0,12	0,08-0,11	0,07-0,08
Голубое озеро	0,08	0,08-0,10	0,04-0,10
Белая гора	0,13	0,13	0,07
Зал Нартаа	0,13	0,10-0,16	0,03-0,08
Зал Гиви Смыра	0,08-0,10	0,06-0,09	0,01-0,06
Зал Храм	0,14	0,08-0,14	0,04-0,14
Каньон	0,08-0,12	0,06-0,09	0,06-0,10
Зал Апхярца	0,08-0,11	0,08-0,12	0,03-0,21
Зал Апсны	0,02-0,05	0,02-0,03	0,02-0,09
2 станция	0,07-0,11	0,09-0,13	0,05-0,11

Превышения допустимых показателей выше 0,30 мкЗв/ч выявлены только в залах Нартаа, Гиви Смыра и Храм.

Результаты маршрутной дозиметрии, февраля 2023 года в РУП «Комплекс Новоафонской пещеры им. Г.Ш. Смыра» проведенной, как указывалось выше, тремя приборами показаны в таблице 2.

Приведенные в таблице 2 результаты радиологических измерений показывают, что на момент последнего обследования НАПС показатели дозиметрии в ней находятся в пределах нормы. Отличие их от исследований проведенных ранее, по нашему мнению, может быть объяснено произошедшим в зале Нартаа весной 2022 года оползем и, вероятно, активизировавшимся в пещере промывным режимом, при котором осадочным материалом затянуло старые разломные зоны и радиационный фон стабилизировался.

Таким образом, проведенные радиологические исследования в 2023г. показали, что в настоящее время уровень радиации находится в пределах допустимых значений. Однако, предыдущие измерения выходили за эти параметры. Для успешной и безопасной дальнейшей эксплуатации НАПС требуется постоянный радиационный мониторинг с выявлением областей повышенной радиации в ней.

Список литературы

1. Грабенко Е.А., Кадебская О.И., Кудерина Т.М., Мавлюдов Б.Р., Эмба Я.А. Новоафонская пещера, результаты исследований в 2015-2016 гг. // Теория и методы современной геоморфологии: Материалы XXXV Пленума Геоморфологической комиссии РАН, Симферополь, 3-8 октября 2016 г. / Отв. ред. Кладовщикова М.Е., Токарев С.В. – Симферополь, 2016. – Том 2. – С. 180-184.
2. Климчук А. Б. Гипогенный спелеогенез, его гидрогеологическое значение и роль в эволюции карста. Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. - 180 с.
3. Кудерина Т.М., Грабенко Е.А., Медведев А.А., Мавлюдов Б.Р., Эмба Я.А., Мархолия В.В. Гидрохимические показатели Новоафонской пещерной системы в зимний период. // Материалы IV Международ. НПК «Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». Ч.2, Майкоп, 2017. с.13-16.
4. Кудерина Т.М., Мавлюдов Б.Р., Грабенко Е.А. Гидрогеохимия пещер Западного Кавказа. // Материалы VI Междунар. науч. конф. «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах». Белгород: «ПОЛИТЕРРА», 2015. С.244-248.
5. Кудерина Т.М., Мавлюдов Б.Р., Грабенко Е.А. Гидрохимия пещер Западного Кавказа // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: Материалы V Международной научной конференции. 12-16 октября 2015 г. – Белгород: Изд-во «ПОЛИТЕРА», 2015. С. 244-248.
6. Кудерина Т.М., Мавлюдов Б.Р., Грабенко Е.А., Дбар Р.С. Геохимический состав природных вод карстовых систем западного кавказа // Вопросы географии. 2018. № 147. С. 134-142.
7. Кудерина Т.М., Мавлюдов Б.Р., Грабенко Е.А., Эмба Я.А. Гидрогеохимическое состояние Новоафонской пещерной системы // В сборнике: Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана) Доклады Всероссийской научной конференции. 2016. С. 285-288.
8. Мавлюдов Б.Р., Кудерина Т.М., Грабенко Е.А., Медведев А.А., Эмба Я.А. КЛИМАТ НОВОАФОНСКОЙ ПЕЩЕРЫ // Вопросы географии. 2018. № 147. С. 218-243.
9. Тинтилозов З. Новоафонская пещерная система. Изд. «Мецниереба», Тбилиси. 1983. 149 с.

10. Червяцова О.Я., Потапов С.С., Дбар Р.С. Условия заложения и морфогенетические особенности Новоафонской пещеры (Абхазия) // Изучение и использование естественных и искусственных подземных пространств и закарстованных территорий. Материалы Всероссийской научнопрактической конференции II КРЫМСКИЕ КАРСТОЛОГИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ, Симферополь, 25-28 сентября 2018 г. – Симферополь, 2018. С. 61-66.

11. Червяцова О.Я., Потапов С.С., Дбар Р.С., Паршина Н.В. Минеральные отложения, связанные со стадией сернокислотного спелеогенеза в Новоафонской пещере (Западный Кавказ, Абхазия) // Уральская минералогическая школа. – 2017. -№23. - С. 215-222.

12. Червяцова О.Я., Потапов С.С., Садыков С.А., Леонова Л.В., Дбар Р.С. Распространение, морфология, изотопный состав серы и генезис гипсовых отложений в Новоафонской пещере (Абхазия) // Минералогия. 2016. - № 3. - С. 79-94.

13. Экба Я.А., Дбар Р.С., Ахсалба А.К., Кудерина Т.М. Гидрология и гидрохимия карстовых подземных вод Новоафонской пещеры. // Материалы V НПК "Карст и пещеры Кавказа». Сочи, 2014. С. 9-18.

14. Mavlyudov B., Kuderina T., Grabenko E. et al. / Some data about lakes of novoafonskaya cave, caucasus, republic of abkhazia // Proceedings of the 18th International Congress of Speleology. V. 3 Physical speleology. Karstologia Mémoires. No 23. — Fédération Française de Spéléologie Savoie Mont-Blanc, 2022. — P. 45–48.

15. Mavlyudov B.R., Kuderina T.M., Kadebskaya O.I., Grabenko E.A., Tokarev I.V., Ekba Ya A., Dbar R.S. Complex Investigations In Novoafonskaya Cave (Western Caucasus) // в сборнике Proceedings of the 17th International Congress of Speleology. Eds. K. Moore and S. White, место издания Sydney, том 2, 2018. С. 60-64.

ТРАНСФОРМАЦИЯ УСТЬЕВЫХ ЗОН БОКОВЫХ ПРИТОКОВ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

И.Е. Курбатова

irenkurb@yandex.ru

¹*Институт водных проблем РАН, Россия, г. Москва*

²*Московский государственный университет геодезии и картографии,
Россия, г. Москва*

Аннотация. В работе рассмотрена специфика формирования устьевых областей малых рек, впадающих в русловые водохранилища с большой амплитудой изменения годового и межгодового уровня. Немногочисленность таких исследований и практически полное отсутствие регулярных гидрологических наблюдений на малых реках и балках обуславливает актуальность и целесообразность использования разновременной спутниковой информации для решения поставленной задачи. Описан опыт использования крупномасштабных космических изображений ИСЗ WorldView-2 и открытых архивных материалов Google Earth Pro при исследовании динамики устьевых зон боковых притоков Цимлянского водохранилища в сложных условиях современного маловодного периода. Проведена инвентаризация заиления и зарастания устьев рек и крупных балок береговой зоны водохранилища по результатам дешифрирования снимков, на которых зафиксированы изменения в облике устьевых зон как при чрезвычайном понижении уровня так и при его повышении за последние десятилетия.

Ключевые слова. Водоохранилище, притоки, устья малых рек, маловодный период, заиление, зарастание, спутниковый мониторинг.

Введение

Устьевые области рек относятся к уникальным географическим объектам с особым морфологическим строением, спецификой гидрологического режима, разнообразными природными ресурсами. Изначально большая часть исследований была посвящена устьям крупных рек, впадающих в моря и океаны [13], где они рассматриваются как буферные зоны между пресноводными речными и солеными морскими водами. Об этом свидетельствует также существование Всемирной организации по изучению эстуариев (Estuarine and Coastal Science Association) [17]. Известны опыты изучения устьев рек, впадающих в крупные пресноводные водоемы [1,5, 9, 11]. Изучение устьевых областей малых рек, впадающих в водохранилища, пока единичны. Среди них следует отметить коллективную монографию «Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища» в которой представлены результаты комплексных наземных исследований устьевых зон притоков Рыбинского водохранилища – выполнено районирование устьевых зон, получены физико-химические характеристики воды в устьевой зоне притока, выявлен генезис органического вещества

донных осадков, определена структура растительного покрова и особенности условий развития гидробионтов. [4].

Для других русловых водохранилищ проводились локальные исследования по влиянию речного стока на загрязнение вод Горьковского и Чебоксарского водохранилищ [16], изучение видовой структуры сообществ зоопланктона зарослей высшей водной растительности устьевых участков притоков Чебоксарского водохранилища [2].

В Цимлянском водохранилище комплексные обследования устьевых зон притоков не проводятся, эти территории эпизодически обследуются с позиций определения гидрохимического состава речного стока и оценки влияния водной растительности на состояние устьевых экосистем [12]. Существующая сеть наблюдений Росгидромета и периодичность гидрохимических наблюдений устьевых зон Цимлянского водохранилища не позволяют обеспечить достаточный объем информации для проведения фундаментальных исследований происходящих изменений [12]. Экспедиционные обследования проводятся крайне редко. В такой ситуации одним из инструментов изучения состояния устьевых экосистем и динамики их развития выступают технологии дистанционного зондирования Земли из космоса [8, 9, 18]. Разумеется, информация, получаемая с помощью спектрональных спутниковых изображений, не может полностью заменить комплексные натурные обследования и ответить на все поставленные вопросы, но она позволяет выявить динамику формирования устьевых зон, их заиление и зарастания, оценить степень негативных преобразований.

Целью данного исследования является изучение формирования устьевых зон боковых притоков Цимлянского водохранилища за 1975-2022 гг. с использованием разновременных данных дистанционного зондирования.

Методы и подходы

Специфичность устьевых зон боковых притоков водохранилища определяется, прежде всего, их особым географическим положением между водосбором и приемным водоемом – водохранилищем. Их трансформация происходит под влиянием целого ряда факторов. Во-первых, определяется природными условиями в зоне формирования стока (размерами речных бассейнов, водным балансом территории, характером увлажнения, типом подстилающей поверхности, эрозионной устойчивостью грунтов). Во-вторых, существованием зоны переменного подпора, имеющей сложный динамичный характер, зависящий от заполнения и сработки водохранилища, сезонного и многолетнего изменения его уровня.

Поскольку боковые притоки выполняют роль артерий, связывающих сушу с водохранилищем, а устья относятся к зонам повышенной трансформации вещества и энергии за счет активизации гидродинамических, физических, химических и биологических процессов [4], то изучение устьевых зон неразрывно связано со всей геосистемной структурой «водосбор-водоток-устье - береговая зона - приемный водоем» и их нахождением в «центре событий».

Таким образом, формирование комплексной базы данных мониторинга устьевых зон предполагает следующие информационные блоки:

- блок *приемного водоема* (климатические, геоморфологические, гидрологические параметры, внутригодовые и межгодовые колебания уровня, аккумулятивная или эрозионная интенсивность переформирования берегов и пр.);

- блок *водосбора бокового притока* (физико-географические характеристики, интенсивность эрозионных процессов, описание видов хозяйственной деятельности, объемы сточных вод и выноса взвешенных веществ);

- блок *водотока* (гидрологический режим, вероятность пересыхания в меженный период, расходы воды, их химический состав, загрязнение и т.д.);

- блок *формирования устьевой зоны* (величина подпора, диапазон его максимальных и минимальных значений, вид устья (эстуарий–залив-выдвигная дельта), объем твердого и жидкого речного стока, зарастание, концентрация загрязняющих веществ в прибрежной зоне и пр.).

Обеспечение этих информационных блоков включает картографические материалы разных лет издания, спутниковую информацию как архивную, так и современную, научно-справочную литературу, данные гидрометеорологических наблюдений, результаты экспедиционных исследований. На современном этапе развития дистанционных методов зондирования Земли возможно регулярное получение архивной открытой многозональной спутниковой информации высокого разрешения, начиная с 90-х годов XX столетия. Появилась возможность определения многолетних перемещений границы «вода-суша» в зоне переменного подпора на момент съемки и получения официальных данных соответствующего Бассейнового водного управления о положении уровня водохранилища на дату спутниковой съемки.

Топографические карты в ряду информационных источников используют как базовые при определении исходного положения береговой линии водохранилища, которая по требованиям к составлению топографических карт должна соответствовать нормальному подпорному уровню (НПУ). Использование ГИС-технологий позволяет интерпретировать все информационные источники и представить их в виде тематических карт.

Характеристика региона исследования

В качестве объектов исследования выбраны устья боковых притоков Цимлянского водохранилища, самого крупного на юге России. В этом году водохранилищу исполняется 70 лет [3]. За прошедшие годы в его облике произошли серьезные преобразования, спровоцированные как климатическими изменениями, так и усилением антропогенной нагрузки на сам водоем и его береговую зону.

Изменение климата выразилось в формировании маловодного периода на европейской части РФ, что с 2007 г. в период половодья привело к снижениям приточности к водохранилищу до 40-50 % от нормы, в отдельные годы до 32-38% [7,14]. До середины 1980-х годов водохранилище несколько

раз наполнялось выше НПУ, затем начался период скачкообразного снижения уровня (рис.1). На протяжении многих лет водохранилище наполнялось не более чем на треть, что привело к осушению мелководных побережий до двух километров. Наблюдения стационарной гидрометеорологической сети показали повышение температуры воды по всей акватории Цимлянского водохранилища в безледный период. Отмечен весенний сдвиг сроков прогревания воды на более ранние (в среднем на 8-15 дней), а осеннее охлаждение происходит на 6-12 дней позже [14].

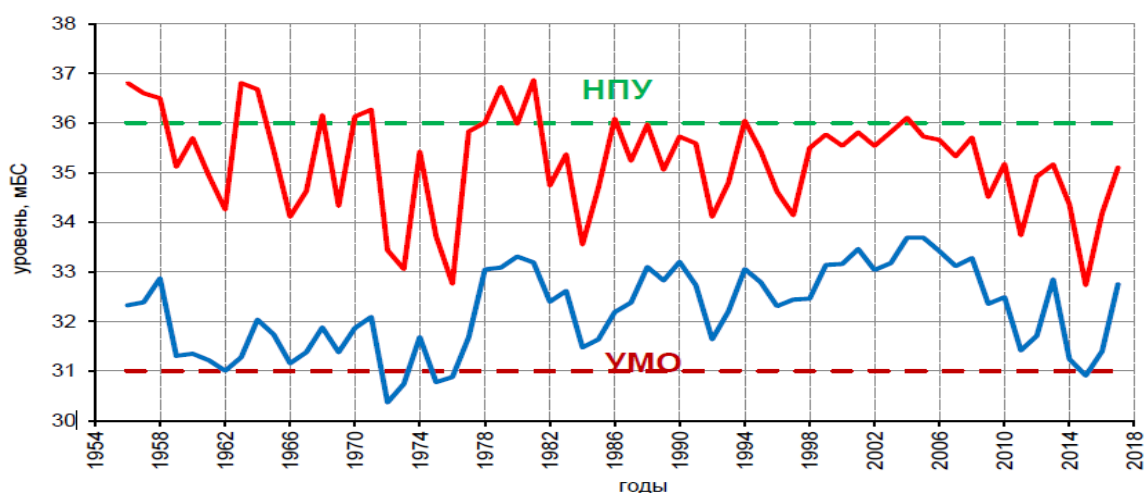


Рис. 1. Многолетние изменения характерных уровней Цимлянского водохранилища на приплотинном участке (Цимлянская ГЭС, верхний бьеф) [14]

Быстрое обмеление водохранилища усугубляется эрозионными процессами, берега которого сложены легкоразмываемыми горными породами. Значительное обнажение дна водохранилища, кроме маловодья, вызвано его заилением в результате накопления материалов переработки берегов и поступления наносов, взвешенных и влекомых по р. Дон, балкам, ручьям и рекам, впадающим в водохранилище. Объем водохранилища за годы с момента заполнения уменьшился на 3,5 % [14]. В результате интенсивной волновой переработки выступающих мысовидных участков происходило постепенное выравнивание берегов и отложение наносов в устьях подтопленных балок и долинах впадающих рек [3].

Результаты

Боковые притоки Цимлянского водохранилища представляют собой 24 небольшие реки с общей площадью водосбора 41600 км². За 70 лет существования водохранилища средний объем боковой приточности оценен в 993 млн.м³/год, с колебаниями от 207 (1972 г.) до 3056 млн.м³/год (1956). В среднем за год этот объем может изменяться от 3 до 8% от притока основной реки [14]. Большая часть стока этих рек (70-90%) приходится на период весеннего половодья. Летом большинство притоков может пересыхать. Сведения по некоторым рекам приведены в табл.1. Исторически все реки впадали в Дон, но после создания водохранилища в результате подпора превратились в заливы различной протяженности и конфигурации.

Таблица 1

Гидрологические характеристики боковых притоков

Название притока	Длина, км	Водосбор, км ²	Годовой объем стока*, млн м ³	Длина затопленного русла при НПУ (от р. Дон), км	Дальность подпора до нового устья при НПУ, км
<i>Правобережные</i>					
Чир	361	10 500	172	22.5	15.4
Аксенец	62	558	36	16.1	4.0
Солоная	35	385	9	15.7	4.2
<i>Левобережные</i>					
Мышкова	129	1400	19	11.2	4.1
Акса́й Есауловский	222	2650	36	17.5	13.8
Акса́й Курмо́ярский	146	1843	25	32.5	15.7

*При 50% обеспеченности стока [6]

В данной работе осуществлена попытка решения базовой задачи мониторинга - проведения инвентаризации состояния устьевой зоны рек при наступлении критической гидрологической ситуации. Для анализа были использованы космические изображения высокого разрешения, полученные с ИСЗ "WorldView-2" (2011 г.), и спутниковые изображения из открытого архива Google Earth Pro на те даты, когда уровень воды был близок к минимальному. Рассмотрены примеры трансформации устьев двух притоков и одной балки (рис.2а). Почти все притоки имеют широкую долину с высоким правым берегом и пологим левым. Русла рек извилистые, большое количество балок вдоль русел является источником выноса наносов и интенсивного заиления.

С начала XXI века наблюдалось несколько лет с наиболее низким уровнем. По данным Донского бассейнового водного управления (БВУ), уменьшение весеннего притока паводковых вод к Цимлянскому водохранилищу до 54% от нормы (в 2007 г.) и до 34 % (в 2011) впервые за 27 лет привело к снижению его уровня больше чем на 4 м - с 36 м (отметки нормального подпорного уровня) до 31.15 м абс. Наблюденный в ноябре 2011 г. уровень лишь на 15 см превышал уровень мертвого объема. За всю историю существования водохранилища такие ситуации случались лишь несколько раз.

Снижение уровня, а также заиление дна в результате многолетнего накопления большого объема материалов переработки берегов, взвешенных и влекомых наносов р.Дон и ее постоянных и временных боковых притоков привели к значительному увеличению площадей мелководий, обнажению дна, появлению островов, зарастанию устьев рек и нерестилищ. Особенно интенсивно этот процесс проявился в верхней части Чирского плеса (рис. 2б),

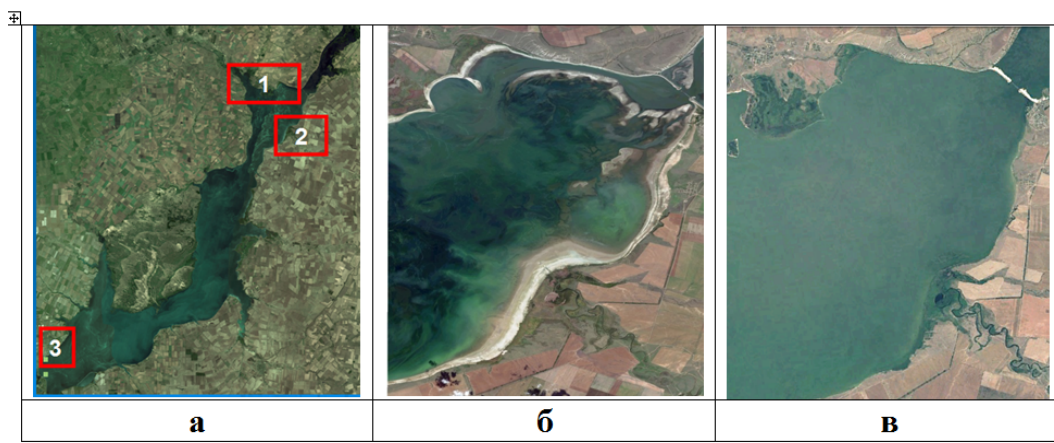


Рис. 2. Цимлянское водохранилище. а – местоположение объектов исследования: 1-Чирский плес и устье р. Чир; 2 – устье р. Мышкова; 3 – балка Крутая; б – верхняя часть Чирского плеса при уровне 31.75 м (ИСЗ WorldView-2 дата 24.09.2011); в - Чирский плес, 2018 г. при уровне 35.9 м (НПУ)

наиболее чувствительного к перепадам уровня воды. Здесь в 2011 г. осушилась большая часть мелководных участков, находившихся на глубинах до 3.8 м, образовав острова, полуострова, вдольбереговые отмели и т.д. Их своеобразная конфигурация определяется течением р. Дон и осаждением речных взвесей. Полученная информация может быть использована как при обновлении батиметрической карты всего водохранилища с учетом заиления донного рельефа, так и при уточнении крупномасштабной лоции для обеспечения безопасности судового хода. На рисунке 2в зафиксирована обратная ситуация, отражающая максимальное за 15 лет по уровню и продолжительности половодье весной 2018г. Уровень воды в водохранилище искусственно, за счет увеличения сброса, поддерживался на отметке 36 м, не позволяя ему подниматься выше и затопить низменные территории.

В Чирский озерный плес впадают две реки – собственно Чир и Мышкова. Сопоставление спутниковых изображений с топографической картой наглядно показывает, что большая часть залива р. Чир обмелела и заросла высшей водной растительностью и кустарниками (рис.3).

Примером трансформации устья малой реки может служить река Мышкова, при впадении которой в водохранилище за счет подпора образовался залив длиной 5 и шириной 3 км, в центре которого был остров высотой около 10 м. По берегам залива располагались рыбопитомники, обвалованные двухметровыми дамбами (рис. 4а). Сам залив был привлекателен для нереста рыб и нагула молоди. На космическом изображении от 24 сентября 2011 г., полученном с ИСЗ WorldView-2, (рис. 4б) зафиксировано полное осушение залива, его зарастание кустарниковой и тростниковой растительностью, образование широкой отмели, перекрывающей бывший залив и узкую прорезь русла реки в илистых отложениях отмели. Отмель возле устья р. Мышкова образовалась за счет падения уровня водохранилища и выноса большого количества твердого стока реки во время половодья 2015 г., когда эта зона была уже полностью осушена (рис. 4б).

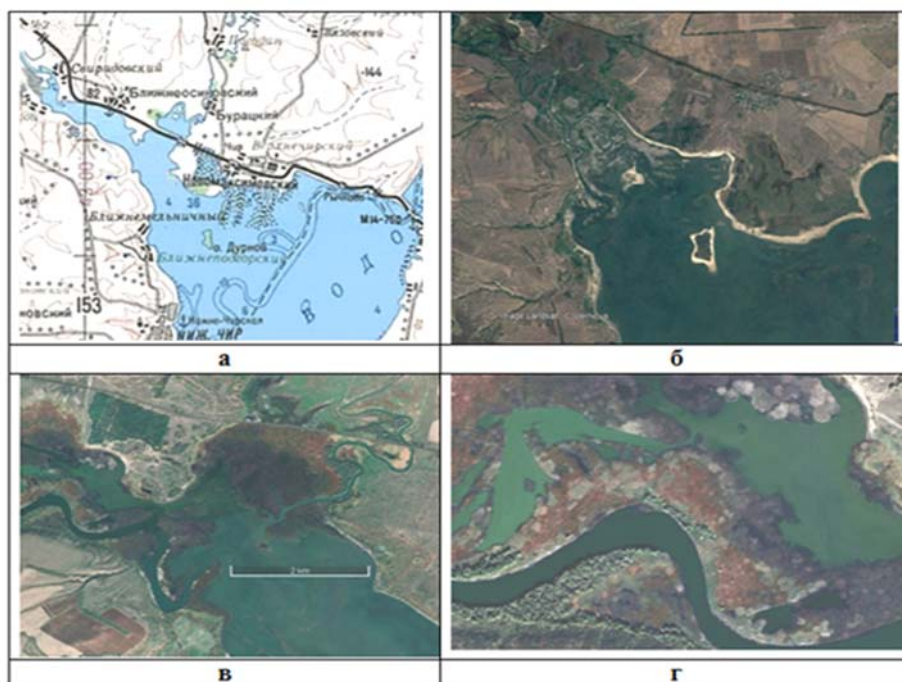


Рис. 3. Трансформация устьевой области р. Чир: а – топографическая карта с границами Чирского залива при уровне 36.0 м (НПУ); б – обмеление залива в 2015 г. до отметки 31.5 м; в – активное зарастание залива 2016 г. в диапазоне уровней 32-33 м; г – увеличенный фрагмент русла в заросшей части залива

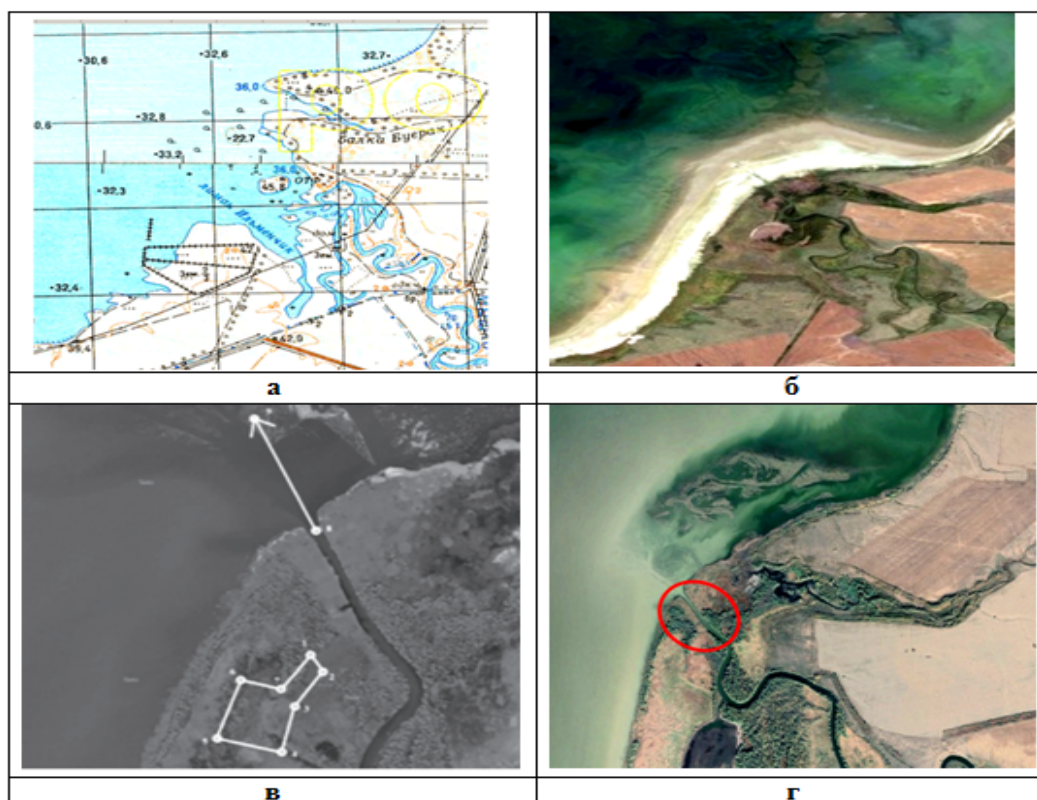


Рис. 4 Трансформация устья реки Мышкова: а - топографическая карта масштаба 1:100 000 (1978 г, береговая линия соответствует НПУ 36 м абс); б - заиление и зарастание устья р. Мышкова на космическом изображении ИСЗ “WorldView-2” от 24.09.2011 (уровень воды – 32.15 м абс); в – расчистка устьевое и предустьевое участка русла реки (белый контур - обвалованная площадка для складирования извлекаемого грунта; г – расчищенное русло реки (красный контур), справа от устья заросшая часть отмели (архив Google Earth)

На месте бывшего залива сформировалась заболоченная низменность. Наблюдения за расходами воды в р. Мышкова не проводились ввиду их незначительности [3]. В рамках федерального проекта "Сохранение уникальных водных объектов" нацпроекта "Экология" в целях улучшения экологического состояния Цимлянского водохранилища были организованы работы по расчистке предустьевых и устьевых участков, впадающих в него рек от заиливания, наносов песка и грунта. Такие работы были проведены для расчистки устья реки Мышкова (рис. 4 в) [15]. В результате глубина реки на расчищенном участке достигла 2 м, увеличилась пропускная способность водотока, восстановлены оптимальные параметры среды, улучшены нагульно-воспроизводственные условия для нереста рыб. После создания Цимлянского водохранилища подтопленные балки и устья долин рек создали сильно изрезанное очертание берегов. Площадь гидрографической сети крупных оврагов и балок протяжением более 1 км от устья в пределах защитной зоны водохранилища, составила 60 тыс. га [3].

Ярким примером последовательно сменяемых трансформаций может служить устье балки Крутая (рис.5), расположенная на правом берегу водохранилища в 4 км от г. Цимлянска. Ее устье использовалось как удобный, защищенный почти от всех ветров залив, проход в который был шире 200 м (рис. 5а).

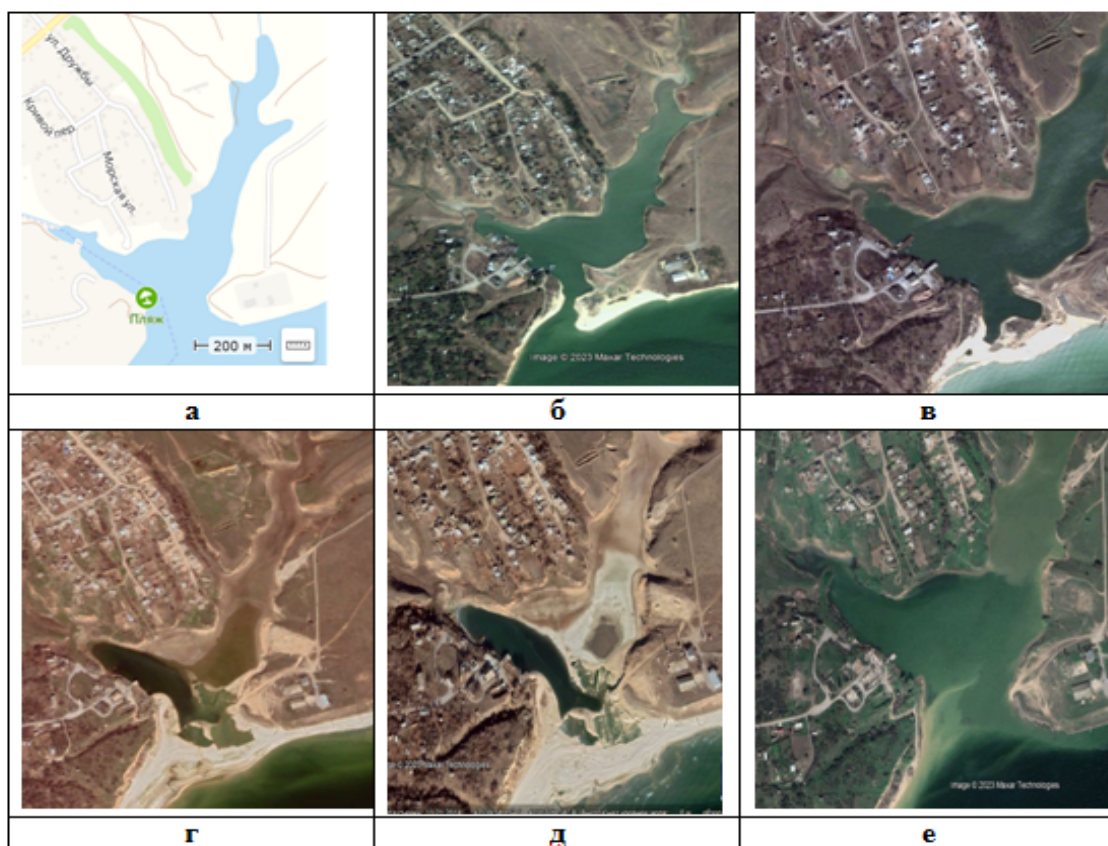


Рис. 5. Трансформация устья балки Крутая.: а - топографическая карта с границами затопления балки при НПУ; б – сужение устья балки за счет снижения уровня водохранилища и роста отмели; в – полное перекрытие входа в бухту при снижении уровня водохранилища до 31.2 м; г, д – дальнейшее обмеление балки в 2014 и 2015 гг; е – обводнение устья и ложа балки при уровне 36 м (архив Google Earth Pro)

Понижение уровня водохранилища в 2002 г до отметки 33 м значительно сузило проход за счет значительного роста отмели (рис. 5б). Сочетание современного понижения уровня и накопления наносов, поступающих с водосбора балки, привело к тому, что устье балки было перекрыто широкой отмелью, вход в бухту был полностью отрезан от водохранилища с 2011 г. (рис. 5 в), но водоем внутри бухты сохранился. Последующий маловодный период 2014 и 2015 гг. привел к значительному обмелению внутреннего водоема за счет резкого уменьшения поверхностного стока с водосборной территории (рис. 5г, д). И лишь высокое половодье 2018 г и подъем уровня водохранилища до НПУ снова открыли проход в бухту (рис. 5 е). Таким образом, с помощью подбора разновременной спутниковой информации из архива Google Earth можно проследить все стадии переформирования устья балки – при переходе от высокого уровня водохранилища (НПУ) к длительному маловодному периоду и затем снова к возврату первоначального состояния при высоком уровне.

Заключение

Выбранная методика совместного использования космической информации и картографических материалов значительно увеличивает период наблюдения, позволяет опираться на исходные границы устьевых зон малых рек при конкретном положении уровня (НПУ) и может быть использована для решения инвентаризационных задач геоэкологического мониторинга береговой зоны водохранилища. Можно высказать предположение, что при многолетнем формировании устьевых зон малых рек попеременно доминировали все три фактора: аккумуляция наносов за счет волновой переработки берегов, постоянное снижение/повышение уровня водохранилища и отложение речных наносов в верхней части зоны переменного подпора. Более точные данные можно получить только при организации регулярных наблюдений.

Работа выполнена в рамках государственного задания темы № FMWZ-2022-0002 ИВП РАН Министерства науки и высшего образования РФ.

Список литературы

1. Балдина Е.А., Лабутина И.А. Аэрокосмические исследования и картографирование в дельте Волги // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2011. № 2. С. 78-84.
2. Гаврилко Д.Е., Золотарева Т.В., Жихарев В.С., Шурганова Г.В. Структура сообществ зоопланктона зарослей высшей водной растительности устьевых участков притоков Чебоксарского водохранилища.: сборник докладов Всероссийской конференции «Волга и ее жизнь» / Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 22–26 октября 2018 г. – Ярославль: Филигрань, 2018. с.22-23 ISBNBN 978-5-6041676-0-1
3. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Цимлянское, водораздельные и Манычские водохранилища // Л.: Гидрометеиздат. 1977. 204 с.
4. Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища / ред. А.В. Крылов. Ин-т биологии внутренних вод им.И.Д. Папанина РАН. Ярославль. Филигрань. 20015. 466 с.
5. Дельта реки Селенги — естественный биофильтр и индикатор состояния озера Байкал. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 314 с.

6. Косолапов А.Е., Никоноров В.А., Лагута М.И. // Моделирование водохозяйственных балансов. / Новочеркасск, 2008. 230 с.
7. Кулик А.В., Кулик А.К., Хныкин А. С. Экологическое состояние Цимлянского водохранилища. сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление». Новочеркасск: Лик, 2019. с. 373-379 г. Сочи, 23-29 сентября 2019 г. 500 с.
8. Курбатова И.Е. Использование космической информации для мониторинга природно-территориальных комплексов побережья Цимлянского водохранилища // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013, т. 10, №3. С. 217-227
9. Курбатова И.Е. Дистанционные технологии мониторинга водных объектов / Научные основы создания систем мониторинга качества природных поверхностных вод. М.: Научный мир. 2016. С. 328-362
10. Лабутина И.А., Тарасов М.К. Изучение распространения твердого стока реки Селенги по космическим снимкам // География и природные ресурсы. 2018. № 1. С. 66-72.
11. Лагута А.А., Погорелов А.В. Особенности дельтоформирования рек, впадающих в долинное водохранилище (на примере Краснодарского водохранилища) // Географический вестник. 2019. №3. С. 119–134. doi 10.17072/2079-7877-2019-3-119-134.
12. Лобченко Е.Е., Минина Л.И., Ничипорова И.П., Первышева О.А. Динамика качества воды Цимлянского водохранилища (за период с 1979 по 2014 годы) // Водное хозяйство России. № 6, 2016. С. 74-92
13. Михайлов В.Н. Гидрологические процессы устьях рек. М.: ГЕОС. 1997. 176 с.
14. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики водных объектов бассейна реки Дон. – СПб.: Свое издательство. 2020. 262 с.
15. Помазков Д.С., Карасёва А.Ю. Расчистка от заиливания, наносов песка и грунта предустьевых и устьевых участков р. Мышкова (Цимлянское водохранилище). Материалы II Международной научной конференции памяти чл-корр. РАН Д.Г. Матишова «Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов («Опасные явления – II). Ростов-на-Дону. Изд-во ЮНЦ РАН. 2020. С. 186-191. ISBN 978-5-4358-0204-7
16. Смирнова И.Г., Чебан Е.Ю., Володченко Е.В., Бердникова Е.Ю., Солина Е.С. Гидроэкологические исследования участков Горьковского и Чебоксарского водохранилищ с притоками в летний период 2017 года // Научные проблемы водного транспорта. Выпуск 53. 2017. с. 98-107
17. Телеш И.В., Науменко Е.Н., Алимов А.Ф. Достижения и перспективы изучения эстуарных экосистем: итоги международного симпозиума ECSA-42 // Биология внутр. вод. 2009. № 4. С. 3–7.
18. Шинкаренко С.С., Солодовников Д.А., Барталев С.А. Гидрологическая ситуация на водохранилищах юга европейской части России в 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 1. С. 248-254. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-248-254.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ ИНДИКАТОРОВ СОСТОЯНИЯ ВОДОСБОРА РЕКИ КАЗАНКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

^{1,2}И.Е. Курбатова, ³А.А. Афанасьева

irenkurb@yandex.ru; afanaasyeva@mail.ru

¹Институт водных проблем РАН, Россия, Москва

²Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), Россия, Москва

³Государственный университет по землеустройству, г. Россия, Москва

***Аннотация.** Представлены результаты использования ГИС-технологий и открытых данных дистанционного зондирования Земли для измерения морфометрических характеристик малых рек на примере водосбора реки Казанка, притока Куйбышевского водохранилища. Получены результаты экологической интерпретации индикаторов состояния водосбора, влияющих на деградацию его речной сети, таких как уклоны местности, слабая противозэрозийная стойкость почв, степень сельскохозяйственного использования. Проведена дифференциация водосборов малых притоков р. Казанки по степени риска их деградации. Составлены тематические карты бассейна реки.*

***Ключевые слова.** Речной бассейн, малые реки, цифровая модель рельефа, факторы риска, деградация рек, ГИС-технологии, спутниковая информация.*

Введение

В России более двадцати лет используются геоинформационные технологии в гидрологических исследованиях для создания моделей стока, наводнений, качества воды, прогнозирования и моделирования половодий, а также для решения различных задач управления водными ресурсами как на федеральном, так региональном уровне в границах речного бассейна [4, 5]. Совместное использование ГИС-технологий, цифровых картографических материалов и цифровых моделей рельефа (ЦМР) значительно упрощает и повышает точность получения гидрографических характеристик, а также существенно расширяет возможности использования картографической информации [9]. Чаще всего ГИС используются для изучения крупных речных бассейнов. Вместе с тем, большое значение имеет возможность использования ГИС-технологий для оценки гидрографических характеристик слабоизученных небольших водосборов малых рек, играющих важную роль в формировании стока средних и больших рек. Деградация малых рек в результате интенсивных эрозийно-аккумулятивных процессов как природного, так и антропогенного происхождения провоцирует цепь негативных последствий и формирование экологических рисков в более крупных речных системах и водохранилищах. Важность изучения малых рек, выявление причинно-следственных связей с принимающим их водотоком или водоемом отмечена многими учеными [1,6,10]. Цель данного исследования –

определение экологически значимых индикаторов и дифференциация водосборов притоков р. Казанки по степени их влияния на деградацию речной сети с использованием ГИС-технологий.

Физико-географическая характеристика и экологические проблемы бассейна р. Казанки

Река Казанка – левобережный приток р. Волги, до подтопления Куйбышевским водохранилищем ее длина составляла 172 км. По данным Википедии в настоящее время ее длина 142 км, площадь водосбора 2600 км². По другим данным, соответственно, 136 км и 2789 км² [8]. Река и ее бассейн полностью расположены в пределах республики Татарстан. Современное устье реки находится на территории г. Казани, образуя в результате подпора водохранилища большой залив около 6 км длиной. Средняя глубина реки 0,5-1,5 м, скорость течения - 0,1-0,3 м/сек. Река имеет сульфатный тип воды, обусловленный ее природным состоянием. В настоящее время гидрологическая изученность обеспечивается постоянной работой двух стационарных постов, восемь работают эпизодически и два закрыты в конце 50-х годов прошлого века. Бассейн резко ассиметричен – правая сторона занимает 68% площади, левая -32%. Казанка имеет 9 правобережных и 12 левобережных основных притоков, весь бассейн реки состоит из 137 частных водосборов [8]. Коэффициент извилистости Казанки равен 1.57 (рис.1).



Рис.1. Русло р. Казанки на участке Чулпаново-Чурилино

На территории бассейна Казанки повсеместное распространение имеют карстовые процессы. Лесистость бассейна составляет менее 15 %, основная часть земель используется в сельском хозяйстве. На долю пашен, по разным источникам, приходится от 42 % до 60-75 % площади [2,7,8]. Это является одной из причин высокого стока наносов, который считается выше показателей других регионов Татарстана [8]. Интенсивность почвенной эрозии составляет от 130 до 410 т/км² в год, мутность в реке и ее притоках в многоводные периоды года может достигать значений 2 тыс. мг/л и более [2,7]. Как отмечено в [3], реки Татарстана на современном этапе своего

существования испытывают усиленное антропогенное давление, что приводит к ускорению процессов русловых перестроений, частичному пересыханию и даже полному исчезновению. Интенсивное заиление притоков р. Казанки негативно сказывается на состоянии ее экосистем и способствует деградации всей речной системы. В связи с этим поставленная на первом этапе исследования задача выявления экологической значимости базовых морфометрических характеристик гидрографической сети и водосбора Казанки является весьма актуальной.

Материалы и методы исследования

Особую роль в системных эколого-географических исследованиях экзогенных процессов деградации земель играет анализ рельефа и геолого-геоморфологических условий водосбора. Для малоизученных и неизученных рек в первую очередь необходимо определить морфометрические показатели водосбора и охарактеризовать их экологическую значимость.

Для решения поставленной задачи были использованы:

1. навигационная программа SASPlanet, позволяющая просматривать и загружать карты и снимки высокого разрешения с различных сервисов. В качестве базовой карты для изучения водосборной территории р. Казанки выбрана топографическая карта масштаба 1:500 000 издания 2000 г;

2. данные радиолокационной топографической съемки SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), принадлежащие Геологической службе США (USGS), в растровом изображении которой содержатся отметки высот на исследуемую территорию. Информация была использована для построения цифровой модели рельефа (ЦМР) и карты углов наклона;

3. данные спутника Esri World Imagery для обновления содержания топографической карты,

4. преобразованное изображение картографической и спутниковой информации в геоинформационной системе ArcGIS.

В состав платформы ArcGIS входит дополнительный модуль Spatial Analyst, с помощью которого построена сеть водотоков, выделены границы водосборной территории р. Казанки а также водоразделы частных водосборов. Для построения было использовано SRTM изображение, переведенное в векторное. Содержание разработанной карты «Строение гидрографической сети водосбора р. Казанки» дополнено таблицей со значениями длин притоков и площадей их водосборных территорий.

Переведенное в вектор SRTM изображение также было использовано для построения ЦМР и карты углов наклона местности. ЦМР строится путем создания изолиний рельефа. Карта углов наклона строится по принципу вычисления падения высот в рядом стоящих ячейках ЦМР (рис. 2). Выделено 5 градаций уклонов (в град): меньше 1, 1-2, 2-5, 5-10, больше 10. На основе полученных карт составлена таблица с характеристиками основных притоков реки Казанка по следующим показателям: длина притока, площадь водосбора, общее падение, уклон. Известно, что увеличение уклонов рек способствует увеличению скорости течения в руслах, как следствие, увеличению речного стока и способности к самоочищению. Чем выше скорость течения, тем выше

степень устойчивости реки к деградации. И наоборот – чем ниже скорость течения, тем активнее процессы заиления, зарастания, меандрирования и слабее способности к самоочищению.

Таблица 1

Результаты расчета полного падения малых притоков Казанки и распределения доли площади каждого водосбора по углам наклона

№	Название притоков р. Казанка	Длина реки, км	Высота истока, м	Высота устья, м	Полное падение, м	Уклон м/км
Правобережные						
1	Культестька	13,78	178	114	64	4,6
2	Сухая	2,18	83	55	28	12,8
3	Везинка	20,53	189	90	99	4,8
4	Ия	28,11	189	101	88	3,1
5	Атынка	23,3	169	84	85	3,6
6	Красная	29,63	181	79	102	3,4
7	Солонка	26,51	151	55	96	3,6
8	Шимяковка	27,73	176	73	103	3,7
9	Сула	30,91	179	67	112	3,6
Левобережные						
10	Каменка	5,76	110	55	55	9,5
11	Урмат	2,81	145	81	64	22,8
12	Киндерка	22,27	178	61	117	5,3
13	Нокса	44,65	198	65	133	3,0
14	Кисьмень	38	184	94	90	2,4
Без названия*						
15	А	3,58	156	93	63	17,6
16	Б	6,9	172	90	82	11,9
17	В	2,74	147	101	46	16,8
18	Г	1,82	134	91	43	23,6
19	Д	4,35	127	82	45	10,3
20	Е	1,8	156	88	68	37,40
21	Ж	3	100	75	25	8,3
	Казанка	158,3	180	55	125	0,7

*Притоки, не имеющие название на карте, обозначены буквами алфавита

Расчеты показали, что к рекам с падением русла от 10 до 20 м/км относятся р. Сухая и левобережные безымянные притоки А, Б, В, Д. Значения падений от 20 до 25 м/км имеют р. Урмат и приток Г. Максимальное значение у притока Е - 37,4 м/км. Про эти реки можно сказать, что у них эрозионные процессы преобладают над аккумулятивными, темпы зарастания незначительны, а способность к самоочищению выше средней. Наибольшему риску подвержены притоки с небольшим падением высоты, такие как реки Кисьмень, Ия, Шимяковка, Сула (соответственно 2.4, 3.1, 3.7, 3.6 м/км). Распределение площадей с различными углами уклона по частным водосборам представлено в диаграмме (рис.3), на которой хорошо проявляется специфика их распределения. Дифференциация водосборов малых притоков

по выделению площадей с разными углами уклонов показала, что слабоэрозионные земли с уклоном $<1^\circ$ составляют чуть меньше трети от площади водосборов рек Культеськи, Ия, Урмат, Кисьмесь, безымянных притоков Б, В, Г, Е.

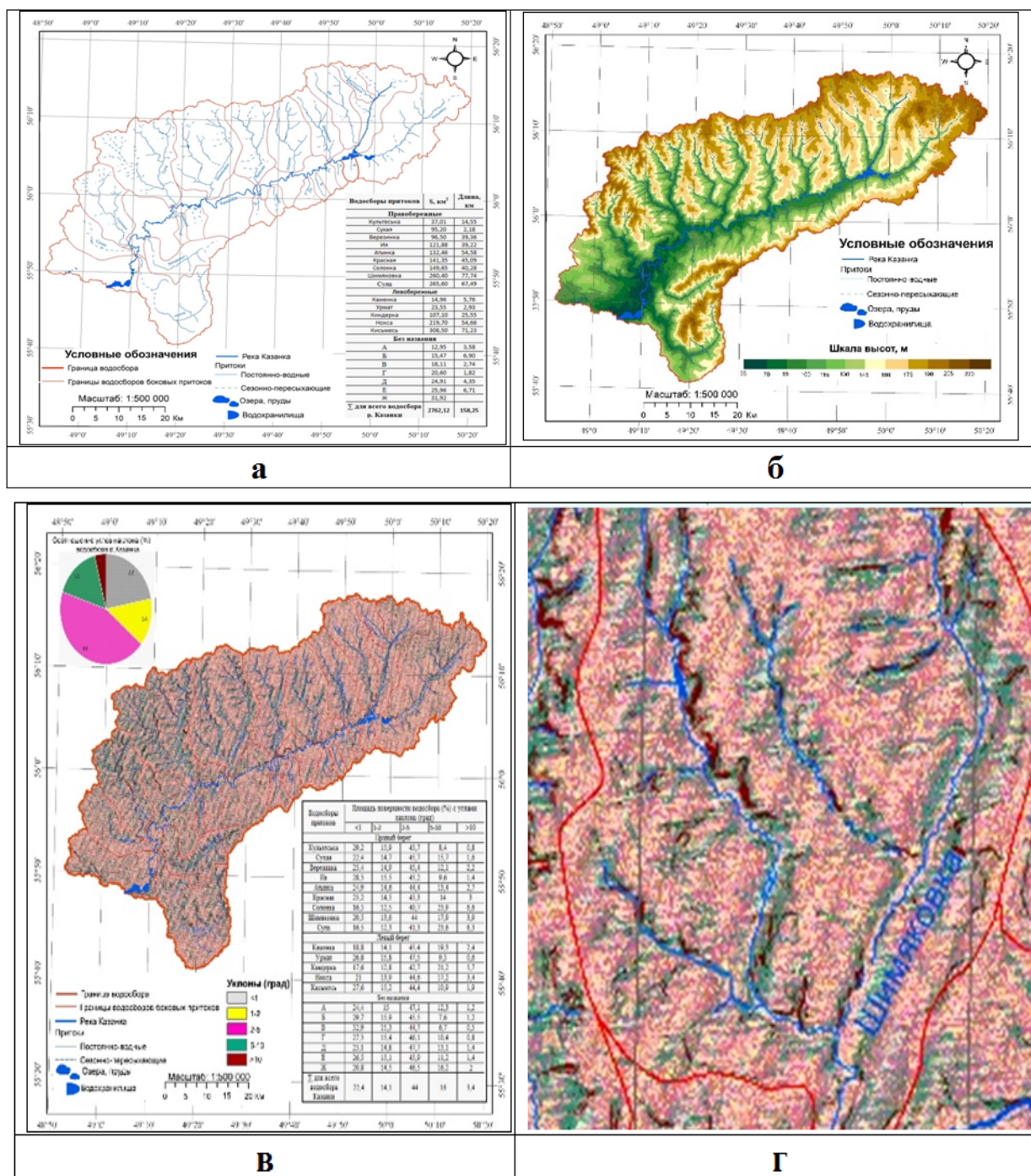


Рис. 2 Базовые карты Бассейна р. Казанки: а- карта строения гидрографической сети; б- цифровая модель рельефа; в – карта углов наклона; г – увеличенный фрагмент карты (водосбор р. Шимьяковка)

Территории с умеренной эрозией с уклонами $1-2^\circ$ практически у всех водосборов находятся в диапазоне 12-16%. Самую большую долю площади (40-46%) составляют территории углами наклона $2-5^\circ$. Сильнее всего эрозионным процессам подвержены водосборы рек Сулы, Солонки и

Киндерки, у которых участки с углами наклона 5-10° и более занимают около 30%.

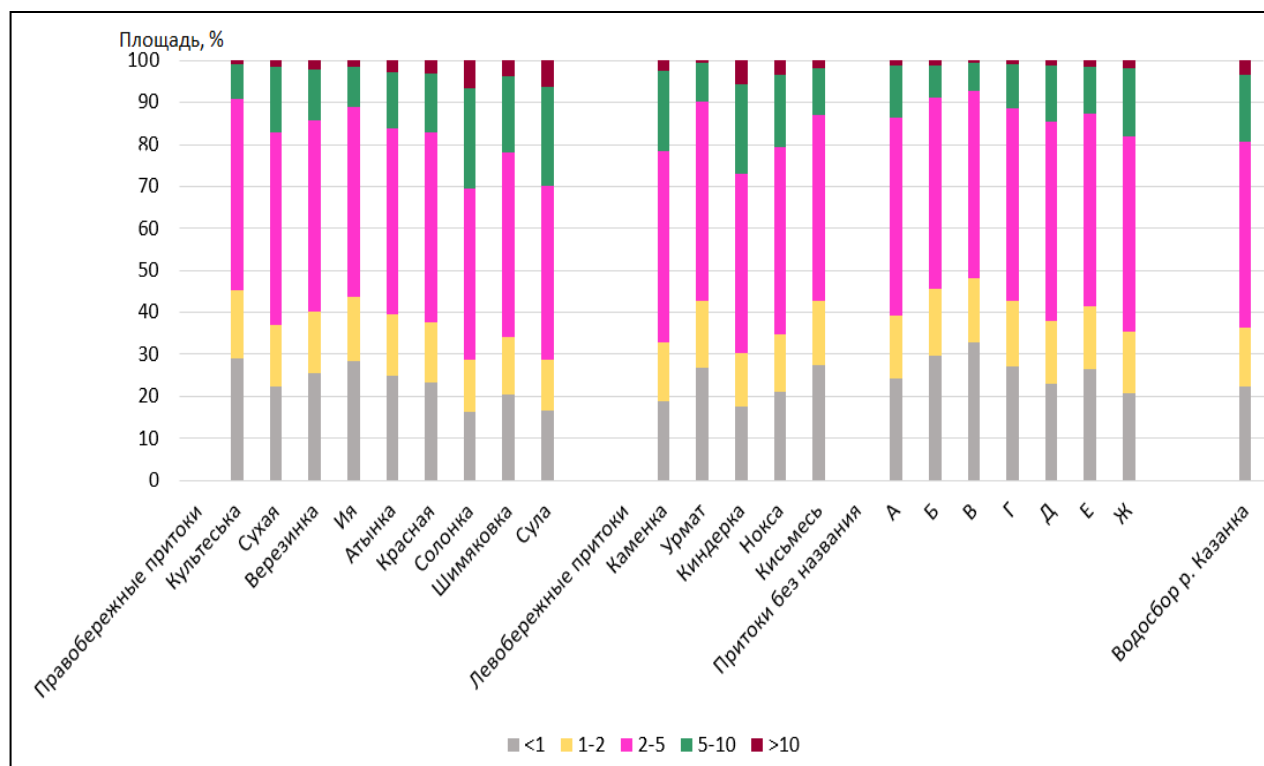


Рис. 3 Диаграмма распределения площадей поверхности с разными уклонами для частных водосборов р. Казанки (безымянные реки обозначаются буквами А, Б...Ж)

Известно [1,6,10], что анализ распаханности водосборов и протяженности речной сети дает возможность определить пространственно-временную взаимосвязь между противоэрозионными свойствами почв, объемом выноса смытой почвы, водным режимом и темпами деградации речной сети. Поэтому на следующем этапе необходимо выполнить выделение сельскохозяйственных земель. Преимущества космической информации, в данном случае, заключаются в том, что на снимках четко дешифрируются пахотные земли, не отображаемые на топографических картах (рис. 5а). Кроме того, спутниковая информация высокого разрешения позволяет визуально выявить зарастающие пашни по наличию на них низкорослой древесной растительности. Также на космических снимках достаточно хорошо видно, что большое количество пашен подвержено эрозии (рис. 4 а,б,в). Для каждой категории пашен, выделяемой на картосхеме, создавался отдельный полигональный слой. По результатам дешифрирования снимков была разработана карта «Распаханность водосборной территории р. Казанки» (рис. 5 б), на которой видно, что сельскохозяйственные земли занимают 51% от водосбора (1394 км²). Большую часть всех пахотных территорий занимают возделываемые пашни – 45 %, из них практически 44 % занимают пашни подверженные эрозии, 1% – не подверженные эрозии и 0,2 % занимают орошаемые земли. Зарастающие невозделываемые пашни занимают 5%. Пашни оказывают самое большое негативное влияние на водосбор Казанки,

для частных водосборов величина пахотных земель меняется от 9% (р. Сухая) до 84% (р. Сула). Степень распаханности большинства водосборов находится в диапазоне 60-75%, что негативно сказывается на качестве речных вод в результате диффузного выноса загрязняющих веществ (удобрений) и приводит к заилению русел рек в результате смыва почвы с пашен в периоды половодья и дождей. Это является одной из основных причин выноса взвесей в количестве от 130 до 410 т/км² в год [8] и служит главным фактором риска деградации рек.



Рис. 4. Фрагмент спутникового изображения сельскохозяйственных земель водосбора р. Казанки: а – профиль 1 -балка с пересыхающим водотоком по тальвегу (1 км), профиль 2 - начальные стадии ручейковой эрозии на пашне (5 км); б, в - увеличенные фрагменты снимка с выделенными профилями

Основными природными факторами, влияющими на развитие эрозионных процессов, являются климат, рельеф, почвообразующие породы и почвы, растительность. Следующим шагом стала разработка карты почвенных типов водосбора (рис. 5в). Для ее создания использована карта почв Российской Федерации, бывш. РСФСР, 1988 г, масштаб 1:2 500 000. Для каждого из типов почв определялось среднее количество гумуса. Чем больше содержание гумуса, тем больше водопроницаемость почвы и как следствие противоэрозионная устойчивость.

Разработка карты типов землепользования (рис. 5 г) позволила выявить основную антропогенную нагрузку на водосбор и оценить долю сохранившиеся естественных объектов. Ненарушенные или слабонарушенные земли, включающие лес, защитные лесополосы и ООПТ, занимают 18 процентов от общей площади водосбора. Сельскохозяйственные земли –

51 процент. Земли поселений составляют 17 процентов от общей площади водосбора.

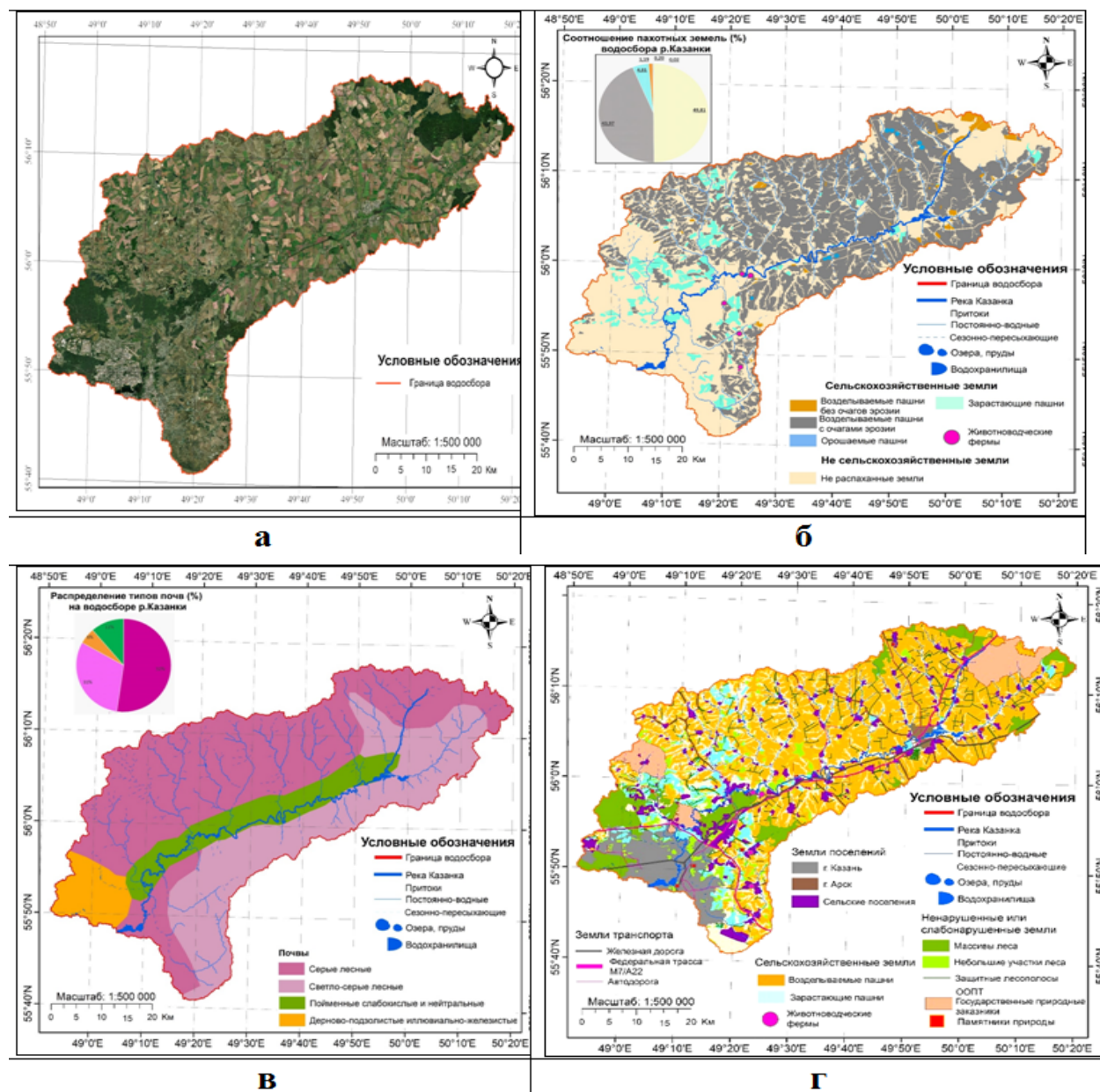


Рис.5. Серия тематических карт масштаба 1:500 000 для обеспечения разработки карты риска деградации речной сети водосбора р. Казанки: а – спутниковая фотокарта; б - карта «Распаханность водосборной территории р. Казанки»; в – карта «Типы почв водосбора Казанки»; г - карта «Типы землепользования водосбора р. Казанки»

Легенда итоговой карты «Риски деградации притоков р. Казанки» (рис. 6) содержит 4 градации типов почв по степени противозерозионной устойчивости и 4 градации риска заиления русел рек в зависимости от уклона реки. На карте видно, что большая часть водосборов боковых притоков Казанки находится в зонах относительно устойчивых и малоустойчивых типов почв с очень высоким риском деградации речных русел и лишь семь левобережных водосборов с общей площадью 116 км² соответствуют минимальному и умеренному риску деградации.

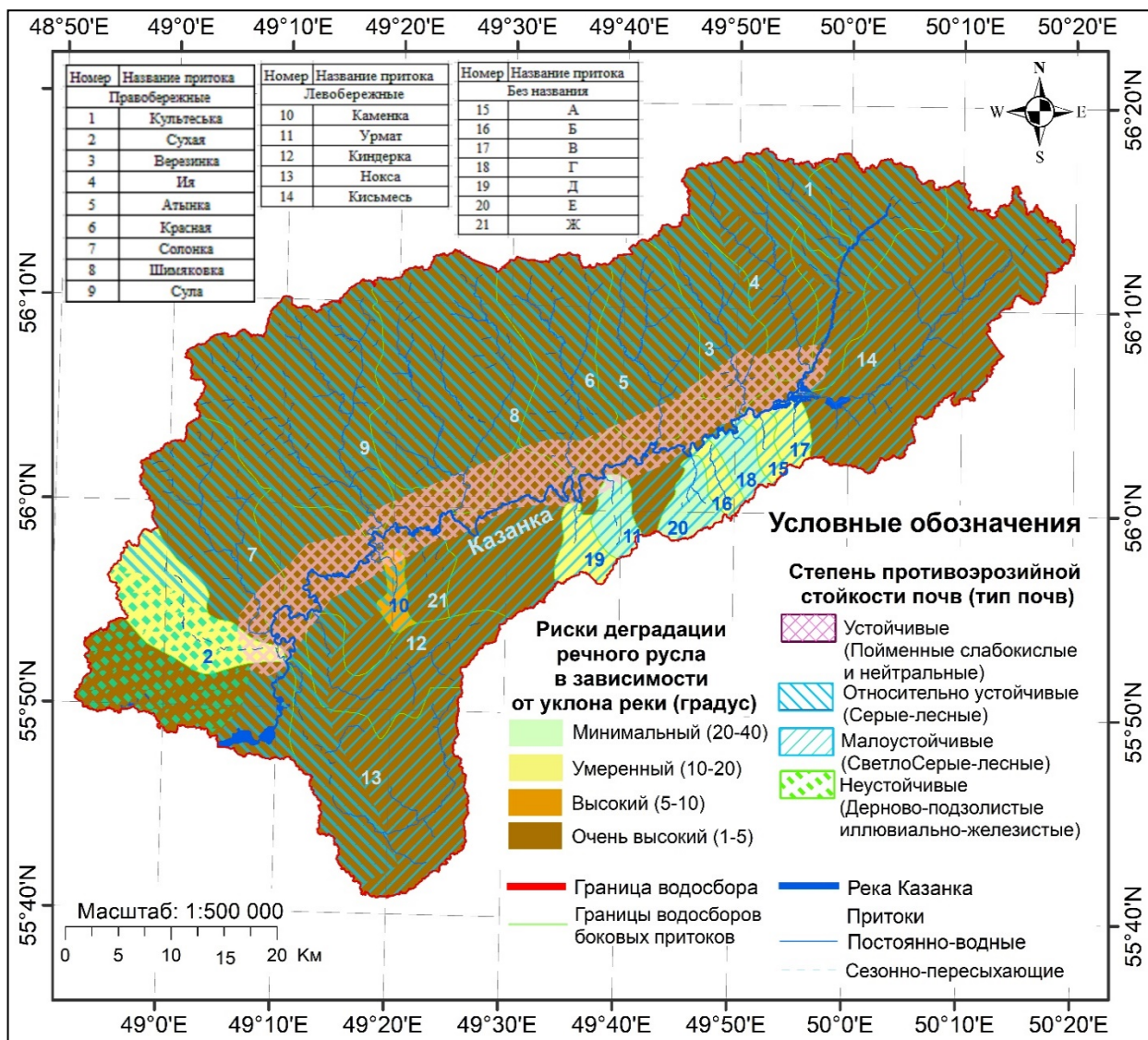


Рис. 6. Карта «Риски деградации притоков р. Казанки» (номера водосборов соответствуют номерам в таблице)

Заключение

Использование ГИС-технологий существенно расширило круг решаемых задач в гидрологии. Разработка базовых и вспомогательных тематических карт позволяет в короткие сроки провести оценку морфометрических характеристик водосбора, оценить влияние суммы негативных факторов на степень риска деградации речных русел в условиях интенсивного хозяйственного землепользования. Полученные результаты могут служить ориентиром при составлении программ по экологической реабилитации водных объектов водосбора реки Казанки, оздоровление которых также скажется и на улучшении состояния ее устья и всего Казанского залива Куйбышевского водохранилища. Точность получаемых результатов может быть существенно повышена при развитии сети стационарных пунктов гидрологических наблюдений и организации регулярных экспедиционных обследований.

Работа выполнена в рамках государственного задания темы № FMWZ-2022-0002 ИВП РАН Министерства науки и высшего образования РФ.

Список литературы

1. Алексеевский Н.И. Малые реки / Россия: социально-экологические водные проблемы. Под научн. ред. А.М. Черняева. РосНИИВХ. Екатеринбург: изд. «Аэрокосмозология». 1999. С.176-213.
2. Вода России. Научно-популярная энциклопедия. Электронный ресурс. Доступно по ссылке: «Вода России» - Казанка (water-rf.ru)..
3. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2021 г». Казань. 2022. 414 с. https://eco.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_3288791.pdf
4. Калинин В.Г., Пьянков С.В. Гидрологическая геоинформационная система «Бассейн Воткинского водохранилища» // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 11. – С. 71-78.
5. Калинин, В.Г. Пьянков С.В. Применение геоинформационных технологий в гидрологических исследованиях. Пермь: Алекс-Пресс, 2010. – 217 с
6. Малые реки России: Использование, регулирование, охрана, методы водохозяйственных расчетов. Свердловск: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1988. 316 с.
7. Минакова Е. А., Латыпова В. З., Яппаров А. Х. Загрязнения речных вод фосфатами в условиях изменения климатических параметров. // Журнал экологии и промышленной безопасности. – 2010. – № 3(47). – С. 55-57.
8. Мозжерин В.И., Ермолаев О.П., Мозжерин В.В. Река Казанка и ее бассейн. Казань: Orange key, 2012. 280 с.
9. Пьянков С.В. Шихов А.Н. Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений: монография. – Пермь. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. 2017. 148 с.
10. Ткачев Б.П., Булатов В.И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы: Аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН. Новосибирск, 2002. 114 с. (Сер. Экология. Вып. 64).

ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА р. ЧЕГЕМ В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ

И.И. Кучменова

ira_kuchmenova@mail.ru

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия, г. Нальчик

Аннотация. В данной статье будут проанализированы многолетние изменения среднегодового стока р.Чегем в верхнем течении в период с 1997 по 2022 гг. За исследуемый период по данным гидрологического поста для р.Чегем – с.Н.Чегем максимальное значения расхода воды зафиксировано в 2005 г., а минимальное – в 2011 г. По классификации Б.Д. Зайкова р.Чегем относятся в тань-шаньскому типу: невысокое растянутое половодье ледникового генезиса, в зимний период – неосложненная паводками межень, обусловленная грунтовым питанием. Внутригодовое изменение величины стока р.Чегем характеризуется сглаженным пиком весенне-летне-осеннего половодья и низкой меженью в течение зимнего периода. Для р.Чегем наибольшая доля годового стока распределяется в период с мая по сентябрь, вследствие преобладания ледникового питания.

Ключевые слова. Река Чегем, расход воды, гидрология, маловодный год, многоводный год.

Малые реки – начальное звено всей гидрологической сети, соответственно, все изменения в их режиме непременно сказываются во всей цепи средних и крупных рек [2]. Река Чегем протекает на территории Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника и является одной из главных рек заповедника, наряду с такими реками как Черек Балкарский и Черек Безенгийский, относящимися к бассейну р. Терек [1].

Река Чегем берет начало на северном склоне Бокового хребта в районе вершин Адырсубаши (4342 м), Тихтенген (4613 м) и Салынантау (4514 м) и впадает в р.Баксан на 33 км от его устья. Площадь бассейна 964 км², длина 91 км. Средний уклон реки 36°, средняя высота водосбора 2250 м.

Долина реки имеет древовидную форму общей длиной 82 км, шириной в истоке 19 км, в средней части (Скалистый хребет) – 15 км и в нижней части (10 км от устья) – 5 км. На севере и западе бассейн реки граничит с бассейном Баксана, на востоке – с бассейнами рек Черек и Шалушка, а на юге реки Ингури.

Гидрографическая сеть развита хорошо, коэффициент густоты речной сети равен 0,5 – 0,6 км/км². В среднем течение он сокращается до 0,3 – 0,5 км/км², а в нижнем – до 0,2 – 0,3 км/км². Преобладают притоки длиной менее 10 км, которых в бассейне 190 общей длиной 434 км. Притоков длиной более 10 км (вместе с составляющими) – 7 общей длиной 83 км. Основные притоки Джылгысу и Джунгусу (табл. 1) [3].

Верховья бассейна Чегема лежат на северном склоне и отрогах Бокового хребта, средняя часть охватывает передовые хребты и обширные котловины

между Боковым – Скалистым и Скалистым – Пастбищным хребтами, а нижняя часть охватывает Кабардинскую наклонную равнину. Соответственно по характеру рельефа, гидрографии и режиму стока территория бассейна делится на два участка – горный и равнинный.

Таблица 1

Сведения об основных притоках р. Чегем

Река	Длина реки, км	Площадь водосбора, км ²
Башиль-Аузусу	12	139
Гара-Аузусу	14	110
Булунгусу	10	44
Джылгысу	13	39
Джунгусу	13	28
Каяарты	11	19

Горный участок охватывает территорию бассейна от истоков до с.Лечикай протяженностью 56 км с учетом рек Гара-Аузусу и Башиль-Аузусу. Составляющие Чегем реки охватывают верховья бассейна длиной 14,6 км и шириной 19 км. Верхняя часть участка представляет собой ледниковую зону почти 5 км с современным оледенением площадью около 50 км². Река Башиль-Аузусу берет начало с ледника Башиль на высоте 2500 м, а Гара-Аузусу из ледника Нижний Кулак на высоте 2500 м.

От слияния рек Гара-Аузусу и Башиль-Аузусу начинается основная часть горного участка бассейна Чегема, протянувшегося до с.Лечинкай на 41,5 км, находящегося в высотах 1820 – 630 м. До устья р.Булунгу долина имеет V-образную форму шириной до 500 м. От устья р.Булунгу до Скалистого хребта она резко расширяется до 1-2 км, это Среднечегемская внутригорная котловина, в которой расположены селения Верхний Чегем, Булунгу и Эльтубе. В Скалистом хребте на протяжении 5 км река течет в ущелье, имеющем местами ширину 30-50 м. Ниже долина расширяется до 1 км и имеет U-образную форму, это Нижнечегемская внутригорная котловина, в которой расположены селения Хуштосырт и Нижний Чегем. В 1,5 км ниже с. Нижний Чегем долина вновь сужается до 500 м и вновь расширяется в районе с.Лечинкай, где заканчивается горный участок бассейна и начинается равнинный.

Пойма в пределах горного участка нередко наблюдается только по одному берегу и иногда прерывается. Ширина ее на большей части 50-80 м, а в отдельных частях (котловинах) 200-250 м. Поверхность поймы галечно-гравелистая, местами загромождена валунами. При паводках и половодьях пойма затопливается на глубину 0,3-0,5 м при обычных и 0,5-0,8 м при значительных [3].

В данной статье будут проанализированы многолетние изменения среднегодового стока р.Чегем в верхнем течении в период с 1997 по 2022 гг. (рис. 1).

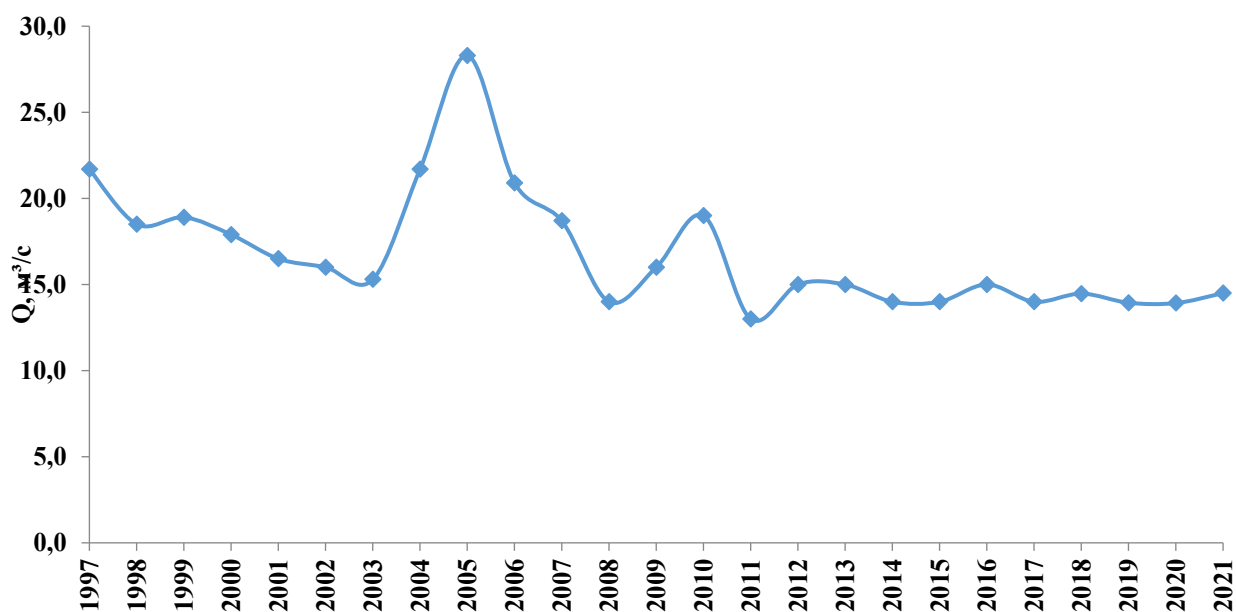


Рис. 1. Изменение среднегодовых расходов воды р.Чегем – с.Н.Чегем в период с 1997 по 2022 гг.

За исследуемый период по данным гидрологического поста для р. Чегем – с. Н. Чегем максимальное значения расхода воды зафиксировано в 2005 г., а минимальное – в 2011 г. (рис. 2).

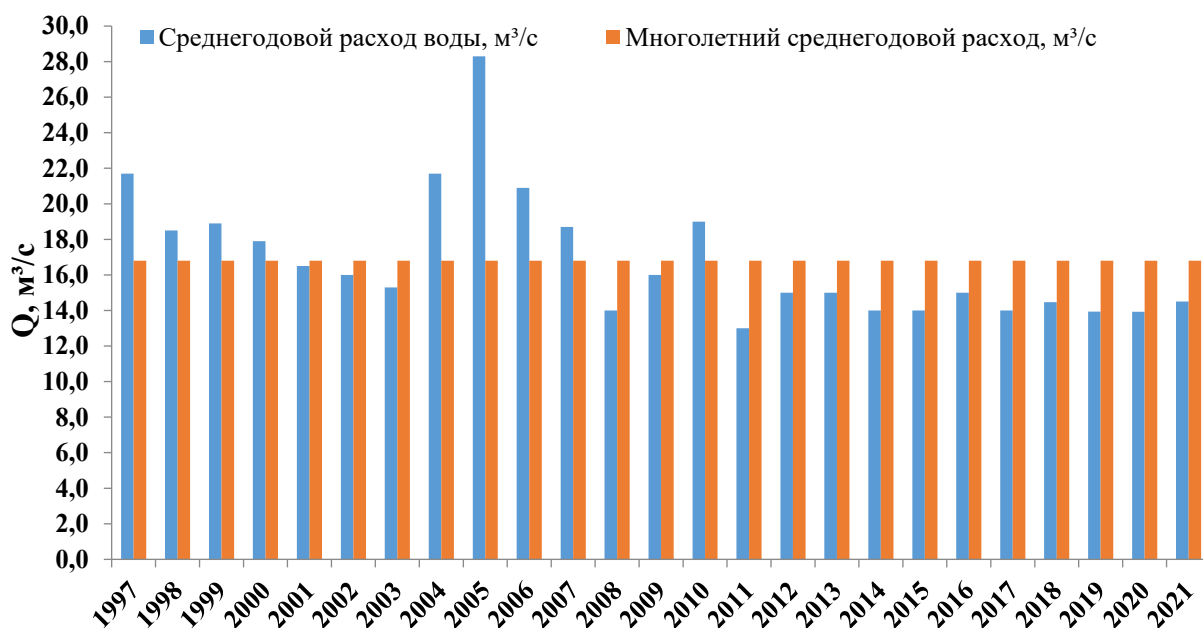


Рис. 2. Соотношение показателей среднегодовых и многолетних среднегодовых расходов воды р.Чегем – с.Н.Чегем в период с 1997 по 2022 гг.

По классификации Б.Д. Зайкова [4] р. Чегем относится в тань-шаньскому типу: невысокое растянутое половодье ледникового генезиса, в зимний период – неосложненная паводками межень, обусловленная грунтовым питанием (рис.3).

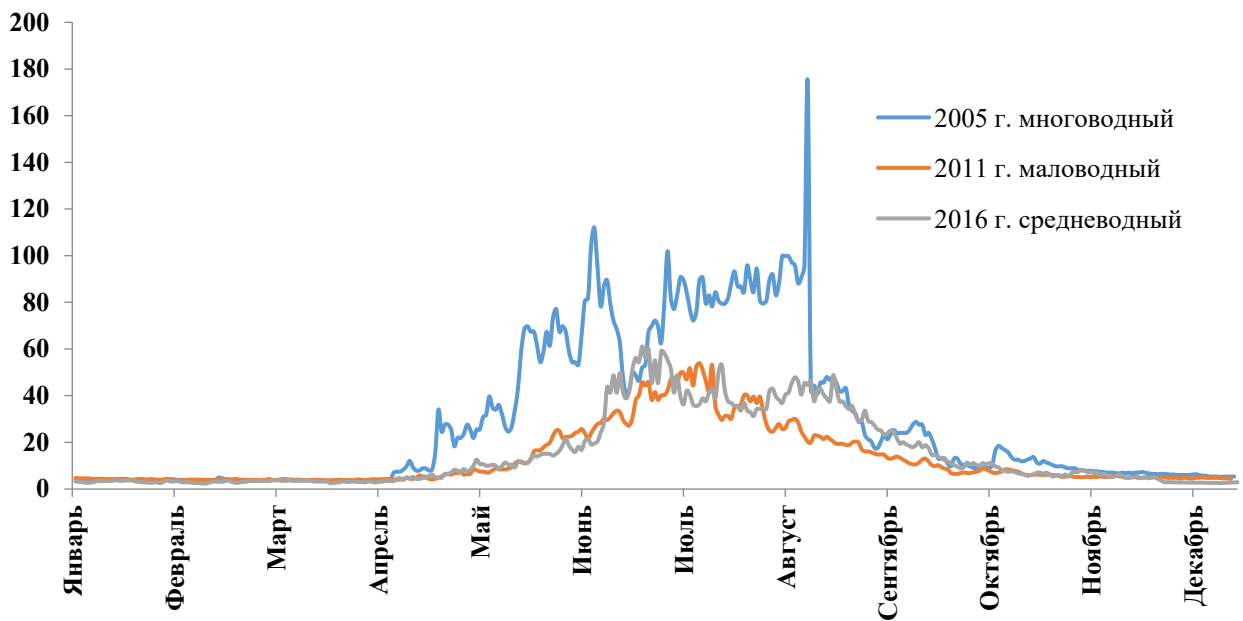


Рис. 3. Гидрографы р. Чегем – с. Н.Чегем

Внутригодовое изменение величины стока р.Чегем характеризуется сглаженным пиком весенне-летне-осеннего половодья и низкой меженью в течение зимнего периода (рис. 4).

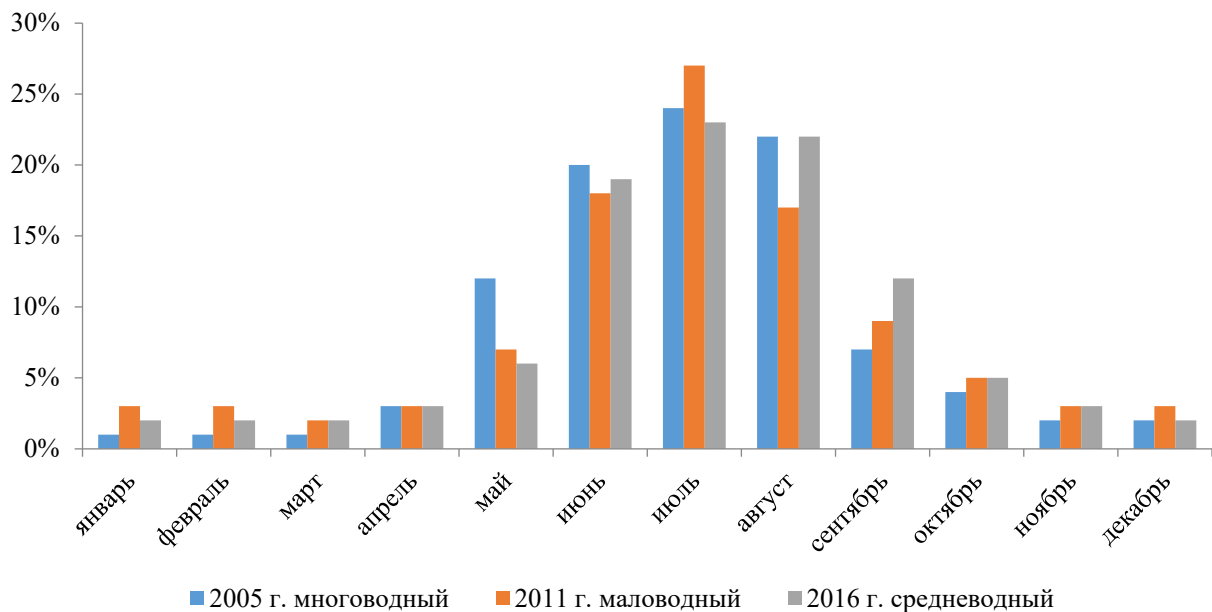


Рис. 4. График распределения годового стока по месяцам для р. Чегем – с. Н.Чегем.

Максимальная среднемесячная величина стока в 2005 г. в наиболее многоводном году составила $82,3 \text{ м}^3/\text{с}$ (июль), в то время как максимальное значение среднемесячного стока в маловодный 2011 г. – $42 \text{ м}^3/\text{с}$ (июль). Минимальное значение среднемесячного стока в течение зимней межени достигло $3 \text{ м}^3/\text{с}$ в феврале. Величина колебаний среднемесячного стока в 2005 г. составила $78,5 \text{ м}^3/\text{с}$, в 2011 г. – $39 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для р. Чегем наибольшая доля годового стока распределяется в период с мая по сентябрь, вследствие преобладания ледникового питания (рис. 4).

Список литературы

1. Газаев Х-М.М., Кучменова И.И., Атабиева Ф.А. Многолетние изменения расходов воды и расчет основных статистических характеристик стока р.Баксан в горной и предгорной части // Устойчивое развитие горных территорий, 2016. № 4 (Т.8).

2. Калинин Г. П. Проблемы глобальной гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. - 378 с.

3. Панов В.Д. Река Терек. Гидрография и режим стока. / В.Д. Панов, А.А. Базелюк, П.М. Лурье//Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2015. – 607 с.

4. Ресурсы поверхностных вод СССР». Т. 8. Северный Кавказ. Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 46 с.

**ОЦЕНКА СЕЛЕВОЙ И ПАВОДКОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В КАРАЧАЕВО- ЧЕРКЕССКОЙ И КАБАРДИНО- БАЛКАРСКОЙ
РЕСПУБЛИКАХ ЗА ПЕРИОД С 2015 ПО 2022 ГОДЫ**

¹Е.В. Кюль, ¹М.М. Гедуева, ²Н.В. Кондратьева, ¹А.Л. Дроздов,
³З.Р. Байдаева

*elenakyul@mail.ru; m.gyaurgieva@mail.ru; kondratyeva_nat@mail.ru;
anton.drozdov26@yandex.ru; zulia78-78@mail.ru*

¹Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Центр географических исследований, Россия, г. Нальчик

²Высокогорный геофизический институт, Россия, г. Нальчик

³Национальный парк «Приэльбрусье», Россия, с. Эльбрус

Аннотация. В работе рассмотрены проявления опасных природных процессов и их последствия на территориях двух республик – Кабардино-Балкарской и Карачаево-Черкесской Республик за период с 2015 по 2022 годы. На основе собранного материала проведен анализ проявлений ОПП и составлены карты-схемы.

Ключевые слова. опасные природные процессы, геосистема, мониторинг, наносоводные паводки, селевые процессы, атмосферные (ливневые) осадки, GPS-съемка, карта-схема.

Введение. В настоящее время на северном склоне Большого Кавказа и, в частности, на территориях Кабардино-Балкарской (КБР) и Карачаево-Черкесской (КЧР) Республик наблюдается активизация опасных природных процессов (ОПП) [1]. Поэтому оценка влияния ОПП на трансформацию геосистем становится *актуальной и приоритетной задачей*.

При этом масштабные и долгосрочные работы на исследуемой территории за последние годы по данной проблеме практически не проводятся. Ряд работ по селевой тематике, вышедших за этот период, в большинстве случаев в большей мере основывался на данных 80-х-90-х годов XX века, в т.ч. и Кадастр селевой опасности Юга Европейской части России [2]. Поэтому Центр географических исследований Кабардино-Балкарского научного центра РАН (КБНЦ РАН), начиная с 2011 года, наряду с фундаментальными исследованиями динамики геосистем, возобновил геоэкологический мониторинг ОПП, в частности, селей и наносоводных паводков, который был практически полностью прекращен в 90-годы XX века. Ряд подобных статей вышел по некоторым избранным геосистемам северного склона Большого Кавказа [3, 4].

Материалы и методы исследований. В статье приведены данные как анализа схода ОПП, взятые из электронных источников, так и данные, полученные в ходе полевых исследований. При этом сбор и анализ данных при мониторинге ОПП проводился по методике, разработанной авторами [5,6].

Результаты исследований. Необходимость проведения полевых работ по мониторингу за проявлениями опасных природных процессов, подтверждается постоянно поступающими в СМИ оперативными сводками о них. Наиболее серьёзные последствия, вызванные ливневыми осадками, наблюдались в 2015, 2018-2022 гг. (таблица 1).

Таблица 1

Сели и паводки на территории КЧР за период с 2015 по 2022 гг.

№	Административный район	Автодорога	Бассейн реки	ОПП	Дата проявления ОПП	Последствия схода ОПП. [7]
1	2	3	4	5	6	7
1	Малокарачаевский			Паводок	07.06.22	Подтоплено 50 придворовых участков, в 19 домов зашла вода
2	Малокарачаевский	«Пятигорск - Карачаевск»	Подкумок	Сель	07.06.22	Поврежден участок дороги на 71-м километре «Пятигорск-Карачаевск»
3	Карачаевский городской округ	«Черкесск – Домбай»		Сель	05.06.19	Занос автодороги на 77 км трассы «Черкесск-Домбай». Объем селя около 30 м ³
4	Зеленчукский		Бежгон	Паводок	18.06.18	Потоком воды смыт мост через реку Бежгон
5	Карачаевский городской округ		Аманауз	Паводок	05.07.17	Подтоплен детский лагерь «Адель», эвакуировано 80 человек
6	Зеленчукский	Кубань - Худес - Бичесын	Подорванка	Паводок	18.06.16	Разрушен мост через реку Подорванка
7	Зеленчукский			Сель	01.07.15	Размыты дороги, затоплены приусадебные участки. Один человек погиб, двое получили травмы
8	Урупский			Сель	01.07.15	

Сразу в нескольких районах КЧР мощные грязевые потоки с камнями и деревьями, вырванными с корнем, нарушили движение по местным трассам и по федеральной трассе «Черкесск-Домбай».

Например, на территории Карачаево-Черкесской Республики, 1 июля 2015 года в Зеленчукском и Урупском районах прошли многочисленные селевые потоки, причиной которых стали сильные дожди. Стихия нанесла мощный удар по населенным пунктам в том числе. Размыты дороги, затоплены приусадебные участки. Один человек погиб, двое получили травмы (рис. 1) [6,7].



Рис. 1. Последствия схода селей в Зеленчукском и Урупском районах КЧР 01.07.2015 г. [7]

В Урупском, Зеленчукском и Карачаевском районах 16-17 июня 2018 года сошли сели. В станице Курджиново подтопленными оказались 110 подворий, грязевые потоки перекрыли дорогу Карачаевск-Учкулан. Размыты дамба на реке Хуса в станице Зеленчукской и подход к пешеходному переходу через реку Бежгон в станице Сторожевая. В селе Хасаут-Греческий сошел сель. В станице Преградной оказались подтопленными более 500 домовладений, школа и детский сад. Сель, сошедший между аулами Верхняя Теберда, и Нижняя Теберда перекрыл около 100 м дороги (рис. 2-4).



Рис. 2-4. Сход селя по левому притоку реки Теберда на федеральную трассу «Черкесск-Домбай» 16.06.2018 г. [7].

ОПП делают участки земель непригодными для ведения народного хозяйства. В связи с этим, летом 2019 года, после прохождения ливневых осадков на исследуемых территориях, нами были обследованы некоторые бассейны рек и прилегающие к ним населенные пункты территорий КБР и КЧР. По результатам полевых выездов, была составлена таблица ОПП с фотоматериалом и привязкой их по координатам, что дает нам возможность ведения мониторинга на данных участках (приведена часть) (таблица 2).

Таблица 2

Участки проявления опасных природных процессов на территории КЧР по данным ЦГИ

№ точки	Привязка	Координаты		Отметки	Высота
		N	E		
Карачаево-Черкесская Республика					
564	Теберда. Место выхода селя на дорогу.  Рис.5	N43° 38.814'	E41° 53.041'	± 4м	1036 м
930	Учкулан. Обрушенный мост.  Рис.6	N43° 27.571'	E42° 05.878'	± 2м	1362 м

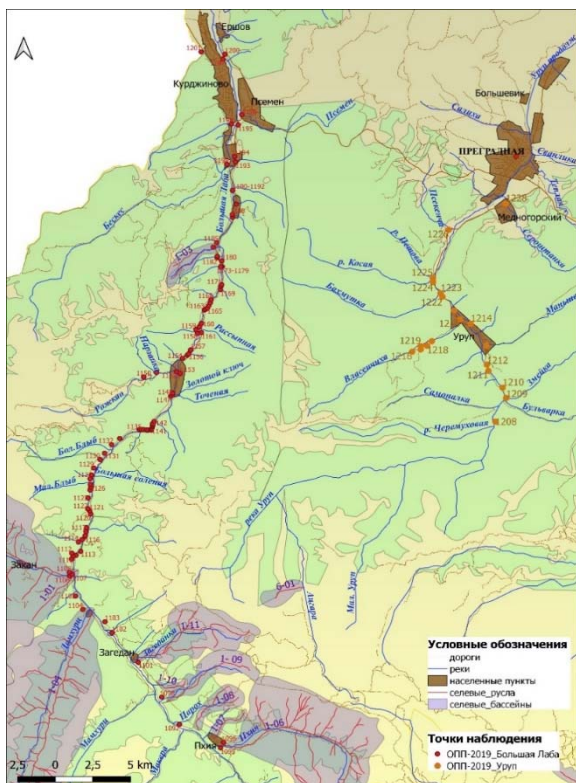


Рис. 7. Карта-схема фактической подверженности ОПП линейных НХО по бассейнам рек Большая Лаба и Уруп (КЧР)

Также, по результатам полевых выездов, составлены карты-схемы, с нанесением GPS-точек (например, рис. 7).

Бассейн реки Большая Лаба. Правый борт. Грунтовая дорога ниже устья р. Пхия находится в аварийном состоянии. В местах пересечения дороги ручьями (водоводы) фиксируются заносы и размыв автодороги. Деревянный мост через р. Загеданка в аварийном состоянии - опоры моста забиты карчем, берега размывы. Пойменный лес затоплен. Видны следы схода микроселей. Грунтовая автодорога по левому борту р. Большая Лаба от с. Дамхурц до пос. Рожжао пострадала от схода ливней значительно сильнее. В бассейне р. Дамхурц сошли сели объемом максимального выноса более 50 000 м³ (разрушен деревянный мост).

Ниже кордона Карапыр в районе ручья, левого притока р. Большая Лаба, наблюдается занос и размыв автодороги. По всему левому борту в результате поверхностного смыва повреждено полотно автодороги (2 оползневых массива, ОМ). В бассейне р. Закан видны свежие селевые отложения. Мост через р. Закан находится в аварийном состоянии. В местах пересечения автодороги ручьями (точки наблюдения 1110, 1114, 1127) полотно размыто полностью (видны следы подсыпки). Выше пос. Рожжао напротив моста конус селевого выноса со свежими селевыми отложениями в устье правого притока р. Большая Лаба. Мост в аварийном состоянии (размыв берегов и подмыв опор моста). Бассейн р. Рожжао, левого притока р. Большая Лаба, также является селеносным: следы схода микроселей (подмыв и обрушение берегов). Ниже пос. Рожжао наблюдается селевой конус выноса в устье правого притока р. Большая Лаба. Русло реки разделено на 3 ветви (под полотном автодороги расположены селевые лотки, забитые свежими селевыми отложениями, возможный объем более 50 000 м³). В результате схода селя по правому склону (точка наблюдения 1161) образовался ОМ. На всем протяжении автодороги по правому борту (точки наблюдения 1162-1172) наблюдаются следы паводка (полотно частично находится на уровне реки, местами было затоплено и занесено). Видны следы расчисток, пойменный лес подтоплен. В результате по правому склону образовался ряд ОМ (2).

Левый борт р. Большая Лаба. Ниже (точки наблюдения 1173-1179) автодорога пересекает селевой конус выноса в устье правого притока р. Большая Лаба и уходит на левый борт. В пос. Азиатский (выше посёлка, в самом посёлке и ниже посёлка) по правым притокам сошли маломощные сели. В районе с Курджиново, правобережная часть (точка наблюдения 1195) из-за низкого уровня полотна автодороги произошло подтопление участка длиной 50 м. В районе п. Псемен (р. Псеменка, правый приток р. Большая Лаба) видны следы паводка (размыв берегов и подмыв опор моста). В левобережной части с. Курджиново в бассейне р. Бескес, левого притока р. Большая Лаба свежие селевые отложения в приустьевой части (по левому склону сформирована оползневая зона, в пределах которой оказались жилые постройки и часть автодороги).

В целом, можно сделать *вывод*, что бассейн р. Большая Лаба характеризуется широким развитием ОПП. В высокогорной части в верховьях развиты нивально-гляциальные процессы. Ведущим же ОПП является селевой процесс. Практически все крупные притоки Большой Лабы селеносны. Подпитка селей идет не только из-за схода лавин, но из-за широкого развития обвально-осыпных и реже оползневых процессов, которые зачастую носят антропогенный характер. Пик селевой активности попадает на летнее время (июль месяц). Сели и наносоводные паводки, в основном, дождевого генезиса. Из-за хорошей освоенности территории в зону действия ОПП попадают практически все площадные и линейные хозяйственные объекты.

Бассейн реки Уруп. В районе Форелевого хозяйства по правому притоку р. Уруп фиксируются размыв берегов и подтопление пойменного леса. Ниже на р. Себельдинка, правом притоке р. Уруп, на старом конусе выноса в устье реки видны свежие селевые отложения (грунтовая дорога занесена и размыта). Мост через р. Уруп в аварийном состоянии (размыв берегов и подмыв опор моста). По левому борту р. Уруп, в зоне действия ОПП кроме автодороги находится здание Урупского ГОК (шахта) и горняцкий поселок. В бассейне р. Власенчихи, левого притока р. Уруп, (штольни и очистные сооружения с промплощадкой) в результате горнодобывающей деятельности сформирована антропогенная зона (ряд теногенных ландшафтов) с развитием просадочных процессов. На всех левых притоках наблюдаются следы паводка (размыв берегов, занос автодроги). Мост через р. Уруп (точка наблюдения 1226) в аварийном состоянии. В русле реки отмечаются свежие селевые отложения. На р. Уруп и его правом притоке, р. Сероштанка наблюдаются свежие селевые отложения. Идет активизация береговой эрозии (размыв берегов). Пойменные леса из-за подъема уровня воды в реке подтоплены. По левому борту р. Уруп, ниже посёлка Медногорский сформирована антропогенная зона, а именно: расположено хвостохранилище, - которое находится на стадии рекультивации.

Можно сделать *вывод*, что ведущим процессом в бассейне р. Уруп является селевой процесс. Сели - дождевого и реже антропогенного генезиса (в пределах антропогенных зон). Подпиткой для селей служат

многочисленные антропогенные оползневые и обвально-осыпные массивы, сформированные горнодобывающей деятельностью. Активизация и зачастую связана с просадочными процессами, которые проявляются в местах расположения объектов Урупского ГОК.

На территории Кабардино-Балкарской Республики (КБР) за рассматриваемый период времени также как и в КЧР наблюдались разного рода проявления ОПП (таблица 3).

Таблица 3

Сели и паводки на территории КБР за период с 2015 по 2022 гг.

№	Административный район	Автодорога	Бассейн реки	ОПП	Дата проявления ОПП	Последствия схода ОПП. [7]
1	2	3	4	5	6	7
1	Зольский	«Кисловодск – Долина Нарзанов – Джилысу-Эльбрус»	Малка	Сель	05.10.22	На 59-м километре занос дороги «Кисловодск - Долина Нарзанов - Джилысу-Эльбрус»
3	Эльбрусский	Прохладный – Баксан - Эльбрус	Баксан	Сель	05.08.22	Ущерба нет
4	Черекский		Черек Безенгийский	Сель	01.08.21	Занос дороги к альплагерю «Безенги»
5	Черекский	«Урвань – Верх-няя Балкария - Уштулу»		Сель	24.07.19	Занос селевыми массами дороги на 65-м км
6	Урванский	«Нижний Черек - Старый Черек»	Новый Черек	Паводок	18.06.19	Между сс. Нижний и Старый Черек подмыв дороги и частичное ее обрушение. В с. Псыкод поврежден мост через р. Новый Черек. Подтоплены жилые дома и более 100 гектаров сельхозугодий. Угроза разрушения дамбы.
7	Эльбрусский	А-158«Прохладный-Азау»	Баксан	Наводнение	05.07.18	Размыто 12 участков дороги, обрушены четыре моста, несколько опор ЛЭП. Поврежден участок газопровода
8	Урванский	«Нарткала – Озрек – Старый Урух»		Паводок	13.01.17	Разрушены участок дороги между Нарткалой и Старым Урухом и дамба на р. Черек
9	Эльбрусский	А-158 «Прохладный-Азау»	Адылсу, Баксан	Сель	01.09.2017	Прорыв озера Башкара. Разрушение автодорог. Имеются человеческие жертвы
10	Черекский	«Кара-Су – Безенги»		Сель	24.06.16	Занос дороги между сёлами Карасу и Безенги и приусадебных участков с. Карасу
12	Эльбрусский	«Баксан-Азау»		Сель	25.06.15	Сель в урочища Суу-кьош перекрыл дорогу. Объем селевых выносов - 100-120 тыс. м ³
13	Зольский		Золка	Паводок	30.05.15	Подтоплены сс. Шордаково и Кичмалка, 2 моста повреждены. В зоне подтопления -несколько частных домовладений. Разрушены мосты между сс. Октябрьское и Шордаково и внутри Шордаково. Поврежден мост между сс. Светловодское и Октябрьское

В ущелье Черек Безенгийский весной 2016 года во время проведения полевых обследований были зафиксированы селевые потоки малых и средних объемов, в первую очередь, левый приток реки Карасу в районе одноименного села (рис. 8-9).



Рис. 8-9. Левый приток реки Карасу без названия в районе села Карасу (снимок слева - март 2016 г.), (снимок справа – после схода селя 24.06.2016 г.). Фото Гедуевой М.М.

Обследования с инструментальными замерами показывают, что поток сформировался в результате прохождения ливней накануне, за счет оползания участка склона по правому берегу вниз по течению выше села Карасу на 1000 м. Объемы отложенного материала- 120-150 тыс. м³. Селевой массой были занесены приусадебные участки, частично разрушены хозяйственные постройки. После схода селевого потока было запланировано строительство селепропускного лотка по данному руслу.

Также, периодически селевыми массами заносится и размывается несколько участков автодороги «Баксан-Азау». Микросели сходят по временным водотокам и ручьям практически ежегодно и заносят федеральную автомобильную дорогу Баксан-Азау (например, рис.10-11).



Рис. 10-11. Отложения после сходов микроселей по временному водотоку ливневого происхождения выше АЗС в пос. Тегенekli. Фото Кюль Е.В. 2017г.

1 сентября 2017 года образовался *катастрофический сель* по рекам Адылсу и Баксан в результате прорыва озера Башкара. Причиной прорыва явились аномальные ливневые дожди, прошедшие накануне и в ночь с 31 августа на 1 сентября в ущелье реки Адылсу, которые и размывли ледово-моренную перемычку. Из озера было сброшено до 1 млн. м³ воды. Падение уровня воды в озере — 22-25 метров. По данным автоматической метеостанции, установленной на базе МГУ «Джанкуат», с 28 августа по

1 сентября выпало 200 мм осадков, из них более 100 мм — после 20 часов 31 августа (месячная норма в августе - около 80 мм). Этот сель можно отнести к смешанному или гляцио-ливневому типу.



Рис. 12. Последствия прорыва озера и схода селевого потока в ущелье реки Адылсу. Фото Джапшуева Д.Р.

В результате разрушены 3 участка дороги в ущелье Адылсу и на самой территории базы «Джантуган», где снесено восемь жилых помещений- т.н. «бочек». Сель смыл семь участков дороги А-158 «Прохладный-Азау», общей протяженностью 3,3 км. Разрушены четыре моста через реку Баксан, подмыты опоры и подрезаны габионы моста выше поселка Нейтрино и в районе села Верхний Баксан. Погибло три человека.

Выводы. Селевые и паводковые процессы на территориях КЧР и КБР отличаются своими характеристиками, а именно условиями образования, объемами потоков и т.д. В отличие от КБР на территории КЧР, к примеру, меньше абсолютные высоты, наблюдается также большая пологость склонов и их хорошая залесённость и, во-вторых, значительно меньшие масштабы современного оледенения бассейна Кубани по сравнению с бассейном Терека. Также важно отметить, что в горных районах КБР большую опасность представляют прорывные ледниковые озера, часто являющимися толчком для формирования селевого или паводкового потока катастрофической силы, тогда как для территории КЧР в большей степени эти процессы имеют дождевой, ливневый генезис. Одним из наиболее селеактивных районов Карачаево-Черкесской Республики является бассейн реки Теберда, в том числе ее истоки. В верховьях Теберды расположены: известный курортный пос. Домбай, альплагерь «Алибек», канатные дороги и другие объекты рекреации, часть из которых находится в зоне воздействия селей. Для территории КБР же, наиболее катастрофические и частые проявления ОПП регистрируются в бассейне реки Баксан.

Список литературы

1. Геоэкологические исследования на территории Кабардино-Балкарской Республики в период с 2012 по 2018 годы // Пространственные закономерности образования опасных экзогенных процессов. – Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН. – 2019. – Т. 1. – 173 с.
2. Кондратьева Н.В., Аджиев А.Х., Беккиев М.Ю. [и др.] Кадастр селевой опасности Юга Европейской части России. – М.: Н.: Феория, – 2015. – 148 с. – ISBN 978-5-905770-73-9. – EDN VHKUJH
3. Kyul E. V., Kondratyeva N. V., Gedueva M. M., Dzhappuev D. R. Results of monitoring of hazardous natural processes in the Belaya river basin // Russian Journal of Earth Sciences. – 2022. – №. 5. – Pp. 1-6. DOI:<https://doi.org/10.2205/2022ES01SI05>(Date of access 23.12.2022).
4. Кюль Е.В., Гедуева М.М., Джапшуев Д.Р., Хутуев А.М., Дроздов А.Л. Мониторинг селевых процессов в бассейне реки Самур // III Международная научно-практическая

конференция «Современные проблемы биологии и экологии», посвящённая 80-летию со дня рождения Ш. И. Исмаилова. – 2021. – г. Махачкала. – С. 304-308.

5. Кюль Е.В., Борисова Н.А. Геоэкологический мониторинг: создание мониторинговой сети по результатам инвентаризации и паспортизации // Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем: Материалы III Всер. конфер., посвящённой 100-летию ЮФУ. – Т.1. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, – 2015. – С. 145-149.

6. Кюль Е.В., Канкулова Л.И., Езаов А.К. Теоретические основы геоэкологического мониторинга горных геосистем // Устойчивое развитие горных территорий. – 2019. – Т. 11. – № 1(39). DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-1-36-43. – С. 36-43.

7. Кюль Е.В., Корчагина Е.А., Гедуева М.М., Атаев З.В., Джаппуев Д.Р., Хутуев А.М., Дроздов А.Л. Исследование влияния освоённости территории северного склона Большого Кавказа на активизацию опасных природных процессов при помощи ГИС-технологий (промежуточный) // Отчет о НИР. – Фонды ЦГИ КБНЦ РАН. – 2022. – 148 с.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛАНДШАФТОВ АРИДНЫХ КОТЛОВИН КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Е.В. Кюль, Х.Ю. Гузиев, М.М. Гедуева, Е.А. Корчагина, З.С. Нирова
elenakuyul@mail.ru; husei@mail.ru; m.gyaurgieva@mail.ru; helena.a.k@mail.ru;
nirova1998@gmail.com;

*Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Центр географических
исследований, Россия, г. Нальчик*

Аннотация. В работе дана характеристика состояния растительности, в частности, ксерофитной, в т.н. аридных котловинах северного склона Большого Кавказа (на примере Северо-Юрской депрессии, бассейн р. Баксан, Кабардино - Балкарская Республика) с учётом климата. На основе предварительного анализа уязвимости покрытия этих территорий к изменениям до 2050 года обозначены подходы к их экологическому планированию для выделения, в дальнейшем, участков под особо охраняемые природные территории.

Ключевые слова. Ландшафт, аридные котловины, ксерофиты, биоценоз, экологическое планирование, особо охраняемые природные территории.

Введение. В настоящее время в связи с изменением природно-климатических условий и бурным освоением рекреационных ресурсов на северном склоне Большого Кавказа наблюдается значительная трансформация горных ландшафтов. Немаловажную роль в этом процессе играют и опасные природные процессы (ОПП), которые иногда практически полностью меняют структуру ландшафта, создавая т.н. лавинные, селевые ландшафты и др. [2]. Поэтому изучение трансформации ландшафтов под воздействием природных и антропогенных факторов становится на данном этапе *актуальной и приоритетной* задачей.

Так как в настоящее время наблюдается значительная трансформация ландшафтов, что связано и с активизацией ОПП, и с увеличением антропогенной нагрузки на ландшафт, Центр географических исследований Кабардино-Балкарского научного центра РАН (КБНЦ РАН), начиная с 2011 года, наряду с фундаментальными исследованиями динамики геосистем, ведёт ландшафтный покомпонентный мониторинг (рельеф с учётом ОПП, растительность, почвы и др.), который был практически полностью прекращен в 90-годы XX века. Ряд подобных статей вышел по некоторым избранным геосистемам северного склона Большого Кавказа [10, 15].

Очень хорошо прослеживается такая трансформация в горных степных ландшафтах. На Северном Кавказе горные степи развиты, в основном, в межгорных депрессиях, например, таких, как Северо-Юрская, которые речными долинами разбиты на ряд т.н. аридных котловин.

Материалы и методы исследований. В статье приведены данные как анализа научных и фондовых материалов, так и данные, полученные в ходе полевых исследований. При этом сбор и анализ данных по растительности с учётом ОПП при мониторинге проводился по методике, разработанной авторами [2, 8, 9].

Природно-климатические особенности аридных котловин. Котловины распределены равномерно в пределах внутригорных структурно-эрозионных депрессий, таких, например, как Северо-Юрская (в статье рассматривается ее участок на территории Кабардино-Балкарской Республики или КБР) [1].

Северо-Юрская депрессия является широкой межгорной котловиной, отделенной от Скалистого хребта Передовым (бассейны рек Малка и Баксан) и Боковым (бассейны рек Чегем и Черек) хребтами. *Морфоструктура Северо-Юрской депрессии* это область умеренно расчлененного литоскульптурного рельефа. Здесь распространены глинистые сланцы, песчаники нижнего и среднего мела, известняки, мергели и доломиты верхней юры. При этом и широко развиты сейсмогравитационные, обвально-оползневые, осыпные и древнеледниковые формы. Пространственное положение морфоструктуры тесно взаимосвязано с тектонической активностью, структурными особенностями подстилающего ее кристаллического фундамента. Сужаясь к востоку, полоса депрессии разбита на ряд частных, местами замкнутых депрессий или котловин, часто ограниченных разрывами, затрагивающими и кристаллический фундамент.

На территории депрессии расположены аридные котловины, включая Былымскую, Верхне-Чегемскую, Безенгийскую и Верхне-Балкарскую, которые находятся в «дождевой тени» от окружающих высоких хребтов и отличаются сухим и теплым климатом, с малым количеством снега и оттепелями в зимний период (рис.1) [12].

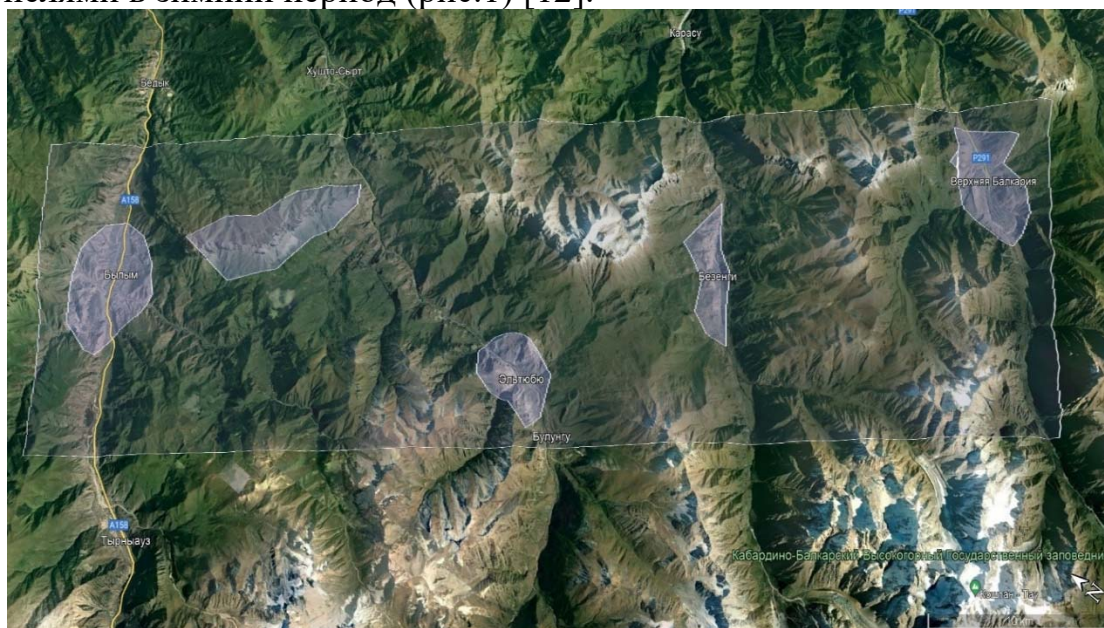


Рис.1. Расположение аридных котловин (слева-направо): Былымская (2 участка), Верхне-Чегемская, Безенгийская, Верхне-Балкарская

Что касается *климата*, то непосредственных наблюдений за климатом в районе аридных котловин Кабардино-Балкарии не ведется, получить представление о годовом ходе климатических характеристик можно по результатам моделирования [6] или данным соседних метеостанций (Тырныауз, Терскол) [11-14].

Например, в районе сельского поселения Былым, расположенном на 43.46 с.ш., 43.03 в.д., 1 075 м над уровнем моря, наиболее теплый месяц август, средние дневные температуры достигают +24,8 °С [6]. Температура может подниматься выше +20 °С с июня по сентябрь. Ночные температуры в летние месяцы могут опускаться ниже 10 °С [6]. Самый холодный месяц январь. Температура может опускаться ниже –10 °С с декабря по март. Максимальное число дней с осадками приходится на май и июнь, средняя месячная сумма составляет порядка 180 мм. Вероятность осадков более 50 мм/сут. наибольшая в июне. Вторичный максимум в сентябре заметно ниже, около 100 мм. Наиболее сухой период наступает с ноября по март. Большое количество дней с осадками в июле и августе при невысоком значении месячных сумм говорит о невысокой интенсивности дождей в эти месяцы. Распределение осадков показывает, что основная масса осадков концентрируется в теплое время года, что характерно для континентального климата. Наиболее частое направление ветра SW (юго-восточное) и SSW (юго-юго-восточное). По данным [6], скорость ветра этих направлений в отдельные дни может превышать 28 м/с. Следующее по частоте направление восток-север-восток и восточное, скорости могут превышать 19 м/с.

Распределение температуры воздуха и ее годовой амплитуды по данным соседних метеостанций (Тырныауз, Терскол) показывает, что климат здесь континентальный и, несмотря на имеющиеся здесь положительные тренды приземной температуры воздуха, качественных изменений климата в сторону его смягчения или ужесточения не произошло [11, 14]. По классификации климатов Кёппена-Гейгера климат можно отнести к зоне с четко выраженными границами лета и зимы (D – холодный континентальный) без сухого сезона (f) с прохладным летом.

Результаты исследований. Характеристика ксерофитной растительности. Широко распространенные на Северном Кавказе нагорные ксерофиты обитают на аридных плоскогорьях, на склонах горных хребтов, и в аридных котловинах, которые находятся в «защищенном» положении от ветров. Ксерофиты получили наибольшее распространение за Скалистым хребтом и в районе Северной депрессии, особенно в районах Баксана, Чегема, Черек-Безенгийского, а в меньшей степени в Черек-Балкарском и Малке. В каждом ущелье обычно выделяется один или два, иногда три района аридных котловин, характеризующихся широким распространением ореоксерофитов. Котловины являются местом наибольшей концентрации ксерофитов благодаря особенностям рельефа и сухости почвы. Атмосферные осадки имеют основное значение в формировании биоценозов зон с недостатком воды, определяя, какие виды растительности распространены на той или иной территории в зависимости от их устойчивости к засухе [13].

В аридных котловинах и ущельях, где преобладают каменистые и сухие почвы, распространены фриганоидная и степоидная растительность, а также трагакантники и заросли кустарников. Фриганоидная растительность характеризуется широким использованием полукустарников, кустарников, многолетних трав и некоторых однолетников, особенно из семейств крестоцветных и губоцветных. Здесь часто встречаются жесткие и сильно опушенные растения, преимущественно из семейств бобовых, злаков и сложноцветных. Растительность обычно распространяется по крутым склонам, реже по пологим склонам и ровным площадкам, но только на сильно каменистых и щебенистых почвах.

В районах с аридными котловинами и пологими склонами, богатыми мелкоземом, распространены фригано-степной или степоидный типы растительности с ясно выраженной и мощной дерновиной. В отличие от степей на предгорьях, степные группировки в аридных котловинах и ущельях имеют другой видовой состав и структуру. В некоторых районах Приэльбрусья степоидный тип преобладает над фригантой. Травостой включает *Stipa pulcherrima*, *Festuca valesiaca*, *Stipa capillata*, *S. Daghestanica*, *Botrychloa ischaemum*, *Koeleria gracilis*, *Phleum phleoides* и другие виды.

В районах Баксана (Гижгит), Чегема (Актопарк, Гекташ, Верхний Чегем) и окрестностях Безенги можно встретить ковыльно-бородачевые и бородачевые «степи», а также *Iris taurica*, *Muscari pallens*, *Ornithogalum gussonii*. На глинистых обнажениях в Актопракской котловине встречаются группировки с *Kochia prostrata*, *Stipa daghestanica*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia*, *A. Austriaca*, *Euphorbia seguieriana*, *Glaucium corniculatum* и другими видами растений (рис. 2-3).

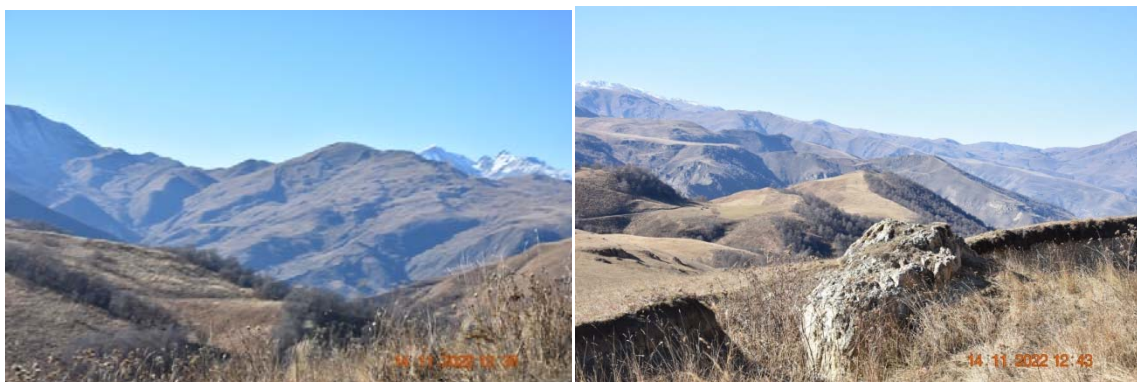


Рис. 2-3. Типичные «горные степи» в районе Актопрака.
Фото Кюль Е.В. (ноябрь 2022 г.)

Астрагаловые группировки, включая колючие трагакантники, широко распространены на сухих склонах различной крутизны в области Бокового хребта. В среднегорье до 1500 м над уровнем моря, включая Северную депрессию, колючеастрагаловые формации встречаются реже и преимущественно на сланцах (например, в Былымской аридной котловине) (рис. 4-5).



Рис. 4-5. Былымская котловина. 2 участок (бассейн р. Кестанты). Горные степные ландшафты. Фото Кюль Е.В. (ноябрь 2022 г.)

Главную роль в местных трагакантниках играет *Astragalus aureus*. Среди ксерофильной растительности выделяются колючекустарниковые и кустарниковые группировки с разнообразными видами, такими как *Berberis vulgaris*, *Juniperus oblonga*, *J. sabina*, *Thamnus palasii*, *Spirae acrenata*, *Caragana grandiflora*. Каждая аридная котловина имеет свое особое место, подчеркиваемое не только видовым составом ее кустарниковых зарослей, но и фриганоидной растительностью.

Кроме своеобразного растительного мира аридные котловины характеризуются и интересным животным миром. Причём большинство видов занесено в Красную книгу КБР (таблица).

Таблица

Краснокнижные виды фауны аридных котловин

№	Птицы:	
1	Белоголовый сип – <i>Gyps fulvus</i>	Красная книга КБР –
2	Беркут – <i>Aquila chrysaetos</i>	Красная книга КБР –
3	Бородач – <i>Gypaetus barbatus</i>	Красная книга КБР –
4	Балобан – <i>Falco cherrug</i>	Красная книга КБР –
5	Сапсан – <i>Falco peregrinus</i>	Красная книга КБР –
6	Стервятник – <i>Neophron percnopterus</i>	Красная книга КБР
7	Черный гриф – <i>Aegypius monachus</i>	Красная книга КБР
8	Могильник – <i>Aquila heliaca</i>	Красная книга КБР –
9	Воробей каменный, снежный – <i>Petronia petronia, Montifringilla nivalis</i>	Красная книга КБР
	Млекопитающие:	Красная книга КБР
10	Ночница остроухая, трёхцветная – <i>Myotis blythi, M. Emarginatus</i>	Красная книга КБР –

Краткая характеристика видов животных [7]. Белоголовый сип – *Gyps fulvus*. В КБР встречается во всех горных ущельях от лесного до альпийского пояса включительно. Беркут – *Aquila chrysaetos*. В КБР встречается от лесного до альпийского пояса включительно. Гнезда беркута обнаружены почти во всех горных районах республики. Бородач – *Gypaetus barbatus*. В КБР бородач населяет верховья почти всех горных рек от Малки на северо-западе до Черка-Безенгийского включительно. Сапсан – *Falco peregrinus*. В КБР достоверно обнаружен во всех горных ущельях. Стервятник – *Neophron*

persnapterus. На территории России стервят гнездиться только на северных склонах Большого Кавказа. По отчетным данным Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника, на его территории стервятник встречается нерегулярно. Он обитает в горных и предгорных районах Кабардино-Балкарии. Черный гриф – *Aegypius monachus*. В КБР встречается от среднегорья до альпийского пояса включительно. Могильник – *Aquila heliaca*. в КБР могильник населяет места от пойменных лесостепной зоны до субальпийского пояса. Воробей каменный – *Petronia petronia* Linnaeus. В Центральной части Северного Кавказа каменный воробей относится к малочисленным видам птиц. В КБР он населяет горные речные долины, скальные участки горных степей и субальпийского пояса. Его можно также наблюдать вблизи горных поселков. Ночница остроухая – *Myotis blythi* Tomes. В КБР ареал простирается от границ Ставропольского края до Терско-Сунженского хребта в горизонтальном направлении, а в высотном – от степной зоны до субальпийского пояса.

Как отмечает Петрушина М.Н. [12], во второй половине XX века среднегорные котловины потеряли свою роль как центры освоения и превратились в периферию по отношению к равнинам. В некоторых случаях они также стали периферией по отношению к высокоразвитым рекреационным комплексам высокогорья. Это привело к значительной трансформации использования земель, которая была вызвана социально-экономическими изменениями в конце XX века. Такие изменения затронули также ландшафты котловин. Изучение современного состояния котловин и их реакции на изменение землепользования в условиях изменяющегося климата актуально и может стать основой для оптимизации их использования и дальнейшего развития [12].

Экологическое планирование территории. Предварительный анализ уязвимости покрытия этих территорий к изменениям до 2050 года может помочь в экологическом планировании, позволяя определить наиболее важные области для охраны природы. Для этого были использованы модели, созданные Clark Labs, а также карты покрытия земли ESA CCI за 2010 и 2018 годы. Результаты этого анализа могут быть задействованы для оптимизации использования этих территорий и сохранения их природной ценности., т.к. процесс трансформации экологического состояния аридных экосистем может происходить под влиянием как экзогенных факторов, так и эндогенных процессов [4].

Так, по данным моделей к 2050 г. на территориях аридных котловин КБР увеличатся площади, занимаемые деревьями и кустарниками, луговой растительностью и незначительный рост искусственных поверхностей (рис. 6-7). При этом, наиболее уязвимыми для изменения будут экосистемы, сформированные на берегах рек и границах антропогенных комплексов (рис. 8-9). Значение 1 означает, что пиксель является одним из наиболее уязвимых к изменению, а значение 0 означает, что пиксель является одним из наименее уязвимых.

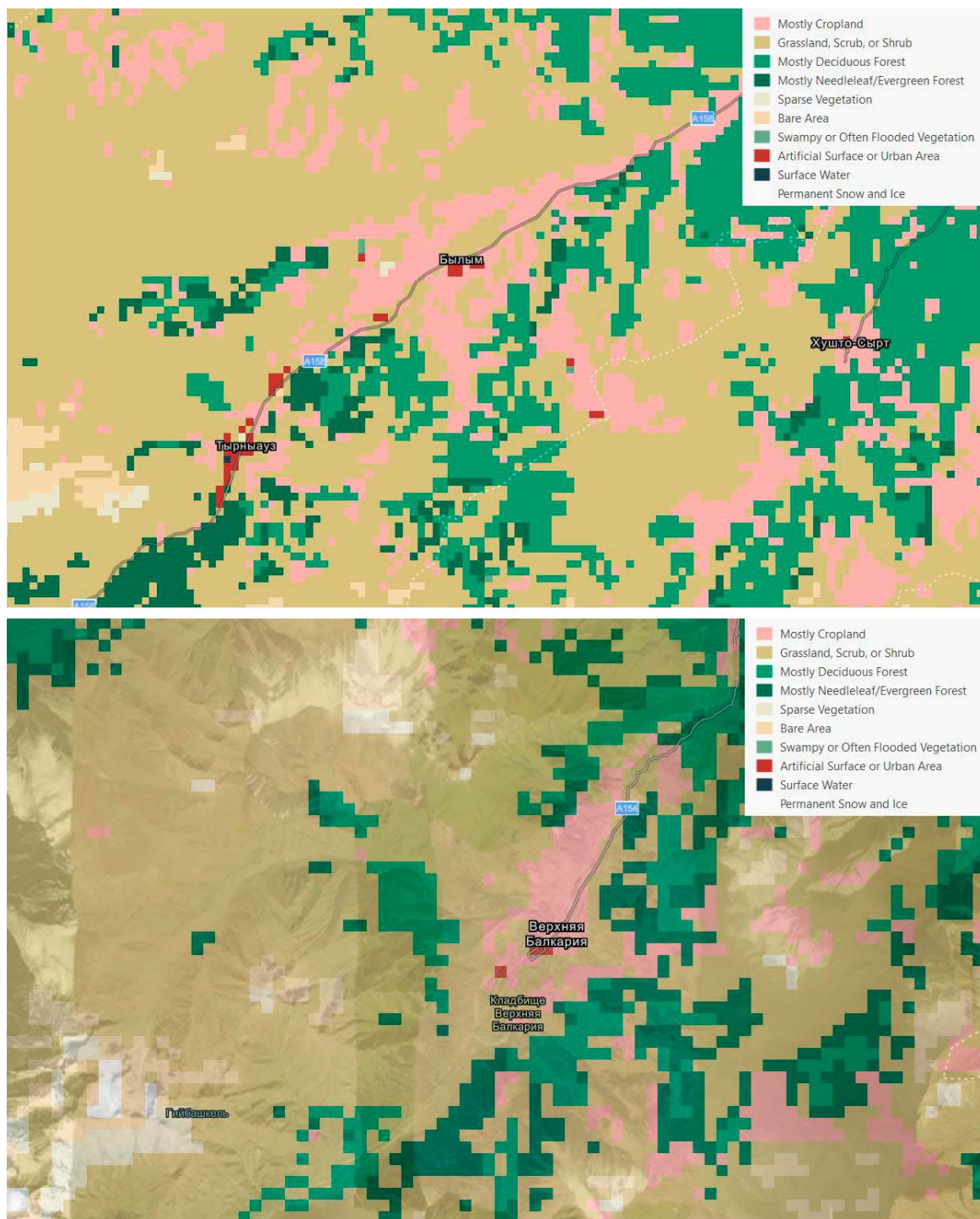


Рис. 6-7. Модель развития экосистем аридных областей к 2050 г.

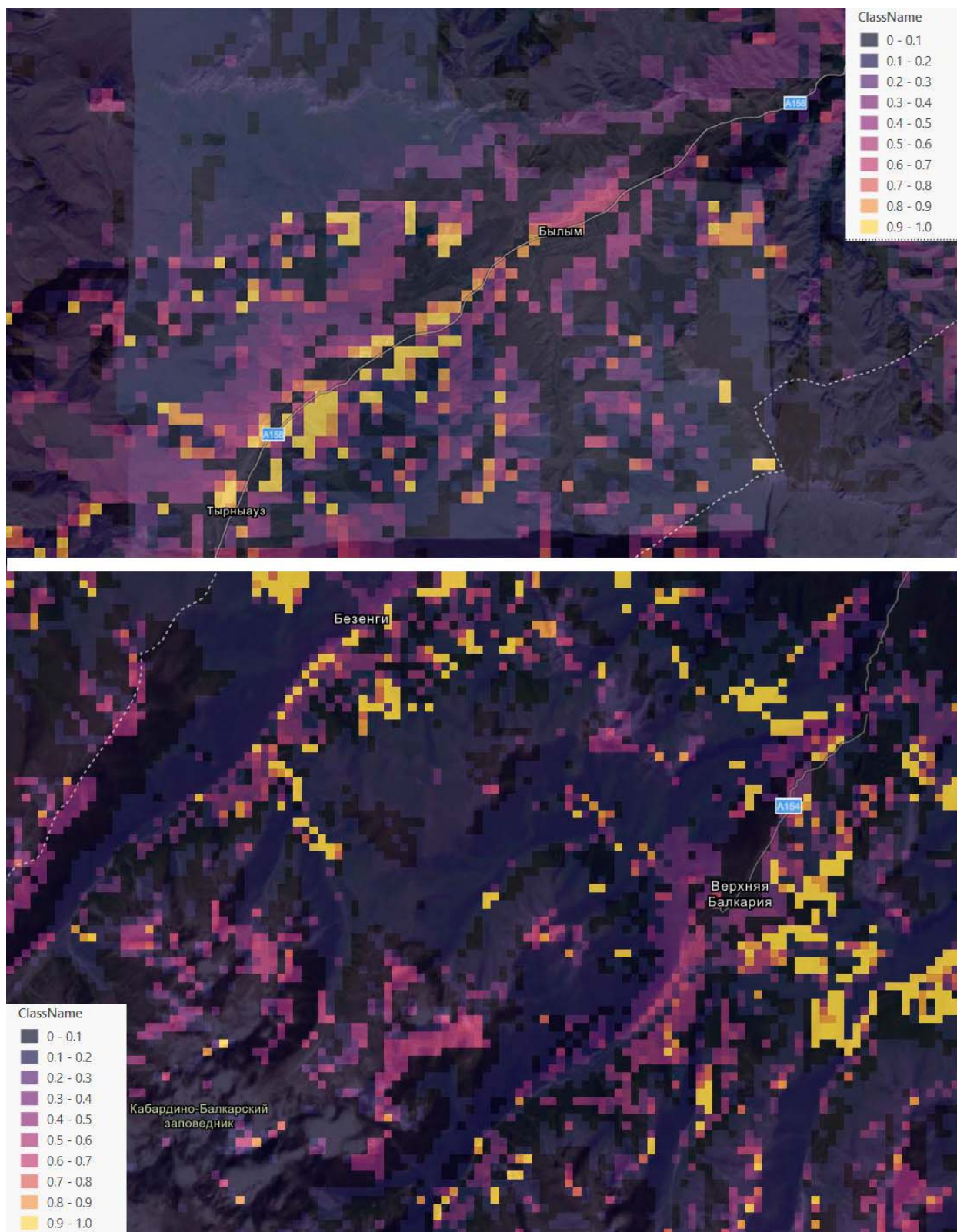


Рис. 8-9. Модель уязвимости экосистем аридных областей к 2050 г.

Выводы. Аридные котловины - важные природные территории, в которых формируются оригинальные климатические условия и специфические ландшафты, т.н. «горные сухие степи», обладающие уникальным растительным и животным миром.

Растительность аридных котловин достаточно хорошо изучена. Фауна же практически не исследована: данные приведены по Красной книге КБР (список будет уточнять и пополняться при проведении дальнейших исследований). В настоящее время ландшафты аридных котловин находятся под угрозой из-за расширения человеческой деятельности: идет перестройка системы традиционного ресурсосберегающего землепользования (сельскохозяйственный тип) на ресурсозатратное современное землепользование (рекреационный, горнодобывающий, гидроэнергетический типы). Для сохранения аридных ландшафтов котловин целесообразно было бы создание в их границах особо охраняемых природных территорий с различными типами охраны. Поэтому ведение геоэкологического мониторинга в аридных котловинах с изучением не только растительного и животного мира, но и других компонентов ландшафта является первоочередной задачей.

Список литературы

1. Белоус, В. Н. Нагорноксерофитная растительность семиаридных котловин Центрального и восточного Кавказа / В. Н. Белоус // Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России: уровни, подходы, состояние изученности: Коллективная монография по материалам XXII Международной научной конференции «Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России», Грозный, 04–06 ноября 2020 года / Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова РАН. – Махачкала: Общество с ограниченной ответственностью "АЛЕФ", 2020. – С. 8-21. – EDN JDJBZS.
2. Геоэкологические исследования на территории Кабардино-Балкарской Республики в период с 2012 по 2018 годы. / Том 1. Пространственные закономерности образования опасных экзогенных процессов. – Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2019. –173 с.
3. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Кабардино-Балкарской Республики в 2016 году / Министерство природных ресурсов и экологии КБР. — Нальчик: Издательская типография «Принт Центр». — 260 с.
4. Идармачев Ш. Г., Черкашин В. И., Мусаев М. А., Идармачев А. Ш. О сейсмичности аридной зоны Северо-Восточного Кавказа // Аридные экосистемы. 2019. №2 (79). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-sei-smichnosti-aridnoi-zony-severo-vostochnogo-kavkaza> (дата обращения: 04.04.2023).
5. Кадастр селевой опасности Юга Европейской части России / Н. В. Кондратьева, А. Х. Аджиев, М. Ю. Беккиев [и др.]. – Москва; Нальчик: Феория, 2015. – 148 с. – ISBN 978-5-905770-73-9. – EDN VHКУJH.
6. Корчагина, Е. А. Исследование температурного режима в горных районах Кабардино-Балкарии и Карачаево-Черкесии в 1951-2015 гг / Е. А. Корчагина // Устойчивое развитие горных территорий. – 2019. – Т. 11. – № 4(42). – С. 449-458. – DOI 10.21177/1998-4502-2019-11-4-449-458.
7. Красная книга КБР. Нальчик. Издат-ий центр «Эль-Фа».2000. стр.58-106.
8. Кюль Е.В. Геоэкологический мониторинг: создание мониторинговой сети по результатам инвентаризации и паспортизации / Е.В. Кюль, Н.А. Борисова // Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем: Материалы III Всер. конфер., посвящённой 100-летию ЮФУ. Т.1. Ростов-на- Дону: Изд-во ЮФУ, 2010. С.145-149.
9. Кюль Е.В., Канкулова Л.И., Езаов А.К. Теоретические основы геоэкологического мониторинга горных геосистем // Устойчивое развитие горных территорий. Т.11. №1(39). 2019. С.36-43.DOI: DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-1-36-43. С.36-43.
10. Кюль Е.В., Гедуева М.М., Джапуев Д.Р., Хутуев А.М., Дроздов А.Л. Мониторинг селевых процессов в бассейне реки Самур // III Международная научно-практическая

конференция «Современные проблемы биологии и экологии», посвящённая 80-летию со дня рождения Ш. И. Исмаилова. 4-5 марта 2021 г., г. Махачкала. С. 304-308.

11. Моделирование исторических данных о климате. - https://www.meteoblue.com/ru/погода/historyclimate/climatemodelled/Былым_Россия_570236 (дата обращения 01.12.2022).

12. Петрушина, М. Н. Семиаридные межгорные котловины Северного Кавказа: ландшафты и трансформация землепользования / М. Н. Петрушина, А. Н. Гуня // Аридные экосистемы. – 2021. – Т. 27, № 4(89). – С. 32-40. – EDN EPFHKT.

13. Природа аридных зон и природопользование / Ю. М. Нестеренко, Ф. Г. Бакиров, М. Ю. Нестеренко [и др.]. – СПб: Издательство «Научное издание», 2020. – 289 с. – ISBN 978-5-6045558-2-8. – EDN UIFFOO.

14. Korchagina E. A. Long-term dynamics of the climatic factors of the natural hazards formation in the Northern Caucasus // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Nalchik, 08–10 сентября 2021 года. – Nalchik, 2021. – P. 012036. – DOI 10.1088/1755-1315/840/1/012036.

15. Kyul E. V., Kondratyeva N. V., Gedueva M. M., Dzhappuev D. R. Results of monitoring of hazardous natural processes in the Belaya river basin // Russian Journal of Earth Sciences. 2022. No. 5. Pp. 1-6. DOI:<https://doi.org/10.2205/2022ES01SI05> (Date of access 23.12.2022).

КРУПНОМАСШТАБНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ И ТЕЧЕНИЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Е.Е. Лемешко

e.lemeshko@mhi-ras.ru

Морской гидрофизический институт РАН, Россия, г. Севастополь

Аннотация. Работа посвящена изучению межгодовой изменчивости режимов циркуляции вод Северного Ледовитого океана по данным альтиметрии для области от 65° до 89.75° с. ш., включая область океана, покрытую льдом. Цель статьи заключается в исследовании изменчивости уровня океана и скоростей поверхностных геострофических течений в зависимости от величины суммарного индекса атмосферной арктической циркуляции, предложенного на основе построения самоорганизующихся карт атмосферного давления. Дополнительно рассмотрено влияние различных режимов циркуляции океана и величины индекса на изменчивость стерического уровня как индикатора процессов распреснения/осолонения в полярной области севернее 81.5° с. ш. Стерическая компонента уровня рассчитывалась как разница между динамической топографией по данным альтиметрии и данными GRACE о манометрической компоненте уровня. На основе линейной регрессии получены количественные оценки зависимости уровня моря и компонент геострофической скорости от величины предложенного индекса. Перепад уровня между шельфом и более глубоководной частью океана составил ~ 4 см на 1 единицу индекса. С этим согласуются оценки коэффициентов линейной регрессии для аномалий скорости геострофических течений, которые составили ~ 1.5 см/с на 1 единицу индекса. На основании полученных результатов предложена концептуальная схема режимов циркуляции и распространения распресненных вод в зависимости от фазы индекса.

Ключевые слова. Северный Ледовитый океан, альтиметрия, стерический уровень, арктическая осцилляция, режимы циркуляции океана, GRACE.

Введение. Приповерхностная циркуляция Северного Ледовитого океана (СЛО) в основном характеризуется чередованием антициклонической и циклонической фаз на межгодовых масштабах изменчивости [1–3]. Такое описание циркуляции основывалось на анализе динамической топографии, рассчитанной по данным гидрологических наблюдений, и численном моделировании [1–3]. По данным современных экспедиционных исследований, наиболее резкие изменения в СЛО произошли в 2010-е гг. [1].

Район вокруг Северного полюса (СП) севернее 81.5° с. ш., иногда называемый «слепым» пятном из-за отсутствия там данных альтиметрии до 2011 г., важен для понимания гидрофизических изменений в СЛО. Морской лед и распресненные поверхностные воды выносятся Трансарктическим течением через данный регион в сторону Северной Атлантики и

во многом определяют термохалинную структуру ее приполярных областей. Поэтому такие параметры, как толщина льда, придонное давление и стерический уровень (отражающий вертикальную гидрологическую структуру вод), являются ключевыми индикаторами изменчивости всего СЛО.

Независимые оценки пресноводного баланса на основе анализа гидрологических данных показали две независимые тенденции в изменчивости пресноводного баланса СЛО [4]. С одной стороны, наблюдалось распреснение в Канадском бассейне со скоростью изменения толщины слоя распресненных вод 2.04 ± 0.64 м/10 лет, а с другой стороны – осолонение в Восточно-Евразийском бассейне с трендом 0.96 ± 0.86 м/10 лет [4]. По данным многолетних гидрологических наблюдений, распреснение отмечалось также в районе Северного полюса с трендом 1.19 ± 0.02 м/10 лет [4].

В результате анализа комплексных данных экспедиционных исследований в районе круговорота Бофорта сделан вывод об увеличении запаса пресных вод с 2003 по 2018 г. на 40 % относительно среднемноголетнего значения за 1970–2000 гг. В качестве основного механизма распреснения рассматривалась аккумуляция пресных вод вследствие воздействия антициклонической атмосферной циркуляции [5]. В итоге сделан вывод, что сдвиг в изменчивости уровня моря в этих районах был обусловлен изменениями крупномасштабной атмосферной циркуляции, связанной с индексом арктической осцилляции (АО) [5-9]. Арктическая осцилляция (АО) – климатический индекс, который характеризует распределение атмосферного давления и особенности поля ветра над Арктикой.

Статья посвящена исследованию изменчивости уровня океана и скоростей поверхностных геострофических течений в зависимости от величины предложенного нами суммарного индекса атмосферной циркуляции P_{som} , а также установлению количественных закономерностей между ними. Дополнительно рассмотрено влияние различных режимов циркуляции океана и величины индекса P_{som} на изменчивость стерического уровня как индикатора процессов распреснения/осолонения в районе круговорота Бофорта и в полярной области севернее 81.5° с. ш. Реконструированная стерическая компонента уровня рассчитывалась как разница между динамической топографией по данным альтиметрии и данными *GRACE* о манометрической компоненте уровня. Затем реконструированный стерический уровень осреднялся по области круговорота Бофорта и по «слепой» полярной области севернее 81.5° с. ш., до 2011 г. недоступной для спутниковой альтиметрии.

Данные и методы. После 2011 г. на высокие орбиты были запущены новые спутники *Envisat* и *CryoSat-2*, что позволило получать данные альтиметрии в области «слепого» пятна вплоть до 89.75° с. ш. и повысить точность измерений аномалий уровня моря [2,10].

Полученные новые данные альтиметрии использовались для оценки динамической топографии всего СЛО, включая область севернее 81.5° с. ш. согласно следующей формуле:

$$H_{DT} = H_{SSH} - H_G, \quad (1)$$

где H_{DT} – динамическая топография океана; H_{SSH} – высота морской поверхности; H_G – высота поверхности геоида [9, 10]. Поверхностные геострофические скорости рассчитывались по значениям динамической топографии H_{DT} , полученным по формуле (1) [10, 11].

В статье использовались данные спутниковой альтиметрии в виде среднемесячных значений динамической топографии океана и поверхностных геострофических скоростей, предоставленные центром *Centre for Polar Observation and Modelling, University College London* (URL: www.crom.ucl.ac.uk/dynamic_topography) за 2011–2020 гг. с разрешением 20×20 км на сетке в полярной стереографической проекции с покрытием от 65° до 89.75° с. ш. Массив включает данные для районов океана, покрытых льдом, описание методики расчета уровня моря приводится в [2,10,11].

Кроме того, использовались данные гравиметрии (*Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE)*) в версии *RL06*, сетка $1^\circ \times 1^\circ$, среднемесячные, 2002–2017 гг., и *GRACE-FO* 2018–2021 гг. с покрытием всего океана до 89.9° с. ш. (URL: <https://podaac.jpl.nasa.gov/datasetlist?search=tellus>).

Результаты. Для СЛО были рассчитаны средние значения динамической топографии и поверхностных геострофических скоростей за 2011–2020 гг., которые составляют от 5 до 15 см/с.

Для анализа межгодовой изменчивости уровня моря внутрисезонные колебания удаляли с помощью фильтра скользящего среднего с шириной окна 12 месяцев, затем были сформированы ряды аномалий уровня моря как отклонения от их среднемноголетних значений. На рис. 1 приведены полученные аномалии уровня моря, осредненные по всему СЛО за 2003–2020 гг.

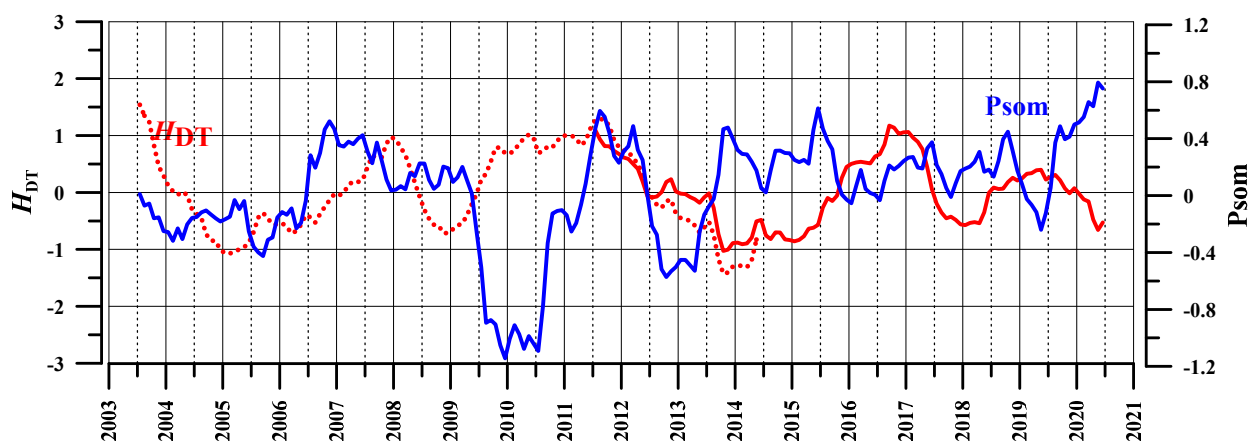


Рис. 1. Графики осредненной по СЛО динамической топографии (см) по данным альтиметрии (H_{DT}) за 2003–2014 гг. (красная штриховая линия), за 2011–2020 гг. (красная сплошная линия) и индекс P_{som} (синяя линия) после фильтрации скользящим средним с шириной окна 12 месяцев

На основе метода самоорганизующихся карт была проведена типизация режимов атмосферной циркуляции в Арктике [12]. Выделено шесть различных режимов, которые приведены в табл.1.

Таблица 1

Повторяемость α (%) самоорганизующихся карт приземного атмосферного давления для Северного Ледовитого океана за весь период 1979 – 2018 гг.

№ карты	1	2	3	4	5	6
Повторяемость α (%) (до целых)	14	13	15	15	25	18
Характеристика типа поля над Арктикой (Ц -циклонический; АЦ -антициклонический)	Ц\АЦ	Ц\АЦ	Ц\АЦЦ	АЦ	Ц	АЦ

С учетом повторяемости каждого типа циркуляции нами предложен суммарный индекс атмосферной арктической циркуляции P_{som} , учитывающий повторяемость выделенных шести типов циркуляции атмосферы (табл.1):

$$P_{SOM}(t) = -\frac{1}{100} \sum_{i=1}^{N_{SOM}} \alpha_i(t) \cdot P_{SOM}^i, \quad (2)$$

где N_{som} в нашем случае равно шести типам, P_{som}^i – среднее значение каждой i –й карты (табл.1), $\alpha_i(t)$ (%) – повторяемость i –й карты для месяца $t=1, \dots, 480$ (для периода 1979-2018гг.). Для положительной фазы индекса P_{som} наблюдаются отрицательные значения средней по СЛО динамической топографии, наиболее выражено это проявляется в 2013–2016 гг. (рис. 1). В период преобладания циклонического режима в атмосфере во время положительной фазы P_{som} циклоническая циркуляция океана проявлялась в понижении среднего уровня моря с временной задержкой около 1 года относительно фазы индекса P_{som} (рис. 1). Для описания крупномасштабной изменчивости атмосферы в Арктике обычно используют климатический индекс арктической осцилляции http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml [3]. В данном случае арктическая осцилляция (АО) получается как один из выделенных нами шести типов, корреляция индексов АО и P_{som} составляет 0.85, их графики приведены на рис. 2.

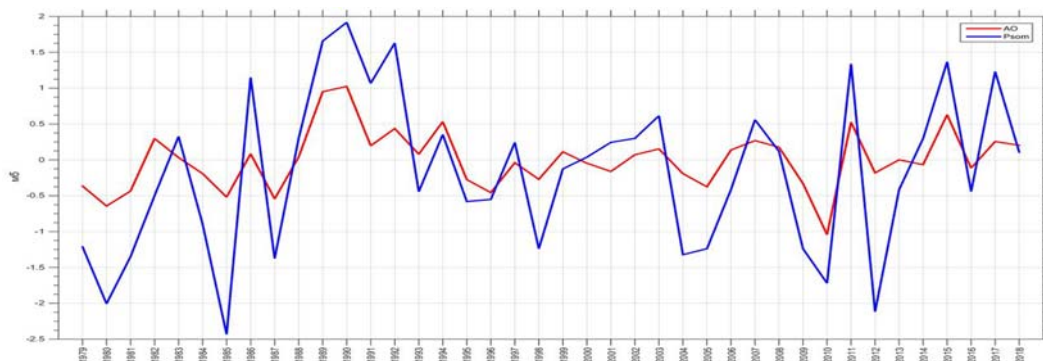


Рис. 2. Графики годовых значений индекса АО (красная линия) и суммарного индекса атмосферной циркуляции по самоорганизующимся картам атмосферного давления P_{som} (синяя линия) за 1979-2018гг.

Уровень моря H состоит из суммы стерической компоненты уровня H_{Sth} , обусловленной изменениями плотности морской воды, и манометрической компоненты уровня H_{man} , обусловленной вариациями водной массы столба жидкости, при этом их характерные временные масштабы изменчивости разные [13-15]:

$$H = H_{\text{Sth}} + H_{\text{man}}. \quad (3)$$

Для количественного оценивания влияния индекса P_{som} на изменчивость аномалий уровня моря H_{DT} и поверхностных геострофических скоростей U, V использовался линейный регрессионный анализ [16]:

$$\begin{aligned} H_{\text{DT}}^i &= \alpha_{\text{DT}}^i \cdot P_{\text{SOM}} + \varepsilon_{\text{DT}}^i, \\ U^i &= \alpha_U^i \cdot P_{\text{SOM}} + \varepsilon_U^i, \\ V^i &= \alpha_V^i \cdot P_{\text{SOM}} + \varepsilon_V^i, \end{aligned} \quad (4)$$

где коэффициенты регрессии для уровня α_{DT}^i , см, и компонент скоростей α_U^i , α_V^i , см/с, оценивались в каждом i -м узле сетки, а $\varepsilon_{\text{DT}}^i$, ε_U^i , ε_V^i представляют собой некоррелированный белый шум. На рис. 3 приведены коэффициенты регрессии уровня моря в виде изолиний. Соответствующие коэффициенты модуля скорости течений рассчитываются в виде векторов $\alpha_{\text{mod}V}^i$:

$$\alpha_{\text{mod}V}^i = [(\alpha_U^i)^2 + (\alpha_V^i)^2]^{1/2}. \quad (5)$$

Пространственное распределение коэффициентов линейной регрессии уровня моря и поверхностных геострофических скоростей соответствует циклоническому режиму циркуляции в СЛО при положительных значениях индекса P_{som} согласно выражению (4) (рис. 3). Аналогично для отрицательной фазы индекса P_{som} распределение коэффициентов линейной регрессии уровня моря и поверхностных скоростей меняет знак на минус согласно (4), что дает антициклоническую картину циркуляции. В результате нами получены регрессионные соотношения для уровня моря и компонент геострофических скоростей в зависимости от величины индекса P_{som} . Рассчитанные коэффициенты линейной регрессии α_{DT}^i для аномалий уровня моря составляют более ~ 2 см в шельфовой зоне и около -2 см в глубоководной части океана (рис. 3). Усиление градиентов уровня моря приводит к усилению градиентов давления между шельфом и более глубоководной частью океана и, как следствие, к увеличению геострофических скоростей до ~ 1.5 см/с на 1 единицу индекса P_{som} (рис. 3). Следовательно, во время положительной фазы P_{som} происходит увеличение транспорта пресных вод от шельфа моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря в центральную часть океана.

Данные альтиметрии и *GRACE* использовались для оценки манометрической компоненты уровня СЛО. Манометрический уровень H_{man} обусловлен вариациями массы водного столба. Уровень океана H определяется по данным альтиметрии.

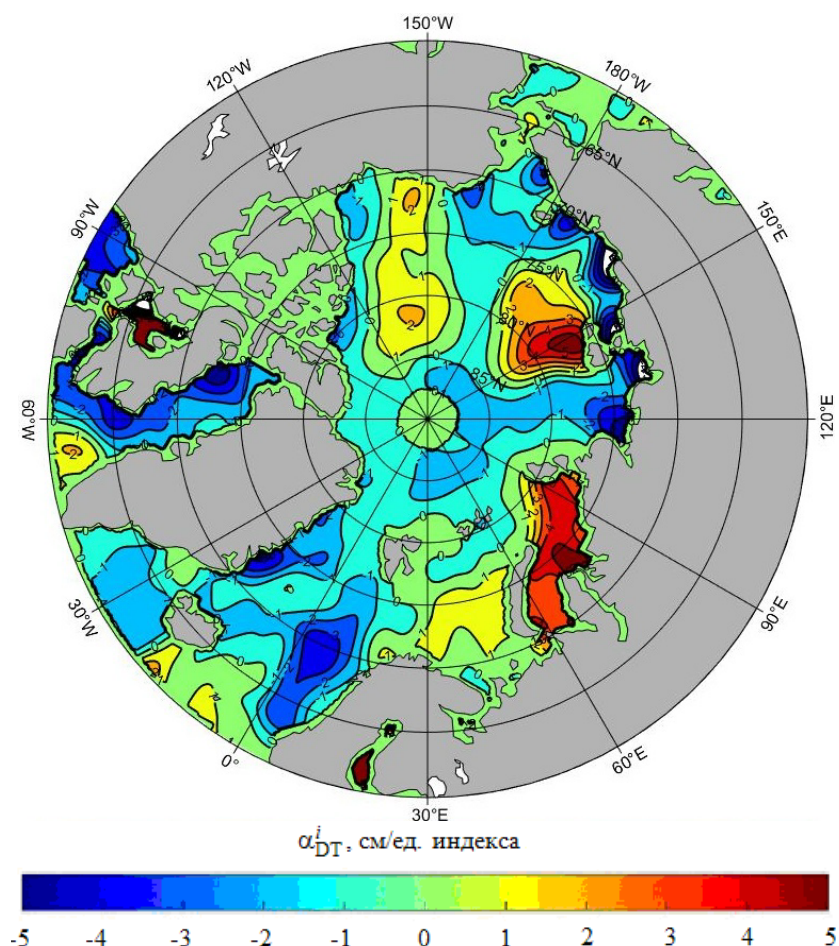


Рис. 3. Пространственное распределение коэффициентов линейной регрессии для аномалий уровня моря α_{DT}^i (см/ед. индекса P_{som}) за 2011–2020 гг.

Таким образом, реконструированная стерическая компонента уровня моря H_{Sth} равна уровню моря H минус манометрическая компонента уровня. С использованием соотношения (3) были реконструированы поля стерического уровня по данным альтиметрии и *GRACE*. Реконструированный стерический уровень сравнивался со стерическим уровнем, рассчитанным по гидрологическим данным (*Unified Database for Arctic and Subarctic Hydrography, UDASH*, URL: <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.872931>). В работах [4, 5] показано, что в стерическом уровне СЛО преобладает вклад халостерической компоненты над термостерической. Таким образом, изменчивость стерического уровня СЛО является индикатором распределения верхнего слоя океана [4]. Методика расчета стерического уровня по данным альтиметрии и *GRACE* и его валидации описана в [9]. Данные альтиметрии за 2011–2020 гг. в полярной области севернее 81.5° с. ш. позволили получить оценки стерического уровня для области «слепого» пятна (рис. 2). На рис. 5 приведен реконструированный стерический уровень, осредненный по этой области.

Стерический уровень в области «слепого» пятна может рассматриваться как индикатор процесса распределения/осолонения, так как основной вклад в стерический уровень вносит его халостерическая компонента в приполярных

областях океана. Тренд стерического уровня в этой области положительный и составляет 0.3–0.4 см/год (рис. 5), что является индикатором увеличения запаса пресных вод за 2011–2020 гг. Полученный вывод подтверждается сопоставлением содержания распресненных вод в полярной области, рассчитанной по данным гидрологических съемок [4, 5]. Так, тренд содержания пресных вод в верхнем 100-метровом слое за 1994–2008 гг. составил 11.19 см/год [4]. Пересчет в величину стерического уровня производился при использовании константы 35.5 [5], что дает значение тренда стерического уровня 0.34 см/год и соответствует полученному нами значению тренда.

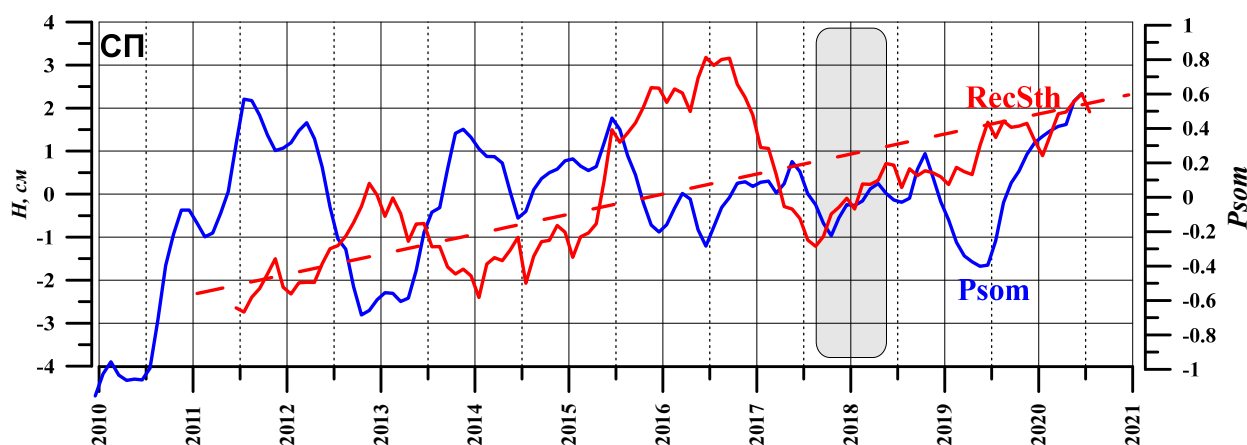


Рис. 4. Графики осредненного по области «слепого» пятна реконструированного стерического уровня (см) за 2011–2020 гг. (красная сплошная линия), его тренда (красная штриховая линия) и индекс P_{som} (синяя линия) после фильтрации скользящим средним с шириной окна 12 месяцев. Данные *GRACE* за 07.2017–05.2018 проинтерполированы (серая область)

Аналогично для области круговорота Бофорта получили положительный тренд реконструированного стерического уровня (рис. 5). Значение тренда реконструированного по данным альтиметрии и *GRACE* стерического уровня составило 0.45 см/год, а пересчет тренда содержания пресных вод в верхнем 100-метровом слое круговорота Бофорта по гидрологическим данным за 1994–2008 гг. дает 0.57 см/год, что согласуется с нашей оценкой с учетом погрешности определения тренда содержания пресных вод [4].

Анализ изменчивости атмосферной циркуляции, идентифицируемой по фазам индекса P_{som} , пространственно-временной изменчивости динамической топографии и реконструированного стерического уровня позволяет предложить концептуальную схему циркуляции СЛО. Во время отрицательной фазы P_{som} высокое приземное давление над Арктикой вызывает антициклоническую циркуляцию над большей частью СЛО [15]. Распресненные воды от стока Евразийских рек распространяются через Евразийский бассейн и выносятся из СЛО в области Трансарктического течения.

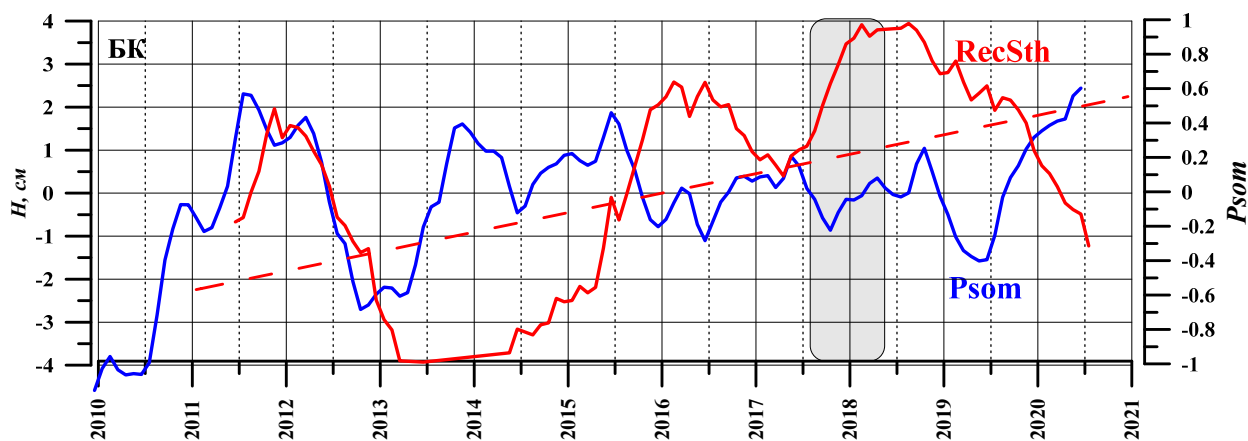


Рис. 5. Графики осредненного по области круговорота Бофорта реконструированного стерического уровня (см) за 2011–2020 гг. (красная сплошная линия), его тренда (красная штриховая линия) и индекса P_{som} (синяя) после фильтрации скользящим средним с шириной окна 12 месяцев. Данные *GRACE* за 07.2017–05.2018 проинтерполированы (серая область)

Результаты анализа изменчивости реконструированного стерического уровня, осредненного по области «слепого» пятна (рис. 4) показали, что он достигает максимумов в период отрицательной фазы P_{som} , например в 2012–2013 гг. и 2015–2017 гг., что является индикатором увеличения распреснения водных масс. С другой стороны, для области круговорота Бофорта наблюдалось накопление пресных вод и во время отрицательной фазы P_{som} после 2015 г. (рис. 5), что обусловлено конвергенцией экмановского переноса распресненных вод на шельфе. Во время положительной фазы P_{som} низкое приземное давление над Арктикой вызывает циклоническую циркуляцию в Евразийском бассейне СЛО. Распресненные воды от стока Евразийских рек распространяются вдоль арктического шельфа России геострофическими течениями и вторичной циркуляцией океана и захватываются круговоротом Бофорта. За весь период 2011–2020 гг. в круговороте Бофорта увеличивалось накопление пресных вод, поскольку тренд стерического уровня был положительным (0.45 см/год), что также подтверждается положительным трендом содержания пресных вод в верхнем 100-метровом слое круговорота Бофорта по гидрологическим данным за 1994–2008 гг. [4, 5].

Выводы. Изменение уровня СЛО является важным индикатором изменчивости климата Арктики и в целом климатической системы Земли в силу интегрального характера формирования уровня моря. С использованием гравиметрических данных *GRACE* удалось получить оценки изменчивости манометрической и стерической компонент уровня океана. Влияние режимов атмосферной циркуляции на пространственно-временную изменчивость уровня океана и поверхностных течений изучалось на основе анализа предложенного нами индекса P_{som} .

На основании полученных результатов предложена концептуальная схема режимов циркуляции и распространения распресненных вод в зависимости от фазы P_{som} . Схема согласуется с межгодовой изменчивостью реконструированной стерической компоненты уровня для полярной области океана за 2011–2020 гг.

В итоге основные результаты можно сформулировать следующим образом.

1. Описаны особенности отклика уровня моря и поверхностных геострофических течений СЛО на циклоническую/антициклоническую циркуляцию атмосферы, описываемую с помощью индекса P_{som} .

2. Получены количественные оценки зависимости межгодовой изменчивости аномалий уровня моря и поверхностных геострофических течений на основе регрессионных соотношений в зависимости от величины индекса P_{som} . Во время положительной фазы индекса P_{som} , когда центральная часть Арктики занята циклоном, наблюдается увеличение аномалий скоростей течений, что способствует притоку теплых атлантических вод. Во время отрицательной фазы P_{som} аномалии скоростей течений меняются на противоположные.

3. Впервые получены оценки трендов и межгодовой изменчивости стерической компоненты уровня для области «слепого» пятна севернее 81.5° с. ш. на основе реконструкции по данным альтиметрии и *GRACE*.

4. Согласно полученным количественным закономерностям во время отрицательной фазы P_{som} происходит увеличение транспорта пресных вод от шельфа моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря в центральную часть океана. Это подтверждается межгодовой изменчивостью реконструированной стерической компоненты уровня, осредненной по области «слепого» пятна севернее 81.5° с. ш. Как показано, для СЛО стерический уровень является индикатором увеличения распреснения/осолонения водных масс. Соответственно, в периоды положительной фазы P_{som} наблюдаются минимумы стерического уровня, что свидетельствует об увеличении солености в эти периоды времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90061.

Список литературы

1. Иванов В. В., Фролов И. Е., Фильчук К. В. Трансформация атлантической воды в северо-восточной части Баренцева моря в зимний сезон // Проблемы Арктики и Антарктики. 2020. Т. 66, № 3. С. 246–266. doi:10.30758/0555-2648-2020-66-3-246-266

2. Armitage T. W. K., Bacon S., Kwok R. Arctic sea level and surface circulation response to the Arctic oscillation // Geophysical Research Letters. 2018. Vol. 45, iss. 13. P. 6576–6584. doi:10.1029/2018GL078386

3. Proshutinsky A. Y., Johnson M. A. Two circulation regimes of the wind-driven Arctic Ocean // Journal of Geophysical Research: Oceans. 1997. Vol. 102, iss. C6. P. 12493–12514. doi:10.1029/97JC00738

4. Pnyushkov A. V., Alekseev G. V., Smirnov A. V. On the interplay between freshwater content and hydrographic conditions in the Arctic Ocean in the 1990s–2010s // Journal of Marine Science and Engineering. 2022. Vol. 10, iss. 3. 401. doi:10.3390/jmse10030401

5. Proshutinsky A. [et al.]. Analysis of the Beaufort Gyre freshwater content in 2003–2018 // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2019. Vol. 124, iss. 12. P. 9658–9689. doi:10.1029/2019JC015281

6. Raj R. P. [et al.]. Arctic Sea level budget assessment during the GRACE/Argo time period // Remote Sensing. 2020. Vol. 12, iss. 17. 2837. doi:10.3390/rs12172837

7. Proshutinsky A. [et al.]. Arctic circulation regimes //Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2015. Vol. 373, iss. 2052. 20140160. doi:10.1098/rsta.2014.0160

8. Белокопытов В. Н. Факторы, снижающие эффективность работы систем оперативных океанографических прогнозов в арктическом бассейне //Морской гидрофизический журнал. 2017. № 2. С. 21–27. EDN ХТСКVN. doi:10.22449/0233-7584-2017-2-21-27

9. Лемешко Е. Е., Лемешко Е. М., Новицкая В. П. Влияние арктической осцилляции на формирование режимов циркуляции вод в секторе Северного, Норвежского и Баренцева морей //Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2021. № 2. С. 47–64. EDN ULWWQC. doi:10.22449/2413-5577-2021-2-47-64

10. Doglioni F. [et al.]. Sea surface height anomaly and geostrophic current velocity from altimetry measurements over the Arctic Ocean (2011–2020) //Earth System Science Data. 2023. Vol. 15, iss. 1. P. 225–263. <https://doi.org/10.5194/essd-15-225-2023>

11. Armitage T. W. K. [et al.]. Arctic Ocean surface geostrophic circulation 2003–2014 // The Cryosphere. 2017. Vol. 11, iss. 4. P. 1767–1780. doi:10.5194/tc-11-1767-2017

12. Лемешко Е. Е. Самоорганизующиеся карты атмосферной циркуляции и межгодовая изменчивость гидрометеорологических полей в Арктике //Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 3. С. 48–62. doi:10.22449/2413-5577-2020-3-48-62

13. Volkov D. L., Landerer F. W. Nonseasonal fluctuations of the Arctic Ocean mass observed by the GRACE satellites //Journal of Geophysical Research: Oceans. 2013. Vol. 118, iss. 12. P. 6451–6460. doi:10.1002/2013JC009341

14. Peralta-Ferriz C. [et al.]. Arctic ocean circulation patterns revealed by GRACE //Journal of Climate. 2014. Vol. 27, iss. 4. P. 1445–1468. doi:10.1175/JCLI-D-13-00013.1

15. Morison J. [et al.]. The cyclonic mode of Arctic Ocean circulation //Journal of Physical Oceanography. 2021. Vol. 51, iss. 4. P. 1053–1075. doi:10.1175/JPO-D-20-0190.1

16. Себер Д. А. Ф. Линейный регрессионный анализ. Москва : Мир, 1980. 456 с.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТРАЕКТОРИЙ ЦИКЛОНОВ НАД АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИМ БАССЕЙНОМ НА ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УРОВНЯ МОРЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

Е.М. Лемешко, Е.Е. Лемешко

evgeny.lemeshko@mhi-ras.ru; e.lemeshko@mhi-ras.ru

Морской гидрофизический институт РАН, Россия, г. Севастополь

***Аннотация.** Исследуются особенности развития циклонов, которые могут вызывать генерацию штормовых нагонов в зависимости от траектории движения и параметров циклонов в Азово-Черноморском бассейне. В качестве тестовой ситуации взят экстремальный штормовой нагон в Таганрогском заливе и устье реки Дон 24.09.2014 г. Изучаются особенности движения циклона, вызвавшего экстремальные повышения уровня моря: траектория движения, скорость движения циклона, диаметр, атмосферное давление в его центре, скорость ветра.*

Выделенные таким образом параметры данного циклона использовались для выделения треков циклонов по данным атмосферных ре-анализов за 2014-2020 гг. над Азово-Черноморским бассейном для исследования пространственно-временной изменчивости траекторий циклонов и её влияния на характеристики уровня моря в прибрежной зоне Крыма и Азовского моря.

В результате сформулированы критерии выделения циклонов, которые потенциально способны вызвать экстремальные штормовые нагоны, получены оценки пространственных характеристик циклонов и закономерности изменчивости уровня моря в прибрежной зоне Крыма при различных фазах движения циклонов над регионом. Обсуждается влияние климатических изменений крупномасштабной атмосферной циркуляции на пути распространения циклонов.

***Ключевые слова.** Циклоны, уровень моря, атмосферный ре-анализ, Черное море, климат, штормовые нагоны.*

Влияние внетропических циклонов на повышения уровня моря в акватории Азово-Черноморского бассейна достаточно значительно, когда траектории движения циклонов и сила ветра таковы, что генерируют штормовые нагоны. Для количественной оценки такого влияния продолжено развитие алгоритма оценки и параметризации характеристик движения циклонов и расчета траектории движения циклонов в регионе Черного моря [1,2,3]. Результаты этих исследований активно используются для проведения численных экспериментов по моделированию ветрового волнения и сгонно-нагонных явлений, при оценке вероятности экстремальных повышений уровня моря в прибрежной зоне, при прогностических расчетах для проектирования гидротехнических и берегозащитных сооружений, что становится актуальным в условиях климатических изменений [4,5,6].

Метод расчета треков движения циклонов основан на анализе относительной завихренности на уровне 850 гПа, атмосферного давления на уровне моря и скорости ветра на высоте 10м [1] по данным ре-анализа ERA-5 (<https://cds.climate.copernicus.eu>). На каждом временном шаге (использовались данные с шагом в 1 час) идентифицировались центры циклонов, выделенные по максимумам относительной завихренности и окруженные замкнутыми контурами изолиний со значениями не менее $5 \times 10^{-5} \text{ c}^{-1}$. Далее для каждого циклона выделялась характерная область, для которой определялся минимум приземного атмосферного давления и максимум скорости ветра. Затем по координатам центра этой области строился путь (трек) движения циклона для времени его жизни для региона, охватывающего Азово-Черноморский бассейн. Для фильтрации «шумовых» циклонических образований применялся пороговый критерий – величина завихренности более $5 \times 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ и время жизни циклона более 1 суток, что позволило убрать до 30% треков. Для дополнительного сглаживания шума в пространственном распределении относительной завихренности применялась пространственная фильтрация скользящим средним с шириной окна 3x3 узла сетки (0.75x0.75 градуса). В результате была рассчитана композитная карта треков движения циклонов, вызвавших повышения уровня моря в Азово-Черноморском бассейне в сентябре 2014, 2016 гг. и в марте 2017 и 2021 гг. (рис. 1а). На повышения уровня моря в районе Крыма и в Азовском море значительное влияние оказывают треки средиземноморских циклонов, проходящие через Балканский полуостров (рис. 1а), в качестве примера для 17.03.2017 г. приведена относительная завихренность на 850 гПа с величиной более $20 \times 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ (рис. 1б).

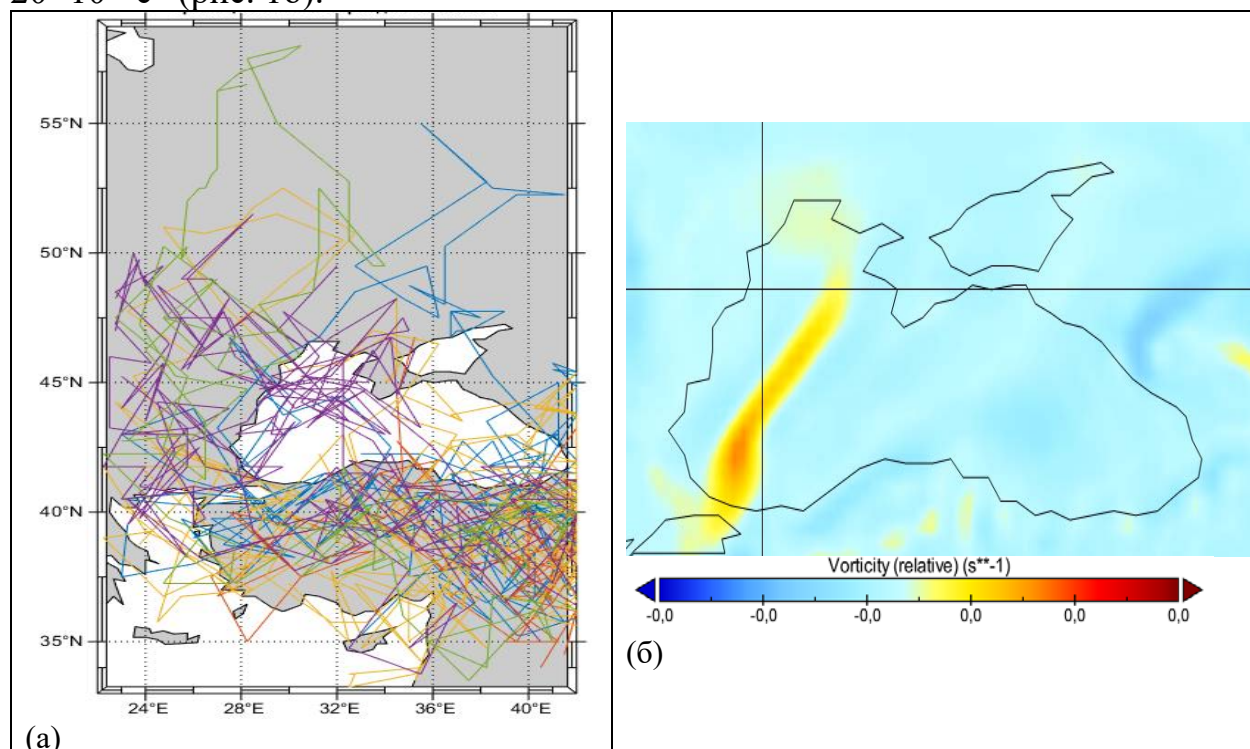


Рис. 1. Композитная карта треков движения циклонов, вызвавших повышения уровня моря в Азово-Черноморском бассейне в сентябре 2014, 2016 гг. и в марте 2017 и 2021 гг. (а); относительная завихренность на 850 гПа более $20 \times 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ 17.03.2017 г. (б)

На основе сопоставления данных уровня моря и траекторий прохождения интенсивных циклонов с завихренностью более $20 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ детально исследованы повышения уровня в районе ЮБК и в Азовском море. По упомянутым выше критериям были выделены треки движения циклонов, вызвавшие повышения уровня в районе ЮБК в сентябре 2014г. по данным измерителя уровня моря в Таганрогском заливе и на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне (ЧГПП) МГИ в пгт Качивели (рис. 2). Повышения уровня на посту ЧГПП при прохождении циклонов в сентябре 2014г. превышали средний за 2014-2018 гг. уровень моря для сентября на 25-40 см (рис. 3).

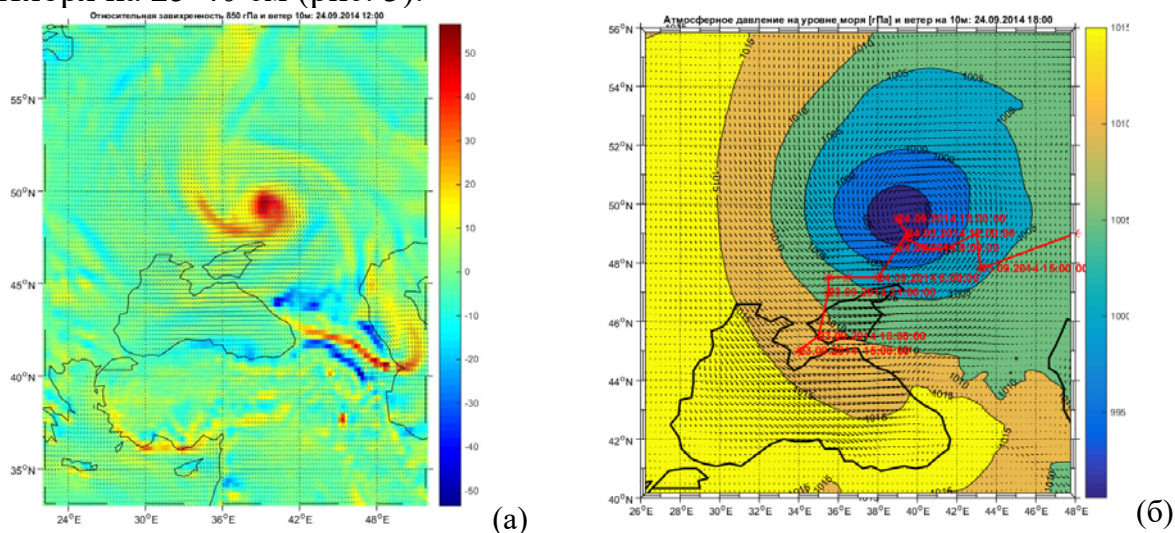


Рис. 2. Относительная завихренность на уровне 850 гПа и ветер на 10м (а); приземное давление и ветер на 10 м 24.09.2014 вместе с треком движения центра циклона за 23-25.09.2014 (красная линия) (б)

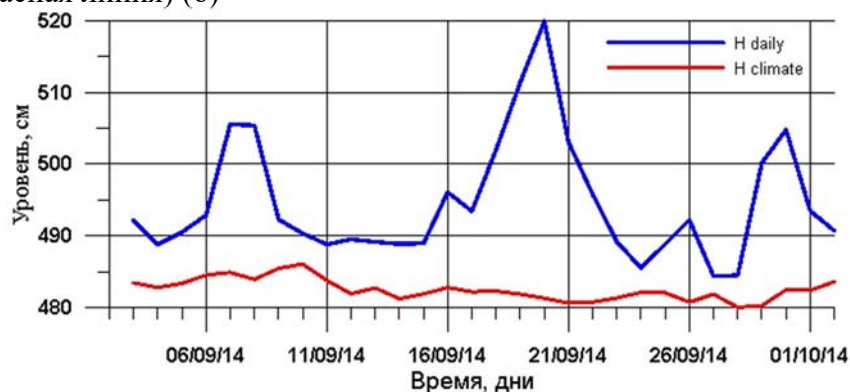


Рис. 3. Повышения уровня на посту ЧГПП при прохождении циклонов в сентябре 2014 г. (синяя кривая) и средний за 2014-2018гг. уровень моря для сентября (красная кривая).

Наиболее интенсивный циклон с относительной завихренностью более $50 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ привел к экстремальному штормовому нагону 24.09.2019 в Таганрогском заливе, скорость ветра составила 25 м/с, в порывах до 37 м/с, атмосферное давление в центре циклона составило 990 гПа, относительная завихренность на уровне 850 гПа достигла максимальных значений 23-26.09.2014 (рис.2). Центр циклона 23.09.2014 находился над Крымом, траектория движения была направлена на северо-восток и приведена на

рис. 2б. Циклон приостановил свое движение в течение 12 часов, 24.09.2014, что привело к усилению штормового нагона в Таганрогском заливе (рис.4).

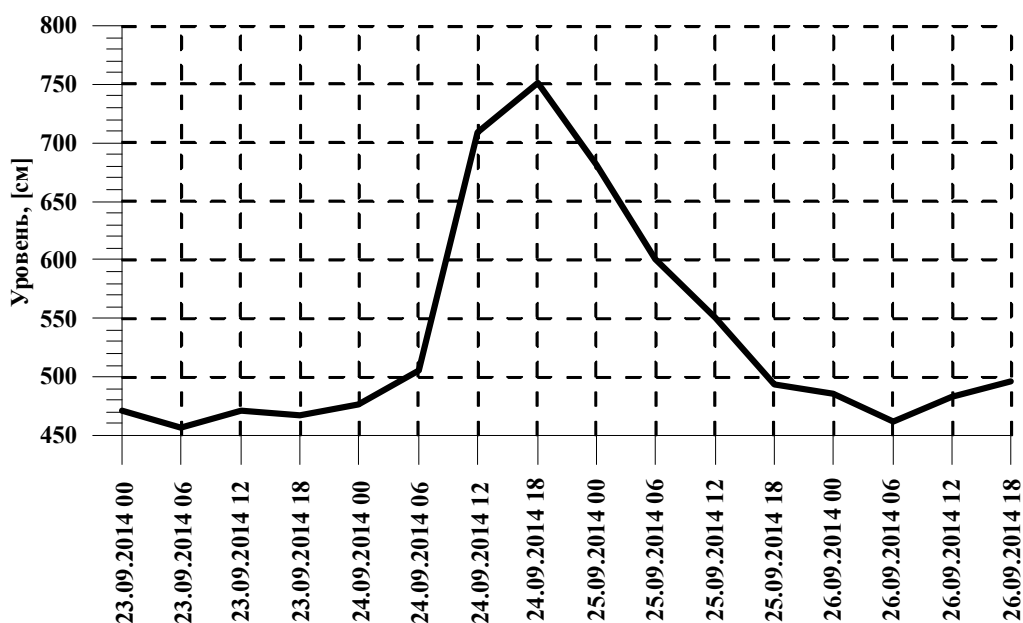


Рис. 4. Повышения уровня моря, вызванные штормовым нагоном в Таганрогском заливе 23.09.2014-24.09.2014 г.

За период 2014–2021 гг. были проанализированы поля приземного давления, скорости ветра и относительной завихренности на уровне 850 гПа, рассчитаны характеристики циклонов и построены типичные траектории их движения (табл. 1, рис. 1а). Результаты систематизированы в табл. 1. Проведенная типизация полей приземного атмосферного давления и ветра над Азово-Черноморским бассейном показала, что положение треков циклонов зависит от определенных типов барических полей и в результате оказывает влияние на пространственное распределение ветров нагонных и сгонных направлений в Азово-Черноморском бассейне (таб. 1, рис. 1).

Таблица 1

Траектории движения центра циклонов (Т1 – Т5) с характерными значениями: радиус циклона ~300 км, скорость перемещения циклона ~40 км/ч, перепад давления между периферией и центром циклона ~20 гПа

Тип траектории движения циклона	Начальная широта центра циклона, ° с. ш.	Начальная долгота центра циклона, ° в. д.	Угол наклона траектории, °
T1	46,25	29,25	0
T2	48,25	29,25	0
T3	44,25	29,25	0
T4	48,50	29,25	330
T5	44,25	29,25	30

Угол наклона траектории отсчитывался относительно оси X, которая направлена против часовой стрелки на восток. Выбор начальной долготы центра циклона основан на допущении, что в начальный момент времени при любом значении начальной координаты по широте центра циклона зона

пониженного давления располагалась за пределами Азовского моря. Выбранные траектории соответствуют варианту перемещения циклона с запада на восток в широтном направлении.

Чередование типов крупномасштабных барических полей имеет значительную межгодовую изменчивость, в качестве показателя которой предлагается использовать климатические индексы Северо-атлантического колебания (NAO) и колебания Восточная Атлантика -западная часть России (EAWR).

Выводы. На основании предложенного метода расчета треков движения циклонов, основанного на анализе относительной завихренности атмосферных полей ре-анализа ERA-Interim и ERA-5 на уровне 850 гПа были рассчитаны характеристики циклонов и классифицированы траектории их движения. Они могут быть использованы как сценарии для задания перемещения циклонов для численного моделирования штормовых нагонов при различных фазах прохождения циклона. Для исследования подъемов уровня моря в районе ЮБК и в Таганрогском заливе при различных типах ветрового воздействия анализировались данные береговых измерителей уровня моря.

Основой выбора параметров циклона являлись представленные оценки, согласно которым возникающие над Азово-Черноморским бассейном циклонические образования имеют характерный диаметр порядка 500–700 км, перепад давления составляет от 10 до 20 гПа, а скорость перемещения циклонов изменяется от 5 до 10 м/с.

Результаты работы могут быть использованы для численного моделирования штормовых нагонов для расчета особенностей пространственного распределения характеристик штормовых нагонов и ветрового волнения в Азово-Черноморском регионе, исследования литодинамических процессов в районе аккумулятивных берегов [7]. Основные сведения о траекториях перемещения центра циклона, полученные в результате типизации синоптических полей и выделения треков движения циклонов, представлены в табл. 1.

После анализа траектории прохождения циклона становится понятным развитие экстремального штормового нагона 24.09.2014 в Таганрогском заливе и дельте Дона: центр циклона находился севернее дельты на широте $\varphi_0 = 48,50^\circ$ с.ш., имел характеристики близкие к сценарию T5: скорость ветра над дельтой была 25 м/с (в порывах до 37 м/с) и кроме того, циклон существенно замедлил скорость своего перемещения 24.09.2014, что привело к усилению штормового нагона.

Таким образом, в работе была проведена оценка интенсивности ветрового волнения и штормовых нагонов в Крыму и Азовском море в зависимости от траектории движения циклонов. Предложен метод расчета треков движения циклонов, основанный на анализе относительной завихренности атмосферных полей ре-анализа. Чередование типов барических полей имеет значительную межгодовую изменчивость, в качестве показателя которой предлагается использовать климатические индексы Северо-

атлантического колебания (NAO) и колебания Восточная Атлантика-западная часть России (EAWR).

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0005.

Список литературы

1. Flaounas E., Kotroni V., Lagouvardos K., Flaounas I. CycloTRACK (v1.0): tracking winter extratropical cyclones based on relative vorticity: sensitivity to data filtering and other relevant parameters. *Geosci. Model Dev.* 2014. V. 7, No 4. P. 1841–1853. DOI: 10.5194/gmd-7-1841-2014
2. Lemeshko E.E., Surkova G.V., Lemeshko E.M. Structure and long-term dynamics of surface atmosphere of Azov-Black Sea region on the base of self-organizing map analysis. *Proc. SPIE 10833, 24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 108337V* (13 December 2018); DOI: 10.1117/12.2504291
3. Rudeva I., Gulev S.K., Simmonds I., Tilinina N. The sensitivity of characteristics of cyclone activity to identification procedures in tracking algorithms. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography.* 2014. V. 66, No 1. DOI: 10.3402/tellusa.v66.24961
4. Bromwich D.H., Sheng-Hung Wang. A review of the temporal and spatial variability of Arctic and Antarctic atmospheric circulation based upon ERA-40. *Dynamics of Atmospheres and Oceans.* 2008. V 44, No 3–4. P 213–243. DOI: 10.1016/j.dynatmoce.2007.09.001
5. Flaounas E., Gray S.L., Teubler F. A process-based anatomy of Mediterranean cyclones: from baroclinic lows to tropical-like systems. *Weather Clim. Dynam.* 2021. V. 2, No 1. P. 255–279. DOI: 10.5194/wcd-2-255-2021
6. Ulbrich U., Leckebusch, G.C., Pinto J.G. Extra-tropical cyclones in the present and future climate: a review. *Theor Appl Climatol.* 2009. V. 96. P. 117–131. DOI: 10.1007/s00704-008-0083-8
7. Горячкин, Ю.Н., Фомин, В.В. Волновой режим и литодинамика в районе аккумулятивных берегов западного Крыма // *МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ.* 2020. Т.36, № 4(214). С.451-466. DOI: 10.22449/0233-7584-2020-4-451-466

ИЗМЕНЕНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ В XXI ВЕКЕ ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В РАМКАХ ЭКСПЕРИМЕНТА СМIP6

¹Н.А. Лемешко, ²А.П. Морозов, ³А.К. Ахсалба, ⁴В.П. Евстигнеев
n.lemeshko@spbu.ru; antonmorozov43@yandex.ru; Asida_cen@mail.ru;
vald_e@rambler.ru

¹*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова, Россия, г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, г. Санкт-Петербург*

³*Абхазский государственный университет, Абхазия, г. Сухум*

⁴*Севастопольский государственный университет, Россия, г. Севастополь*

Ключевые слова. *Глобальное потепление, МОЦАО, ансамбль моделей, гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова, сумма температуры воздуха выше +10°C.*

Для исследования последствий глобального потепления применяют различные климатические показатели (индексы), в том числе для оценки изменения агроклиматических условий отдельных территорий и влияния на растительность и почвенный покров. В конце 1990-х гг. появились первые доказательства современного потепления климата, зафиксированные различными природными индикаторами [1]. Увеличение термических ресурсов и изменение характера увлажнения может оказать существенное влияние сроки вегетации растений, на продуктивность фотосинтеза, накопление биомассы, а также на почвенное плодородие.

Для оценки агроклиматических условий используют климатические показатели, определяющие теплообеспеченность растений, такие как, сумма активных температур воздуха и продолжительность вегетационного периода. Однако, необходимо учитывать режим увлажнения, поэтому наиболее востребованными климатическими индексами в агроклиматологии являются комплексные показатели, представляющие собой комбинацию температуры воздуха и атмосферных осадков, как, например, гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) [2]. Эти показатели широко используются для оценки агроклиматических условий при изменении климата [3,4].

Актуальной задачей не только климатологии, но и агроклиматологии стала сценарная оценка предстоящих изменений климата. Согласно оценкам специалистов, возможно увеличение средней глобальной температуры воздуха на 1,5-2°C уже в ближайшие десятилетия [5,6]. В настоящее время для прогноза состояния климатической системы широко используются модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). В моделях теории климата в качестве параметра внешнего воздействия на климатическую систему будущего используются эмиссионные сценарии изменения концентрации

парниковых газов в атмосфере, как основной причины глобального потепления.

Количество климатических моделей и исследовательских групп в разных странах мира значительно увеличилось за последние 50 лет. В 2014 г. [4], число моделей составило более 70, а к 2021 г. выросло почти до сотни.

Для исследования выбраны 12 моделей общей циркуляции атмосферы и океана, входящие в CMIP6. Данные моделей сравнивались с данными наблюдений для метеорологических станций за 1984-2014 гг. по температуре воздуха, сумме атмосферных осадков, относительной влажности воздуха и агроклиматических показателей для Европейской территории России (ЕТР). На основе ранговой оценки 12 моделей рассчитан суммарный ранг каждой модели по шести статистическим характеристикам уклонения и определен итоговый рейтинг модели (см. методику в [7]). Ни одна модель из 12 проанализированных МОЦАО не получила высший ранг по каждому из трех метеорологических элементов. Все модели превышают количество осадков. Несколько лучшие результаты были получены по температуре и относительной влажности воздуха. В результате анализа, был составлен ансамбль из лучших моделей, имевших рейтинг до 30 баллов: CNRM-CM6-1-HR, CanESM5, EC-Earth3, CESM2, NorESM2-MM, MIROC6, INM-CM5-0, CMCC-ESM2 и UKESM1-0-LL [7].

Использование ансамбля моделей позволило получить более достоверные оценки климата, чем для любой отдельной модели и рассчитать агроклиматические показатели и построить пространственные поля их распределения (сумма активных температур воздуха, продолжительность вегетационного, ГТК, БКП). Для указанных четырех траекторий были получены оценки температуры воздуха, атмосферных осадков и других характеристик климата, включая агроклиматические индексы по различным социально-экономическим траекториям. В том числе, поля аномалий температуры воздуха, атмосферных осадков (за теплый период), агроклиматических показателей (ГТК, БПК, суммы температуры воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$) по ансамблю моделей на период 2041-2060 гг. относительно периода 1985-2014 гг. по различным социально-экономическим траекториям (рис.1-2).

Анализ полученных значений для четырех траекторий социально-экономического развития показал: рост средней годовой температуры для района Черноморского побережья (в том числе Республики Абхазия) составит от $1,3-1,7^{\circ}\text{C}$ (SSP1,2) до $1,7-2,3^{\circ}\text{C}$ (SSP4), сумма температуры воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$ по ансамблю моделей на период 2041-2060 гг. относительно периода 1985-2014 гг. увеличится значительно по всем социально-экономическим траекториям. Так, прогноз по SSP1 и SSP2 предполагает увеличение сумм температуры воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$ на $250-750^{\circ}\text{C}$, по SSP3-SSP5 – увеличится на $400-900^{\circ}\text{C}$.

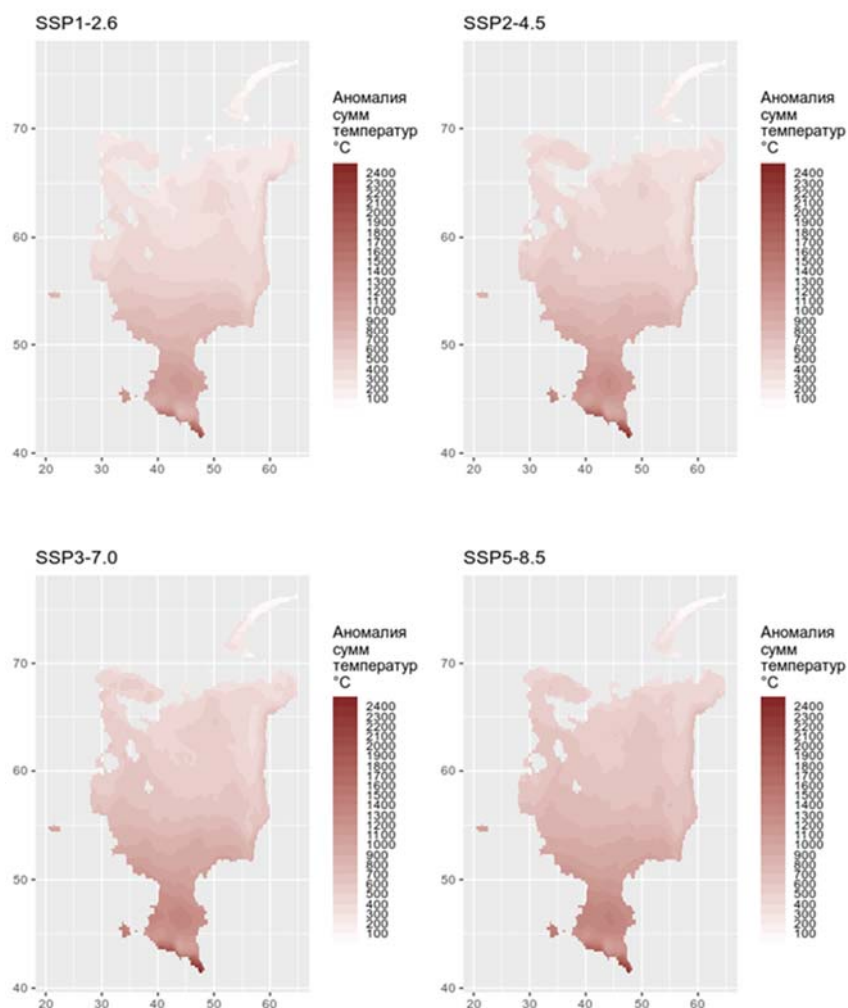


Рис. 1. Аномалии сумм температур воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$ по ансамблю моделей на период 2041-2060 гг. относительно периода 1985-2014 гг по различным социально-экономическим траекториям

Если все сценарии указывают на рост теплообеспеченности исследуемой территории, то прогнозы осадков противоречивы не только по величине, но и по знаку. Это связано с особенностями географического распределения осадков и сложностями их параметризации в МОЦАО. Аномалии сумм осадков за тёплый период по ансамблю моделей на период 2041-2060 гг. относительно периода 1985-2014 гг. по различным социально-экономическим траекториям преимущественно отрицательны и составляют от -80 до 0 мм на равнинной и от -350 до -50 мм в горах (для SSP1 и SSP2), а для SSP3 и SSP5 эти аномалии составляют от -50 до $+30$ мм на равнине и от -50 до -400 мм в горах. Из-за влияния гор абсолютные показатели агроклиматических показателей и их аномалии имеют огромный разброс значений, что существенно снижает прогностическую ценность. Поэтому более правдоподобны прогнозы показателя, отражающего относительные изменения агроклиматических условий, такого как ГТК (Рис.2). Гидротермический коэффициент по Г.Т. Селянинову (ГТК) является комплексным агроклиматическим показателем, отражающим как

теплообеспеченность: используется сумма температур воздуха выше +10°C и влагообеспеченность территории (по сумме атмосферных осадков за вегетационный период). Данный показатель рассчитывается по формуле:

$$\text{ГТК} = \frac{P_{\Sigma T > 10^{\circ}\text{C}}}{0,1 \Sigma T > 10^{\circ}\text{C}},$$

где $P_{\Sigma T > 10^{\circ}\text{C}}$ — сумма выпавших осадков за период со средними суточными температурами воздуха выше +10°C, $\Sigma T > 10^{\circ}\text{C}$ — сумма температур воздуха за тот же период. Сумма температур, уменьшенная в 10 раз, отождествляется с испаряемостью. Чем ниже значение ГТК, тем менее обеспечена влагой местность и наоборот.

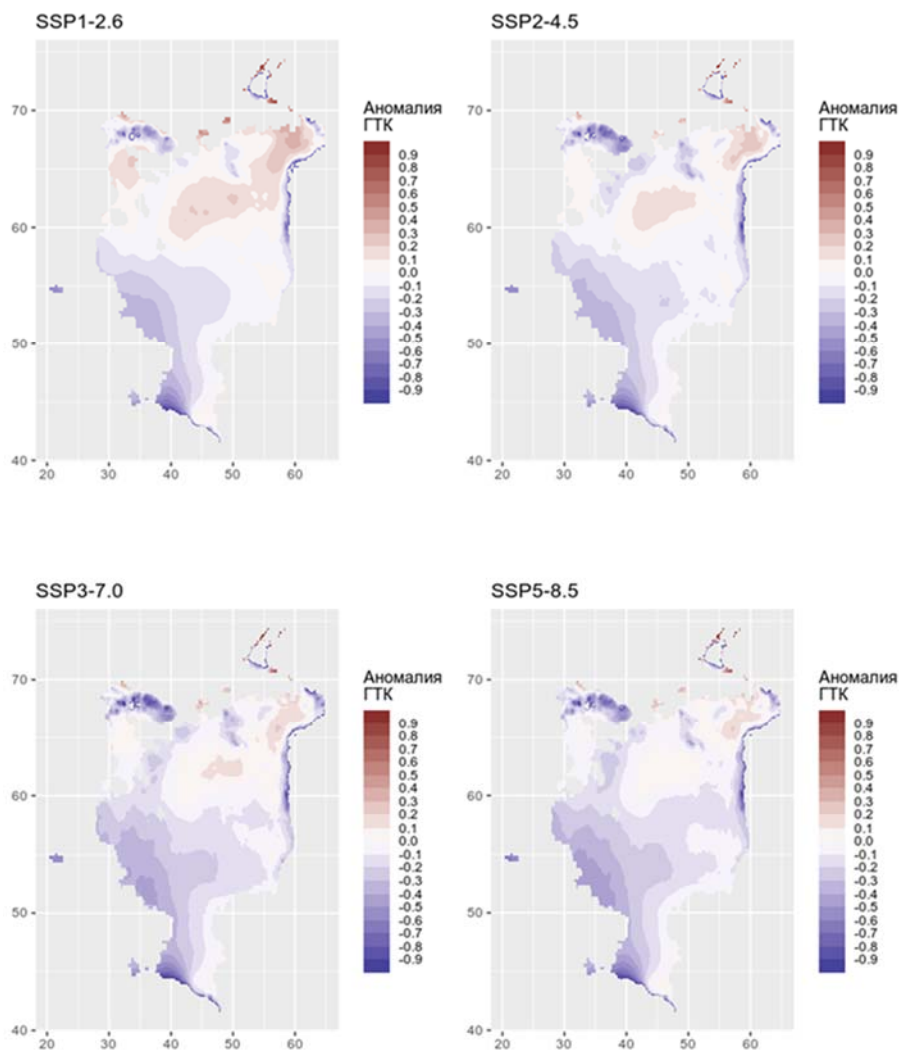


Рис. 2. Аномалии гидротермического коэффициента по ансамблю моделей на период 2041-2060 гг. относительно периода 1985-2014 гг. по различным социально-экономическим траекториям

Для анализируемых SSP в районе исследования значения ГТК значительно уменьшаются: на 0,5-0,9 по траекториям (SSP 1, SSP2) и на 0,8-1,2 по SSP3 и SSP5.

Таким образом, для района исследования анализ показал, что МОЦАО для разных социально-экономических траекторий достаточно надежны и

возможны для использования в прогнозе для климатических и агроклиматических показателей, характеризующих термический режим (температура воздуха, суммы температур воздуха и продолжительность вегетационного периода); однако достоверность и надежность их прогнозов недостаточна для показателей, связанных с увлажнением (годовая сумма осадков, сумма осадков за тёплый период) и использовать их возможно после проверки для конкретного региона способности воспроизводить климатическую норму.

Список литературы

1. Ранькова Э.Я., Груза Г.В. Индикаторы изменения климата России // Метеорология и гидрология. 1998. № 1. С. 5–17.
2. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по с.-х. метеорологии, 1928. Вып. 20. С. 169–178.
3. Грингоф И.Г., А.Д. Клещенко. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том I. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011, 808 с.
4. Сиротенко О.Д., Абашина Е.В., Павлова В.Н. Динамика климатообусловленных изменений теплообеспеченности, увлажненности и продуктивности земледельческой зоны России // Труды ФГБУ «ВНИИСХМ», 2013. Вып. 38. С. 41–53.
5. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 pp.
6. 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., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf
7. Лемешко Н.А., В.П. Евстигнеев, Морозов А.П., Русаков А.В. Применимость данных МОЦАО для оценки агроклиматических условий отдельных территорий // Системы контроля окружающей среды. 2021. Вып.3(45). С.23-30, doi: 10.33075/2220-5861-2021-3-23-30.

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

МАТЕРИАЛЫ
VII Международной научно-практической конференции

Часть 1

Подписано в печать 05.05.2023. Формат бумаги 60x84/16. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Гарнитура Таймс. Усл. п.л. 19,1. Тираж 300. Заказ 015.

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