

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  
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tver State University»  
Institute of Atmospheric Physics 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  
«Moscow State University named after M.V. Lomonosov»  
Office of Environmental Protection, Natural Resources of the Republic of Adygeya

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

**V International Scientific and Practical Conference**

Part 2

**Republic of Adygeya, Maykop  
May 20-24, 2019**

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

Беданок 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 V Международной научно-практической конференции. Часть 2. – Майкоп: Изд-во «ИП Кучеренко В.О.», 2019. – 298 с.

**ISBN**

**ISBN**

**– Ч. 2**

В сборнике представлены материалы участников научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий», организованной на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Майкопский государственный технологический университет» совместно с Институтом экологии Академии наук Абхазии, федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Тверской государственный университет», при поддержке ФГБУН Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук, ФГБУН Геофизический центр Российской академии наук и ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», при участии Управления по охране окружающей среды и природным ресурсам Республики Адыгея, проведённой в г. Майкопе 20 – 24 мая 2019 г.

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

ББК 20.1

© ФГБОУ ВО «МГТУ», 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Лёзина Н.Р., Шелопут Т.О.</b> ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ ФУНКЦИЙ НА ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ЖИДКИХ ГРАНИЦАХ В ЗАДАЧЕ АССИМИЛЯЦИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА УРОВНЕМ МОРЯ.....	<b>11</b>
<b>Лубков А.С., Марчукова О.В., Воскресенская Е.Н.</b> ПРОЯВЛЕНИЕ СОБЫТИЙ ЭЛЬ-НИНЬО И ЛА-НИНЬЯ В АТЛАНТИКО-ЕВРОПЕЙСКОМ РЕГИОНЕ В ХОЛОДНОЕ ВРЕМЯ ГОДА.....	<b>21</b>
<b>Мамадалиева Л.Н.</b> ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВО ВРЕМЕНИ.....	<b>30</b>
<b>Марченков А.Ю.</b> ВИБРАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА.....	<b>34</b>
<b>Медведева А. В., Станичный С. В.</b> ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИБРЕЖНЫХ ПРОЦЕССОВ ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СНИМКАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ.....	<b>36</b>
<b>Мовчан В.Н, Ефремов А.А.</b> О КРИТЕРИЯХ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ.....	<b>40</b>
<b>Морозов В.Н., Маневич А.И., Татаринев В.Н., Татаринова Т.А.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В РАЙОНАХ СИЛЬНЫХ КОРОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-АНАТОЛИЙСКОГО РАЗЛОМА.....	<b>47</b>
<b>Нефедова Л.В.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СТРАНАХ АФРИКИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И СНИЖЕНИЯ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ.....	<b>55</b>
<b>Нефедова Л.В., Соловьев А.А.</b> МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКАМ РИСКОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.....	<b>65</b>
<b>Паланджянц Л.Ж.</b> О ЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ.....	<b>74</b>
<b>Панина Е.А.</b> ТУРИСТИЧЕСКАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВИДОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА.....	<b>80</b>
<b>Панина Е.А., Нагоева А.К.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ ТУРИЗМА НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ.....	<b>84</b>
<b>Панкратова Н.В., Скороход А.И., Беликов И.Б., Ракитин В.С., Штабкин Ю.А., Березина Е.В.</b> СУДОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ СОСТАВА АТМОСФЕРЫ НАД МОРЯМИ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ.....	<b>87</b>
<b>Пачулия Э.В., Ахсалба А.К.</b> ВЕТРОВОЙ РЕЖИМ АТМОСФЕРЫ НА ТЕРРИТОРИИ АБХАЗИИ.....	<b>95</b>

<b>Подлипский И.И., Тиличко Д.Ю. АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ГЛУБИНЫ ОЗЕРА ДГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ».....</b>	<b>103</b>
<b>Ракитин В.С., Скороход А.И., Панкратова Н.В., Штабкин Ю.А., Ракитина А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТАВА АТМОСФЕРЫ НАД ЕВРАЗИЕЙ НА ОСНОВЕ НАЗЕМНЫХ И ОРБИТАЛЬНЫХ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ.....</b>	<b>107</b>
<b>Ракитин В.С., Еланский Н.Ф., Панкратова Н.В., Джола А.В., Ракитина А.В., Шилкин А.В., Кириллова Н.С., Гречко Е.И. СОДЕРЖАНИЕ ОКИСИ УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ МОСКОВСКОГО МЕГАПОЛИСА.....</b>	<b>108</b>
<b>Репина И.А., Шестакова А.А., Варенцов М.И., Погарский Ф.А., Чечин Д.Г. ОПАСНЫЕ ПОГОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В АРКТИКЕ.....</b>	<b>118</b>
<b>Романенко Ф.А., Гуринов А.Л., Репкина Т.Ю., Еременко Е.А., Бредихин А.В. АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ РЕЛЬЕФА И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ.....</b>	<b>128</b>
<b>Сергеев И.Н., Хоконов А.Х., Масаев М.Б., Ахматов З.А., Аброков И.И. ВЛИЯНИЕ ОДНОМЕРНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ НА СМАЧИВАНИЕ МИКРОКАПЛЯМИ ЛЕГКОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ ПИРИТА И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ.....</b>	<b>136</b>
<b>Серых И.В., Костяной А.Г. МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ.....</b>	<b>139</b>
<b>Сиротюк Э.А., Гергия И.Г. РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ ДРЕВНИХ ЭНДЕМИЧНЫХ ВИДОВ ФЛОРЫ АБХАЗИИ.....</b>	<b>145</b>
<b>Сычев В.И. КОМУ НЕОБХОДИМЫ ЗНАНИЯ ОБ ОКЕАНЕ? ПОДГОТОВКА К ДЕСЯТИЛЕТИЮ ООН, ПОСВЯЩЁННОМУ НАУКЕ ОБ ОКЕАНЕ В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ (2021-2030).....</b>	<b>152</b>
<b>Сычев В.И. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАПРИПАЙНОЙ ПОЛЫНИИ СЕВЕРНЕЕ ОСТРОВА КОТЕЛЬНЫЙ.....</b>	<b>164</b>
<b>Тороян Р.А., Тах И.П. МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ БЕЛАЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА).....</b>	<b>173</b>
<b>Тороян Р.А., Тах И.П. ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ ВОДА-ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ: НА ПРИМЕРЕ РЕКИ БЕЛАЯ</b>	<b>178</b>

<b>Третьяков В.Ю., Фролов С.В., Сарафанов М.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ НА СЕВЕРНОМ МОРСКОМ ПУТИ С ПОМОЩЬЮ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ.....</b>	<b>188</b>
<b>Тулегенова А.А. ПОТЕНЦИАЛ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ПРИ ИХ КОМПЛЕКСНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ (АКМОЛИНСКАЯ ОБЛАСТЬ).....</b>	<b>198</b>
<b>Уджуху А.З., Ахунова И.Б., Гук Г.А., Уджуху С.Р. ВЛИЯНИЕ АВТОМОБИЛИЗАЦИИ И ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА ЗЕЛЕННЫЕ НАСАЖДЕНИЯ ГОРОДА.....</b>	<b>207</b>
<b>Харченко С.В. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ МОРФОСКУЛЬПТУРЫ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ.....</b>	<b>213</b>
<b>Хатко З.Н., Колодина Е.М., Ашинова А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДОВ ПЕКТИНОВ И ИХ КОМБИНАЦИЙ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ ВЯЗКОСТЬ ПЕКТИНОВЫХ РАСТВОРОВ.....</b>	<b>220</b>
<b>Хатко З.Н., Ашинова А.А. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПЛЕНКООБРАЗОВАНИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИННОВАЦИОННЫХ ПЕКТИНОСОДЕРЖАЩИХ ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР.....</b>	<b>223</b>
<b>Хинтуба Л.В., Эмба Я.А. ВЛИЯНИЕ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ВОЗДУХА.....</b>	<b>225</b>
<b>Хоконов А.Х., Сергеев И.Н., Ахматов З.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ РЕЗОНАНСНОЙ РАСКАЧКИ КАПИЛЛЯРНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЛЕЖАЩЕЙ КАПЛИ.....</b>	<b>233</b>
<b>Черепанцев А.С. КЛЕТОЧНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗЛОМНОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ НАГРУЖЕНИЯ ОБРАЗЦА.....</b>	<b>239</b>
<b>Чернова Н.И., Киселева С.В., Власкин М.С., Григоренко А.В. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И ПОЛУЧЕНИЯ БИОТОПЛИВА.....</b>	<b>247</b>
<b>Чернышенко А.Ю. СОВРЕМЕННЫЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ.....</b>	<b>259</b>
<b>Шадже А.Е., Шадже А.И. БИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА <i>CERHALANTHERA LONGIFOLIA</i> (L.) FRITSCH В ФИТОЦЕНОЗАХ АДЫГЕИ.....</b>	<b>268</b>

<b>Шакун В.П., Киселева С.В., Тарасенко А.Б., Тебуев В.В.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ВЕТРОДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЛЯ ЗАМЕЩЕНИЯ ТОПЛИВА ЭНЕРГИЕЙ ВЕТРА.....	<b>275</b>
<b>Шевякова О.П., Лебедев С.А.</b> АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВЕННОГО РЕЖИМА КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ.....	<b>283</b>
<b>Штабкин Ю. А., Моисеенко К.Б., Скороход А.И., Березина Е.В.</b> ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ.....	<b>291</b>

## CONTENTS

<b>Lezina N.R., Sheloput T.O.</b> RECOVERY OF BOUNDARY FUNCTIONS AT THE EXTERNAL AND INTERNAL LIQUID BOUNDARIES IN THE SEA LEVEL DATA ASSIMILATION PROBLEM.....	11
<b>Lubkov A.S., Marchukova O.V., Voskresenskaya E.N.</b> THE EL NINO AND LA NINA EVENTS MANIFESTATION IN THE ATLANTIC-EUROPEAN REGION DURING THE COLD SEASON.....	21
<b>Mamadalieva L.N.</b> IDENTIFICATION OF TRENDS DEVELOPMENT IN BIOLOGICAL TIME PROCESS.....	30
<b>Marchenkov A.Yu.</b> VIBRATION MONITORING OF CIVIL BUILDINGS.....	34
<b>Medvedeva A.V., Stanichny S.V.</b> CHARACTERISTICS OF COASTAL PROCESSES BY SEQUENTIAL HIGH-RESOLUTION SATELLITE IMAGES.....	36
<b>Movchan V.N., Efremov A.A.</b> ON THE CRITERIA OF ECO-GEOGRAPHICAL ASSESSMENT OF THE STATE OF URBAN AREAS.....	40
<b>Morozov V.N., Manevich A.I., Tatarinov V.N., Tatarinova T.A.</b> MODELING OF A STRESSED-DEFORMED CONDITION IN THE AREAS OF STRONG SHALLOW-FOCUS EARTHQUAKES ON THE EXAMPLE OF THE NORTH ANATOLIAN FAULT.....	47
<b>Nefedova L.V.</b> RENEWABLE ENERGY IN AFRICA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND GREENHOUSEGAS EMISSIONS REDUCING.....	55
<b>Nefedova L.V., Solovyev A.A.</b> METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE RISKS IN RENEWABLE ENERGY.....	65
<b>Palandzyants L.Zh.</b> ON THE LOGICAL MODEL OF FUNDAMENTAL PARTICLES.....	74
<b>Panina E.A.</b> TOURIST ATTRACTIVENESS OF THE REPUBLIC OF ADYGEA FOR IMPLEMENTATION OF ECOLOGICAL TOURISM SPECIES.....	80
<b>Panina E. A., Nagoeva A.K.</b> ORGANIZATION OF TOURISM IN SPECIALLY PROTECTED NATURAL TERRITORIES OF THE REPUBLIC OF ADYGEA.....	84
<b>Pankratova N.V., Skorokhod A.I., Belikov I.B., Rakitin V.S., Shtabkin Yu.A., Berezina E.V.</b> SHIPBOARD OBSERVATIONS OF THE ATMOSPHERIC COMPOSITIONS OVER THE EAST ARCTIC SEAS.....	87
<b>Pachuliya E.V., Akhsalba A. K.</b> THE WIND REGIME OF ATMOSPHERE ON THE TERRITORY OF ABKHAZIA.....	95

<b>Podlipkiy I.I., Tilichko D.Yu.</b> DEPENDENCY ANALYSIS OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF SEDIMENTS AND LAKE DEPTH DGO NATIONAL PARK "SMOLENSKOE POOZERIE" .....	<b>103</b>
<b>Rakitin V.S., Skorokhod A.I., Pankratova N.V., Shtabkin Yu. A., Rakitina A.V.</b> ATMOSPHERE COMPOSITION CHANGE RESEARCH OVER EURASIA BASED ON GROUND-BASED AND ORBITAL SPECTROSCOPIC MEASUREMENTS.....	<b>107</b>
<b>Rakitin V.S., Elansky N.F., Pankratova N.V., Dzhola A.V., Rakitina A.V., Shilkin A.V., Kirillova N.S., Grechko E.I.</b> TOTAL CONTENT OF CARBON MONOXIDE IN ATMOSPHERE OF MOSCOW MEGAPOLIS .....	<b>108</b>
<b>Repina I.A., Shestakova A.A., Varentsov M.I., Pogarskiy F.A., Chechin D.G.</b> HAZARDOUS HYDROMETEOROLOGICAL PHENOMENA IN THE ARCTIC ZONE.....	<b>118</b>
<b>Romanenko F.A., Gurinov A.L., Repkina T.Yu., Eremenko E.A., Bredikhin A.V.</b> ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF LANDFORMS AND GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES IN THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA.....	<b>128</b>
<b>Sergeev I.N., Khokonov A.Kh., Masaev M.B., Akhmatov Z.A., Abrokov I.I.</b> THE INFLUENCE OF ONE-DIMENSIONAL SURFACE TENSION ON THE WETTABILITY OF PYRITE AND STAINLESS STEEL SUBSTRATES BY LOW-MELTING METALS MICRODROPLETS.....	<b>136</b>
<b>Serykh I.V., Kostianoy A.G.</b> INTERANNUAL VARIABILITY OF THE SURFACE TEMPERATURE OF THE BARENTS SEA.....	<b>139</b>
<b>Sirotiuk E.A., George I.G.</b> DISTRIBUTION AND GENETIC RELATIONSHIPS ANCIENT ENDEMIC SPECIES OF THE FLORA OF ABKHAZIA.....	<b>145</b>
<b>Sychev V.I.</b> WHO NEEDS KNOWLEDGES ABOUT THE OCEAN? PREPARATIONS FOR THE UNITED NATIONS DECADE OF OCEAN SCIENCE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (2021-2030).....	<b>152</b>
<b>Sychev V.I.</b> SOME RESULTS OF THE USE OF SATELLITE-BASED TECHNOLOGIES FOR STUDYING THE CURRENT STATE OF THE GREAT SIBERIAN POLINYA TO THE NORTH OF THE KOTELNY ISLAND.....	<b>164</b>
<b>Toroyan R.A., Takh I.P.</b> MIGRATION OF HEAVY METALS IN AQUATIC ECOSYSTEM (ON THE EXAMPLE OF THE RIVER BELAYA IN THE NORTH-WESTERN CAUCASUS).....	<b>173</b>
<b>Toroyan R.A., Takh I.P.</b> FEATURES OF ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN THE SYSTEM OF WATER SEDIMENTS: ON THE EXAMPLE OF THE RIVER BELAYA.....	<b>178</b>



<b>Tretyakov V.Yu., Frolov S.V., Sarafanov M.I.</b> RESEARCH OF ICE CONDITIONS DYNAMICS ALONG THE GREAT NORTHERN THROUGHWAY BY MEANS OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES.....	188
<b>Tulegenova A.A.</b> COMPLEX ANALYSIS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES DISTRIBUTION (AKMOLA REGION).....	198
<b>Udzhukhu A.Z., Akhunova I.B., Guk G.A., Udzhukhu S.R.</b> INFLUENCE OF AUTOMOBILIZATION AND INTENSITY TRAFFIC FLOW ON GREEN PLANTINGS OF THE CITY.....	207
<b>Kharchenko S.V.</b> COMPARISON OF METHODS USING FOR AUTOMATIC RECOGNITION OF EXOGENOUS LANDFORMS ON THE TERRITORY OF EUROPEAN PART OF THE ARCTIC'S RUSSIAN SECTOR.....	213
<b>Khatko Z.N., Colodina E.M., Ashinova A.A.</b> STUDY OF SPECIES PECTIN, AND THEIR COMBINATIONS ON THE DYNAMIC VISCOSITY OF PECTIN SOLUTION .....	220
<b>Khatko Z.N., Ashinova A.A.</b> INFLUENCE OF CONDITIONS OF FILM FORMATION ON THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THE FILM INNOVATION STRUCTURE OF THE PECTIN.....	223
<b>Khintuba L.V., Ekba Ya.A.</b> INFLUENCE OF STRATOSPHERIC AEROSOL ON THE TEMPERATURE OF THE SURFACE AIR LAYER.....	225
<b>Khokonov A.Kh., Sergeev I.N., Akhmatov Z.A.</b> DETERMINATION OF THE SURFACE TENSION OF THE LIQUID BY THE METHOD OF RESONANT CAPILLARY OSCILLATIONS OF A SESSILE DROPLET.....	233
<b>Cherepantsev A.S.</b> CELLULAR MODEL OF FAULT STRUCTURE FORMATION UNDER VARIOUS TYPES OF LOADING.....	239
<b>Chernova N.I., Kiseleva S.V., Vlaskin M.S., Grigorenko A.V.</b> INTEGRATED SYSTEMS USING MICROALGAE-FOR WASTEWATER TREATMENT AND BIOFUEL PRODUCTION..	247
<b>Chernyshenko A.Y.</b> MODERN NUMERICAL METHODS FOR HYDROGEOLOGICAL PROBLEMS.....	259
<b>Shadge A.E., Shadge A.I.</b> BIOECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF <i>CEPHALANTHERA LONGIFOLIA</i> IN PHYTOCENOSES OF THE REPUBLIC OF ADYGEA.....	268
<b>Shakun V.P., Kiseleva S.V., Tarasenko A.B., Tebuev V.V.</b> OPTIMIZATION OF ENERGY STORAGE OF WIND-DIESEL POWER PLANTS UNDER DIFFERENT OPERATING CONDITIONS FOR REPLACEMENT OF FUEL WITH WIND ENERGY.....	275
<b>Shevyakova O.P., Lebedev S.A.</b> VARIABILITY OF THE KRASNODAR RESERVOIR LEVEL BASED ON SATELLITE ALTIMETRY.....	283

**Shtabkin Yu. A., Moiseenko K. B., Skorokhod A.I., Berezina E.V.**  
NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS OF NEAR-  
SURFACE OZONE SEASONAL VARIATIONS IN CENTRAL  
SIBERIA..... **291**

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ ФУНКЦИЙ НА ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ЖИДКИХ ГРАНИЦАХ В ЗАДАЧЕ АССИМИЛЯЦИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА УРОВНЕМ МОРЯ

Н.Р. Лёзина, Т.О. Шелопут

*natalez92@mail.ru*

*Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН,*

*Россия, г. Москва*

**Аннотация.** В задачах математического моделирования открытых акваторий (морей и океанов) одной из актуальных проблем является проблема постановки граничных условий на внешних жидких (открытых) границах. В данной работе под внешней жидкой границей будем подразумевать границу «вода — вода», отделяющую рассматриваемую акваторию от Мирового океана. Внутренней границей будем называть границу, которая вводится при использовании метода разделения области. Применение методов разделения области позволяет сводить процесс решения задачи в исходной области к поочередному решению задач в подобластях, возможно, имеющих уже более простую форму. Задачи определения дополнительных неизвестных («граничных функций») в граничных условиях можно рассматривать как обратные и решать с использованием известных подходов. Целью данной работы является разработка метода решения задачи о восстановлении граничных функций на внешней и внутренней жидких границах на основе методов вариационной ассимиляции данных и методов разделения области. В настоящей работе предложен метод решения задачи о восстановлении граничных условий на внешних и внутренних жидких границах для одной из основных подзадач гидротермодинамики моря, которая соответствует системе уравнений мелкой воды.

**Ключевые слова.** Численные методы, вариационная ассимиляция данных наблюдений, метод разделения области, открытые границы, обратные задачи

## **Введение**

В настоящее время одним из бурно развивающихся направлений является математическое моделирование отдельных акваторий (морей, заливов, открытых акваторий океана) и прибрежных территорий. Актуальность данной тематики обоснована необходимостью оценки антропогенных воздействий на морские территории и оценки последствий таких воздействий. Темой отдельного круга исследований является прогнозирование изменений характера циркуляции и климатических изменений для выбранной акватории на протяжении нескольких десятилетий. Для корректного воспроизведения физических явлений в отдельных акваториях требуются более мелкие масштабы пространственных сеток и учет специфики рассматриваемой зоны. Для решения этих задач создаются региональные модели.

Разработчики региональных моделей гидротермодинамики открытых акваторий неизбежно сталкиваются с проблемой постановки граничных условий на внешних жидких границах. Под внешней жидкой границей будем понимать границу типа «вода-вода», отделяющую рассматриваемую область от других водных областей Мирового океана. От способа задания граничных условий на жидких границах напрямую зависит полученный результат как при долгосрочных расчетах, так и в задачах оперативного прогноза. Согласно [1], граничные условия на открытых границах должны позволять потокам как генерирующимся в моделируемой области, так и приходящим извне свободно проникать через жидкую границу. Одна из трудностей в постановке таких условий заключается в том, что точная информация о внешних («приходящих») потоках энергии и массы отсутствует. Неудачное задание граничных условий на открытых границах приводит к искажению результатов моделирования, несоответствию полученных результатов с наблюдаемыми полями течений, температурными полями и т.д. При долгосрочных (климатических) расчетах адекватное задание граничных условий на жидких границах является особенно важной задачей.

В задачах математического моделирования водных областей часто возникает необходимость более детального рассмотрения некоторой подобласти. Применение методов разделения области позволяет сводить процесс решения задачи в исходной области к поочередному решению задач в подобластях, возможно, имеющих уже более простую форму, а также применять сетки разного масштаба (т.е., характерный масштаб пространственных сеток в подобластях может отличаться). Кроме того, использование метода разделения области дает возможность создания алгоритмов, пригодных для параллельных вычислений. К основным направлениям развития методов разделения области можно отнести построение новых алгоритмов для различных классов задач и эффективную их реализацию на многопроцессорных вычислительных системах. Методы разделения области активно применяются при математическом моделировании процессов в океанах и морях [2, 3]; более того, их можно использовать в задачах вариационной ассимиляции данных наблюдений [4, 5].

Целью данной работы является разработка метода решения задачи о восстановлении граничных функций на внешней и внутренней жидких границах на основе методов вариационной ассимиляции данных и методов разделения области. В данной работе авторы опираются на результаты работ [2, 6]. Так, в [2] приведена система уравнений гидротермодинамики моря и сформулирован метод расщепления как метод аппроксимации модели по времени. Для полученной полудискретной модели поставлен класс задач о восстановлении граничных функций. В работах [7] приведено исследование некоторых из этих задач. В работе [2] предложен новый подход к построению методов разделения области в применении к моделям гидротермодинамики океанов и морей. В настоящей работе предложен метод решения задачи о восстановлении граничных условий на внешних и внутренних жидких

границах для одной из основных подзадач, которая соответствует системе уравнений мелкой воды.

### 1. Математическая модель динамики океана

Модель гидротермодинамики моря представлена системой уравнений гидротермодинамики в приближении Буссинеска и гидростатики. Полная система уравнений вместе с граничными и начальными условиями приведена в работах [2, 8].

Для аппроксимации модели по времени используется метод расщепления по физическим процессам, который позволяет представить решение целой нелинейной системы последовательными решениями более простых подзадач. Пусть на всем рассматриваемом интервале времени  $[0, t_j]$  введена сетка:  $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_j$ . На каждом интервале времени  $(t_{j-1}, t_j)$ ,  $j = 1, \dots, J$  последовательно решаются следующие задачи (шаги метода расщепления):

*ШАГ 1.* Решается задача о распространении тепла в моделируемой трехмерной области (акватории моря) для температуры вместе с соответствующей системой граничных условий и начальным условием. После этого на последующих шагах метода расщепления (на интервале времени  $(t_{j-1}, t_j)$ ) температура  $T$  не изменяется, а  $T(t_j)$  берется в качестве начального состояния при решении задач на интервале  $(t_j, t_{j+1})$ .

*ШАГ 2.* Решается задача конвекции-диффузии для солёности при соответствующих граничных и начальном условии. После этого солёность  $S$  на последующих шагах метода расщепления (на интервале времени  $(t_{j-1}, t_j)$ ) не изменяется, а  $S(t_j)$  берется в качестве начального состояния при решении задач на интервале  $(t_j, t_{j+1})$ .

*ШАГ 3.* Задача об отыскании вектора скорости  $\bar{u} = (u, v)^T$  и уровня моря  $\xi$  представляет собой последовательное решение следующих задач:

а) решение системы уравнений мелкой воды в области  $\Omega$  для отыскания баротропной составляющей скорости  $\bar{U}$  и уровня  $\xi$  со следующим граничным условием:

$$\bar{U} \cdot \bar{n} + m_{w.op} \sqrt{gH} \xi = m_{w.op} \sqrt{gH} d_s \quad \text{на } \partial\Omega \times (t_{j-1}, t_j);$$

б) нахождение бароклинной составляющей скорости.

с) нахождение поправки к скорости и решение задачи конвекции-диффузии.

После чего полученные функции скорости и уровня принимаются в качестве приближения к компонентам  $(\bar{u}, \xi)$  точного решения на интервале времени  $(t_{j-1}, t_j)$ . При этом решения систем для баротропной и бароклинной составляющих не зависят друг от друга, а решение задач (б), (с) должно осуществляться последовательно после завершения их вычисления.

## 2. Метод разделения области и ассимиляции данных на жидкой границе

Рассмотрим на интервале  $(t_0, t_1)$  следующую подзадачу с Шага 3 метода расщепления, которая соответствует системе уравнений мелкой воды:

$$\begin{cases} \underline{u}_t + l \otimes \underline{u} + r\underline{u} - g \cdot \text{grad } \xi = \underline{f} & \text{в } \Omega \times (t_0, t_1), \\ \xi_t - \text{div}(H_1 \underline{u}) = f_3 & \text{в } \Omega \times (t_0, t_1), \\ \underline{u} = \underline{u}_0, \xi = \xi_0 & \text{при } t = t_0 \text{ в } \Omega, \\ (H_1 \underline{u}) \cdot \underline{n} + m_{op} \sqrt{gH} \xi = m_{op} \sqrt{gH} d_s & \text{на } \partial\Omega \times (t_0, t_1), \end{cases} \quad (1)$$

где  $\underline{u} = (u_1, u_2)$  – вектор баротропной скорости,  $\xi$  – функция уровня,  $H(x, y)$  – глубина водоема в точке  $(x, y)$ ,  $l$  – параметр Кориолиса, коэффициент  $r$  учитывает силу трения о дно.

Пусть область  $\Omega$  разделена на две подобласти  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$  кусочно-гладкой липшицевой границей  $\Gamma_{in}$ . Введем характеристические функции  $m_{in}$  – для  $\Gamma_{in}$ , и  $m_{op}$  – для  $\Gamma_{op}$ . Обозначим через  $\underline{n}$  нормаль, направленную наружу из первой подобласти на  $\Gamma_{in}$ . Далее индексами  $i=1,2$  будем обозначать величины в разных подобластях.

Задача (1) может быть записана на каждой из подобластей с условиями сшивки на  $\Gamma_{in}$  вида:

$$\xi^{(1)} = \xi^{(2)}, Hu_n^{(1)} = Hu_n^{(2)},$$

Введем «дополнительную неизвестную»  $v$  на  $\Gamma_{in} \times (t_0, t_1)$  как

$$v \equiv Hu_n^{(1)} = Hu_n^{(2)},$$

Вводя аппроксимации по времени по неявной схеме, рассмотрим следующую задачу:

$$\begin{cases} \frac{\underline{u}}{\tau_m} + l \otimes \underline{u} - g \cdot \text{grad } \xi = \underline{F} & \text{в } \Omega, \\ \frac{\xi}{\tau} - \text{div}(H \underline{u}) = F_3 & \text{в } \Omega, \\ (H \underline{u}) \cdot \underline{n} + m_{op} \sqrt{gH} \xi = m_{op} \sqrt{gH} d_s & \text{на } \partial\Omega, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\tau$  – шаг по времени,  $1/\tau_m = 1/\tau + r$ ,  $\underline{F} = \underline{f} + \underline{u}_0/\tau$ ,  $F_3 = f_3 + \xi_0/\tau$ .

Таким образом, задача состоит в отыскании функций  $\underline{u}_i, \xi_i, i=1,2$  и дополнительных неизвестных граничных функций  $d_s, v$  таких, что выполняется (2).

Рассмотрим исходную задачу как задачу минимизации функционала по вектор-функции  $\phi = (v, d_s)$

$$J_\alpha = \frac{\alpha}{2} \left( \int_{\Gamma_{op}} \sqrt{gH} (d_s - d_s^{(0)})^2 d\Gamma + \int_{\Gamma_{in}} \sqrt{gH} (v - v^{(0)})^2 d\Gamma \right) + \\ + \frac{1}{2} \left( \int_{\Gamma_{op}} \sqrt{gH} (\xi_1 - \xi_{obs})^2 d\Gamma + \int_{\Gamma_{in}} \sqrt{gH} (\xi_1 - \xi_2)^2 d\Gamma \right)$$

где  $\alpha > 0$  – параметр регуляризации.

Сформулируем следующий алгоритм минимизации функционала [9], основанный на методах вариационной ассимиляции и разделения области, для системы уравнений мелкой воды. Пусть  $v \equiv v_k$ ,  $d_s \equiv d_s^k$  уже определены. Тогда:

1. В  $\Omega_i, i=1,2$  определяются функции  $\underline{u}_i, \xi_i$  как решения систем уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\underline{u}_i}{\tau_m} + l \otimes \underline{u}_i - g \cdot \text{grad } \xi_i = \underline{F} \text{ в } \Omega_i, i=1,2, \\ \frac{\xi_i}{\tau} - \text{div}(H\underline{u}_i) = F_3 \text{ в } \Omega_i, i=1,2, \\ H\underline{u}_1 \cdot \underline{n} = H\underline{u}_2 \cdot \underline{n} = \sqrt{gH} v^k \text{ на } \Gamma_{in}, \\ (H\underline{u}_i) \cdot \underline{n} = 0 \text{ на } \Gamma_c \cap \Gamma_i, i=1,2, \\ (H\underline{u}_1) \cdot \underline{n} + m_{op} \sqrt{gH} \xi_1 = m_{op} \sqrt{gH} d_s \text{ на } \Gamma_{op} \cap \Gamma_1 \end{cases}$$

2. Решаются сопряженные задачи в  $\Omega_i, i=1,2$  и определяются функции  $\underline{u}_i^*, \xi_i^*$ :

$$\begin{cases} \frac{\underline{u}_i^*}{\tau_m} - l \otimes \underline{u}_i^* + g \cdot \text{grad } \xi_i^* = 0 \text{ в } \Omega_i, i=1,2, \\ \frac{\xi_i^*}{\tau} + \text{div}(H\underline{u}_i^*) = 0 \text{ в } \Omega_i, i=1,2, \\ -(H\underline{u}_1^*) \cdot \underline{n} + m_{op} \sqrt{gH} \xi_1^* = m_{op} \sqrt{gH} (\xi_1 - \xi_{obs}) + m_{in} \sqrt{gH} (\xi_1 - \xi_2) \text{ на } \Gamma_1, \\ H\underline{u}_2^* \cdot \underline{n} = m_{in} \sqrt{gH} (\xi_1 - \xi_2) \text{ на } \Gamma_2. \end{cases}$$

3. Находятся новые приближения  $v_{k+1}, d_s^{k+1}$  [9]:

$$v_{k+1} = v_k - \tau_k \left( \alpha (v_k - v^{(0)}) + m_{in} (\xi_1^* + \xi_2^*) \right) \text{ на } \Gamma_{in}, \\ d_s^{k+1} = d_s^k - \tau_k \left( \alpha (d_s^k - d_s^{(0)}) + m_{op} \xi_1^* \right) \text{ на } \Gamma_{op}$$

Данный алгоритм повторяется, пока не выполнилось условие остановки итерационного процесса. При достаточно малых  $\alpha$  функции  $\underline{u}_i(\alpha), \xi_i(\alpha), i=1,2$  можно принять в качестве приближений к решению исходной задачи [2, 6, 9].

Параметр  $\tau_k$  может быть выбран следующим [9, 10]:

$$\tau_k = \frac{\int_{\Gamma_{op}} \sqrt{gH} (\xi_1 - \xi_{obs})^2 d\Gamma + \int_{\Gamma_{in}} \sqrt{gH} (\xi_1 - \xi_2)^2 d\Gamma}{\int_{\Gamma_{op}} \sqrt{gH} (\xi_1^*)^2 d\Gamma + \int_{\Gamma_{in}} \sqrt{gH} (\xi_1^* + \xi_2^*)^2 d\Gamma} = \frac{J_\alpha(\phi_\alpha^k)}{\|J'_\alpha(\phi_\alpha^k)\|^2}$$

Рассмотренный итерационный алгоритм восстановления граничных функций на внешних и внутренних жидких границах сходится при малых параметрах  $\alpha > 0$ .

### 3. Численные эксперименты

Для проверки использования предложенного алгоритма был проведен ряд численных экспериментов. Рассматривалась система уравнений мелкой воды со следующими параметрами:

$$x \in [0, L], y \in [0, L], L = 100\text{м},$$

$$g = const = 9,81\text{м/с}^2, H = const = 1\text{м},$$

$$l = 0, r = 0.$$

Начальные условия были выбраны следующим образом:

$$\begin{cases} u_0 = 0, \\ v_0 = 0, \\ \xi_0 = 100 \left( \exp\left(\frac{-((x-25)^2 + (y-30)^2)}{100}\right) + \exp\left(\frac{-((x-75)^2 + (y-30)^2)}{100}\right) \right). \end{cases}$$

Предварительно был проведен расчет для исходной задачи без использования метода разделения области и ассимиляции данных с нулевым потоком через внешнюю жидкую границу.

Данные наблюдений на открытой границе выбирались по решению исходной задачи без методов ассимиляции и разделения области. Однако, известно, что реальные данные наблюдений, как правило, не обладают гладкостью. Поэтому в эксперименте к решению исходной задачи  $\xi$  на границе  $\Gamma_{op}$  прибавлялся «шум» – случайная величина  $a$  в интервале  $[0,1)$  с весовым коэффициентом  $0,1$ , а также отнималась случайная величина  $b$  в интервале  $[0,1)$  с весовым коэффициентом  $0,1$ ; полученная с помощью такой процедуры функция бралась в качестве «данных наблюдений»  $\xi_{obs} = \xi \cdot (1 + 0.1a - 0.1b)$ . Таким образом, «данные наблюдений» отличались от решения исходной задачи не более чем на 10%.

На Рис. 1 представлены результаты моделирования в конечный момент времени для решения с применением методов ассимиляции и разделения области и для исходной задачи. Граница разделения области (внутренняя жидкая граница) представлена белой линией. Левая граница области являлась внешней жидкой границей.



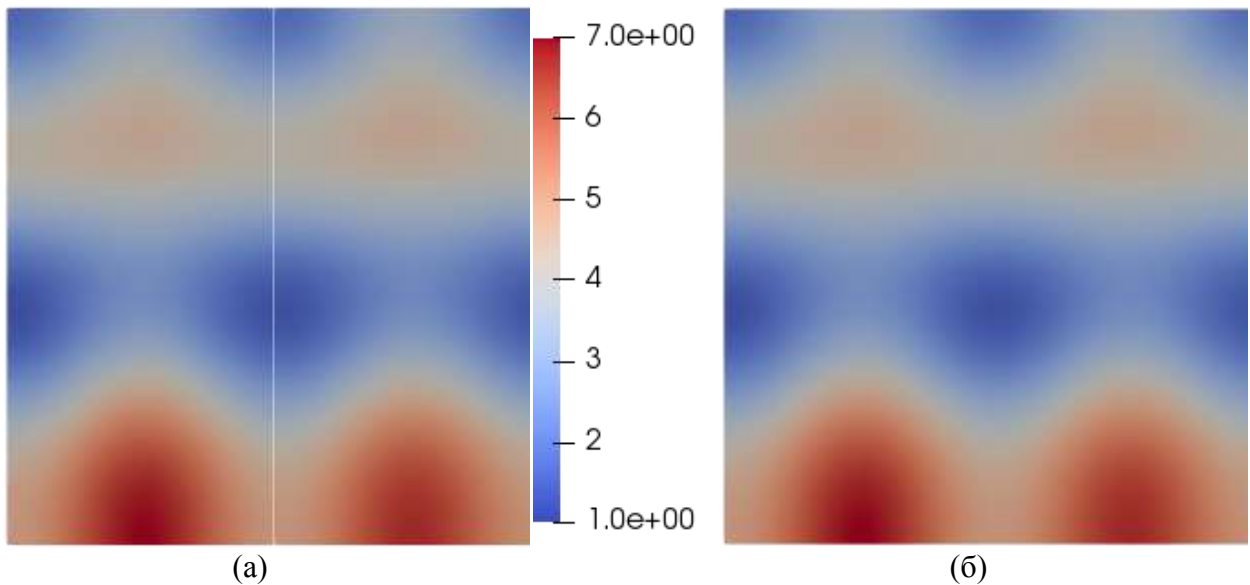


Рис. 1. Значение уровня (м) на момент времени  $t=50$  с (а) для решения с применением методов ассимиляции и разделения области; (б) для решения исходной задачи.

В таблице 1 представлена разница значений уровня на внутренней границе между первой и второй подобластями в разные моменты времени. Отметим, что максимальная величина данной разницы не превышает  $\approx 0,01$  м, что не вносит значительной ошибки в результаты моделирования.

Таблица 1.

Максимальное значение разницы функций уровня в подобластях в разные моменты времени

$t, c$	5	15	25	35	45
$\max  \xi_1 - \xi_2 $ на $\Gamma_{in}$	0,00558	0,00928	0,01093	0,01016	0,01008

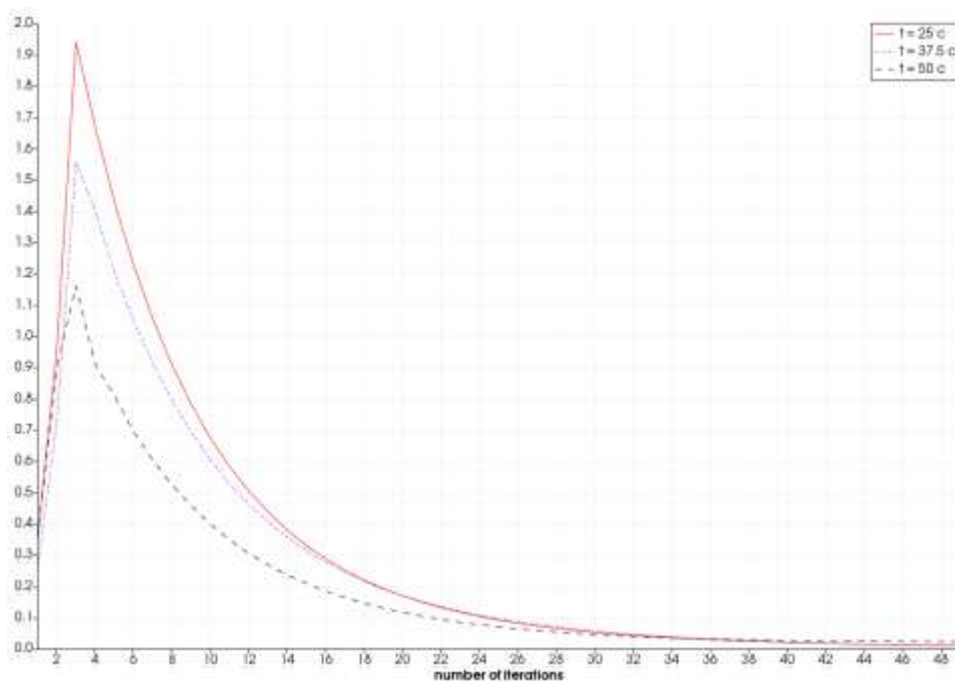


Рис. 2. Зависимость максимального значения разницы функций уровня(м) от номера итерации в разные моменты времени.

На рис. 2 представлена зависимость  $\max|\xi_1 - \xi_2|$  на внутренней границе от числа итераций в разные моменты времени. Как видно из рисунка, алгоритм сходится немонотонно, рост максимального значения разницы на первых итерациях связан с выбором итерационного параметра  $\tau_k$ .

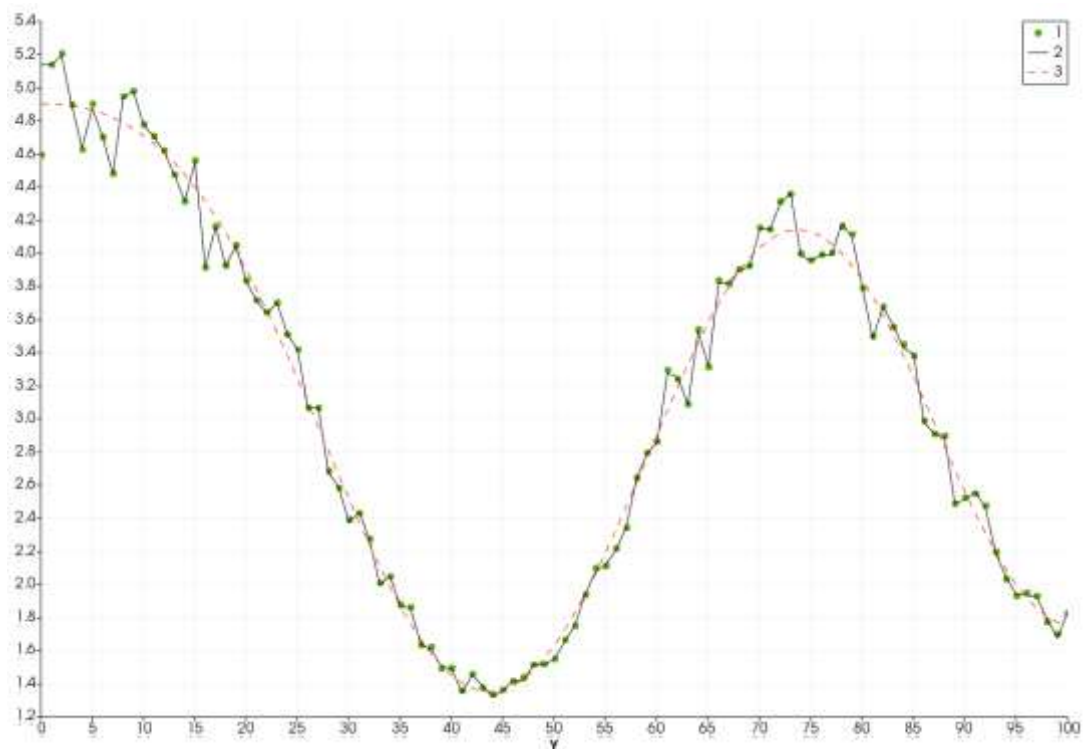


Рис. 3. 1 – данные наблюдений, 2 – значения уровня для расчета с ассимиляцией, 3 – результаты моделирования исходной задачи в момент времени  $t=50$  с.

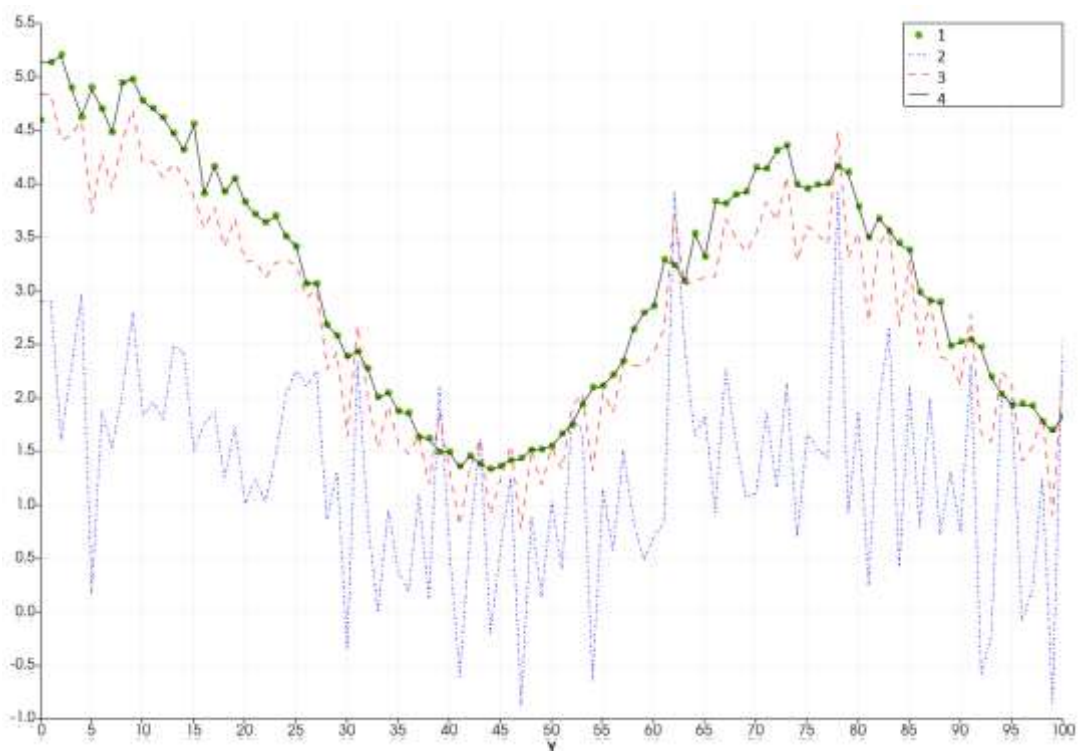


Рис. 4. 1 – данные наблюдений, 2 – значение уровня на первой итерации, 3 – значение уровня на десятой итерации, 4 – значение уровня на последней итерации на открытой границе в момент времени  $t=50$  с.

На рис. 3 для сравнения представлены результаты решения (уровень на внешней жидкой границе) исходной задачи, полученные результаты на жидкой границе при использовании вариационной ассимиляции и данные наблюдений  $\xi_{obs}$ .

На Рис. 4 для сравнения представлены результаты (значение уровня) на внешней жидкой границе на первой, десятой и последней итерации, а также данные, которые используются в качестве данных наблюдений.

Для решения задачи восстановления граничных функций на внешних и внутренних жидких границах был реализован итерационный алгоритм, основанный на методах вариационной ассимиляции данных наблюдений и теории обратных задач. В работе был проведен численный эксперимент для модельной квадратной области с постоянной величиной глубины. Область была разделена на две одинаковые подобласти. В качестве данных наблюдений на внешней жидкой границе выбиралось решение исходной задачи без методов ассимиляции и деления области с добавлением некоторого «шума».

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы. Итерационный алгоритм ассимиляции данных совместно с методом деления области сходится при малом положительном параметре регуляризации  $\alpha$  и предложенном параметре  $\tau_k$ . Алгоритм ассимиляции эффективно сближает данные моделирования и данные наблюдения, в том числе воспроизводит добавленный «шум», что является недостатком метода. Метод деления области не вносит значительного вклада в результаты моделирования.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (научный проект 18-31-00096 мол а, в рамках которого проведено исследование сформулированных задач) и РНФ (научный проект 19-71-20035, в рамках которого проведены численные эксперименты).*

#### Список литературы

1. *Orlanski I.* A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows // J. Comput. Phys., 1976. Vol. 21, No. 3. – p. 251-269.
2. *Агошков В. И.* Методы деления области в задачах гидротермодинамики океанов и морей. – М.: ИВМ РАН, 2017.
3. *Tang H. S., Qu K., Wu X. G.* An overset grid method for integration of fully 3D fluid dynamics and geophysics fluid dynamics models to simulate multiphysics coastal ocean flows // Journal of Computational Physics. – 2014. – Т. 273. – с. 548-571
4. *D'Amore L. et al.* DD-OceanVar: A Domain Decomposition Fully Parallel Data Assimilation Software for the Mediterranean Forecasting System // Procedia Computer Science. – 2013. – Т. 18. – с. 1235-1244.
5. *Шелопут Т.О., Лезина Н.Р.* Совместная реализация методов ассимиляции данных на «жидкой» границе и деления области в акватории Балтийского моря // Вестник Тверского государственного университета, Серия: География и геоэкология. 2018. No. 3. – с. 168-179.
6. *Agoshkov V.I.* Statement and study of some inverse problems in modelling of hydrophysical fields for water areas with 'liquid' boundaries // RJNAMM, 2017. V. 32, No. 2. – p. 73-90.

7. *Agoshkov V.I., Sheloput T.O.* The study and numerical solution of some inverse problems in simulation of hydrophysical fields in water areas with "liquid" boundaries // RJNAMM, 2017. V.32, No. 3. – p. 147-164.

8. *Марчук Г.И., Дымников В.П., Залесный В.Б.* Математические модели в геофизической гидродинамике и численные методы их реализации. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.

9. *Агошков В.И.* Методы оптимального управления и сопряженных уравнений в задачах математической физики. – М.: ИВМ РАН, 2016.

10. *Васильев Ф.П.* Методы решения экстремальных задач. - М.: Наука, 1981.

# ПРОЯВЛЕНИЕ СОБЫТИЙ ЭЛЬ-НИНЬО И ЛА-НИНЬЯ В АТЛАНТИКО-ЕВРОПЕЙСКОМ РЕГИОНЕ В ХОЛОДНОЕ ВРЕМЯ ГОДА

А.С. Лубков, О.В. Марчукова, Е.Н. Воскресенская

*andrey-ls2015@yandex.ru*

*Институт природно-технических систем, Россия, г. Севастополь*

**Аннотация.** Работа посвящена изучению проявлений явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья в полях минимальной температуры в Атлантико-Европейском регионе по данным реконструкции E-OBS 19.0e за период 1950–2018 гг. Отклики рассматривались с учетом классификации каждого из явлений на 2 типа (восточный и центральный). Проявления изучались для месяцев, идущих следом за октябрём года явления, а сами месяцы были разделены на декады. В работе оценивались декадные композитные величины аномалий минимальной температуры в холодное время года. По результатам расчетов были описаны особенности статистически значимых проявлений каждого типа.

**Ключевые слова.** Эль-Ниньо – Южное колебание, ЭНЮК, Эль-Ниньо, Ла-Нинья, Атлантико-Европейский регион, климатические отклики.

**Keywords.** El-Niño – South Oscillation, ENSO, El-Nino, La-Nina, the Atlantic-European region, climate manifestations.

## Введение

Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) – квазипериодический процесс межгодового масштаба, происходящий в Экваториальной зоне Тихого океана. Он проявляется в изменении температуры поверхности океана (ТПО) и, как следствие, в изменении давления над уровнем моря. ЭНЮК имеет две экстремальные противоположные фазы существования – теплую (Эль-Ниньо) и холодную (Ла-Нинья). В конце XX века ученые выделяли следующие характерные особенности этих фаз ЭНЮК. Считалось, что для Эль-Ниньо характерны перенос теплых экваториальных вод в восточном направлении, выравнивание термоклина у берегов Южной Америки, ослабление интенсивности ячейки Уокера и смещение центров действия атмосферы на экваторе [1, 2]. Противоположной фазе, позже названной Ла-Нинья, было характерно смещение теплого экваториального бассейна несколько западнее, выраженное поднятие термоклина у берегов Южной Америки и в центре Тихого океана и интенсификация ячейки Уокера.

Но к началу 2000-х годов в научном сообществе сложилось неоднозначное мнение о типичных характеристиках событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Неоднородность этих событий и их проявлений привели к возникновению множества классификаций этих явлений [3–9]. Наибольшее распространение получили пространственные классификации, классически разделяющие как Эль-Ниньо [4-7], так и Ла-Нинья [8,9] на восточный и центральный типы по принципу локализации аномалии ТПО (АТПО) в максимальную фазу развития явления (рис.1).

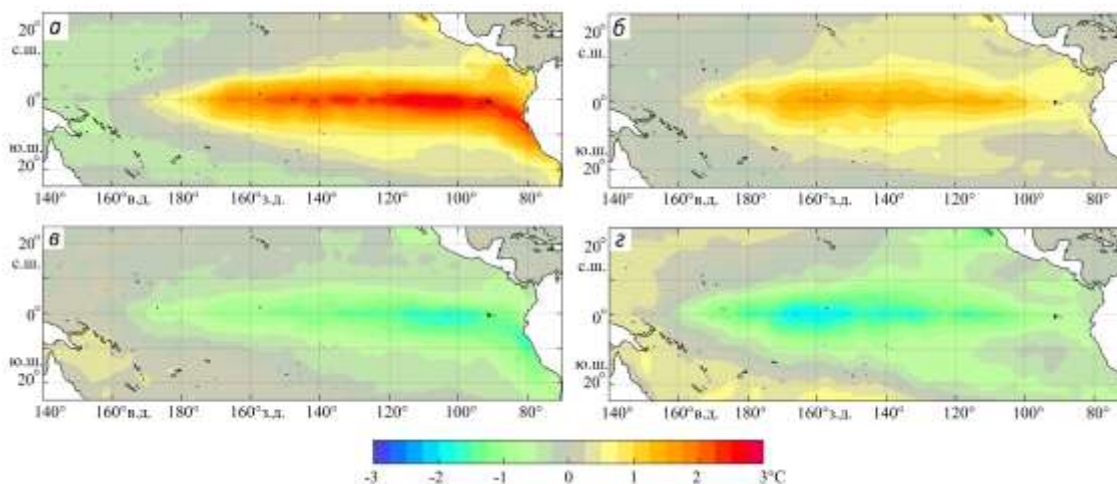


Рис. 1. Пространственные типы Эль-Ниньо и Ла-Нинья, полученные на основе критерия Йеха (Yeh) [6] по данным HadISST

Для первого типа Эль-Ниньо, называемого восточным, в максимальную фазу развития характерна локализация положительной АТПО от берегов Южной Америки до центральной экваториальной части Тихого океана (рис. 1а), а для второго, центрального типа – характерна локализация теплой АТПО только в центрально-экваториальной части (рис. 1б). Подобная классификация подтверждена методами классификации на основе выделения эмпирических ортогональных мод [3,4] и другими методами [5-7]. Аналогично Эль-Ниньо, Ла-Нинья так же делится на два типа по принципу локализации отрицательной АТПО в максимальную фазу развития явления (рис. 1в, 1г) [8-10].

ЭНЮК является важнейшим сигналом в межгодовой изменчивости глобальной системы океан – атмосфера. В ряде работ [11-14] его проявления отмечаются в аномалиях погоды и климата не только над тропической зоной, но и во внетропических широтах Земного шара. Такое дальное действие тихоокеанской аномалии осуществляется за счет обратных связей в системе океан – атмосфера и регулируется продолжительностью и интенсивностью аномалий ТПО [12].

Рассмотрим изученность влияния экстремальных явлений ЭНЮК на Атлантико-Европейский регион. Из [15] известно, что зимой в годы Эль-Ниньо приземное давление уменьшается над Южной и Центральной Европой и увеличивается над Северной Европой, Исландией и Гренландией. В результате зональная циркуляция над Европой ослабевает, что обуславливает аномально холодные зимы над Северной Европой. В работах, [16,17], показано, что теплая и холодная фазы ЭНЮК существенно влияют на Североатлантическое колебание (САК) и Арктическую циркуляцию, которые играют ключевую роль в формировании климата Европы и Северной Атлантики. Экстремальные события ЭНЮК в приведенных работах рассматривались без учета типизации. Учет типов Эль-Ниньо и Ла-Нинья может значительно уточнить метеорологические проявления в средних широтах Северной Атлантики и Европе.

Известно, что в Атлантико-Европейском регионе в холодное время года отклики на яркие события ЭНЮК имеют более выраженный характер, чем в теплое [13,14]. Это обусловлено тем, что максимальные фазы противоположных по знаку событий приходятся в основном на октябрь, ноябрь и декабрь, а с учетом инертности атмосферы их проявления наблюдаются с некоторым запозданием на 1-3 месяца. Так же известно, что зимой циркуляция атмосферы более интенсивная, чем летом, за счет чего отклик на события ЭНЮК более выраженный.

В Атлантико-Европейском регионе практический интерес в изучении климатических откликов, связанных с событиями ЭНЮК, представляют в большей степени метеорологические ситуации, которые могут приводить к экономическим потерям в различных сферах деятельности человека. К таким ситуациям в холодное время года относятся преимущественно аномальные холода зимой и весенние заморозки.

Соответственно, **цель настоящей работы:** рассмотреть влияние событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья разных типов на экстремальные понижения температуры в холодный период года.

#### **Данные**

Для анализа климатических аномалий в работе привлекались ежесуточные массивы данных о минимальной температуре воздуха из базы данных E-OBS 19.0e с пространственным разрешением  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  за период 1950–2018 гг. включительно.

#### **Методика**

Для анализа откликов на события Эль-Ниньо в работе использовалась ранее уточненная авторами двухтипная классификация с учетом пространственно-временных особенностей [7]. В основу этой классификации лег иерархический кластерный анализ (метод Варда). Входными в классификатор данными были поля АТПО с апреля года, когда наблюдалось начало Эль-Ниньо ("0" года), по январь следующего года (" +1" года). Мерой расстояния между кластерами было выбрано эвклидово расстояние. В результате было выделено два типа: весенне-летний восточный (или восточный) и осенний центральный (или центральный).

Весенне-летнему восточному типу (ВТ) свойственны интенсификация АТПО у берегов Южной Америки и последующее распространение аномалии в центральную экваториальную часть Тихого океана. Начало этих событий приходится преимущественно на апрель, май и июль. Максимальной фазы они достигают в октябре – декабре. К этому типу за выбранный период исследования относятся 11 событий Эль-Ниньо (1951, 1957–1958, 1963–1964, 1965–1966, 1969–1970, 1972–1973, 1976–1977, 1982–1983, 1997–1998, 2006–2007, 2015–2016).

Второй – осенний центральный тип (ЦТ) – характеризуется тем, что в центре Тихого океана отмечается как возникновение теплой АТПО, так и локализация этой аномалии в фазу максимального развития. Начало явления происходит осенью, в основном в октябре, а максимальная фаза достигается в период с ноября по январь. К осеннему центральному типу относятся 8

событий явления и 9 соответствующих лет с наблюдаемой характерной аномалией (1968–1969, 1977–1978, 1986–1987, 1987, 1991–1992, 1994–1995, 2002–2003, 2009–2010, 2018–2019).

Для анализа откликов на события Ла-Нинья была использована пространственная классификация этих событий [10]. Как и для Эль-Ниньо, классификация проводилась на основе иерархического кластерного анализа методом Варда, мерой близости кластеров выбрано эвклидово расстояние. Входными в классификатор данными были поля АТПО, наблюдаемые в максимальную фазу развития Ла-Нинья (с декабря по февраль). Классификатор выделил наличие 2-х типов Ла-Нинья, названных в работе восточным и центральным.

Ла-Нинья восточного типа (ВТ) в максимальную фазу локализовано в районе *Nino3* (5°с.ш.-5°ю.ш., 150°з.д.-90°з.д.). В этот тип за анализируемый период попали лет 8 событий Ла-Нинья (1954–1955, 1955–1956, 1964–1965, 1967–1968, 1970–1971, 2005–2006, 2007–2008, 2017–2018).

Центральный тип (ЦТ) Ла-Нинья в максимальную фазу характеризуется локализацией АТПО в районе *Nino4* (5°с.ш.-5°ю.ш., 160°в.д.-150°з.д.). В этот тип за анализируемый период попали 11 лет событий явления (1950–1951, 1973–1974, 1975, 1983–1984, 1984–1985, 1988–1989, 1998–1999, 1999–2000, 2010–2011, 2011–2012, 2016–2017)

Для анализа откликов в Атлантико-Европейском регионе на события ЭНЮК строились декадные композитные карты минимальных температур каждого типа отдельно. Карты строились с октября по апрель следующего года. Под декадами подразумевались десятидневные периоды, при этом последняя декада месяца считалась как количество дней в месяце минус 20. Для каждой декады по отдельности был исключен многолетний тренд (тем самым исключив и сезонную изменчивость).

Оценка статистической значимости откликов Эль-Ниньо и Ла-Нинья для каждого типа проводилась независимо друг от друга. Для этого были составлены отдельные выборки значений в каждой узловой точке. Далее для каждой из этих выборок выполнялась проверка статистической гипотезы о значимости отличий выборочного среднего от среднемноголетнего значения (с учетом исключенной выборки) на основе стандартного t-критерия в предположении, что сравниваемые выборки извлечены из одной и той же генеральной совокупности с неизвестной дисперсией. t-критерий Стьюдента считался по следующей формуле:

$$t_{\text{эмп}} = \frac{|\bar{x} - \bar{y}|}{\sqrt{n_x D_x + n_y D_y}} \sqrt{\frac{(n_x n_y (n_x + n_y - 2))}{n_x + n_y}},$$

где  $D_x$  и  $D_y$  – дисперсии двух выборок;  $n_x$  и  $n_y$  – длины соответствующих выборок [18]. Для удобства в работе все незначимые отличия при  $\alpha = 0.05$  приравнивались к отсутствию значения.

Так же, дополнительно, в каждой узловой точке оценивалась повторяемость знака аномалии. Количество совпадений со знаком аномалии подсчитывалось и делилось на количество событий анализируемого типа. На



композитных картах-схемах отмечалось черными точками, когда повторяемость была более 80% и серыми точками, если она превышала 66%.

В работе проверялась вероятность заключения неверного вывода о существовании композитной карты. Для этого случайным образом были созданы по 100 искусственных композитных полей при количестве входящих карт, равном 8, 9 и 11 (количество карт соответствует количеству событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья разных типов, наблюдаемых за период 1950-2018). Далее в искусственно-созданных композитах оценивалось наличие или отсутствие областей со значимыми точками, в которых повторяемость была более 66%. Для анализа была условно принята градация на малые области, размер которых был равен до 250 000 км<sup>2</sup>, и большие – более 250 000 км<sup>2</sup>. Оценка вероятности заключения неверного вывода для среднемесячной минимальной температуры проводилась на примере январей. Результаты оценки для разных типов Ла-Нинья и Эль-Ниньо указаны в таблице 1.

Таблица 1. Вероятность, в процентах, заключения неверного вывода о существовании композитной карты откликов на ВТ и ЦТ Эль-Ниньо (ЭН) и Ла-Нинья (ЛН). В скобках указано количество входящих в искусственно-созданных композит случайных лет. S – площадь области однородной аномалии. Количество событий ЦТ ЭН указано через “/” потому как данные E-OBS доступны только до декабря 2018 года

Тип ЭНЮК	Среднемесячные минимальные температуры	
	S<250тыс км <sup>2</sup>	S>250тыс км <sup>2</sup>
ВТ ЭН (11)	12 %	<1 %
ЦТ ЭН (8/9)	37 / 28 %	13 / 9 %
ВТ ЛН (8)	37 %	13 %
ЦТ ЛН (11)	12 %	<1 %

### Результаты

В работе были исследованы отклики Эль-Ниньо и Ла-Нинья разных типов на Атлантико-европейский регион, приводящие к экстремальным понижениям температуры в холодный период. Охарактеризуем наиболее яркие, повторяемые и значимые из них (рис. 2-5).

*Восточный тип Эль-Ниньо (ВТ ЭН).* В третьей декаде ноября наблюдается формирование поля положительных аномалий температуры на североευропейской территории России. В следующую декаду поле положительных аномалий распространяется на центральную, восточную и северную части Европы (рис. 2а), при этом в североευропейской части России аномалия температуры превышает +3°. Подобная аномалия так же наблюдается в 3 декаду декабря и 1 декаду января с температурным максимумом, превышающим +4°С в декабре на североευропейской части России. В 2 и 3 декаду января ярких аномалий в Атлантико-европейском регионе не наблюдается. В феврале формируется устойчивая структура с положительными аномалиями температуры в центральной и южной части Европы (кроме Испании и Португалии) и отрицательными в северной части. При этом наиболее яркие аномалии наблюдается во второй декаде февраля, когда температуры в южной и центральной Европе выше средней многолетней

нормы на 2-3°C, с эпицентром в Краснодарском крае (положительная аномалия превышает +4°C), а в северной части отрицательные аномалии ниже -3°C (рис. 2б). Вероятность заключения неверного вывода о существовании перечисленных аномалий не превышает 1%

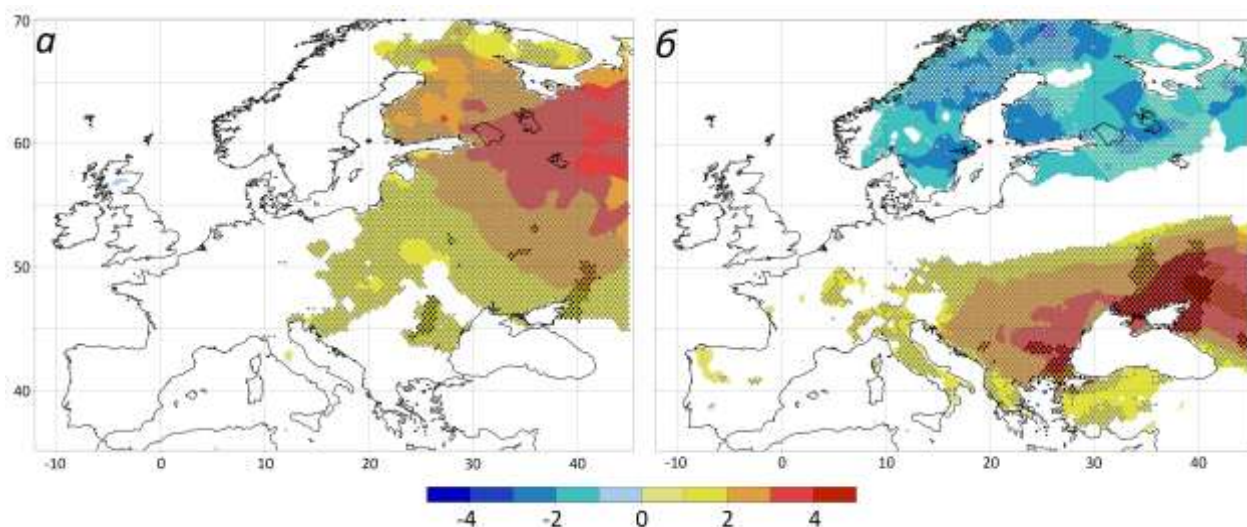


Рис. 2. Композитные поля откликов на ВТ ЭН аномалий минимальной температуры, °С, в первую декаду декабря (а) и вторую декаду февраля (б). Светлые узловые точками – 66% повторяемость, темные – 80%

*Центральный тип Эль-Ниньо (ЦТ ЭН).* В третьей декаде ноября наблюдается формирование положительной аномалии температуры до +3°C на территории всей Европы, кроме юго-запада. Однако такая аномалия наблюдается не долго. Уже в первой декаде декабря в центральной и южной европейской части России наблюдается отрицательная аномалия температуры при повторяемости 66%, а то время как в Скандинавии отмечаются положительные аномалии температуры до +4°C (повторяемость 80%). Во второй декаде декабря отрицательная аномалия усиливается и распространяется в центральную Европу с минимумом в Волгоградской и Ростовской областях, где аномалии температуры ниже нормы на -5°C (рис.3а).

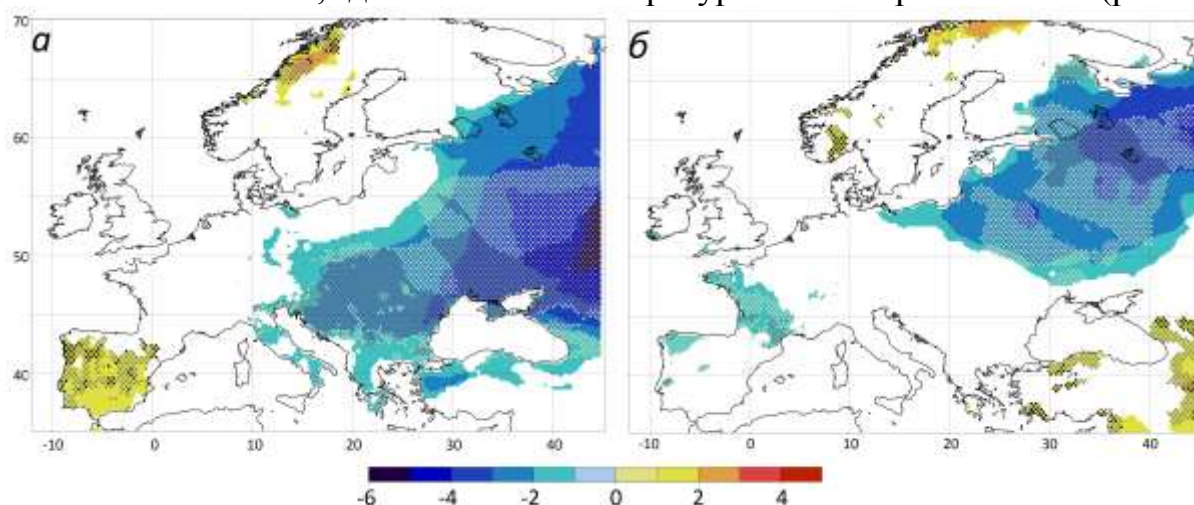


Рис. 3. Композитные поля откликов на ЦТ ЭН аномалий минимальной температуры, °С, во вторую декаду декабря (а) и вторую декаду января (б). Светлые узловые точками – 66% повторяемость, темные – 80%

В январе наблюдается перемещение области отрицательных аномалий температур с северной части Европы в первой декаде, затем в центральную и восточную во второй декаде (рис. 3б) и, наконец, в южную часть европейской России в третьей декаде. При этом отрицательные аномалии температуры находятся в районе  $-2 - -4^{\circ}\text{C}$ . Во второй декаде апреля наблюдается понижение температуры в Черноморском и Адриатическом регионе до  $-2^{\circ}\text{C}$ . В третьей декаде апреля отрицательные аномалии отмечаются в северной и восточной части Европы. Вероятность заключения неверного вывода о существовании перечисленных аномалий в ноябре и декабре равна 9%, а в январе и апреле – 13%.

*Восточный тип Ла-Нинья (ВТ ЛН).* В первой декаде октября наблюдается положительная аномалия температуры на севере Европы, которая во второй декаде распространяется и в восточную часть. Максимальных значений положительная аномалия достигает к 3 декаде октября, располагается в восточной части Европы и Черноморском регионе и равняется  $+2 - +3^{\circ}\text{C}$  (рис. 4а). Так же подобное поле положительных аномалий температуры отмечается во второй декаде ноября. Ярких значимых откликов нет вплоть до февраля. В третьей декаде февраля и в первой декаде марта наблюдается интенсивная отрицательная аномалия температуры, площадь которой захватывает практически всю Европу (кроме Турции и Грузии – там наблюдаются положительные аномалии температуры). Минимальные значения аномалий температуры ниже  $-6^{\circ}\text{C}$  наблюдаются в районе Финляндии (рис. 4б). Так же во второй и третьей декаде марта в Скандинавии аномалии продолжает существовать и равняются  $-4 - -5^{\circ}\text{C}$ . Вероятность заключения неверного вывода о существовании перечисленных аномалий равна 13%.

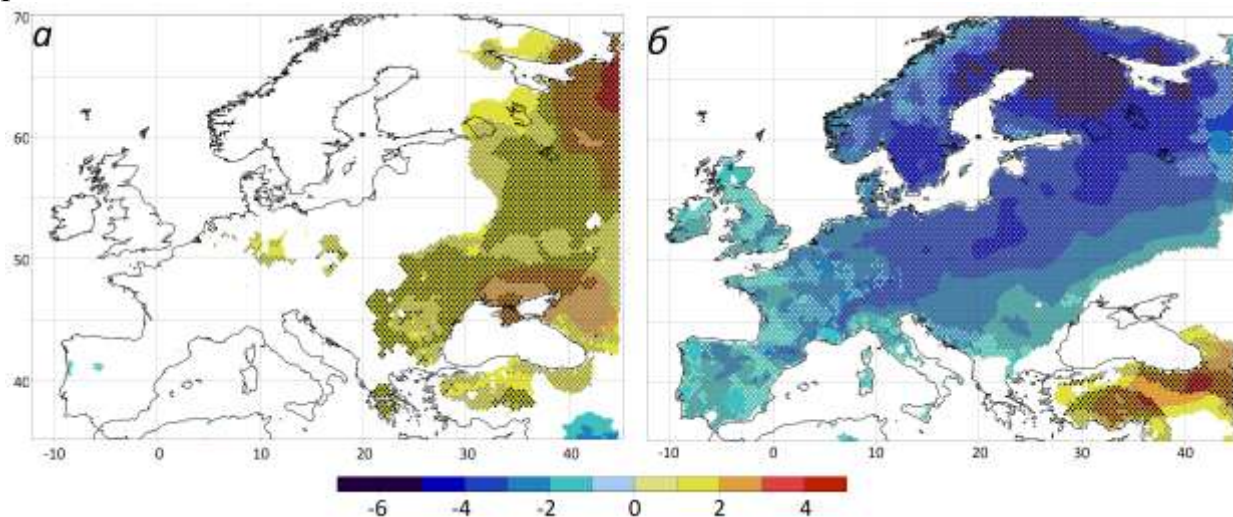


Рис. 4. Композитные поля откликов на ВТ ЛН аномалий минимальной температуры,  $^{\circ}\text{C}$ , в третью декаду октября (а) и первую декаду марта (б). Светлые узловые точками – 66% повторяемость, темные – 80%

*Центральный тип Ла-Нинья.* Во 2 и 3 декаде ноября наблюдается поле отрицательных аномалий температуры до  $-3^{\circ}\text{C}$ , которое локализовано в центральной и восточной частях Европы. Однако повторяемость этой

аномалии в основном равна 66% (рис 5а). В третьей декаде декабря и первой-второй декадах января отмечается положительные аномалии температуры в Прибалтийском регионе и в Великобритании, значения которых колеблются в районе +2 - +3°C. Такое же поле аномалий наблюдается и в третью декаду февраля (рис 5б). Для третьей декады марта и первой – апреля характерны положительные аномалии температуры (в среднем +2°C) в Украине, Польше, Беларуси и странах Прибалтики. В целом для откликов на Ла-Нинья центрального типа не свойственны аномальные холода зимой и весной следующего после максимальной фазы года. Вероятность заключения неверного вывода о существовании перечисленных аномалий не превышает 1%.

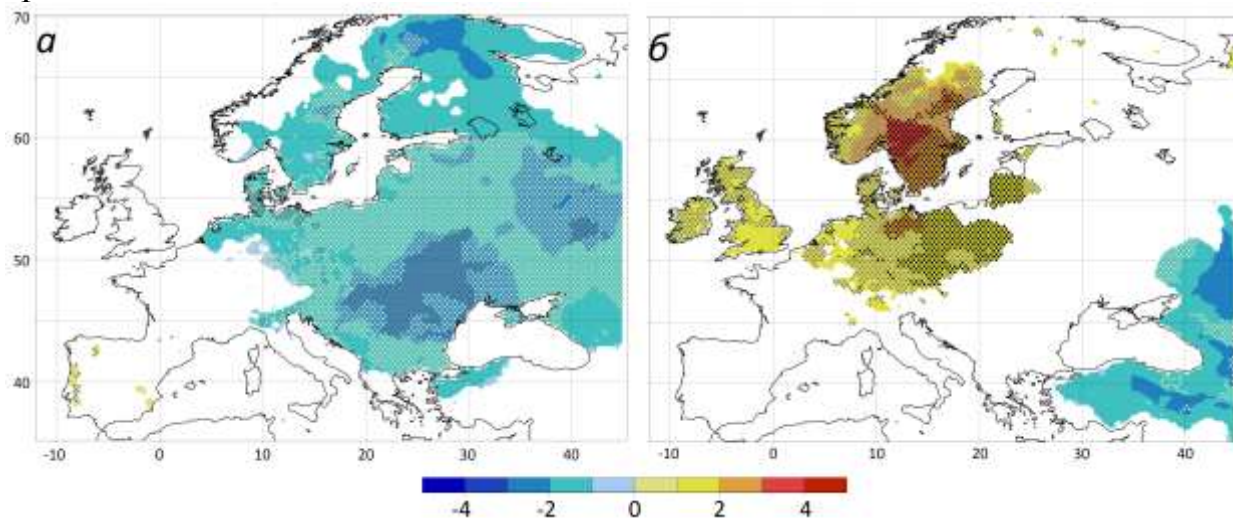


Рис. 5. Композитные поля откликов на ЦТ ЛН аномалий минимальной температуры, °С, во вторую декаду ноября (а) и третью декаду февраля (б). Светлые узловые точки – 66% повторяемость, темные – 80%

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0012-2019-0007 «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера и антропогенного воздействия», а также частично при поддержке РФФИ, грант № 18-45-920063 - р\_а.*

### Список литературы

1. Bjerknes J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific // Mon. Wea. Rev. – 1969. – 97. – P: 163 – 172.
2. Rasmusson E.M., Carpenter T.H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño // Mon. Wea. Rev. – 1982. – 110. – P: 354 – 384.
3. Ashok K, Behera S K, Rao S A, et al. El Niño Modoki and its possible teleconnection. J Geophys Res, 2007, 112: C11007
4. Kao, H. Y., and Yu, J. Y. (2009), Contrasting eastern Pacific and central Pacific types of ENSO. J. Climate, 22, 615-632.
5. Kug J S, Jin F F, An S I. Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño. J Clim, 2009, 22: 1499-1515
6. Yeh SW, Kug JS, Dewitte B, Kwon MH, Kirtman BP, Jin F-F. El Niño in a changing climate // Nature 2009. V.461. P.:511–514

7. Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В. Объективная классификация явлений Эль-Ниньо // Использование и охрана природных ресурсов в России: НИИ-Природа, 2017. – №1(149). С.: 41 – 44.
8. Yuan Y., Yan H. M. Different types of La Nina events and different responses of the tropical atmosphere// Chin. Sci. Bull. 2013. V. 58. № 3. P. 406-415.
9. Zhang W., Wang L., Xiang B., et. al. Impacts of two types of La Niña on the NAO during boreal winter// Climate Dynamics. 2014. V. 44. P. 1351-1366.
10. Voskresenskaya E.N., Marchukova O.V., Maslova V.N., Lubkov A.S. Interannual climate anomalies in the Atlantic-European region associated with La-Nina types // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 2018, V.107, 012043. doi :10.1088/1755-1315/107/1/012043
11. Philander S.G. El Niño, La Niña and the Southern Oscillation // Academic Press. San Diego, CA. –1990. – 289 p.
12. McPhaden M.J., Zebiak S.E. Glantz M.H. ENSO as an integrating concept in Earth science // Science, 2006. – V. 314. – № 5806. – P. 1740–1745.
13. Воскресенская Е.Н., Полонский А.Б., 1992. Североатлантические колебания и их связь с Эль-Ниньо - южными осцилляциями // Морской гидрофизический журнал 4, 23– 30
14. Larkin N. K., Harrison D. E. Global seasonal temperature and precipitation anomalies during El Niño autumn and winter // Geophysical Research Letter, 2005. V. 32(16), L16705. doi.org/10.1029/2005GL022860
15. Fraedrich K., Muller K. Climate anomalies in Europe associated with ENSO extremes // Inter. J. Climatol., 1992. V 12(1) P. 12–31.
16. Нестеров Е.С. Изменчивость характеристик атмосферы и океана в атлантико-европейском регионе в годы событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья // Метеорология и гидрология. – 2000. – № 8. – С. 74–83.
17. Полонский А.Б., Воскресенская Е.Н., Башарин Д.В., Михайлова Н.В. Влияние Южного колебания на изменчивость приземной температуры и давления в Атлантико-Европейском регионе в весенний период // Морской гидрофизический журнал. – 2003. – №3. – С. 50 – 62.
18. Гордеева С.М. Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации: практикум по дисциплине. СПб.: РГГМУ. 2010. 74 с.

## ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВО ВРЕМЕНИ

Л.Н. Мамадалиева

*tamadln@mail.ru*

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

**Аннотация.** В статье описывается метод математического моделирования рядами динамики роста численности биологической популяции во времени. Рассмотрен пример вычисления параметров тренда – логистической кривой.

**Ключевые слова.** Математическое моделирование, биологический процесс, рост численности особей в популяции, тренд, логистическая кривая.

Математическое моделирование биологических процессов подразумевает создание описания процесса с помощью математических объектов (графиков, стохастических матриц, функций, уравнений и т.д.) для упрощения его исследования, получения о нем новых знаний, анализа и оценки возможностей прогнозирования его поведения в будущем. Построение математической модели необходимо для исследования характеристик системы математическими методами.

Задачами изучения изменений биологических процессов во времени являются отыскание методов количественной оценки параметров исследуемых процессов.

При изучении таких процессов может быть выявлена некоторая закономерность. На процессы, изменяемые во времени, влияют несколько факторов. Это могут быть конъюнктурные и сезонные колебания; изменения, вызванные природными катаклизмами и различные незначительные факторы. Однако можно выделить основную тенденцию развития, которую называют трендом. Тренд – это функция, зависящая от времени. Прогнозирование с помощью трендовых моделей включает в себя следующие этапы:

- 1) выявление наличия трендовой зависимости;
- 2) выбор одной или нескольких кривых, форма которых соответствует динамике временного ряда;
- 3) нахождение параметров выбранных кривых;
- 4) проверка адекватности и точности выбранных моделей и окончательный выбор кривой;
- 5) расчет прогнозируемого значения временного ряда;
- 6) расчет доверительного интервала в точке прогноза.

Рассмотрим пример – рост численности особей в популяции. Этот процесс часто развивается по закону от ускоренного роста к равномерному и от равномерного – замедленному. Графически это выглядит как S-образная кривая. Ее уравнение  $\hat{y}_t = \frac{y_{max} - y_{min}}{e^{a_0 + a_1 t + 1}} + y_{min}$ .

Метод наименьших квадратов к отысканию параметров тренда непосредственно не применяется. Его уравнение преобразуется к виду

$$e^{a_0+a_1t} = \frac{y_{max}-y_{min}}{y_i-y_{min}} - 1. \quad (1)$$

Введем обозначение  $g_i = e^{a_0+a_1t}$ . Тогда  $lng_i = a_0 + a_1t$ .

По условию метода наименьших квадратов минимизируется сумма квадратов разностей логарифмов  $g_i$  и  $\hat{g}_i$

$$\sum_{i=1}^n (lng_i - lng_{\hat{g}_i})^2 \rightarrow min,$$

где  $g_i$  – вычисленные по расчетным данным значения уровней ряда,  $\hat{g}_i$  – теоретические значения. Или  $\sum_{i=1}^n (lng_i - (a_0 + a_1t))^2 \rightarrow min$ .

После нахождения частных производных по  $a_0$  и  $a_1$ , получаем систему уравнений как для линейной функции

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum t_i = \sum g_i; \\ a_0 \sum t_i + a_1 \sum t_i^2 = \sum t_i g_i. \end{cases}$$

Приведенные системы для линейной зависимости можно упростить, если перенести начало координат в середину ряда динамики. При этом и количество слагаемых в уравнениях уменьшается.

Тогда неизвестные  $a_0$  и  $a_1$  можно вычислить по формулам

$$a_0 = \frac{\sum lng_i}{n}, \quad a_1 = \frac{\sum t'_i lng_i}{\sum (t'_i)^2}, \quad (2)$$

где  $n$  – число наблюдений.

*Пример* расчета численности дрожжей в зависимости от времени. Данные наблюдений приведены во втором и третьем столбцах таблицы 1.

#### Алгоритм

1) Выберем в качестве минимального значения:  $y_{min} = 20$ , максимального,  $y_{max} = 600$ .

2) Рассчитаем по формуле (1)  $g_i$ :  $g_1 = \frac{600-20}{25-20} = 115$  и т.д.

3) Вычислим  $lng_i$ :  $lng_1 = ln115 = 4,74$  и т.д.

4) Перенесем значение  $t = 0$  в середину ряда.

5) Вычислим  $t'/lng_i$ .

6) Вычислим  $(t')^2$ .

7) Рассчитаем по формулам (2) параметры  $a_0$  и  $a_1$  при  $n=16-1=15$ , т.к. число расчетных значений уменьшилось на единицу:

$$a_0 = \frac{1,81}{15} = 0,12; \quad a_1 = \frac{-150,84}{280} = -0,54.$$

8) Вычислим  $a_0 + a_1 t'_i$  для  $t'_1 = 0,12 - 0,54 \cdot (-7) = 3,9$ .

9) Вычислим  $\hat{g}_i = e^{a_0+a_1 t'_i}$ .

10) Вычислим  $\hat{y}_i = \frac{y_{max}-y_{min}}{\hat{g}_i+1} + y_{min}$ . Имеем  $\hat{y}_i = \frac{600-20}{49,40+1} + 20 = 31,51$

11) В последнем столбце таблицы находится разница между наблюдаемыми и теоретическими значениями  $e_i = y_i - \hat{y}_i$ .

Все расчеты представим в таблице 1.

Таблица 1.

## Расчет параметров логистической кривой

$i$	Время, $t$	$y_i$	$g_i$	$\ln g_i$	$t'$	$t'/\ln g_i$	$(t')^2$	$a_0 + a_1 t'_i$	$\hat{g}_i$	$\hat{y}_i$	$e_i$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
1	1	25	115	4,74	-7	-33,18	49	3,90	49,40	31,51	-6,51
2	2	50	18,33	2,91	-6	-17,46	36	3,36	28,79	39,47	10,53
3	3	60	13,50	2,60	-5	-13	25	2,82	16,78	52	8
4	4	75	9,55	2,26	-4	-9,04	16	2,28	9,78	73,81	1,19
5	5	100	6,25	1,83	-3	-5,49	9	1,74	5,70	106,57	6,57
6	6	150	3,46	1,24	-2	-2,48	4	1,20	3,32	154,26	4,26
7	7	260	1,42	0,35	-1	-0,35	1	0,66	1,93	217,95	42,05
8	8	300	1,07	0,07	0	0	0	0,12	1,13	292,30	-7,7
9	9	410	0,49	-0,71	1	-0,71	1	-0,42	0,66	362,4	47,60
10	10	460	0,32	-1,14	2	-2,28	4	-0,96	0,38	440,29	20,29
11	11	490	0,23	-1,47	3	-4,41	9	-1,50	0,22	495,41	-5,41
12	12	530	0,14	-1,97	4	-7,88	16	-2,04	0,13	533,27	-3,27
13	13	550	0,09	-2,41	5	-12,05	25	-2,58	0,08	557,01	-7,01
14	14	570	0,05	-2,99	6	-17,94	36	-3,12	0,04	577,69	-7,69
15	15	585	0,03	-3,51	7	-24,57	49	-3,66	0,03	583,11	1,83
16	16	600	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\Sigma$	-	-	<b>1,81</b>	<b>0</b>	<b>-150,84</b>	<b>280</b>	-	-	-	-

Таким образом, получена функциональная зависимость, по которой развивается данный процесс  $\hat{y}_i = \frac{580}{e^{0,12-0,54t'_i} + 1} + 20$ .

Ниже приведены графики эмпирической и теоретической кривой. Видим, что наблюдаемые и расчетные значения близки друг к другу, и точки эмпирического графика располагаются достаточно близко к теоретической кривой.

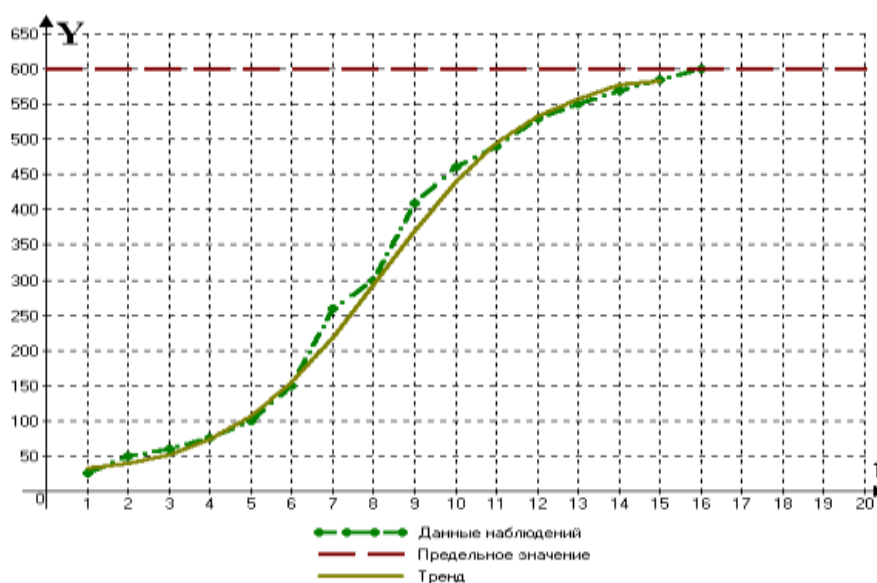


Рис. 1. Эмпирический и теоретический графики



### **Список литературы**

1. Ивантер, Э. В., Коросов, А. В. Элементарная биометрия: учеб. пособие / Э. В. Ивантер, А. В. Коросов. — Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. — 104 с.
2. Малков, П. Ю. Количественный анализ биологических данных: Учеб. пособие / П.Ю. Малков. - Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2009. 71 с.
3. Мамадалиева, Л.Н. Ряды динамики: учеб. - методич. пособие / Л.Н. Мамадалиева. – Майкоп: Магарин О.Г., 2011. – 41 с.

# ВИБРАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**А.Ю. Марченков**

*am20030805@list.ru*

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

Любой элемент объекта строительства, здания, сооружения испытывает механические нагрузки. Работоспособность таких элементов и конструкции в целом обеспечивают функционирование объекта. Нарушение работоспособности связано с превышением предела прочности элемента или их совокупности и их последующего разрушения под воздействием нагрузок.

На сегодня расчёт прочности конструкций на различные виды нагрузок осуществляется при помощи хорошо развитых программно-вычислительных систем на основе обширных баз данных прочностных характеристик материалов, узлов, элементов конструкций. Расчёты проводятся с целью определения устойчивости здания, его долговечности, минимизации затрат на материалы и компоненты. При этом учитывается решение задач обеспечения прочих необходимых эксплуатационных свойств, например, устойчивости к пожарам, соответствия используемому оборудованию, соответствия климатической зоне и, что важно для ряда регионов России, сейсмостойкости.

Отдельно, вплоть до применения различных вычислительных сред, оцениваются т.н. статические и динамические нагрузки на здание. Статические нагрузки вызывают напряжения в конструкциях, связанные с собственным весом элементов здания, весом оборудования, размещённого в здании, снеговые нагрузки, при необходимости – термические нагрузки и т.п. К ним относят и нагрузки с стороны грунта, на котором установлено здание. То есть это нагрузки, действующие постоянно и меняющиеся относительно медленно. Динамические нагрузки, в свою очередь, действуют кратковременно. Выделяют ветровые нагрузки, вибрационные (со стороны оборудования внутри здания и со стороны внешних источников, например, транспорта), сейсмические нагрузки. Что характерно, в большинстве случаев ущерб объекту строительства происходит именно от воздействия динамических нагрузок.

В практике строительства в настоящее время на этапе проектирования всё чаще используется BIM-технология (Building Information Modeling или Building Information Model), частью которой и являются инженерные расчёты необходимой прочности при воздействии предполагаемых нагрузок. В целом технология позволяет прогнозировать и документировать все этапы существования объекта строительства, от архитектурного проекта до утилизации. Однако, автору известны лишь единичные случаи мониторинга прочностных характеристик зданий в режиме эксплуатации в России. Системы контроля пожаротушения, электробезопасности, лифтового оборудования, климатического контроля традиционно применяются,

особенно в высотных зданиях. Но этот контроль не позволяет судить о состоянии и, что важно, изменении состояния элементов здания и его в целом. На сегодня, насколько нам известно, полноценная система мониторинга технического состояния конструкций, от фундаментных свай до шпиля, спроектирована и реализована в высотном здании компании «Газпром» в Санкт-Петербурге. Она включает в себя, помимо прочего, элементы вибрационного мониторинга, т.е. постоянного отслеживания колебаний здания в широкой полосе частот. Система вибромониторинга была установлена ранее в высотном здании МГУ в Москве. Есть информация о других подобных системах, но она, как минимум, противоречива. Следует отметить, что серьёзный контроль состояния сложных, уникальных и ответственных сооружений ведётся, но не в гражданском строительстве, а, в основном, на объектах энергетики и транспортной инфраструктуры.

В сущности, на основании опыта эксплуатации установки в МГУ можно сказать, что наблюдение за параметрами колебаний здания даёт достаточно много информации для принятия решения о штатном (или нештатном) состоянии здания в целом и его частей с точки зрения прочности в настоящий момент и на перспективу. Ряд подходов к анализу колебательных движений здания под воздействием динамических нагрузок будет представлен в докладе, предваряемом настоящими тезисами.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИБРЕЖНЫХ ПРОЦЕССОВ ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СНИМКАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

А.В. Медведева, С.В. Станичный

*shift@mail.ua*

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

**Аннотация.** *Дается характеристика прибрежных процессов на основе использования последовательных спутниковых снимков высокого разрешения, в частности, их скорости сдвига. Описаны различные этапы существования вихревых структур, вычислены скорости распространения внутренних волн и показана связь с иными процессами в морской среде.*

**Ключевые слова.** *Спутниковые снимки высокого разрешения, последовательные снимки высокого разрешения, вихри, внутренние волны*

Регулярное сканирование Земли различными спутниковыми комплексами с оптическими сенсорами высокого разрешения и доступность полученных данных позволяют в настоящее время исследовать мелко- и мезомасштабные процессы в Мировом океане с привлечением последовательных изображений. Общий интерес к восстановлению характеристик динамических процессов на масштабах порядка 0,1-1 км обусловлен важностью их роли в обменных процессах в прибрежной зоне, наиболее подверженной антропогенному влиянию. Только в последние годы появилась возможность использовать последовательные спутниковые изображения, на которых зафиксирован один район с малым временным интервалом, варьирующим от нескольких минут до десятков минут. Некоммерческими источниками таких снимков является United States Geological Survey (ИЗС Landsat-7 и 8 с разрешением в видимом диапазоне от 15 до 30 м) и European Space Agency (ИЗС Sentinel-2, разрешение в видимом диапазоне составляет 10 м). Открытый доступ для российских спутниковых данных, в отличие от зарубежных, существенно ограничен, и в большей степени реализуется через систему запросов (Сканер Геотон на ИЗС Ресурс-П, разрешение от 3-4 до 25-30 м и Канопус-В, разрешение 10,5 м).

Работа с синхронными снимками высокого разрешения заключается в выполнении последовательных этапов: после предварительной обработки в профильной программе (в данном случае использовалось программное обеспечение SNAP Desktop) последовательные спутниковые изображения или их фрагменты выгружаются в геоинформационную систему (для данной работы используется Google Earth), в которой они совмещаются. Совмещение изображений позволяет выделить смещения пространственных структур, характеризующих интересующие явления и, благодаря точной привязке к географическим координатам (осуществляемой на этапе обработки в SNAP Desktop), определить расстояния этих сдвигов. Так как в информационном комплексе каждого снимка заложено точное время съемки, то в дальнейшем на основе разницы во времени сканирования и полученных расстояний возможно вычисление скоростей смещения обозначенных объектов.

Восстановление скоростей по спутниковым данным среднего разрешения 0,25-5км может быть проведено в интерактивном режиме или с использованием статистических методов [1, с. 240; 2, с. 255].

С использованием данных более высокого пространственного разрешения расширяются возможности оценки характеристик мелко- и мезомасштабных процессов в морской среде, таких как вихри, внутренние волны, распространение пресноводного стока (плюмов) и др.

В частности, помимо определения направления смещения вихря и скорости, также становится доступным отслеживание за этапами его эволюции. На основе трассеров (сликов, взвесей, фитопланктона и др.) для мелкомасштабных и части мезомасштабных (диаметр составляет единицы километров) вихрей в прибрежной зоне по паре синхронных снимков регистрируется начальный этап развития (формирование типичной структуры). Определение дальнейших этапов (максимально активного или завершающегося) существования вихря возможно также и для мезомасштабных вихрей, чьи размеры (диаметр) измеряется десятками километров: при совмещении синхронных снимков вращательное движение вихря либо наблюдается (вихрь существует), либо нет (вихрь прекратил существование). В последнем случае сенсором спутника фиксируется сохранение остаточной структуры (формы) вихря трассерами в совокупности либо с линейным сдвигом (след, сохраненный трассерами, сдвигается в едином направлении), либо на этапе разрушения (след деформируется).

Так как на настоящий момент последовательные изображения высокого разрешения фиксируют один район всего несколько раз в год, и часть изображений не пригодна для анализа из-за плотного облачного покрова, то пока выявлено незначительное количество вихрей на терминальной стадии развития – в Черном и Мраморном морях в 2018 г. В Черном море такой вихрь обнаруживается в прибрежной зоне Алушты и Судака 9 сентября, четко распознается в оптическом диапазоне по следу трассеров (взвесей). При совмещении спутниковых изображений Landsat-8 и Sentinel-2, интервал между сканированием у которых составил 36 минут и 30 секунд, выявляется линейное смещение вихря в юго-восточном направлении.

Ранее (23 апреля) схожий случай наблюдался в Мраморном море: в центральной части акватории за счет взвесей в видимом диапазоне хорошо распознается вихревая структура диаметром порядка 30 км. При совмещении снимка Landsat-8 и двух сцен Sentinel-2 (временной интервал 29 минут и 20 секунд) выявляется сложная система сдвигов: слабовыраженное циклоническое вращение в центре вихря и начало деформации следа в остальной части: общее движение происходит с юга на север, но северная часть структуры смещается на восток.

На одном комплекте синхронных изображений (Landsat-8 и Sentinel-2) одновременно обнаруживались вихри на разной стадии эволюции: на паре от 9 сентября зафиксированы вихрь в активной фазе существования вблизи Феодосийского залива и вихрь в терминальной стадии жизни, описанный

выше. Оба вихря относятся к мезомасштабным и имеют диаметры (оценка эллипсоидов по максимальной длине) 6,1 и 5,6 км соответственно.

Пара вихрей на разных этапах существования была выявлена на спутниковых изображениях от 6 апреля в районе Кавказского побережья. При совмещении синхронных изображений (интервал сканирования составил 38 минут и 1 секунду) более отдаленный от берега вихрь диаметром 69,5 км имел антициклоническое вращение, а находящийся ближе к берегу вихрь размером 12,5 км представлял собой разрушающийся след.

Не меньший интерес представляет исследование поверхностных проявлений внутренних волн. По оптическим снимкам высокого разрешения реализуется характеристика размеров внутренних волн, направление движения, пространственное положение и др. Привлечение синхронных изображений позволяет дополнительно определить скорости сдвига цуга внутренних волн и выявить предполагаемые районы генерации. Также доступна оценка батиметрии и глубины перемешенного слоя, которая формируется на основе трансформации внутренних волн в прибрежных районах с использованием дисперсионных соотношений.

В одном случае – от 28 июля 2017 г. (Sentinel-2 и Landsat-8, интервал сканирования – 34 минуты и 42 секунд) – пакет внутренних волн имел южное направление и проходил восточнее Гераклейского полуострова. Первая волна цуга двигалась со скоростями от 0,25 до 0,37 м/с. При комбинации каналов с длинами волн 560 и 655 нм на снимках Landsat-8 и Sentinel-2 (560 и 665 нм соответственно) был выявлен вихревой диполь с более выраженной циклонической частью. Внутренние волны, сгенерированные на северной границе диполя (и по центру между циклоническим и антициклоническим фрагментом диполя), в дальнейшем большей частью проходили по циклонической части, что и послужило причиной неравномерного распространения цуга (снижение скоростей).

На паре снимков (Sentinel-2 и Landsat-8, интервал сканирования – 29 минут и 55 секунд) от 11 июля 2017 г. уверенно выделяются два цуга внутренних волн в прибрежной зоне Севастополя, движущихся в западном направлении (к суше). По результатам совмещения снимков и вычисления скоростей продвижения цугов, было выявлено, что цуг, находящийся на большем расстоянии от берега, имеет скорости от 0,27 до 0,34 м/с. Для цуга внутренних волн, зафиксированного ближе к береговой линии, расчеты по синхронным снимкам продемонстрировали тормозящий эффект на мелководье: наибольшая скорость (дальней относительно берега волны) составила 0,28 м/с, а наименьшая (ближней относительно берега волны) – 0,16 и 0,19 м/с.

Регулярно внутренняя волна генерируется в Гибралтарском проливе и распространяется в Средиземное море, которая даже выявляется на спутниковых снимках среднего разрешения (Aqua и Terra MODIS). Так, 4 января 2018 г. распространение цуга внутренней волны было зафиксировано на пяти снимках (в хронологическом порядке): Terra MODIS, Landsat-8, Sentinel-2, Terra MODIS и Aqua MODIS. При совмещении спутниковых

изображений Landsat-8 и Sentinel-2 (интервал сканирования составляет ровно 17 минут) и вычислении скоростей было выявлено, что в северной части цуга сдвиг происходит быстрее (1,61 м/с) и замедляется к южной части (1,27 м/с в центральной части цуга, 0,89 м/с – в южной части). При совмещении всех пяти перечисленных выше снимков по мере распространения волны вглубь Средиземного моря (на расстояние, превышающее 18 км) деформация цуга приобретает выраженный характер (рис. 1). Причины деформации проявляются при привлечении данных о концентрации хлорофилла-а (Aqua MODIS, Suomi NPP) – выявляется крупный вихрь (с диаметром порядка 120 км) с антициклоническим типом вращения.

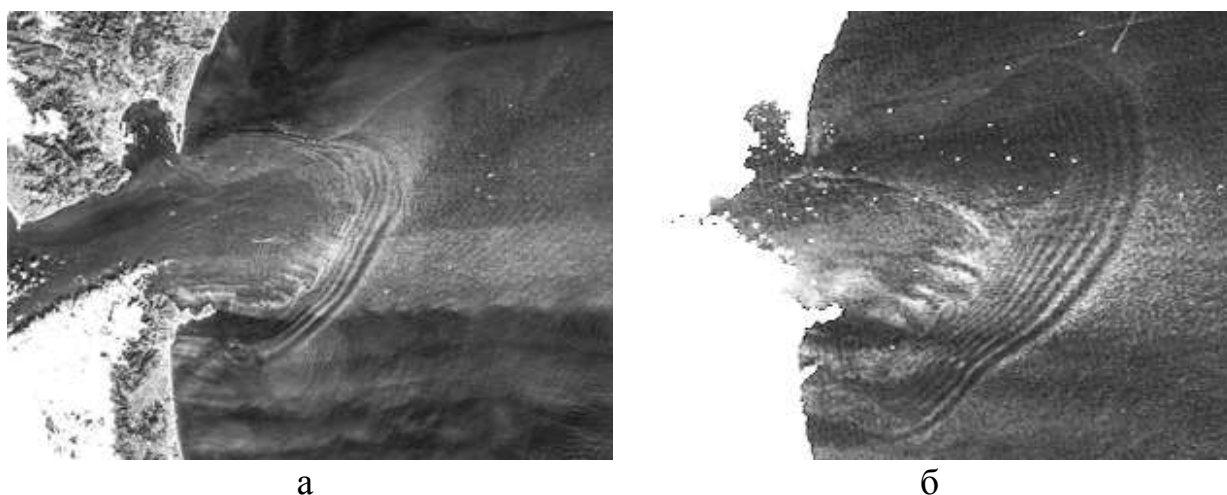


Рис. 1. Эволюция внутренней волны в Средиземном море на снимках Landsat-8 (а) и Aqua MODIS (б) от 4 января 2018 г.

Квазисинхронные снимки высокого разрешения позволяют характеризовать и многие другие явления процессы и явления: течения, переносы и струи (их скорости), в отдельных случаях – распространение речных вод (скорости распространения, изменения площади плюма при наличии выраженных границ с морскими водами).

#### Список литературы

1. Kubryakov A., Plotnikov E., Stanichny S. Reconstructing large-and mesoscale dynamics in the Black Sea region from satellite imagery and altimetry data—a comparison of two methods //Remote Sensing. – 2018. – Т. 10. – №. 2. – С. 239.
2. Бабий В. И. и др. Возможности восстановления поля скорости поверхностных течений по спутниковым данным (на примере Черного моря) // Системы контроля окружающей среды. – 2002. – С. 254.

## **О КРИТЕРИЯХ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ**

**В.Н. Мовчан, А.А. Ефремов**

*v.movchan@spbu.ru*

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Россия, г. Санкт-Петербург*

В географии и в геоэкологии понятие «эколого-географическая оценка» трактуется по-разному. Ю.П. Селиверстов [23] рассматривал его как параметрическое определение состояния природной среды, обеспечивающее существование конкретных сообществ живых организмов, характерных для этих состояний и обусловленных природными условиями, в той или иной степени изменяющимися под воздействием антропогенных факторов. При таком подходе оценивается степень пригодности природной среды для жизни, обитающей на рассматриваемой территории биоты. Иной – антропоцентрический подход предложил А.Г. Исаченко [15], отмечавший, что исходным для эколого-географического анализа служит понятие «среда обитания людей» [16]. Указывалось, что в число критериев эколого-географической оценки входят показатели антропогенной нагрузки на природную среду, среди которых ежегодное валовое поступление техногенных веществ в ландшафт, а также «плотность» вредных атмосферных выбросов на 1 кв. км. При этом отмечалось, [16], что судить о экологическом эффекту ее действия, т.е. по тому влиянию, которое она оказывает на жизнь и здоровье населения.

Валовые поступления техногенных веществ в компоненты ландшафта, а также другие показатели техногенной нагрузки на природную среду (например, объем выбросов загрязняющих атмосферный воздух веществ, приведенный к площади территории или к численности населения) широко используются при экологической оценке состояния территорий. В частности, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова при рассмотрении причин и особенностей загрязнения атмосферного воздуха в крупных городах приводит данные не только об объемах выбросов вредных веществ, а и плотность выбросов на душу населения (кг) и на единицу площади (т/кВ. км) (например, [13]). В ежегодных Государственных докладах «О состоянии окружающей среды Российской Федерации», с целью экологической оценки ситуации в регионах, а также предупреждения и сокращения негативного воздействия на окружающую среду, приводятся данные о валовых выбросах загрязняющих веществ от стационарных источников и автотранспорта. Подобная информация приводятся и в региональных Государственных докладах, например, в докладе «Об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов» того или иного региона



России. На основе данных об объемах выбросов загрязняющих веществ и рассмотренных выше показателях техногенной нагрузки составляются рейтинги городов и регионов, которые ложатся в основу представлений о реальной экологической ситуации на территории нашей страны. При этом не учитываются физико-географические особенности территорий, которые могут влиять на качество среды обитания населения. Следует отметить, что объемы выбросов загрязняющих веществ и основанные на них показатели техногенной нагрузки широко используются не только в государственных и региональных докладах о состоянии окружающей среды, но и в авторитетных научных изданиях, посвященных экологической оценке состояния территорий (см., например, [2, 18]).

Цель данного исследования – на основе ряда показателей техногенной нагрузки и здоровья населения оценить состояние городских территорий, различающихся как по природным, так и по антропогенным факторам. Основываясь на представлении о том, что качество атмосферного воздуха является одним из наиболее существенных факторов окружающей среды, влияющих на здоровье населения [21], для оценки воздействия техногенных факторов на население рассмотрена аэротехногенная нагрузка.

В качестве объектов исследования выбраны разные по метеоусловиям и аэротехногенной нагрузке города. Специфичность метеоусловий городов рассмотрена с точки зрения влияния метеорологических факторов на рассеивание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. В качестве показателя степени влияния метеорологических факторов на уровень загрязнения атмосферного воздуха использован потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА) [1]. Исследованные города расположены в разных по ПЗА зонах: Санкт-Петербург - в зоне низкого ПЗА, Москва – умеренного ПЗА, Ульяновск – повышенного ПЗА, Красноярск – высокого ПЗА, Иркутск – очень высокого ПЗА. В Санкт-Петербурге основной вклад в выбросы стационарных источников дают предприятия электроэнергетики, машиностроения и жилищно-коммунального хозяйства. В Москве самыми крупными загрязнителями являются нефтеперерабатывающий, металлургический предприятия и ТЭЦ. Особенностью Красноярска является существенное влияние на окружающую среду алюминиевой промышленности и теплоэнергетики. Ульяновск характеризуется воздействием на атмосферный воздух предприятиями машиностроения, приборостроения, электронной и электротехнической промышленности. В Иркутске основная доля выбросов приходится на предприятия теплоэнергетики, остальная часть – на авиационное производство. Наибольший вклад автотранспорта в валовые выбросы загрязняющих веществ (около 90%) отмечен в Санкт-Петербурге и в Москве. В Красноярске и Иркутске на долю автотранспорта приходится от 45 до 60% валовых выбросов. В Ульяновске роль автотранспорта в загрязнении

атмосферного воздуха мала - объем выбросов составляет 8% от всего объема загрязняющих воздух веществ [13].

В работе использованы данные об объемах выбросов и концентрации загрязняющих атмосферный воздух веществ, представленные в Государственных докладах за 2012 – 2016 годы [3-12, 14, 17, 19, 20, 24]. В качестве показателей техногенной нагрузки на городскую среду использованы результаты расчета объема выбросов, приведенного к площади городской территории и к численности населения (эмиссионная нагрузка).

На основе проведенного анализа данных официальной статистики установлено, что в период 2012 – 2016 годов среди рассмотренных городов наибольший объем выбросов загрязняющих веществ был в Москве (в среднем 1002 тыс.т/год), второе место занимал Санкт-Петербург (519 тыс. т/год), далее шли Красноярск (213 тыс.т/год), Иркутск (117 тыс.т/год), и Ульяновск (в среднем 71 тыс.т/год). Проведен расчет двух часто используемых в экологических исследованиях показателей техногенной нагрузки: объема выбросов загрязняющих веществ, приведенного к площади городской территории, а также - к численности населения. По обоим показателям лидирует Красноярск, далее, заметно уступая ему, следует Иркутск. Москва по первому показателю оказалась на третьем месте, а по второму показателю – на последнем месте (табл.).

Таблица.

Техногенная нагрузка и риски для здоровья населения исследуемых городов

Город	ИЗА	Объем выбросов тыс. т/год	Нагрузка т/ кв.км	Нагрузка т/ 1000 чел.	Индекс опасности (ИИ)	Риск смерти
Санкт-Петербург	Н	519 (492–537)	360,2	0,10	2,08 (1,65-2,8)	0,67 (0,36-1,34)
Москва	У	1002 (982-1038)	389,7	0,08	3,87 (3,27-4,88)	1,69 (0,8-2,45)
Ульяновск	П	71 (39-106)	205,6	0,09	1,62 (1,3-3,78)	1,28 (0,7-1,55)
Красноярск	В	213 (194-235)	602,6	0,20	2,57 (1,96-3,57)	1,14 (0,7-1,9)
Иркутск	ОВ	117 (110-126)	417,8	0,19	7,50 (6,6-8,8)	4,52 (3,6-5,8)

Примечание. Н – зона низкого ИЗА, У – зона умеренного ИЗА, П – зона повышенного ИЗА, В – зона высокого ИЗА, ОВ – зона очень высокого ИЗА.

Следует обратить внимание на то, что при оценке экологического состояния территорий чаще всего рассматривают уже появившиеся последствия антропогенных воздействий на компоненты природной среды. Применительно к городским территориям используют заболеваемость населения, как конечный экологический эффект влияния техногенных

факторов на среду обитания. Однако, как показано Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) здоровье в первую очередь зависит не от загрязнения окружающей среды, а от образа жизни и биологических особенностей населения. В совокупном влиянии на здоровье населения загрязнению окружающей среды ВОЗ отводит не более 20%. В связи с этим способ оценки влияния техногенных факторов (в частности, химического загрязнения окружающей среды) на население путем применения данных медицинской статистики не достаточно эффективен. Кроме того, при нормировании в области охраны окружающей среды и обеспечении экологической безопасности населения необходимо проведение работ по выявлению потенциально опасных экологических ситуаций и определение экологического риска.

Согласно Федеральному закону Об охране окружающей среды (ФЗ № 7), экологический риск – вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной или иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного или техногенного характера. Результаты оценки риска служат основой для принятия решений по достижению приемлемых показателей качества среды, а также для оценки эффективности мер, направленных на снижение и минимизацию риска.

Применительно к городскому населению информативным показателем качества среды и химической нагрузки на население является риск для здоровья человека, рассматриваемый в ситуации поступления в организм загрязняющих окружающую среду веществ. С целью получения прогнозных показателей влияния загрязнения атмосферного воздуха на здоровья горожан на основе стандартной методики [22] проведена оценка неканцерогенного риска для здоровья населения при ингаляционном поступлении в организм загрязняющих веществ. При расчетах использованы данные о концентрации приоритетных для исследуемых городов загрязняющих веществ.

Для оценки риска воздействия отдельных загрязняющих веществ на здоровье человека использовали коэффициент опасности, который вычисляли по формуле 1:

$$HQ = \frac{AC}{RfC}, \quad (1)$$

где  $HQ$  - коэффициент опасности для отдельного вещества смеси воздействующих загрязняющих веществ;  $AC$  – средняя концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе, мг/м<sup>3</sup>,  $RfC$  – референтная концентрация (в мг/м<sup>3</sup>). Для условий одновременного поступления нескольких веществ ингаляционным путем индекс опасности развития неканцерогенных рисков рассчитывали по формуле 2:

$$HI = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_n, \quad (2)$$

где  $HI$  – индекс опасности – характеристика риска развития неканцерогенных эффектов при условии одновременного поступления нескольких загрязняющих веществ ингаляционным путем;  $HQ_n$  – индекс опасности для отдельного пути поступления нескольких загрязняющих веществ. Угрозу здоровью оценивали по неравенству  $HQ (HI) > 1$ . При выполнении условий неравенства признают наличие угрозы для здоровья населения, которая увеличивается с ростом индекса опасности. Индекс опасности возникновения смертельных случаев (риск смерти) рассчитывается одновременно с коэффициентами опасности для отдельных компонентов ( $HQ$ ): каждое вещество вызывает риск возникновения определенных заболеваний или риск смерти. В том случае, когда поражение органа или системы происходит несколькими веществами, то индексы опасности развития неканцерогенных рисков суммируются.

При использовании индекса опасности развития неканцерогенных эффектов при одновременном воздействии нескольких загрязняющих веществ картина экологической ситуации в городах, основанная на показателях техногенной нагрузки, существенно меняется. По данным о риске для здоровья наихудшая в рассматриваемом ряду городов экологическая ситуация отмечается в Иркутске – городе, в котором объемы выбросов загрязняющих веществ почти в 9 раз меньше, чем в Москве. В Иркутске среднее за исследуемый период значение риска для здоровья населения в 7.5 раза выше допустимого уровня (1.0) и в два раза больше, чем в Москве – городе, в котором среднее значение этого показателя составляет 3.87. Далее идут Красноярск (среднее значение индекса опасности составляет 2.57) и Санкт-Петербург (в среднем индекс опасности – 2.02). Завершает этот ряд Ульяновск, в котором среднее значение индекса опасности (табл.).

Отметим, что Иркутск расположен в зоне с очень высоким ПЗА, т.е. определенное сочетание метеорологических факторов в этом городе, снижает рассеивающую способность атмосферы. Этим можно объяснить столь высокий риск для здоровья населения Иркутска при наименьшем среди рассмотренных городов объемах выбросов загрязняющих веществ. Однако в отношении других рассмотренных городов четкая связь между ПЗА, техногенной нагрузкой и показателями здоровья населения не наблюдается. Так, второй по значениям риска для здоровья населения город Москва расположен в зоне умеренного ПЗА, третий по этим показателям Красноярск – в зоне высокого ПЗА, четвертый город (Санкт-Петербург) – в зоне с низким ПЗА, а пятый (Ульяновск) – в зоне повышенного ПЗА. Как отмечалось выше, по обоим показателям эмиссионной нагрузки первым в списке рейтинга был Красноярск (зона высокого ПЗА), а Иркутск (зона очень высокого ПЗА) заметно уступает ему по этим показателям.

Рейтинг городов, основанный на показателях риска для здоровья, не совпадает и с их рейтингами, основанными на показателях эмиссионной

нагрузки на единицу площади городской территории и на единицу численности населения (табл.). Это дает основание считать, что рассмотренные показатели техногенной нагрузки на окружающую среду, как и валовые выбросы, не отражают экологическую ситуацию, которая влияет на здоровье населения. Рейтинги городов, построенные по показателям техногенной нагрузки, не соответствуют их рейтингу и по показателю «риск смерти». В последнем случае также лидирует Иркутск, далее идут Москва, Ульяновск и Красноярск, завершает этот нисходящий ряд Санкт-Петербург (табл.).

Таким образом, установлено, что часто используемые в Государственных и региональных докладах о состоянии окружающей среды, а также в экологических исследованиях показатели техногенной нагрузки на окружающую среду (абсолютные и относительные значения выбросов в атмосферный воздух загрязняющих веществ) не отражают реальную экологическую ситуацию, влияющую на показатели здоровья населения. Наиболее надежным критерием эколого-географической оценки состояния городов является риск для здоровья населения. Благодаря использованию этого показателя установлено, что среди исследованных городов наихудшая экологическая ситуация в Иркутске – городе с минимальным объемом выбросов загрязняющих веществ и вторым по значениям рассмотренных показателей аэротехногенной нагрузки. Высокий риск для здоровья населения Иркутска при наименьших среди рассмотренных городов объемах выбросов загрязняющих веществ объясняется очень высоким ПЗА – показателем, отражающим физико-географические особенности территории, которые влияют на качество атмосферного воздуха.

### Список литературы

1. Безуглая Э. Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. Л.: Гидрометеоздат, 1980. - 184 с.
2. Битюкова В.Р. Региональный анализ экологической ситуации в России в 1990-2012 гг. // Вопросы географии, Сб. 141: Проблемы регионального развития России / Отв. ред. В.М. Котляков, В.Н. Стрелецкий, О.Б. Глезер, С.Г. Сафронов. М.: Издательский дом «Кодекс», 2016. - С. 275 – 295.
3. Бюллетень загрязнения окружающей среды Московского региона. ФГБУ «Центральное УГМС». Москва, 2017. – 19 с.
4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2013 году». – Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2014. – 389 с.
5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2014 году». – Иркутск: Форвард, 2015. – 328 с.
6. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2015 году». Иркутск. ООО Изд-во «Время странствий». 2016. - 316 с.
7. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2016 году». Иркутск: ООО «Мегапринт», 2017 – 274 с.
8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Ульяновской области в 2016 году». Ульяновск, 2017. – 104 с.

10. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Ульяновской области в 2013 году». Ульяновск, 2014. – 301 с.
11. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Ульяновской области в 2014 году». Ульяновск, 2015. – 144 с.
12. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2012 году» / Правительство Москвы, Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. – М.: Спецкнига, 2012. – 178 с.
13. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2013 году» / Правительство Москвы, Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. – М.: «ЛАРК ЛТД», 2014. – 222 с.
14. Ежегодник. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2017 год. - СПб, 2018. - 234 с.
15. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2015 году». Москва, 2016. – 269 с.
16. Исаченко А.Г. Экологический потенциал ландшафта // Изв. ВГО. 1991. Т. 123, вып. 4. С. 305-316,
17. Исаченко А.Г. Экологическая география Северо-Запада России. Часть 1. СПб.: Изд-во РГО. 1995. - 206 с.
18. Лаборатория – анализы воздуха – отчёты. URL: <http://krasecology.ru/Air/LabReport> (Дата обращения - 2.02.2018).
19. Малхазова С.М. и др. // Здоровье населения Московской области: медико-географические исследования. М.: ГЕОС, 2010. - 112 с.
20. О загрязнении окружающей среды на территории Москвы и Московской области. URL: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/100/> (Дата обращения – 26.01.2018).
21. Обзор состояния окружающей среды. URL: [http://mpr73.supportix.ru/review/?element\\_id=1433&PAGEN\\_1=2](http://mpr73.supportix.ru/review/?element_id=1433&PAGEN_1=2) (Дата обращения – 12.02.2018).
22. Онищенко Г.Г. Влияние состояния окружающей среды на здоровье населения. Нерешенные проблемы и задачи // Гигиена и санитария. 2003. №1. С. 3-10.
23. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р. 2.1.10.1920-04. 2004. М. – 143 с.
24. Селиверстов Ю.П. Эколого-географическая оценка: понятия и проблемы // Проблемы эколого-географической оценки состояния природной среды. СПб: Изд-во РГО. 1994. - С. 5-18.
25. Состояние атмосферного воздуха в городе Москве. URL: <http://docplayer.ru> (Дата обращения – 25.01.2018).

# МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В РАЙОНАХ СИЛЬНЫХ КОРОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-АНАТОЛИЙСКОГО РАЗЛОМА

<sup>1</sup>В.Н. Морозов, <sup>1,2</sup>А.И. Маневич, <sup>1,3</sup>В.Н. Татаринов, <sup>1</sup>Т.А. Татарина  
*victat@wdcb.ru*

<sup>1</sup>Геофизический центр РАН, Россия, г. Москва

<sup>2</sup>Горный институт НИТУ «МИСиС», Россия, г. Москва

<sup>3</sup> Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, Россия, г. Москва

Сильное землетрясение в Турции (*Erzincan Earthquake; 1992, M<sub>s</sub> 6.8*) произошло 13 марта 1992 года в районе Северо-Анатолийского разлома с глубиной гипоцентра ~ 10 км. Спустя двое суток последовал сильный афтершок с M<sub>s</sub> 5.8. Всего в эпицентральной зоне зарегистрировано более 3000 афтершоков. Область афтершоков с высокой плотностью локализована в зоне стыка фрагментов Северо-Анатолийского и примыкающих тектонических разломов.

В настоящей работе моделируется напряженно-деформированное состояние (НДС) эпицентральной зоны до землетрясения и после (после образования главного разрыва). С этой целью используется программный комплекс, позволяющий в 2-D постановке (условие плоской деформации), моделировать НДС блочной гетерогенной среды, нарушенной системой тектонических разломов. Разломы моделируются в виде протяженных зон диспергированного геоматериала, упругий модуль которых существенно ниже упругого модуля окружающей среды.

Используемый метод моделирования НДС блочных гетерогенных массивов, нарушенных системой тектонических разломов подробно описан в работах [1, 2]. Он основан на представлении о гетерогенной упруго-изотропной блочной среде, нарушенной тектоническими разломами с более низкими упругими модулями по отношению к блокам, находящимся во внешнем поле тектонических напряжений. Моделируется однородный упруго-изотропный слой, мощность которого существенно меньше его линейных размеров. Слой нарушен системой субвертикальных разломов.

Расчет НДС в массиве производится методом конечных элементов (МКЭ) в форме перемещений на основе четырехугольных изопараметрических элементов. Выбор МКЭ обусловлен физическими соображениями, обеспечивающими условия минимизации полной потенциальной энергии деформации для всего массива, так и эффективностью его компьютерной реализации.

Соотношения между напряжениями и деформациями принимаются осредненными по толщине слоя, согласно модели обобщенного плоского напряженного состояния в форме закона Гука:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{Bmatrix} = [D(E^{(m)}, \nu^{(m)})] \times \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$ ,  $\sigma_{xy}$  – компоненты осредненных интегральных напряжений;  $\varepsilon_{xx}$ ,  $\varepsilon_{yy}$ ,  $\varepsilon_{xy}$  – соответствующие им компоненты тензоры деформации;  $E^{(m)}$  – модуль Юнга;  $\nu^{(m)}$  – коэффициент Пуассона матрицы упругости отдельного конечного элемента, с помощью которой вводится материальная неоднородность (разлом) в упруго-изотропную модель слоя в виде:

$$[D(E^{(m)}, \nu^{(m)})] = E^{(m)} \times [1 - (\nu^{(m)})^2] \times \begin{bmatrix} 1 & \nu^{(m)} & 0 \\ \nu^{(m)} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1 - \nu^{(m)})^2 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

При моделировании НДС геологического массива в системе координат  $y$ ,  $x$  (совпадающие с направлением главных осей тектонических напряжений) задается внешнее поле тектонических напряжений (по геолого-геофизическим данным). Предметом анализа являются карты распределения величины  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$ ,  $\sigma_{xy}$  и интенсивности напряжений  $\sigma_i$ :

$$\sigma_i = (\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 - \sigma_{xx} \times \sigma_{yy} + 3 \times \sigma_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

Для моделирования НДС эпицентральных зон землетрясений используются структурно-тектонические схемы разломной тектоники, полученные по геолого-геофизическим данным. Внешнее поле тектонических напряжений задается главным доминирующим напряжением. Принято, что главные напряжения сжатия  $\sigma_{yy}$  вызывают напряжения бокового отпора:

$$\sigma_{xx} = \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_{yy}, \quad (4)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Так же рассчитывается разность интенсивности напряжений до и после землетрясения:

$$\Delta\sigma_i = |\sigma_i|_I - |\sigma_i|_{II}, \quad (5)$$

где  $\langle\sigma_i\rangle_I$  и  $\langle\sigma_i\rangle_{II}$  – интенсивность напряжений в  $i$ -й точке до и после образования разрыва (абсолютные значения).

Связь сильных континентальных коровых землетрясений с разломной тектоникой требует сформулировать адекватное представление о тектоническом разломе, имея в виду, в первую очередь, активные в новейшее время разломы. Под разломом понимается физико-механическая неоднородность в земной коре, протяженность которой по длине существенно превосходит ширину [1, 2] и упругий модуль существенно ниже упругого модуля окружающей среды [3]. С этой целью используется имеющаяся геолого-геофизическая информация, включая принятые представления о тектонике и геодинамике исследуемого района в пределах, необходимых для обоснования схемы параметров модели и задания граничных условий (имея в виду результаты анализа механизмов очагов сильных землетрясений в этом районе и ГНСС-наблюдений).



Землетрясение 13 марта 1992 года произошло в Турции в районе Северо-Анатолийского разлома с координатами эпицентра  $39.71^{\circ}$  N,  $39.06^{\circ}$  E;  $M_s$  6.8 и глубиной гипоцентра  $\sim 10$  км [4]. За последние 100 лет в этом районе произошло 23 сильных землетрясения с  $M > 6.5$ . Эпицентр землетрясения, показанный на рис. 1 черной звездой, находится на стыке фрагментов Северо-Анатолийского разлома и разлома северо-восточного простирания.

Спустя двое суток 15 марта 1992 года зарегистрирован сильный афтершок с  $M_s = 5.8$  с эпицентром в  $\sim 30$  км юго-восточнее эпицентра главного толчка. Землетрясение разрушило город Эрзинкан. Показаны механизмы очагов землетрясения 13 марта 1992 года и последующего сильного афтершока. Оси напряжений сжатия имеют субмеридиальную ориентацию. Область локализации афтершоков на севере ограничена фрагментами Северо-Анатолийского разлома. По результатам ГНСС наблюдений скорость смещений крыльев Северо-Анатолийского разлома составляет  $26 \pm 3$  мм/год. Доминирующими тектоническими напряжениями являются напряжения сжатия, с осью сжатия, ориентированной в направлении Север-Юг.

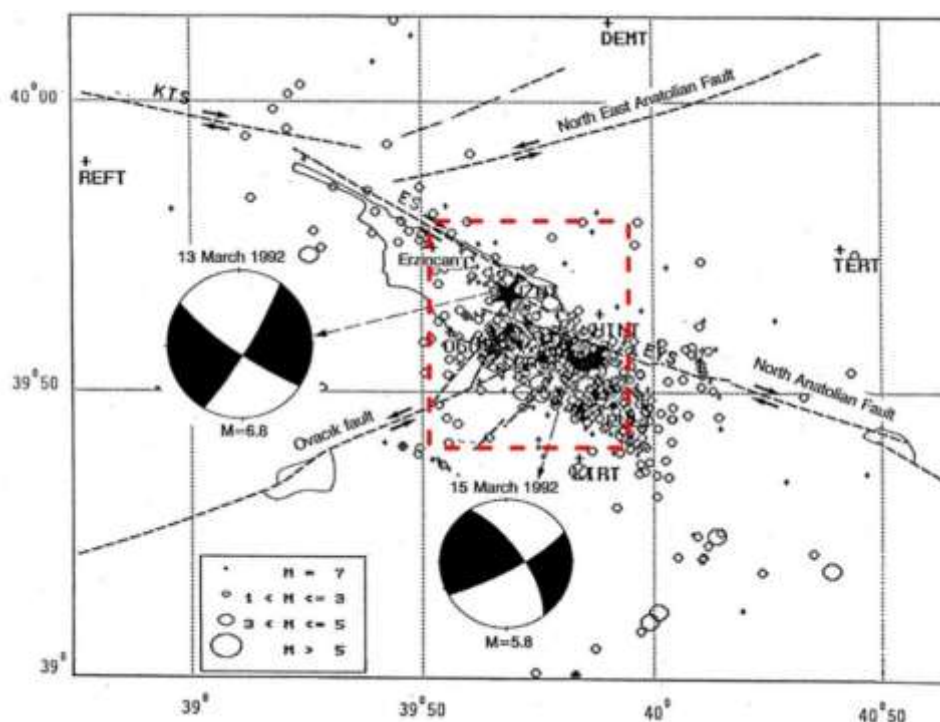


Рис.1. Структурно-тектоническая схема эпицентральной зоны Эрзинканского землетрясения 13 марта 1992 года  $M_s$  6.8 и его афтершоков (пунктирные линии – тектонические разломы)

Для расчетов НДС эпицентральной зоны Эрзинканского землетрясения использована упрощенная схема разломной тектоники, приведенная в работах [6]. Падение плоскостей разломов принято вертикальным. Упругий модуль диспергированной среды тектонических разломов принимается существенно ниже упругого модуля окружающей упругой изотропной геосреды.

Для моделирования НДС эпицентральной зоны Эрзинканского землетрясения 13.02.1992  $M_w$  6.7 использована тектоническая схема фрагмента Северо-Анатолийского разлома в квадранте  $39^{\circ}$  -  $40^{\circ}$  N и  $39^{\circ}$  –  $40.5^{\circ}$

Е, приведенная в работе [7]. Предметом анализа является НДС до и после землетрясений в радиусе ~ 25 км с центром квадрата (рис. 1).

На рис. 2 приведена карта интенсивности напряжений  $\sigma_i$  до землетрясения. В центральной области сочленения фрагментов Северо-Анатолийского разлома и примыкающего разлома юго-западного простирания (*Ovacik fault*) уверенно выделяется область повышенной интенсивности напряжений, в центральной части в 2–3 раза превышающей фоновые значения. Максимальные значения интенсивности напряжений соответствуют зонам окончания разломов. От эпицентра землетрясения аномальная зона вытянута в юго-восточном направлении длиной около 40 км.

На рис. 3 показана карта напряжений сдвига в этом районе, предшествующая образованию разрыва при землетрясении.

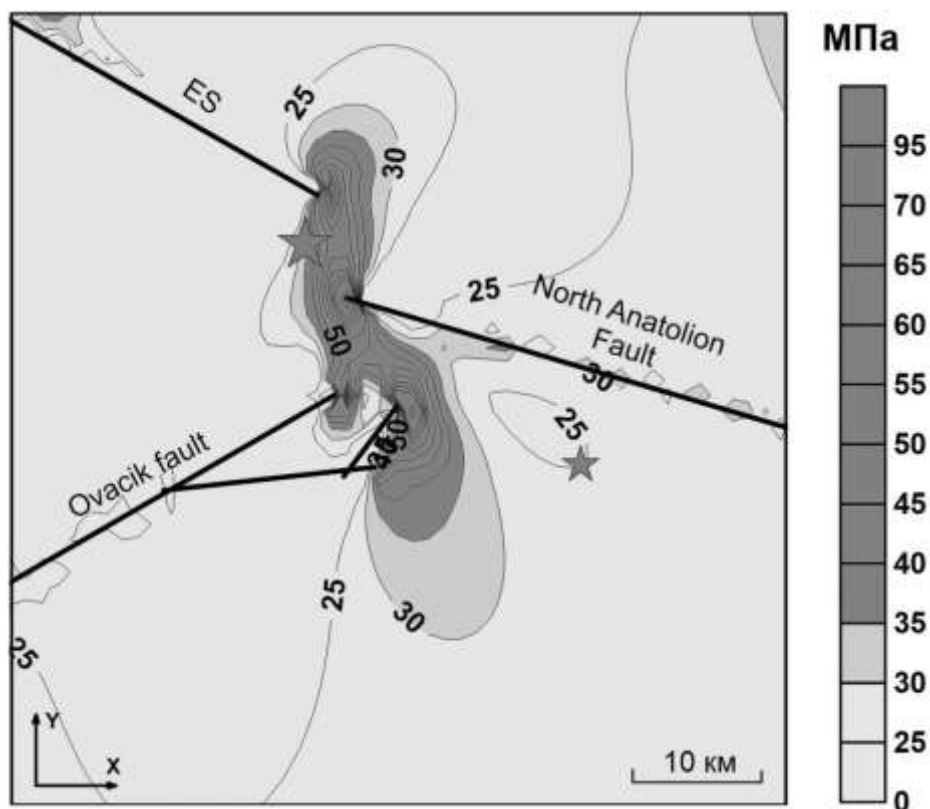


Рис. 2. Карта интенсивности напряжений эпицентральной зоны до Эрзинканского землетрясения

На картах большой звездой обозначается положение эпицентра Эрзинканского землетрясения, и малой звездой - положение сильного афтершока, последовавшего спустя двое суток с М 5.8 после основного толчка. Эпицентр главного толчка, как проекция старта разлома на древнюю поверхность, попадает в область аномально высокой интенсивности напряжений (учитывая реальную неопределенность положения окончания разломов, скрытых под слоем осадков).

Понимая под вновь образовавшемся разрывом протяженную зону (между гипоцентрами главного толчка последующего афтершока) диспергированного материала протяженностью 30 км и шириной 0.5 км

смоделировано НДС эпицентральной зоны при сохранении граничных условий.

На рис. 4 представлена карта напряжений сдвига после образования разрыва. Как видно из сравнения карт до и после образования разрыва НДС состояния эпицентральной зоны существенно меняется.

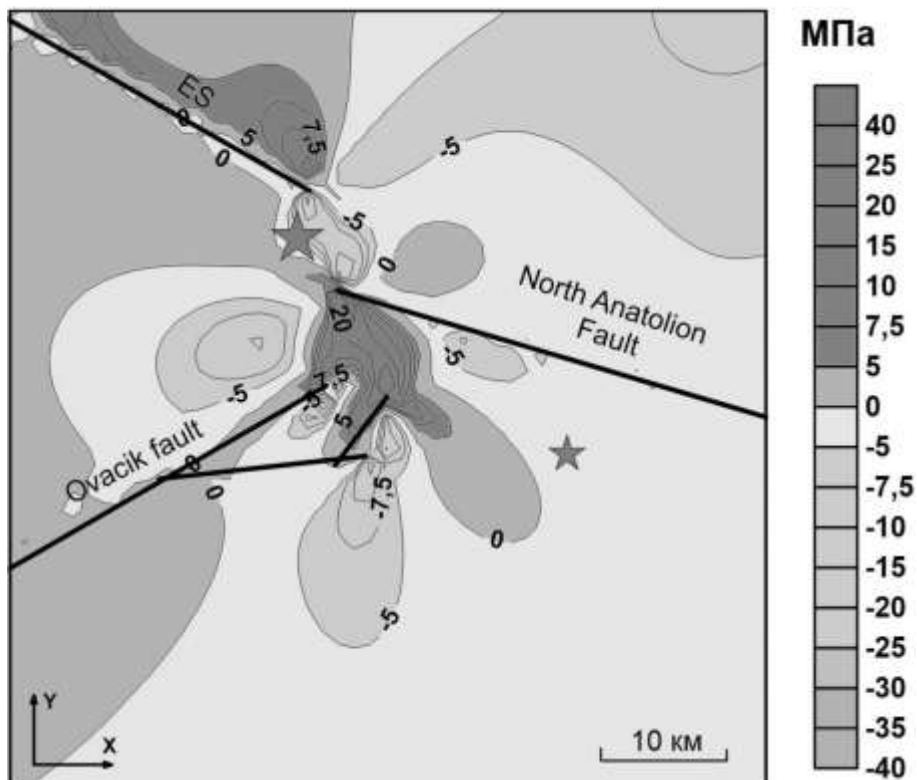


Рис. 3. Карта напряжений сдвига до землетрясения

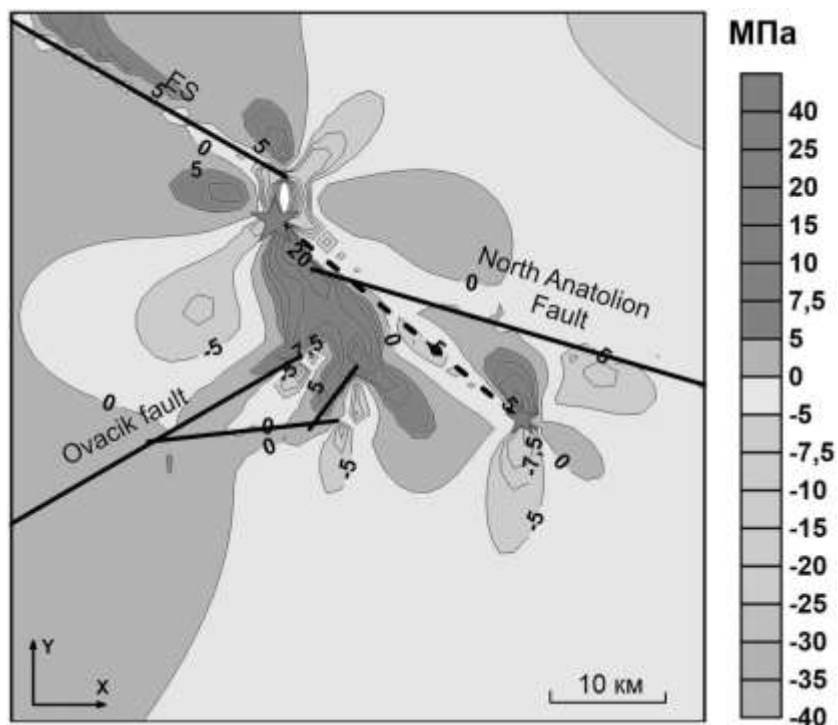


Рис. 4. Карта напряжений сдвига после землетрясения (пунктирная линия – положение разрыва)

На рис. 5 приведена карта разности интенсивности напряжений до и после землетрясения, т.е. до и после образования разрыва. В центральной части сброшенные «статические» напряжения ( $\sigma_i \approx 7.5$  МПа) совпадают с областью высокой плотности афтершоков. В зонах окончания нового разлома интенсивность напряжений возрастает, но площадь распространения значительно меньше площади (объема) сброшенных напряжений.

На карту сброшенной интенсивности напряжений вынесены эпицентры самых сильных афтершоков с  $M > 3.7$ . Восемь афтершоков локализованы в области максимально сброшенной интенсивности напряжений, два ассоциируются с зонами возросшей интенсивности напряжений, возникших после образования тектонического разлома.

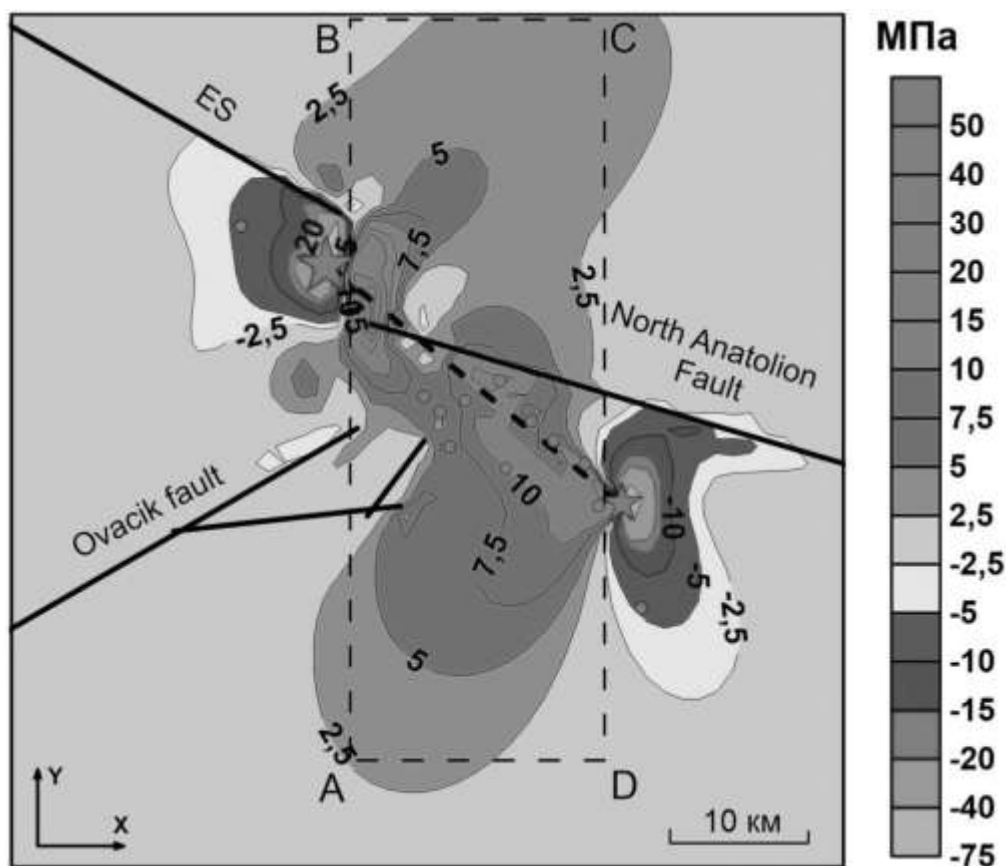


Рис. 5. Разность интенсивности напряжений до и после землетрясения 13 марта 1992 года и эпицентры афтершоков (красные точки на рисунке) с  $M > 3.7$

Принимая среднюю мощность сейсмогенерирующего слоя равную 5 км, и, зная площадь сброшенной интенсивности напряжений, можно определить величину сброшенной энергии деформации, в результате вновь образовавшегося тектонического разрыва. Для площади, обозначенной прямоугольником ABCD (рис. 5) и мощности сейсмогенерирующего слоя 5 км при средней величине  $\Delta\sigma_i = 5$  МПа, величина сброшенной энергии деформации:

$$\Delta U \approx 1.9 \times 10^{17} \text{ Дж.}$$

В эту величину входит «мгновенно» сброшенная энергия при распространении тектонического разрыва и энергия «статических»

(нелинейно упругих) напряжений, сбрасываемая в процессе развития афтершокового процесса. Длительность затухающего афтершокового процесса для Эзринканского землетрясения составляет около 3-х месяцев. Следует ожидать, что диспергация геологической среды (в виде криппа) должна приводить к изменению физико-механических характеристик сейсмогенерирующего слоя, по крайней мере в области высокой плотности афтершоков.

Реальная структура разлома является достаточно сложной и нет уверенности в действительной структуре разлома при анализе сечений области афтершоков [8]. При выборе модели разрыва, образовавшегося во время главного толчка, принята зона объемной диспергации геоматериала между главным толчком и последующими сильными афтершоками, коррелирующая с эпицентральной зоной первых афтершоков, зарегистрированных после организации локальной сети сейсмических наблюдений. В этом случае совпадение направлений нодальных плоскостей механизма главного очага и последующего сильного афтершока дает дополнительное основание в предположении генетической связи этих двух высокоэнергетических событий на фоне последующей афтершоковой активности.

Центральные области сброса интенсивности напряжений ( $\Delta\sigma_i > 7.5$  МПа) соответствуют максимальной плотности афтершоков, в течение 3 месяцев их было зарегистрировано более 3000. Частичный сброс напряжений шарового тензора (в реальных условиях) стимулирует развитие афтершоков в постепенно затухающем сеймотектоническом процессе.

Можно только предположить, что общая сброшенная энергия статических («вековых») напряжений существенно выше энергии сейсмических волн при образовании разрыва и последующего афтершокового процесса. Процесс медленной компенсации сброшенной энергии в изменившихся тектонических условиях приводит к новому пространственному распределению напряжений, высокоэнергетические области которых стимулируют дальнейшее развитие сеймотектонического процесса.

### **Заключение**

Таким образом, полученные результаты моделирования НДС эпицентральной зоны землетрясения 24 августа 2014 г. и обработки GPS-наблюдений в сочетании с сейсмологическими данными дают новые представления о развитии сеймотектонического процесса, подготовки и реализации сильного корового землетрясения.

Взаимодействие полей напряжений активных тектонических разломов создает локальные области высокой концентрации упругой энергии способной реализоваться в виде разрыва и последующем изменении напряженно-деформированного состояния окружающей геологической среды. При этом высокая концентрация упругой энергии возможна в относительно прочных породах, способных аккумулировать упругую энергию внешнего поля тектонических напряжений.

Данная методология может применяться при прогнозировании устойчивости геологической среды при выборе мест расположения экологически опасных промышленных объектов и оценке их долговременной сейсмической опасности, в частности при захоронении высокоактивных радиоактивных отходов (РАО) в геологических формациях [9-10]. Это регламентировано в существующих нормативных материалах по безопасности Ростехнадзора.

Одной из важнейших задач будущих исследований является применение протестированной методологии для участка строительства пункта глубинного захоронения РАО в Нижне-Канском массиве, и разработка набора сценариев опасного взаимодействия локальных полей тектонических напряжений [11].

### Список литературы

1. Морозов В.Н., Маневич А.И. Моделирование напряженно-деформированного состояния эпицентрального района землетрясения 26.01.2001 г.,  $M=6.9$  (Индия) // Геофизические исследования. – 2016. - Том 17, № 4. - С. 23-36. DOI: 10.21455/gr2016.4-2.
2. Морозов В.Н., Кафтан В.И., Татаринов В.Н., Колесников И.Ю., Маневич А.И., Мельников А.Ю. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния и результаты GPS-мониторинга эпицентральной зоны землетрясения 24 августа 2014 (г. Напа, шт. Калифорния, США) // Геотектоника. 2018. №5. с. 90 – 102. DOI: 10.1134/S0016853X18040069.
3. Морозов В.Н., Татаринов В.Н., Колесников И.Ю., Маневич А.И. Моделирование напряженно-деформированного состояния эпицентральной зоны сильного землетрясения в Иране (26 декабря 2003 г.  $M_w = 6.6$ ) // Физика Земли. 2018. № 4. С. 68-78.
4. Шерман С. И., Семинский С.А., Борняков С.А., Буддо В.Ю., Лобацкая Р.М., Адамович А.Н., Трусков В.А., Бабичев А.А. Разломообразование в литосфере: зоны сдвига – Новосибирск: Наука, СО, 1992. 258 с.
5. Кочарян Г.Г., Масштабный эффект в сейсмотектонике, Геодинамика, тектонофизика, т.5, 2014, с 353-385
6. Barka A., Reilinger R. Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data //Annals of Geophysics. 1997. Т. 40. №. 3.
7. Süleyman S. Nalbant, A. Aykut Barka, Ömer Alptekin. Failure stress change caused by the 1992 Erzincan Earthquake ( $M_s=6.8$ ) // Annali di geofisica. 1997. №3. P. 587 – 610.
8. Grosser H. et al. The Erzincan (Turkey) earthquake ( $M_s$  6.8) of March 13, 1992 and its aftershock sequence //pure and applied geophysics. 1998. Т. 152. №. 3. С. 465-505.
9. Morozov V. N., Kolesnikov I. Yu., and Tatarinov V. N. Modeling the Hazard Levels of Stress-Strain State in Structural Blocks in Nizhnekanskii Granitoid Massif for Selecting Nuclear Waste Disposal Sites // Water Resources, 2012, Vol. 39, Issue 7, pp. 756–769.
10. Viktor Tatarinov, Vladimir Kaftan, Vladislav Morozov, Eugenie Kamnev, Tatiana Tatarinova. Reduction of the geodynamic risk in the disposal of radioactive waste in geological formations // 18 International multidisciplinary conference SGEM 2018. Section Nuclear Technologies. Vol. 18. Issue 4.3. Vienna. 2018. P.11-21. Doi.org/10.5593/sgem2018/4.3/
11. Морозов В.Н., Татаринов В.Н., Кафтан В.И., Маневич А.И. Подземная исследовательская лаборатория: геодинамические и сейсмотектонические аспекты безопасности // Радиоактивные отходы. 2018. № 3 (4). с. 16 - 29.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СТРАНАХ АФРИКИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И СНИЖЕНИЯ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

**Л.В. Нефедова**

*nefludmila@mail.ru*

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

**Аннотация.** На основе анализа состояния энергообеспечения и планов стран Африки по наращиванию выработки электроэнергии обосновано важное значение использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в обеспечении устойчивого развития на континенте, в стабилизации и снижении эмиссии парниковых газов, вследствие особой уязвимости региона к последствиям изменения климата. Проведен анализ состояния и механизмов освоения ВИЭ в странах Африки. Показана определяющая роль международных экологических и финансовых организаций в данном процессе.

**Ключевые слова.** Возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, солнечная энергетика, инвестиции, Субсахарская Африка, устойчивое развитие, эмиссия парниковых газов.

Обеспечение электроэнергией является важным фактором устойчивого развития, экономического роста государств, преодоления бедности, расширения занятости, поддержки и повышения индекса человеческого развития. Устойчивая энергетика является седьмой целью «17 целей для преобразования нашего мира к 2030г.», принятых ООН в 2016г. для обеспечения устойчивого развития всего человечества планеты. В задачах по ее достижению указана необходимость обеспечить всеобщий доступ к недорогим, надежным и современным энергетическим услугам и существенно увеличить долю возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе, удвоить глобальные темпы повышения энергоэффективности [1]. В докладе Международного Энергетического Агентства 2018г. представлен сценарий устойчивого развития мировой энергетики. По данному сценарию к 2030г. ВИЭ (без учета ГЭС) будут вырабатывать около 25%, а к 2040 г. – до 40% мировой электроэнергии. При этом указывается, что многих странах Африки солнечная фотоэлектрическая энергетика становится одним из самых дешевых вариантов производства электроэнергии. Резкое снижение стоимости на фотоэлектрические панели последние годы подорвало новые инвестиций в тепловую энергетiku, особенно в угольную; возрастающая конкурентоспособность солнечной фотоэлектрической энергии приведёт к тому, что её установленная мощность в мире превзойдёт ветроэнергетику до 2025г. года, гидроэнергетику около 2030 г. и угольную генерацию до 2040г. В Африке по такому сценарию, соответствующему Парижским соглашениям 2015г., выбросы CO<sub>2</sub> не будут увеличиваться и даже снизятся с 1,2 млрд. т в 2017г до 1,1 млрд т к 2040г. [2].

Для стран Африки южнее Сахары вопрос обеспечения надежного и экологически чистого доступа населения к электроснабжению стоит крайне остро в связи с дефицитом выработки электроэнергии, неразвитостью инфраструктуры и электросетей. Потребности стран Африки в электроэнергии для развития промышленности растут в весьма крупных масштабах. Суммарная мощность электростанций на континенте за 20 лет возросла в 2 раза и составила к 2015 г. 142 ГВт. Большинство стран региона для преодоления дефицита электроэнергии и увеличения доступа населения к электроснабжению планируют рост в 3-5 раз установленной мощности электростанций и выработки электроэнергии к 2030г. Очевидно, что такие масштабы наращивания электрогенерирующих мощностей, требуемых для экономического развития региона, при использовании углеродного топлива будут иметь колоссальные экологические и климатические последствия. Необходимо отметить, что уже в последние годы наращивание выбросов CO<sub>2</sub> странами Африки идет крайне быстро и достигло к 2014 г. более 823 млн. тонн в год. За период с 1990г. выбросы парниковых газов выросли в странах Восточной Африки – в регионе на 42%, в Эфиопии – на 85%, в Кении – на 62% (в среднем по миру – на 38%). Альтернативой является расширение освоения ВИЭ именно в странах Субсахарского региона Африки. На IV Ассамблее, созванной Международным агентством по возобновляемой энергии (IRENA) в Абу-Даби в январе 2014г., министры энергетики из 19-ти африканских стран приняли решение по созданию «Коридора чистой энергии» стран Восточной и Южной Африки, что будет стимулировать развертывание деятельности по использованию возобновляемых источников энергии, поможет удовлетворить растущий спрос на энергию, снизить использование биомассы для приготовления пищи и соответственно - сведение лесов. Данная инициатива ориентирована на расширение международной финансовой и технической поддержки процесса освоения ВИЭ, а также трансфера технологий, что особенно важно для экономического развития стран региона [3]. На особый уровень решение проблем бестопливного развития энергетики в Африке выходит после принятия Парижского соглашения в декабре 2015 г. о выделении мировым сообществом фонда в 100 млрд долл. США на освоение ВИЭ в развивающихся странах и ежегодном распределении этих средств с 2020г. В результате Соглашений в Париже была образована Африканская Инициатива по возобновляемой энергетике (AREI), которая и будет координировать процесс освоения ВИЭ на континенте, как одну из основных проблем современности, вследствие особой уязвимости региона к последствиям изменения климата.

На Конференции ООН по изменению Климата COP22 в Марракеше в 2016г. указывалось, что Африка является наиболее уязвимым континентом с точки зрения последствий изменения климата несмотря на то, что в настоящее время она ответственна лишь за 4% парниковых газов, производимых человеком. Ряд стран Африки (Гана, Кения, Мадагаскар, Руанда, Танзания, Эфиопия) входят в группу 20 наиболее уязвимых стран мира (V 20) наряду с островными государствами. Отмечаемые последние годы экстремальные



температурные значения, смещение смен сезонов и длительные засухи пагубно влияют на биологическое разнообразие на континенте, уничтожая порой и целые экосистемы.

Если не будут приняты меры по изменению структуры потребления энергоисточников, то рост численности населения в регионе приведет к тому, что потребление энергетического сырья из биомассы, в особенности древесного топлива, вырастет на 40% к 2040 г., что вызовет значительное сокращение лесных массивов. Цель устойчивого развития в области энергетики включена в «Долгосрочные задачи Африканского Союза на период до 2063г.», где указывается, что Африка может удовлетворить почти четверть своих потребностей в энергии за счет местных и чистых возобновляемых источников энергии уже к 2030 году. К настоящему моменту из 53 стран континента в 45 странах разработаны долгосрочные планы по энергетике, содержащие количественные целевые показатели по использованию возобновляемых источников энергии [4]. Освоение ресурсов возобновляемых источников энергии в объеме 310 ГВт позволит обеспечить около 50% общей мощности производства электроэнергии на континенте. Преобразование такого масштаба в энергетическом секторе Африки потребует среднегодовых инвестиций в размере 70 млрд. Долл. США (долл. США) до 2030 г. и приведет к сокращению выбросов углекислого газа до 310 мегатонн в год [5].

Генеральная Ассамблея ООН объявила период 2014–2024 гг. Декадой «Устойчивой энергетики для всех» (SE4ALL) и призвала страны-члены объединить усилия для обеспечения всеобщего доступа к электроэнергии, снижения мирового потребления энергии на 40% и увеличения доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мире до 30%. Развитие энергетики является одной из первоочередных задач долгосрочных экономических планов африканских стран, признавая ее центральную роль в достижении всех целей устойчивого развития, а также в смягчении и адаптации к изменениям климата. В докладе Международного энергетического Агентства (МЭА) «Взгляд на Африку» дается прогноз увеличения доли солнечной и ветровой энергии в энергобалансе региона к 2030 г. – до 15%, к 2040 г. – до 30%. Это позволит сократить выбросы парниковых газов в странах региона почти на 25%. Оценивается, что выполнение данных целей потребует инвестиций в возобновляемую энергетику стран региона в размере около 150 млрд. долл. [6].

Уровень экономического развития, состояние энергетического комплекса, уровень доступа населения к электроэнергии значительно различаются по основным регионам Африки (табл. 1). По данным Программы ООН по окружающей среде (UNEP) в Африке около 600 миллионов населения Африки не имеет доступа к электроэнергии, из которых 99,6% сосредоточено в Субсахарском регионе. Доступ к источникам электроэнергии в странах региона варьируется от 3% в Бурунди до 100% на Маврикий. В 30 странах рассматриваемый показатель составляет от 11 до 39%, а в 10 странах – менее 10% [7]. Согласно *Сценарию новых стратегий* Международного Энергетического Агентства ВВП стран южнее Сахары увеличится к 2040 г. в

четыре раза, население вырастет почти вдвое до 1,75 млрд, а энергопотребление вырастет почти на 80%. [6]. На Африканском континенте лишь страны Северной Африки и ЮАР имеют хорошо развитые топливно-энергетические комплексы и достаточно высокий уровень обеспечения электроэнергией населения, промышленности, транспорта.

Таблица 1.

Доступ к электроэнергии по регионам Африки в 2015г. [8].

Регион	Численность населения, млн чел.	Доля доступа населения к электроэнергии	Среднегодовое потребление э/э, кВт*ч/чел
Северная Африка	175	98%	1574
Западная Африка	327	47%	188
Восточная Африка	303	23%	91
Центральная Африка	115	25%	167
Южная Африка	177	43%	2061

Вопрос инвестиций занимает особое место среди проблем африканской энергетики. Без внешних финансовых потоков африканская энергетика в целом и отдельных стран, в частности, развиваться не может. Ряд международных экологических и финансовых организаций проводят программы по поддержке использования ВИЭ в африканских странах. По программе UNEP оценки ресурсов ВИЭ «SWERA» на основе данных NASA для стран Африки были составлены открытые базы данных и карты гелиоресурсов и энергии ветра, создана геоинформационная система «SWERA RREX» [9]. На основе оценок ресурсов Всемирный Банк (WB) проводит с 2009г. Программу использования ВИЭ в Африке (AFREA), направленную преимущественно на развитие распределенной энергетики. Выполняются проекты по установке автономных источников света, эффективному использованию биомассы, установке печей для пищи на ВИЭ, обучению и тренингу. В рамках программы развития возобновляемой энергетики в странах с низким уровнем доходов (SREP) выделяются из климатических инвестиционных фондов (CIF) значительные объемы финансирования, в том числе - для стран в Африке: Кении и Эфиопии. В 2012г. по Программе Содействия Управлению Энергетическим Сектором (ESMAP) Всемирного Банка начат проект «Глобального Плана развития геотермальной энергетики в странах Великого Африканского разлома» общей суммой финансирования 500 млн. долл. США на 25 проектов крупномасштабного разведочного бурения более 100 скважин [10]. Важным рычагом освоения ВИЭ в странах Африки является с 2011г. инициатива ООН «Устойчивая энергетика для всех», способствующая расширению частных инвестиций в проекты. Центром проведения в жизнь данной инициативы является Африканский банк развития (AfDB) и Агентство нового партнерства для развития Африки (NEPAD) путем создания фонда «Устойчивая энергия для Африки» (SEFA). По оптимистическим прогнозам, к 2040 г. доля возобновляемой энергии в Африке может составить около 40% [11].

## Состояние использования ВИЭ в Африке

Общая установленная мощность объектов возобновляемой энергетики (с крупными ГЭС) в Африке составила 23,4 ГВт в 2007 г., 27,3 ГВт в 2010 г., 33,0 ГВт в 2014г. и 46,3 ГВт в 2018 г. (из них ГЭС, включая крупные, 35,7 ГВт) [12]. Если рассматривать возобновляемую энергетику без крупных ГЭС, составляющих основу энергетики ряда стран Африки и оказывающих значительное воздействие на окружающую среду, а лишь более экологически чистые ветровые, солнечные, геотермальные и биоэнергетические ЭС, то благодаря международной помощи и экономической политике стран Африки на континенте по данным на 2019г. такие электростанции и энергоустановки установки имели суммарную установленную мощность в 10,6 ГВт МВт, в том числе: ВЭС - 5 464 МВт, СЭС – 6093 МВт, БиоЭС – 1334 МВт, ГеоЭС – 680 МВт [13].

Таблица 2.

Страны Африки, лидирующие в 2018г. по использованию ВИЭ на континенте

Страны	Установленная мощность, МВт			
	СЭС	ВЭС	БиоЭС	ГеоЭС
Алжир	435	10	-	-
Ангола	13	-	51	-
Буркина Фасо	62	-	-	-
Гана	64	0,3	11	-
Египет	770	1 125	67	-
Зимбабве	11	-	100	-
Кабо Верде	8	27	-	-
Камерун	14	-	-	-
Кения	93	336	88	663
Маврикий	30	11	91	-
Мавритания	86	34	-	-
Мадагаскар	33	-	-	-
Мали	20	-	40	-
Марокко	735	1220	2	-
Мозамбик	17	-	14	-
Намибия	79	5	-	-
Нигер	20	-	-	-
Нигерия	19	-	10	-
Реюньон	190	17	46	-
Руанда	30	-	1	-
Сейшелы	3	6	-	-
Сенегал	134	-	25	-
Судан	18	-	190	-
Танзания	25	-	70	-
Тунис	47	245	-	-
Уганда	48	-	90	-
Эсватини	-	-	100	-
Эфиопия	11	324	192	7
ЮАР	2959	2094	265	-

Примечание. Составлено по данным [13].

Суммарная мощность ветроэнергетических станций на континенте составила к 2019г. 5654 МВт, ВЭС, пусть и небольшой мощности (менее 1 МВт) действуют уже в 20 странах. Наиболее развита ветроэнергетика в ЮАР и странах Северной Африки (Египет и Марокко). В большей степени развитие на африканском континенте получила солнечная энергетика. Преимущественно это фотоэлектрические станции и установки. Лидерами также являются ЮАР и страны северной Африки (Египет, Марокко, Алжир). Биоэнергетические установки работают на отходах переработки сельскохозяйственной продукции (когенерация), биогазе, промышленных и муниципальных отходах. БиоЭС 50 МВт по переработка мусора действует в Аддис Абебе – столице Эфиопии с 2016г.

Бесспорным лидером по развитию возобновляемой энергетики в Африке является наиболее экономически развитое государство на континенте - Южно-Африканская Республика (Табл. 2). В 2013г. Банк развития ЮАР (DBSA) одобрил заем средств в размере 9,6 млрд. рандов (682 млн. фунтов стерлингов) для реализации 28 проектов на возобновляемых источниках энергии с суммарной мощностью 896,5 МВт из 3725 МВт, запланированных национальной целевой программой по строительству новых энергообъектов. Благодаря государственной политике поддержки использования ВИЭ, принятой в 2010г., к настоящему моменту ЮАР уже имеет установленные мощности почти в 3 ГВт в солнечной энергетике и более 2 ГВт в ветроэнергетике. Инвестиции в местную инфраструктуру для производства и передачи электроэнергии стимулировали развитие зеленой экономики, которая является ключевым приоритетом в ЮАР и позволит значительно сократить выбросы углекислого газа в атмосферу. Согласно комплексному плану развития к 2040г. 42% вырабатываемой в стране электроэнергии будет обеспечиваться за счет возобновляемых источников.

Международное сообщество обеспечивает инвестиции и трансфер технологий развивающиеся страны для новых проектов на ВИЭ путем предоставления кредитов и грантов. При международной финансовой поддержке, в том числе и углеродных фондов, введены в строй крупные проекты по сооружению ГеоЭС в Кении (суммарная мощность 624 МВт) и ВЭС (Эфиопия – 324 МВт, Кения – 336 МВт), что обеспечивает устойчивое развитие в регионе без наращивания эмиссии парниковых газов. В ряде стран Африки уже начаты и разработки крупных гелиопроектов: Джибути - СЭС 200 МВт, Танзания – СЭС 45 МВт, а также инициатива «Миллион солнечных домов», Нигерия – СЭС 50 МВт, стоимостью 100 млн долл. США, Замбия – две СЭС по 50 МВт, проекты распределенной солнечной энергетике в Бенине, Зимбабве, Танзании и других странах. Создание мощных энергообъектов на ВИЭ в регионе целесообразно при наличии электросетей и крупных потребителей. Для повышения доступности электричества для сельского населения стран Африки особенно большое значение имеет развитие распределенной энергетике на возобновляемых источниках энергии, преимущественно с широким использованием фотоэлектрических панелей. В странах Африки южнее Сахары, имеющих крайне низкий доступ населения к

электричеству широкое развитие уже получили гелиосистемы для освещения (табл.3). Этот процесс обусловлен заметным мировым снижением стоимости PV-элементов.

Доступ к источникам энергии для сельского населения Африки, не подключенного к сетям, требует децентрализованных решений создания объектов малой энергетики на ВИЭ и мини сетей. В странах Африки южнее Сахары, имеющих преимущественно высокий потенциал гелиоресурсов (кроме стран экваториального пояса), проведенные оценки сопоставления стоимости электрификации поселений в сельской местности Африки при отсутствии инфраструктуры сетей ЛЭП и с учетом экологических последствий использования дизель-генераторов и стоимости дизельного топлива, показали зависимость целесообразности использования фотоэлектрических систем от расстояния до ЛЭП и транспортных путей. Наиболее экономически эффективным является создание локальных мини-систем с PV установками в нескольких населенных пунктах или агрообъектах.

Таблица 3.

Объемы продаж автономных солнечных систем в ведущих АЮС в 2015-2017 гг.[13,14].

<i>Страна</i>	<i>2015г.</i>	<i>2016г.</i>	<i>2017г. Реализовано GOGLA</i>
Кения	800 тыс. шт.	1200 тыс. шт.	900 тыс. шт.
Эфиопия	600 тыс. шт.	500 тыс. шт.	400 тыс. шт.
Танзания	600 тыс. шт.	400 тыс. шт.	400 тыс. шт.
Уганда	200 тыс. шт.	400 тыс. шт.	500 тыс. шт.
Демократическая Республика Конго	10 тыс. шт.	100 тыс. шт.	300 тыс. шт.

Программы размещения фотоэлектрических установок проводятся преимущественно в сельской местности при международной финансовой поддержке и техническом оснащении европейскими фирмами. Мощности установок составляют преимущественно 10-50 кВт, для снабжения изолированных потребителей (школы, медпункты, теплицы). В регионе работает Фонд развития торговли углеродными активами в Африке (АКАД) – это государственно-частное партнерство, организованное по инициативе Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде и ее центра «Рисе». АКАД, основанный в 2009г. совместно со «Стэндардбэнк», служит платформой для стимулирования инвестиций, предоставляет начальное финансирование и проводит консультации для «зеленых» предпринимателей по вопросам получения углеродных кредитов и инвестирования средств в низкоуглеродные инициативы [14].

Развивается движение кредитного приобретения PV систем сельскими кооперативами. Особенно большие перспективы для повышения доступа африканского населения к электричеству открываются при создании автономных мини-сетей в одном или нескольких поселках и общинах, что повышает надежность энергоснабжения. Основные мировые финансовые

структуры и структуры, создающие экологические фонды, начали активное движение в сторону рынков развивающихся стран, поскольку компании (особенно производители солнечных панелей) и инвесторы входят на эти рынки за высокой прибылью, даже несмотря на высокие риски. Расширение использования внесетевых установок на ВИЭ требует разработок различных адаптированных моделей финансирования с учетом возможностей конечного пользователя. 2016-2018 гг. отмечены позитивными рыночными трендами и ростом инвестиций в возобновляемую энергетику Африки [15].

Из стран беднейшего Субсахарского региона Африки наибольших успехов по освоению ВИЭ достигла Кения. В стране, где к электроэнергии доступ имеют только 70% нуждающихся, правительство хочет обеспечить всеобщий доступ к 2020 году. В Кении была уже введена в 2008 г. (одной из первых среди африканских стран) государственная поддержка использования возобновляемых энергоисточников FiT (Feed-in-Tariff), обеспечивающая более высокую закупочную стоимость электроэнергии на ВИЭ как для децентрализованного электрообеспечения населенных пунктов и ферм, так и для работы объектов на ВИЭ в сети.

Кения с суммарной мощностью ГеоЭС в 663 МВт является лидером среди африканских стран по использованию геотермальных ресурсов. Строительство ГеоЭС совместно финансировали: правительство Кении, электрогенерирующая компания страны (KenGen), Всемирный банк, Европейский инвестиционный банк, фонды развития Франции, Германии и Японии. Государственная электрогенерирующая компания Кении активно привлекает как международное финансирование в рамках углеродных фондов, так и частные иностранные инвестиции. В результате государственных программ расширения использования геотермальных ресурсов стоимость энергии с 2015 г. для потребителей снизилась более чем на 30% [10]. В 2018 г. в стране введена в строй и ВЭС «Туркана» мощностью 300 МВт. Только ввод одной этой ВЭС позволит стране ежегодно избежать выбросов парниковых газов (в пересчете на CO<sub>2</sub>) в 7,37 млн.т [16]. С момента запуска в Кении национальной политики обеспечения доступа к электроэнергии в сельских районах, небольшие солнечные PV-установки и мини-сети обеспечили электроэнергией более 30% живущих в отдаленных местах. В стране наблюдается бум стартапов и энергетических новаторов, в том числе энергокомпаний, которые специализируются на разработке мини-сетей, а также — других инновационных устройств для подзарядки, приготовления пищи и освещения. Рынок уличного освещения на солнечных панелях вырос на 200% за период 2013-2016 гг. Продажей гелиоустановок занимаются в стране более 1500 малых и средних предприятий. Успех Кении позволил Всемирному банку инициировать аналогичные программы в Гане, Эфиопии, Танзании.

### **Выводы**

Для стран Африки южнее Сахары вопрос обеспечения надежного и экологически чистого доступа населения к электроснабжению стоит крайне остро. Растут потребности в электроэнергии и в промышленности

развивающихся стран в весьма крупных масштабах. Строительство новых крупных угольных ТЭС в требуемых объемах приведет к серьезным экологическим и климатическим последствиям. Использование дизельных генераторов не всегда эффективно, поскольку горение жидкого топлива оказывает негативное воздействие на окружающую среду, установки зависят от надёжности поставок горючего в особенности принимая во внимание такие факторы, как несовершенство транспортной инфраструктуры и риск кражи топлива. Инициатива ООН «Устойчивая энергетика для всех» (SE4ALL) имеет целью привлечь внимание международной общественности к проблеме энергетической обеспеченности для устойчивого развития в мире и в Африке. В настоящее время все более широко признаётся значимость автономных решений, в том числе домашних солнечных электростанций и кооперативных мини-сетей в Африке, работающих от возобновляемых источников энергии, преимущественно на базе фотоэлектрических установок. При международной финансовой поддержке, в том числе и углеродных фондов, разрабатываются крупные проекты по сооружению объектов возобновляемой энергетики в странах Африки, что обеспечивает устойчивое развитие в регионе без наращивания эмиссии парниковых газов.

#### **Список литературы**

1. Africa Sustainable Development Report. Tracking Progress on Agenda 2063 and the Sustainable Development Goals//African Union, UN Economic Commission for Africa; African Development Bank and United Nations Development Programme, Addis Ababa, Ethiopia, 2017, 128 pp.
2. World Energy Outlook 2018. Executive summary//International Energy Agency - IEA, France. Paris, 2018, 11 pp.
3. Grace C. Wu, Ranjit Deshmukh, Kudakwashe Ndhlukula, Tijana Radojicic, Jessica Reilly. (2015) “Renewable Energy Zones for the Africa Clean Energy Corridor,” International Renewable Energy Agency and Lawrence Berkeley National Laboratory, IRENA, October 2015, 96 pp.
4. IRENA (2017). REthinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, .
5. IRENA (2019), Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
6. World Energy Outlook Special Report. A focus on energy prospects in sub-saharan Africa /International Energy Agency - IEA, France. Paris, 2014, 242pp. [Электронный ресурс URL: [www.worldenergyoutlook.org/africa](http://www.worldenergyoutlook.org/africa) (дата обращения: 10.04.2019).
7. Renewables 2016.Global status report// REN21/ UNEP, Paris: REN21 Secretariat, 2016, 272 pp.
8. IRENA (2015), Africa 2030: Roadmap for a Renewable Energy Future. IRENA, Abu Dhabi.
9. SWERA - Solar and Wind Energy Resource Assessment [Электронный ресурс URL:<https://openei.org/doe-opendata/dataset/swera> (дата обращения: 10.04.2019)].
10. Нефедова Л.В. Состояние и перспективы освоения ресурсов возобновляемой энергии в странах Субсахарской Африки/в монографии «Африка: пути модернизации экономики» (отв.ред. Е.В.Морозенская)/, Институт Африки РАН, Москва, 2015 с.241-256.
11. BNEF (2018), Clean Energy Investment Trends, 2017. Abraham Louw /Bloomberg New Energy Finance, 76 pp.
12. IRENA (2019), Renewable capacity statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 60 pp.

13. Renewables 2018.Global status report// REN21/ UNEP, Paris: REN21 Secretariat, 2018, 325 pp.
14. Global Off-Grid Solar Market Report /Global Off-Grid Lighting Association, The Netherlands 2018, 60 pp.
15. Off-grid renewable energy solutions to expand electricity access: An opportunity not to be missed. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2018, 28 pp.
16. DRAFT - NATIONAL ENERGY AND PETROLEUM POLICY/Ministry of Energy and Petroleum/ Republic of Kenya, Nairobi, 2015, 130 pp.



# МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКАМ РИСКОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Л.В. Нефедова, А.А. Соловьев

*nefludmila@mail.ru*

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

***Аннотация.** На основе характеристики современного состояния использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мире и в России рассматриваются проблемы анализа возникающих рисков и методов управления ими. Выделены основные этапы проведения оценок рисков. Выполнен анализ методологических подходов к оценкам возникающих рисков при осуществлении проектов генерации электроэнергии на основе различных видов ВИЭ. Оценена эффективность использования качественных и количественных методов риск-анализа в возобновляемой энергетике.*

***Ключевые слова.** Возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, солнечная энергетика, риск-анализ, реестр рисков, ресурсные риски, инвестиционные риски.*

Развитие возобновляемой энергетики - это важное направление в решении проблем изменения климата и снижения выбросов парниковых газов. В различных странах наращивание темпов освоения возобновляемых источников энергии (ВИЭ), как важного энергоресурса современности и будущего, обусловлено экономическими, социальными и экологическими причинами. Выбросы парниковых газов при использовании ВИЭ с учетом разнообразия типов данных энергоисточников и технологий их использования составляют 3-12% выбросов при работе угольных ТЭС (в CO<sub>2</sub>-эквиваленте). В большинстве стран мира реализуются программы в области альтернативной энергетики. По оптимистическому сценарию, удельный вес ВИЭ в мировом энергетическом балансе достигнет 35%. Ряд стран – лидеров по использованию ВИЭ ставят перспективные планы практически полного отказа от ископаемого углеводородного топлива. Так Германия поставила к 2050 г. цель - 80% энергии получать от ВИЭ, используя энергию солнца и ветра, биомассы. Уже сегодня доля энергии из возобновляемых источников составляет в Германии около 30%. Вопросы перехода на возобновляемые источники энергии обсуждаются на Конференциях Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (Парижское Соглашение 2015 г., последующие заседания COP в Марракеше, Бонне, Катовице). Мировое развитие возобновляемой энергетики происходит весьма быстрыми темпами: если в общемировой установленной мощности электростанций на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) составляли в 2002 г. – 1,7%, то к 2017 г. уже – 7,9%. Увеличение суммарной мощности установок на ВИЭ в период 2000-2018 гг. составляло в среднем 15-20% в год, что значительно выше темпов роста топливной энергетики. Возобновляемая энергетика становится все более инвестиционно-привлекательной отраслью в мировой

экономике. Общий объем мировых инвестиций в проекты возобновляемой энергетики составил 361,7 млрд долл. США в 2017г., в то время как в 2005 г. инвестировано в такие проекты было лишь 72 млрд долл. США. Согласно данным аналитиков Bloomberg, суммарные инвестиции в возобновляемую снизились к 2018 г. до \$332,1 млрд. Снижение инвестиционных объемов произошло из-за падения капитальных затрат благодаря резкому снижению цен на PV модули, а также вследствие решений, принятых Китаем в середине 2018 г. об ограничении льготных тарифов в солнечной энергетике [1]. Это свидетельствует о высоком влиянии снижения государственных мер поддержки ВИЭ на риски в этой области и объемы инвестирования. Тем не менее возобновляемая энергетика занимает прочные позиции на мировых энергетических рынках. На современном этапе использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) стимулируется в развитых странах стремлением экологически направленного развития энергетики и необходимостью обеспечения энергетической безопасности государств. В мире ежегодно вводится больше мощностей возобновляемой энергетики, чем всех новых мощностей на ископаемых видах топлива. К 2017 г. суммарная мощность электростанций на ВИЭ в мире составила 921 ГВт (ветроэнергетика – 487 ГВт, гелиоэнергетика – 308 ГВт). Ветроэлектростанции (ВЭС) работали более чем в 90 странах, в 24 странах выработка ветроэнергетики обеспечивала до 5% суммарного энергопотребления, а в 13 странах – более 10%. Уже 17 стран имели к 2017 г. мощность установок на солнечной энергии к достаточную для удовлетворения более 2% спроса на электроэнергию, а для ряда стран характерны значительно более высокие показатели [2]. Общая мощность установок на возобновляемых источниках энергии (без крупных ГЭС) к 2017 г. по всему миру составила 921 ГВт, 487 ГВт из которых принадлежит ветроэнергетическим установкам, а 308 ГВт – солнечным. По меньшей мере 17 стран имели к 2017 г. мощность установок на солнечной энергии к достаточную для удовлетворения более 2% спроса на электроэнергию. В странах ЕС уже два года ввод новых мощностей в энергетике проводится только на основе использования ВИЭ, в США – в 2015 г. на ВИЭ базировалось 70% мощности вновь сооруженных электростанций. К 2017г. в отрасли возобновляемой энергетики (без крупных ГЭС) было занято в целом по миру 9,8 млн рабочих мест [3].

В России последние 5 лет также идет активизация процесса освоения ВИЭ благодаря принятым Правительством мерам по поддержке сетевых объектов возобновляемой энергетики (проведение ежегодных конкурсов на сооружение объектов на ВИЭ в период до 2024г., гособязательства по возврату инвестиций в 15 летний период, заключение договоров на поставку мощности и др). Создано отечественное производство высокоэффективных солнечных панелей, начато производство частей ВЭУ, сооружен ряд фотоэлектрических станций суммарной мощностью более 100 МВт, введены в строй две СЭС в Ульяновской области (80 МВт). Расширение использования ВИЭ требует внимательного подхода и изучения факторов риска, возникающих при создании и эксплуатации энергообъектов, а также выделение основных

методологических подходов и этапов при оценках видов и уровней риска. Оценка рисков является необходимым элементом развития любого проекта или перспективного плана в области возобновляемой энергетики в регионе. Для использования ВИЭ в регионах России крайне важна инвестиционная привлекательность проектов, поскольку, как показывает мировой опыт, инвестиционная привлекательность проектов в энергетике, определяется степенью риска данного проекта. В развитии возобновляемой энергетики в мире снижению рисков способствовали меры государственной поддержки отрасли.

Разработка методологии анализа и управления рисками включает в первую очередь необходимость предварительной оценки возможных рисков на всех стадиях развития проекта сооружения на ВИЭ: при подготовке технико-экономического обоснования, при проектировании, при организации инвестирования и проведении тендеров, непосредственно при строительстве, а также на этапе эксплуатации [4].

В настоящее время различают качественную и количественную оценку рисков. *Качественный анализ* предполагает выявление:

- источников риска;
- этапов и работ, при выполнении которых возникает риск (установление потенциальных зон риска, изменение риска в динамике, выявление всех положительных и отрицательных моментов, связанных с реализацией решения, содержащего риск).

*Количественная оценка* позволяет:

- выявить математическую вероятность возникновения выявленных рисков;
- определить значения потерь (или прибыли) от действий в рискованной ситуации, которые будут являться объектом дальнейшего анализа для принятия решения об управлении данными рисками;
- определить степень влияния различных факторов на рискованную ситуацию;
- подготовить оптимальный план управления проектом на ВИЭ в рискованной ситуации;

Предварительная оценка возможных рисков на всех стадиях развития проекта сооружения на ВИЭ необходима для разработки мер управления рисками. При постановке задачи оценки управления рисками важно определить для каких целей проводится оценка. Целью может быть минимизация рисков, оптимизация рискованной ситуации, полное исключение риска и др. Риски объектов на ВИЭ, как и других энергообъектах, можно разделить на внешние риски (не зависящие от девелопера проекта) и внутренние (связанные с деятельностью девелопера по проекту) [5, 6]. Авторы предлагают следующий реестр основных рисков:

- *внешние риски*: политические, регулировочные, рыночные, валютные, ресурсные, природные и экологические риски;

- *внутренние риски*: стратегические (управленческие), операционные, технологические и технические риски.

Необходимо отметить, что ресурсные и экологические риски имеют как внутреннюю, так и внешнюю составляющие. Риск дефицита необходимых ресурсов для обеспечения рентабельности проекта – обусловлен неравномерностью энергопотенциала ВИЭ во времени и пространстве. Однако, проведение дополнительных измерений, точный подбор параметров энергоустановок, позволяющих получить наиболее высокий коэффициент использования мощности ( $K_{\text{иум}}$ ) – значительно снижают данный вид рисков. Природные и экологические риски связаны с возможностью катастрофических явлений (ураганов, ливней, снегопадов, смерчей, землетрясений). К данному виду рисков относятся и возможные последствия для окружающей среды вследствие штатной работы или аварийных ситуаций на энергообъектах ВИЭ.

Методологически процесс риск-анализа в возобновляемой энергетике следует, по нашему мнению, разделить на следующие три этапа:

1. Определение положительных и отрицательных факторов использования того или иного вида или комплекса ВИЭ на данной территории.

2. Далее на втором этапе риск-анализа может быть проведен предварительный качественный анализ

3. О более подробном количественном анализе проектов на ВИЭ следует говорить при решении задач финансовых или страховых организаций с целями определения эффективности возможных инвестиций и расчетов ставок кредитования и страхования.

На первом этапе проведения риск-анализа может быть рекомендовано проведение SWOT для определения внешних (независящих от предпринимателя) и внутренних (определяемых самими исполнителями проектов по ВИЭ) положительных и негативных факторов использования оцениваемого энергоисточника на территории региона. Так, например, нами был проведен анализ рисков использования ВИЭ для территории Республики Крым (табл.1).

Несмотря на значимый ряд положительных факторов, и в первую очередь таких как доказано высокий потенциал ресурсов ВИЭ (гелиоэнергия, ветроэнергия, энергия биомассы), значительный опыт в регионе по освоению ВИЭ, отрицательные факторы - отсутствие внутривнутриреспубликанских эффективных механизмов стимулирования использования ВИЭ и продвижение по ФЦП сооружения парогазовых ЭС в регионе - на нынешний момент тормозят дальнейшее использования ВИЭ в Республике Крым для создания сетевых объектов [7,8].

*Качественный анализ рисков.* Вторым этапом анализа рисков использования ВИЭ целесообразно проводить выявление видов рисков, которые могут возникнуть на той или иной стадии осуществления проекта и их качественной оценке. Одним из подходов к качественным оценкам рисков является экспертно-оценочный подход. Данный подход широко применяется в зарубежной практике, где накоплен уже значительный опыт использования ВИЭ. Основные тенденции в формировании рисков и управлении ими были выявлены в исследовании, проведенном на основании принципа восходящего

анализа экспертных оценок ряда ведущих специалистов по возобновляемой энергетике [9].

Таблица 1.

Результаты SWOT - анализа перспектив использования ВИЭ в Республике Крым

	Положительные	Отрицательные
Внутренние факторы	<p><u>Сильные стороны:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Высокий потенциал ресурсов ВИЭ: гелиоэнергия, ветроэнергия, энергия биомассы</li> <li>- Возможность создания установок на ВИЭ для производства электроэнергии разной мощности - как в промышленных масштабах, так и для внутреннего (локального) пользования</li> <li>- Значительный опыт в регионе по освоению ВИЭ</li> <li>- Широкие перспективы использования гелиоресурсов для горячего водоснабжения путем установки гелиоколлекторов</li> </ul>	<p><u>Слабые стороны</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Непостоянство получения энергии от гелио- и ветроресурсов (неравномерность энергopotенциала во времени)</li> <li>- Слабое развитие отечественных технологий на промышленном уровне</li> <li>- Отсутствие систем регулирования Smart Grids для эффективного электроснабжения от объектов ВИЭ в республиканскую энергосистему</li> <li>- Межведомственные проблемы по владению и управлению объектами на ВИЭ</li> <li>- Отсутствие внутриреспубликанских эффективных механизмов стимулирования использования ВИЭ</li> </ul>
Внешние факторы	<p><u>Возможности</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Снижение потерь в сетях путем приближения ЭС на ВИЭ к потребителям.</li> <li>- Значительное снижение загрязнения окружающей среды в рекреационном регионе.</li> <li>- Широкие возможности для иностранных инвестиций</li> <li>- Стремительное развитие технологий и снижение стоимости фотоэлектрических элементов</li> <li>- Наличие свободных площадей в районах степного Крыма</li> <li>- Возможности использования для размещения установок - строительных поверхностей архитектурных сооружений</li> </ul>	<p><u>Угрозы</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Технические препятствия: подключение и высоковольтные ЛЭП, высокий уровень изношенности существующих ЛЭП, подъездные пути</li> <li>- Отсутствие льготного тарифа на электроэнергию от ВИЭ на федеральном уровне</li> <li>- Сложный механизм стимулирования ВИЭ</li> <li>- Неблагоприятные условия финансирования</li> <li>- Продвижение по ФЦП сооружения парогазовых ЭС в регионе</li> <li>- Бюрократические препятствия</li> <li>- Несовершенство законодательной базы</li> </ul>

Проведенное исследование показало, что, придавая большое значение финансовым, политическим и регуляционным рискам, 62% респондентов считают для зарубежных проектов наиболее значимыми ресурсные риски, связанные с колебаниями объема выработки энергоустановок на ВИЭ. В возобновляемой энергетике, особенно для территории России, где опыт использования ВИЭ для энергообеспечения еще невелик данный подход может быть весьма важным. Количественно-качественным подходом можно назвать методiku, применяемую в риск-анализе, при которой для определенных градаций степени риска (минимальный, высокий, средний,

низкий, максимальный) оценивается вероятность наступления события. При этом уровень риска определяется произведением степени воздействия риска на вероятность его наступления и может быть представлен как в баллах, так и в долях единицы [10]. Перспективным способом изучения рисков в возобновляемой энергетике является метод анализа сетей, разработанным Т. Саати. Метод используется для оценки ключевых факторов риска и анализа последствий выбранных альтернативных решений. Также он позволяет внедрять различные факторы и критерии – материальные и нематериальные – которые характеризуют оценку рисков. Данный метод позволяет определить, какая из стратегий является приоритетной в общем процессе оценки рисков, а также, какая стратегия наиболее приемлема для группы и отдельных рисков. В статье [11] с использованием метода анализа сетей проведен анализ рисков для объектов возобновляемой энергетике по трем стратегиям: принятие, перенос и уменьшение риска.

Методологически неверно говорить об уровне перспективности и степени риска использования ВИЭ в регионе в обобщенном виде. Каждый регион характеризуется различным набором видов возобновляемых источников энергии, которые могут быть охарактеризованы не только абсолютными величинами потенциала энергоресурсов (валовой, технический, экономический), но степенью риска использования данного потенциала.

Авторами был проведен анализ зарубежных исследований возможных типов рисков по видам возобновляемых источников энергии. Выделены типы рисков и возможные способы управления ими. Если обратиться к конкретизации различных видов возобновляемых источников энергии, то следует отметить, что, каждый вид генерации, использующей данный энергоресурс, подвержен рискам, специфического типа, являющимися преимущественно ресурсными и операционными. Перечень данных рисков и способов управления ими по видам ВИЭ представлен в табл.2.

*Для количественных оценок рисков проектов возобновляемой энергетике могут быть привлечены различные методы теории вероятности, статистики и математического моделирования. Например, в работе [14] комбинация методов экономико-математического моделирования, анализа риска инвестиционных проектов и сценарных модельных экспериментов с применением метода «Монте-Карло» нашла применение для оценки рисков по внедрению биогазовой технологии, проводимой на базе экономической оценки инвестиционных проектов строительства биогазовых установок в сельскохозяйственных организациях. Такая методика оценки рисков проекта в разрезе сценариев использована для того, чтобы выбрать наиболее рациональную специализацию объекта размещения биогазового производства, обеспечивающую его устойчивое функционирование при минимальных рисках. Метод «Монте-Карло» применяется и для экономического анализа рисков децентрализованного электроснабжения на основе ВИЭ [15].*

Таблица 2.

## Основные типы рисков и способы управления ими в возобновляемой энергетике

Вид ВЭ	Основные типы рисков	Возможности управления рисками
Ветроэнергетика	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Длительные сроки окупаемости и высокие первоначальные затраты (например, разрешение на строительство и затраты на строительство).</li> <li>• Критические сбои компонентов (например, шестерни, подшипники, лопасти и т. д.).</li> <li>• Изменчивость ветроресурсов</li> <li>• Необходимость морской прокладки кабеля (для шельфовых ВЭС).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Обоснование марки и модели турбины.</li> <li>- Получение гарантий от поставщиков компонентов</li> <li>- Достоверные данные о ветровых ресурсах.</li> <li>- Контроль потерь передачи энергии (надежность и доступность ЛЭП)</li> <li>- Получение долгосрочных контрактов</li> </ul>
Фотоэлектрическая энергетика	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Выход из строя компонентов системы (короткое замыкание и др.).</li> <li>• Временные изменения прихода солнечной радиации.</li> <li>• Технологические риски по мере увеличения мощности проекта и сочетания с другими технологиями.</li> <li>• Кража/вандализм.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Гарантия надежности (например, до 25 лет).</li> <li>- Использование стандартных компонентов, с возможностью замещения и замены.</li> <li>- Снижение затрат на техническое обслуживание</li> </ul>
Геотермальная энергетика	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Расходы на бурение и связанный с этим риск (например, выклинивание термального пласта)</li> <li>• Риски разведки бурения (например, неожиданная температура и скорость потока).</li> <li>• Критические сбои в работе компонентов, такие как выход из строя насоса.</li> <li>• Длительные сроки ввода (например, разрешение на строительство).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Использование пока ограниченного опыта бурения в сходных условиях</li> <li>- Привлечение максимального объема данных о ресурсах</li> <li>- Развитие стимулирующих технологий (химические и взрывчатые вещества) для повышения продуктивности скважин</li> <li>- Планирование и организация согласований на разрешение проекта</li> </ul>
Малая гидроэнергетика	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Наводнения</li> <li>• Сезонная/годовая изменчивость стока</li> <li>• Отсутствие длительных рядов данных наблюдений за стоком</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Использование долгосрочно проверенных технологий с низкими операционными рисками и эксплуатационными затратами</li> </ul>
Биоэнергетика	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Поставки биомассы и вариабельность поставок</li> <li>• Вариабельность цен на биомассу</li> <li>• Экологические платежи, связанные с обработкой и хранением биотоплива</li> <li>• Действия оппозиции, связанные с проблемой запаха</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Долгосрочные контракты на поставку сырья</li> <li>- Снижение стоимости обработки биотоплива</li> <li>- Контроль за утечками биотоплива</li> <li>- Строгое обеспечения безопасности для предотвращения потерь</li> </ul>

Примечание. Составлено авторами по материалам [12-13].

Особенно велики в возобновляемой энергетике ресурсные риски, поскольку используемые гелио-, ветро-, гидроэнергетические ресурсы подвержены климатической изменчивости и значительным колебаниям во времени. Для получения точных прогнозов доходности и планирования доходов с учетом рисков, владельцы ВЭС должны сочетать в своем портфеле оценки выработки для ветряных электростанций с прогнозами цен на электроэнергию на рынке фьючерсов. С помощью программных продуктов MATLAB® аналитики HorizonWindEnergy (ныне EDP Renewables), компании владеющей 18 ВЭС в разных районах США, в 2015 г. разработали автоматизированную систему по прогнозированию рисков, которая учитывает в своей работе многолетние данные, текущие цены и оценочные прогнозы экспертов [16]. Климатическая изменчивость частично предсказуема и является фундаментальным фактором в объяснении финансового риска в проектах в области возобновляемых источников энергии. Последние годы разрабатывается методология оценки риска, учитывающая прогнозируемость климата. В работе [17] описана методика по снижению риска на проектах фотоэлектрических установок путем моделирования предсказуемых компонентов солнечной радиации и атмосферных колебаний. Была разработана новая модель прибыли для PV-установок, учитывающая эту предсказуемую климатическую информацию.

### **Заключение**

Активизация процесса освоения ВИЭ в России требует внимательного подхода и изучения факторов риска, возникающих при создании и эксплуатации энергообъектов, а также анализа основных методов управления рисками, применимыми в возобновляемой энергетике. Хотя сооружение энергообъектов на ВИЭ получает в настоящее время большую государственную поддержку, снижающую риски в работе ЭС, однако программа поддержки составлена до 2024г. В дальнейшем возобновляемая энергетика может стать полноправным участником рынка. Высокий уровень риска проектов возобновляемой энергетике снижает их кредитоспособность и, следовательно, затрудняет получение заемного капитала. Поэтому фундаментальным требованием для привлечения финансирования является снижение рисков, которые имеют большую вероятность негативного воздействия на проект. Особенно важна уже на современном этапе разработка и адаптация в российских реалиях уже существующей в зарубежной практике методологии оценок и управления рисками использования всех видов возобновляемых источников энергии как для сетевого, так и для автономного энергоснабжения. Поскольку возобновляемая энергетика является достаточно молодым сектором, многие отраслевые данные еще не получили широкого распространения среди специалистов других областей, и именно специалисты возобновляемой энергетике совместно с разработчиками проектов и финансовыми структурами могут обеспечить научный подход к современному риск менеджменту в этой области.



## Список литературы

1. Global clean energy investment, 2018/ Bloomberg New Energy Finance, 2018, 54 p.
2. Clean Energy Investment Trends, 2017 /Bloomberg New Energy Finance, 2018, 76 p.
3. Renewables 2017 Global Status Report //(Paris: REN21 Secretariat), 2017, 302pp.
4. Нефедова Л.В, Соловьев А.А, Шилова Л.А., Соловьев Д.А. Факторы риска при сооружении энергообъектов на возобновляемых источниках энергии в России // Вестник МГСУ. — 2016. — № 12. — С. 79–90.
5. 'Unlocking Renewable Energy Investment: The Role of Risk Mitigation and Structured Finance,' IRENA, 2016, Abu Dhabi, 148 pp.
6. Павлова О.С. Риск-менеджмент на российских энергетических предприятиях// Вестник научно-технического развития.-2011.- № 6 (46).- С. 34-43
7. Нефедова Л. В. Ресурсы, состояние и проблемы использования возобновляемых источников энергии Республики Крым // Малая энергетика. — 2014. — № 1-2. — С. 92–97.
8. Берёзкин М. Ю., Синюгин О. А. К вопросу об использовании возобновляемых ресурсов в энергосистеме Крыма // Инновации в сельском хозяйстве. — 2018. — № 3 (28). — С. 178–182.
9. Managing the risk in renewable energy/ The Economist Intelligence Unit Ltd/ Geneva, Swiss RE, 2011, 40pp.
10. Кондраков О. В. Теоретико-методологические основы оценки риска в топливно-энергетическом комплексе // Социально-экономические явления и процессы. 2015, т.10, № 8. С. 36-42.
11. Калинчик В.П., Кокорина М.Т. Оценка рисков генерации энергии из возобновляемых источников // Техніка в сільсько господарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, вип. 26, 2013р., с 225-230.
12. Risk Qualification and Risk management in renewable Energy Projects /IEA RETD-ALTRAN/Arthur D. Little, Geneva, 2011, 150 pp.
13. Profiling the risks in solar and wind. A case for new risk management approaches in the renewable energy sector/ Swiss Re Co Ltd/BNEF, Zurich, Switzerland, 2013, 18 pp.
14. Кошелев В.М., Нургалиев Т.И. Оценка рисков проектов по производству биогаза в России // Известия ТСХА. Вып. 5. 2016. С.108-118.
15. Arnold U., Yildiz Ö. Economic risk analysis of decentralized renewable energy infrastructures—A Monte Carlo Simulation approach // Renew. Energy. 2015. Vol. 77. P. 227-239.
16. Horizon Wind Energy разработал инструмент по прогнозированию доходов и анализу рисков для ветряных электростанций // Электронный ресурс [https://matlab.ru/articles/Horizon\\_user\\_story\\_rus.pdf](https://matlab.ru/articles/Horizon_user_story_rus.pdf)
17. Cristian Bustos, David Watts, Marysol Ayala. Financial risk reduction in photovoltaic projects through ocean-atmospheric oscillations modeling // Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 74, Pages 548-568, 2017.

# О ЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

Л.Ж. Паланджянц

*levonmgtu@rambler.ru*

*Майкопский государственный технологический университет,*

*Россия, г. Майкоп*

**Аннотация.** *Рассматривается понятие взаимоотношения, основанного на отношении отличия. Предъявлена логическая форма элементарного неничто (фундаментальной частицы).*

**Ключевые слова.** *Логическая модель, взаимоотношение, элементарное неничто.*

Основы данной статьи составляет логическая модель фундаментальных частиц, изложенная в тексте К.Н. Тынянского «Концептуальная физика» [1].

Переход от математической модели к логической является шагом назад и в то же время это два шага вперед, поскольку позволяет избавиться от бесконечности, присущей математическим моделям. Если при этом осуществить переход к формальной логике, то, несомненно, бесконечность переходит в парадокс лжеца, однако переход к логическому кругу позволяет этого избежать. Похожая ситуация возникает в случае решения задач в действительной области, когда осуществляется переход в комплексную область, где задача решается значительно легче, с последующим возвращением в действительную область.

Прежде чем говорить о фундаментальных частицах, остановимся на логике наших рассуждений. Можно настолько привыкнуть к формальному способу рассуждений, который имеется, что невозможно представить себе, что есть и другой способ рассуждений. Невозможность как раз и означает, что математики не признают никакой другой логики, кроме математической (формальной).

Однако существует и дополнительная логика (ко-логика), а, следовательно, и соответствующая логическая модель фундаментальных частиц, основанная на дополнительной логике.

Смысл дополнительной логики заключается в следующем. При формальной логике, давая определение понятиям, приходится вводить неопределяемые понятия, что наглядно проявляется в аксиоматике, например, в аксиомах геометрии. В дополнительной логике, избегая неопределяемых понятий, вводится взаимоотношение, основанное на отношении отличия. Так определяется логический круг.

Сразу оговоримся, что логический круг, который рассматривается в Концептуальной физике, отличается от математического порочного круга.

Математический порочный круг предполагает определение одного понятия через другого и другого – через первое с помощью отношения эквивалентности: понятие  $A$  есть понятие  $B$  и понятие  $B$  есть понятие  $A$ . В этом случае при переходе от формальных рассуждений к логическому кругу математики сохраняют отношение эквивалентности, на котором построены

определения понятий в формальной логике. Но для логического круга следует заменить отношение эквивалентности отношением отличия. И это математиками игнорируется и потому полученный ими логический круг становится порочным. Однако достаточно заменить отношение эквивалентности отношением отличия и вместо определения говорить о взаимоотноопределении, как порочность логического круга пропадает.

И тогда логический круг порождает взаимоотноопределение: понятие  $A$  отлично от понятия  $B$  и понятие  $B$  отлично от понятия  $A$ . И такое высказывание уже не является бессмысленным.

И еще, формальная логика противоречива в виду наличия в ней парадокса лжеца. При переходе от формальной логики к математике парадокс лжеца превращается в математическую бесконечность. Так что бесконечность является разновидностью парадокса лжеца и математика не в силах избавиться от бесконечности, так же как и формальная логика от парадокса лжеца.

Но если перейти от формальной логики (математики) к неформальной (ко-логике), то бесконечное перейдет в конечное, поскольку бесконечное и конечное являются ко-объектами и они взаимоотноопределяемые понятия. Напомним, что бесконечное определяется через конечное (аксиома Архимеда), а конечное (действительное число) – через бесконечную последовательность дедекиндовых сечений. Математикам с большим трудом удается преодолеть логическую парадоксальность понятий конечности и бесконечности. В частности, в определении конечного бесконечный процесс приближения к действительному числу заменяется отношением порядка.

Таким образом, математическая индукция переходит в некую «короткую» индукцию, которую К.Н. Тынянский назвал формализмом триединства [2].

Концептуальная физика строится на неформальной логике. Вместо определений предлагается использовать «взаимоопределение». Естественно, потребуется подробное объяснение этого термина.

Поскольку рассуждения будут иметь дело с универсальностью, хорошо бы для начала поискать подсказку в других науках. Что же в этих науках такое есть, что можно будет взять в качестве исходного рассуждения для физики? С чего начинается физика? Есть ли хоть какая-то подсказка в этих науках?

Оказывается, что такая подсказка есть. А именно, во всех науках (химия, биология, социология, математика) имеется некий основополагающий элемент (атом, клетка, человек, единица), с помощью которого можно рассматривать некоторую часть всего.

В физике тоже пытаются найти некое универсальное математическое выражение, которое смогло бы, как и в случае в других науках, объяснить всю природу. Однако такое выражение до сих пор не найдено, хотя передний край физики нацелен именно на это.

Очевидно, что речь идет об универсальном в фундаментальной физике. Поскольку и клетка, и атом могут быть введены как понятия и обнаружены, то есть надежда, что появление универсального в физике вполне ожидаемо.

Про «всё» не говорилось? Поэтому следует начать с главного вопроса:

*что такое всё?*

Формальное определение понятия «всё» отсутствует. Поэтому ничего не остается, как начать рассуждения сразу с понятия «всё», а не идти к понятию «всё» мелкими логическими шагами. То есть начать с «актуального» понятия всё, но не «потенциального», как сказали бы математики о своей бесконечности. Для ответа на главный вопрос обратимся к понятию отличия. Это своего рода бросающаяся в глаза логическая находка для дальнейших рассуждений. Ведь даже когда рассматриваемое понятие не определено, можно утверждать, что оно как-то отличается от другого понятия. Можно сказать, что кое-что отличается от другого, то есть имеется другое, как отличное от рассматриваемого. Поэтому пока имеется другое, то рассматриваемое это не всё – не всё. Следовательно, понятие «всё» вводится как отличие от не всё. Но это не есть определение, так как в свою очередь не всё имеет отличие от всё. Эти высказывания можно записать следующим образом:

*все это то, что отличается от не все  
не все это то, что отличается от все*

Более наглядна «круговая» запись этих высказываний, что создает наглядное изображение некоторого логического круга.



Такая «круговая» логическая конструкция именуется *взаимоопределением*. С формальной точки зрения такая конструкция означает, что отношение эквивалентности, которое фигурирует в определениях, во взаимопределении заменяется отношением отличия.

Возникает вопрос, как же работать с логическим кругом? Как выбраться из порочного круга рассуждений? Ясно, что следует отказаться от математической логики, и воспользоваться дополнительной логикой. Для этого следует расширять логический круг с помощью новых понятий, и получать новые отличия.

Теперь рассмотрим то, к чему приводит отказ от взаимопределения – его нарушения – устранение отличий.

Очевидно, что это нужно сделать с помощью некоторого нового понятия, поскольку из взаимопределения невозможно понять, что такое *всё* и что такое *не всё*. Но уже понятно, что есть отличие, порождающее разнообразие. В противном случае, когда нет отличий, есть однообразие – нет ничего, есть только *ничто*, то всё есть ничто и не всё есть ничто, а это явно не удовлетворяет взаимопределению, требующего отличия.

Вот поэтому вводится понятие ничто, как отсутствие чего бы то ни было – только ничто. Тем самым только ничто – это устранение отличий и того, что

отличается – нарушение взаимоопределения. Понятно, что кроме ничто можно и нужно взять и то, что отличается от ничто, а именно присутствие только чего-то, что есть неничто. Тогда взаимоопределение запишется так:

*ничто это то, что отличается от неничто  
неничто это то, что отличается от ничто*

Очевидно, что начальный «порочный круг» «расширился» – и становится понятней, что представляют собой всё и невсё. Это обстоятельство можно записать следующим образом:

*все это то, что отличается от ничто  
ничто это то, что отличается от неничто  
неничто это то, что отличается от все  
все это то, что отличается от неничто  
неничто это то, что отличается от ничто  
ничто это то, что отличается от все*

Представляется удобной традиционная прямолинейная форма записи взаимоопределения в виде компонентов, именуемые *взаимоопределяемые*:

*(рассматриваемое, рассматриваемое-другое, другое),*

где операция чёрточка «-» потребует дальнейшего пояснения.

Следовательно, рассмотренное выше взаимоопределение в этих обозначениях запишется так:

*(ничто, ничто-неничто, неничто) или  
(некоторое невсё, всё, другое невсё).*

При такой записи взаимоопределения становится понятнее, что собой представляют отличия невсё и всё.

Итак, повторим вопрос, как работать с порочным кругом?

Очевидно, что придется действовать по неформальной логике. Для этой цели, отдавая дань математическому мышлению, подберем действия над логическим кругом как *группу преобразований логического круга*. Отметим, что в Стандартной модели группы преобразований тоже подбираются.

Проанализируем возможные действия над порочным кругом. Как только будет определено некое прямое действие, то тут же необходимо определить обратное, которое точнее назвать копрямым действием, поскольку обратное действие – это математический термин, а логический круг требует избегать математики. После того как определены прямое и копрямое действия, настает время для определения прямого-копрямого действия. На самом деле, речь здесь идет не о трех определениях, как это может показаться любителям математической логики, речь идет об определении, коопределении и копределении-определении.

Таким образом, будем иметь набор из следующих действий: (прямое, прямое-копрямое, копрямое) и (определение, определение-коопределение, коопределение).

Можно обратить внимание на то, что действия над логическим кругом, и в самом деле напоминает группу. В качестве нуля можно взять «прямое-копрямое» действие, вместо прямого действия – плюс единицу и вместо

копрямого действия – минус единицу, и группа  $Z_2$  налицо. Напомним, что  $Z_2$  – группа вычетов по модулю два.

Отсюда, в частности, следует утверждение о том, что в математических задачах, связанных с целыми числами, наряду с математической индукцией следует рассматривать «короткую» индукцию, порожденную группой  $Z_2$ . Можно привести достаточно большое количество задач, где случай  $n = 2$  исключается из общего случая и рассматривается как особый случай. Например, число два – единственное четное простое число.

Теперь становится понятным, как работать с логическим кругом: «расчленять» и «сочленять» логический круг. Иными словами, «расчленять» – это значит превращать логический круг в прямолинейную запись в виде компонентов, «сочленять» – это значит сворачивать прямолинейную запись в круговую. Делать это нужно с помощью введения новых понятий до тех пор, пока не будет получена вся иерархия свойств фундаментальной частицы.

Приведем основополагающий пример взаимоопределения, из которого в дальнейшем будет получено определение элементарного неничто (фундаментальной частицы). Итак, рассмотрим определение:

*чудо это превращение ничто в нечто.*

Возникает вопрос, а что такое нечто? Пока можно сказать, что это некое *неничто*. Такое определение неничто как раз будет соответствовать логическому кругу:

*нечто это то, что отличается от неничто,*

*неничто это то, что отличается от нечто.*

Теперь, увеличив разнообразие, можно дать следующее коопределение:

*кочудо это копревращение конечто в ничто.*

Следующий логический шаг определение-коопределение:

*кочудо-чудо это копревращение-превращение конечто-нечто.*

Таким образом, получаем взаимоопределение: (*кочудо, кочудо-чудо, чудо*).

Отметим важное следствие из этих логических шагов: в определениях чудо и кочудо присутствует ничто, но отсутствует кочудо-чудо, а в определении кочудо-чудо нет ничто. Это обстоятельство позволяет в дальнейшем использовать кочудо-чудо в качестве основного взаимоопределяющего элемента для раскрытия понятия неничто, а, следовательно, привести к Классификации элементарных неничто с помощью формализма триединства.

Таким образом, опираясь на кочудо-чудо, можно конструировать новые взаимоопределения, которые, в конечном счете, приведут к Классификации фундаментальных частиц. Интуитивно понятно, что частицы – это некоторые структуры, связанные с нечто, причем, свойства и структуры фундаментальной частицы неотделимо связаны между собой. Логический круг гарантирует такую неотделимость.

В работе К.Н. Тынянского [1] приводится Классификация элементарных неничто (фундаментальных частиц) на основе логической формы

элементарного неничто. При этом во избежание нагромождений строк и столбцов всей логической формы из иерархии свойств: спин, заряд, цвет, поколение, масса – выбрано взаимопределение: (заряд, заряд-спин, спин). Отметим, что заряд-спин в Реализации соответствует магнитному моменту частицы.

Теперь сформулируем получение логической формы элементарного неничто в виде логического утверждения:

*Логическая форма элементарного неничто представляет собой таблицу:*

копревращение	копревращение	копревращение
копревращение		
превращение		

Доказательство утверждения имеется в текстах [1, 3].

В реализации вертикальные «копревращения» будут соответствовать заряду, горизонтальное «превращение» – спину, а горизонтальное «копревращение» совместно с вертикальными «копревращениями» – магнитному моменту частицы.

#### **Список литературы**

1. Тынянский К.Н. Концептуальная физика // Труды ФОРА, 2015, № 20, с. 1- 41.
2. К.Н. Формализм триединства // Труды ФОРА, 2016, № 21, с. 1- 6.
3. Паланджянц Л.Ж. Классификация фундаментальных частиц по К.Н. Тынянскому // Труды ФОРА, 2018, № 23, с. 1 - 41.

# ТУРИСТИЧЕСКАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВИДОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА

Е.А. Панина

len\_le@mail.ru

*Майкопский государственный технологический университет*

*Россия, г. Майкоп*

**Аннотация.** В статье изучаются вопросы развития экологического туризма в Республике Адыгея. Рассматривается природный потенциал и рекреационные возможности развития экологических видов туризма как приоритетных направлений в рамках реализации концепции устойчивого развития в Республике Адыгея. Проводится анализ количества посетивших Адыгею туристов за последние три года.

**Ключевые слова.** Экологический туризм, туристский потенциал, турпоток, туристский объект.

Республика Адыгея обладает высоким туристско-рекреационным потенциалом, на ее территории сосредоточены уникальные природные и рекреационные ресурсы, объекты национального и мирового культурного и исторического наследия, проходят важные туристские, спортивные и культурные события. В республике представлен широкий спектр потенциально привлекательных туристских объектов. Большое количество и разнообразие туристско-рекреационных ресурсов на сравнительно небольшой территории в совокупности с благоприятным климатом, удобным географическим положением и стабильной общественно-политической обстановкой создают существенные предпосылки для развития отрасли. Адыгея занимает лидирующее положение среди субъектов Российской Федерации по относительной площади особо охраняемых природных территорий, они занимают около 30% территории региона. Наряду с гейзерами Камчатки, озером Байкал, горами Алтая, рядом других территорий, Адыгея входит в список Всемирного наследия Юнеско.

Ежегодно регион попадает в число лидеров в различных рейтингах по экологическому благополучию и безопасности. С точки зрения рекреационного районирования Республика Адыгея может быть условно разделена на два района – степной и горный, специализирующиеся на разных видах туризма. В настоящее время активно развивается горный рекреационный район в административных границах муниципального образования «Майкопский район». На основании утвержденной «Стратегии социально-экономического развития Республики Адыгея до 2025 года» – туризм является одним из основных приоритетов развития региона. Туризм оказывает стимулирующее воздействие на развитие таких сфер экономической деятельности, как сельское хозяйство, транспорт, связь, торговля, производство сувенирной продукции и товаров народного промысла, система общественного питания, строительство [1].



Уникальные природно-рекреационные ресурсы Республики Адыгея, благоприятные климатические и экологические условия, наличие исторических и культурных памятников создают возможности для динамичного развития экологического и других видов туризма. В настоящее время экотуризм является одним из наиболее динамично развивающихся сегментов туристского бизнеса, способствующего не только сохранению природных ландшафтов и ресурсов, но и важным фактором социально-экономического развития территории. Постепенный переход от неорганизованного отдыха на природе к природно-ориентированному туризму можно рассматривать в ряду значительных современных начинаний, направленных на решение острейших экологических проблем, а также как инструмент, обеспечивающий оптимальное природопользование. В связи с эти особенно актуальными становятся вопросы развития природно-ориентированного туризма как одного из наиболее приоритетных направлений при реализации концепции устойчивого развития туризма в XXI веке.

В научной литературе встречается несколько терминов, относящихся к проблематике экологического туризма. Биотуризм – туризм, объектами которого являются любые проявления живой природы, как отдельные виды, так и биоценозы. Природный туризм - туризм, объектом которого является любая природа как живая, так и неживая (например, пещеры, горы, водоемы и др.). Природный туризм включает в себя биотуризм как одно из тематических направлений. Иногда природный туризм называют эколого-географическим. Всемирная туристская организация (ВТО) использует термин *приключенческий туризм* в качестве более широкого понятия, включающего в себя экологический туризм. Однако экологический туризм не всегда содержит приключенческий компонент, точно так же как и все приключенческие туры включают в себя экологическую составляющую. Все большее распространение получает *агротуризм*, или *агроэкологический туризм*. Это туризм в сельской местности, при котором туристы во время своего отдыха ведут сельский образ жизни на фермах и хуторах. Развитие такого вида туризма наиболее актуально для стран Западной Европы (и отчасти США) с небольшим процентом естественных ландшафтов и высоким уровнем сельскохозяйственной освоенности территории. *Историко-краеведческий туризм* способствует познанию истории взаимодействия человека и природной среды. *Этно-экологический туризм* направлен на изучение конкретных этносов, их жизнь в сложившихся природных условиях, взаимодействия с окружающей природной средой в настоящее время. Здесь в первую очередь речь идет о малых народностях, живущих в гармонии с окружающим их миром природы.

Основные цели экологического туризма - гармонизация человека с окружающей его природной и социальной средой, экологическое образование и воспитание различных групп населения. Основной задачей экологического туризма является соблюдение в максимально возможной степени строгих экологических норм и ограничений. Основными объектами экологического

туризма являются уникальные природные комплексы, в том числе особо охраняемые природные территории, а именно: национальные и природные парки, государственные природные заказники, памятники природы; дендрологические парки и ботанические сады; лечебно-оздоровительные местности и курорты; заповедники (с определенными ограничениями).

Развитие туризма в Адыгее поддерживается на государственном уровне. Реализуется программа развития отрасли, утвержденная главой Республики, призванная стимулировать процесс становления туристической отрасли как основного сектора экономики горно-предгорной части Адыгеи. За последние несколько лет в развитие туристической отрасли в Адыгее было вложено около двух миллиардов рублей. Каждый год появляются новые туристические объекты, приносящие все большее разнообразие в отдых в горной части республики. В настоящее время Республика Адыгея является достаточно attractive туристским направлением, располагающим всеми необходимыми ресурсами для удовлетворения предпочтений различных целевых групп. Об этом свидетельствуют и данные по количеству посетивших республику туристов. Так, за 2018 год турпоток в Адыгею вырос до 450 тыс. человек, что на 5% больше, чем годом ранее. За 2017 год Адыгею посетило около 430 тыс. человек, (в 2016 турпоток составил 420 тыс. человек) (рис. 1).

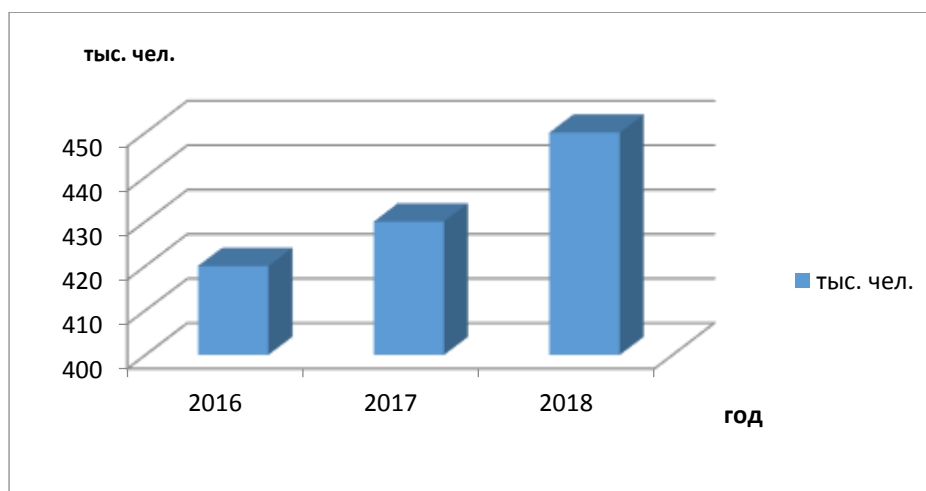


Рис. 1 Динамика турпотока в Адыгею за последних три года.

Предпосылками для развития экологического и спортивного туризма являются благоприятные условия для организации спортивно-оздоровительных и познавательных маршрутов. Наиболее привлекательными ресурсами для развития природно-ориентированного туризма обладает горная часть Адыгеи, которая включена в список всемирного наследия ЮНЕСКО. Там расположены природные объекты, которые привлекают российских и иностранных туристов. В горной части Адыгеи функционирует более 200 туристских и экскурсионных маршрутов к природным и историческим местам. Отсюда берут начало популярные с 30-х годов 20 века советские пешие и конные маршруты через горы к Черному морю. Здесь более 5000 природных,

исторических, археологических и геологических объектов, вызывающих интерес у туристов. Перспективными направлениями спортивно-туристского освоения Адыгеи являются горнопешеходный туризм, альпинизм, скалолазание, спелеотуризм, зимние виды туризма. В Адыгее находится значительная часть Кавказского государственного биосферного природного заповедника (98 из 263,5 тыс. га). Лагонакское нагорье уже более четверти века привлекает горнолыжников и туристов. Снежный покров здесь сохраняется до июня. Особый рельеф местности на левобережье реки Курджипс дает возможность создать здесь более 20 лыжных трасс, трамплины, санные трассы, катки. Карстовый характер местных пород создает отличные предпосылки для развития спелеотуризма. Скальные маршруты различных категорий сложности притягивают сюда скалолазов со всей России и государств содружества. Климатические условия республики обладают большой привлекательностью для любителей как летних, так и зимних видов отдыха. Кроме того, наличие хороших автомобильных дорог и железнодорожной ветки, ведущей в предгорье, туристические маршруты, выходящие через горную часть республики на побережье Черного моря, создают условия для формирования положительного туристского имиджа региона [2]. Среди самых посещаемых и значимых объектов республики – Хаджохская теснина, водопады Руфабго, река и ущелье Мешоко, плато Лаго-Наки, Большой Тхач, Гранитное ущелье.

Сегодня Республика Адыгея, имеющая 70-летний опыт работы на рынке туристских услуг, успешно реализует проект создания экономически эффективного, социально ориентированного и экологически устойчивого рекреационного комплекса, что позволяет обеспечить потенциальным инвесторам все необходимые условия и оказать всестороннюю поддержку на высоком организационном уровне.

#### **Список литературы**

1. Унифицированный туристский паспорт Республики Адыгея [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.adygcomtur.ru/doc/putevod.pdf>
2. Брендинг как технология создания имиджа региона (на примере Республики Адыгея) Панина Е.А., Дунаевская Е.А. Вестник Майкопского государственного технологического университета. Вып. 3. 2012 С. 125-128.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ТУРИЗМА НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ

Е.А. Панина, А.К. Нагоева

*len\_le@mail.ru*

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

***Аннотация.** В статье авторы изучают возможности развития и организации экологического и просветительского туризма на особо охраняемых природных территориях Республики Адыгея и Краснодарского края; исследуют туристско-рекреационный потенциал ООПТ региона.*

***Ключевые слова.** Особо охраняемые рекреационно-значимые территории, территории, экологический туризм.*

Республика Адыгея занимает лидирующее положение среди субъектов федерации России по относительной площади особо охраняемых природных территорий. Около 30% территории республики выделено для охранных целей. Уникальные ландшафтные комплексы, исключительное биоразнообразие, обусловленное сложнейшей историей формирования территории, присутствие реликтовых и эндемичных видов растений и животных, наличие широкого спектра горных аналогов природных зон - составляют убедительную естественную основу для выделения особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Адыгеи – объектов общенационального достояния, имеющих особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение.

Система ООПТ республики в основном сложилась вокруг ядра - Кавказского государственного природного биосферного заповедника. Большинство наиболее крупных (82 % площади всех ООПТ РА) и наиболее ценных резерватов Адыгеи сконцентрировано в южной, горной части республики, где благодаря общности границ они образуют единое охраняемое пространство. Это Северный отдел Кавказского заповедника, природный парк «Большой Тхач», памятники природы «Верховье реки Цице», «Верховья рек Пшеха и Пшехашха», «Хребет Буйный», Даховский государственный заказник. Другая, несравненно меньшая часть ООПТ, функционально не связана с заповедником и за исключением двух ботанических заказников – Майкопского и Кужорского, а также охотничьего заказника Шовгеновский и представляет собой географически точечные разрозненные объекты: памятники природы и зоны отдыха, выделенные по признаку уникальности или рекреационной значимости. В пределах Республики Адыгея находятся также: Северный инспекционный отдел (76 тыс. га, с кордонами Гузерипль, Лагерный, Киша); вновь организованный Лагонакский инспекционный отдел (18 тыс. га); Майкопское отделение (научная библиотека, исследовательские лаборатории, гербарий, коллекции).

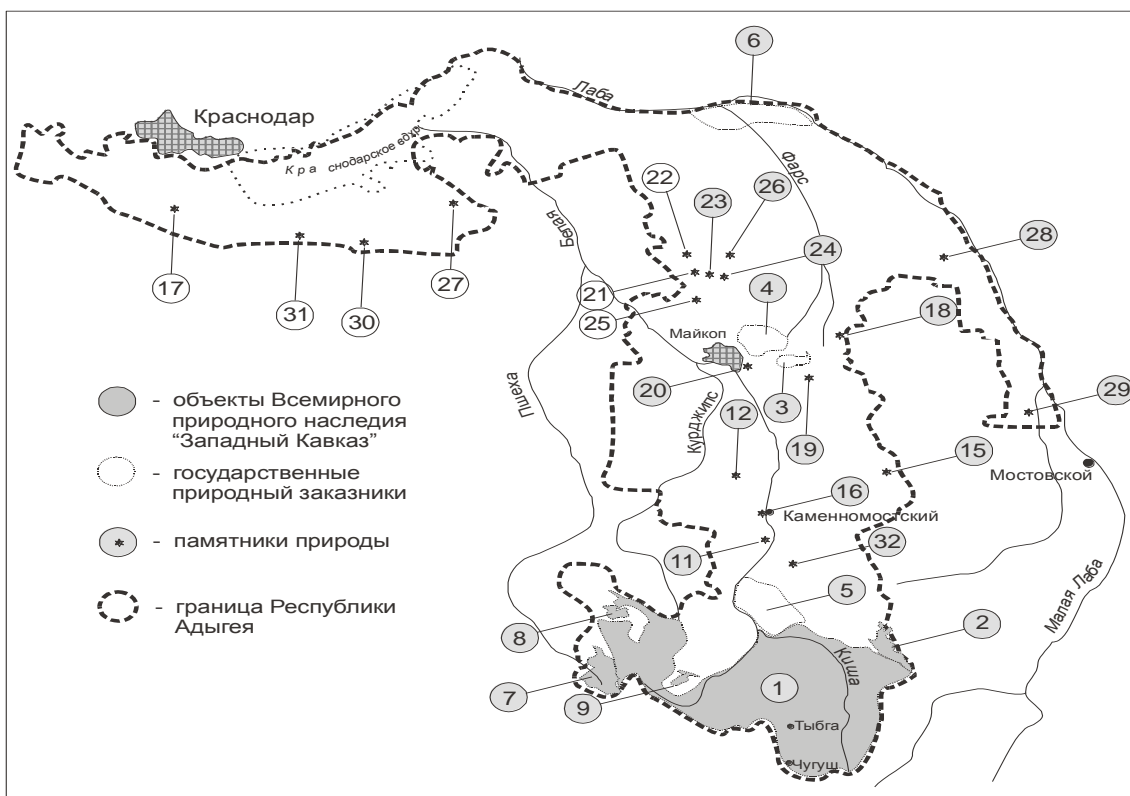


Рис. 1. Схема расположения особо охраняемых природных территорий Республики Адыгея

1 - Северный отдел Кавказского государственного природного биосферного заповедника.  
 2 - Природный парк «Большой Тхач». 3 - Майкопский ботанический заказник. 4 – Кужорский ботанический заказник. 5 - Даховский государственный заказник. 6 - Шовгеновский государственный заказник. 7 - Памятник природы «Верховья рек Пшеха и Пшехаиха». 8 - Памятник природы «Верховья реки Цице». 9 - Памятник природы «Хребет Буйный». 10 - Памятник природы «Долина реки Руфабго». 11 - Памятник природы «Гранитное ущелье». 12 - Памятник природы «Полковницкая Балка». 13 - Памятник природы «Хаджохская теснина». 14 - Памятник природы «Гора Монах». 15 - Памятник природы «Роцца медвежьего ореха». 16 - Памятник природы «Казачий камень». 17 - Памятник природы «Дуб долгожитель». 18 - Памятник природы «Посадка бархата амурского». 19 - Памятник природы «Дуб араксинский». 20 - Памятник природы «Родник солдатский». 21 - Памятник природы «Зона отдыха Центральная». 22 - Памятник природы «Зона отдыха Дальняя». 23 - Памятник природы «Зона отдыха Сухой Келермес». 24 - Памятник природы «Зона отдыха Медовая». 25 - Памятник природы «Зона отдыха Берёзовая роцца». 26 - Памятник природы «Родник Природный». 27 - Памятник природы «Родник у мельницы». 28 - Памятник природы «Родник Блечепсин». 29 - Памятник природы «Родник Ходзинский». 30 - Памятник природы «Лесопарк Юбилейный». 31 - Памятник природы «Урочище Псекупское». 32 - Памятник природы «Даховская пещера».

В республике функционирует эколого-туристическая территория «Фишт», на которую возлагаются: обеспечение рационального использования возобновляемых природно-рекреационных ресурсов; осуществление радикальных мер по сохранению историко-культурного наследия предгорного района Адыгеи; круглогодичное комплексное функционирование, как основного центра отдыха граждан республики; разработка и внедрение методов охраны природы в условиях рекреационного использования территории. Созданы и функционируют охотничьи заказники: Даховский,

Шовгеновский, Туриный и ботанические заказники: Майкопский и Кужорский. Имеется 40 государственных памятников природы местного значения и 1 памятник природы республиканского значения (хребет Буйный [1].

Крупнейшие рекреационно-значимые территории: Лагонакское нагорье с Фишт-Оштенским горным массивом – 21 тыс. га; район природного парка «Большой Тхач» (включая хр. Корыто) – 7 тыс. га; бассейны малых рек Аминовка, Полковницкая балка, Руфабго – 12 тыс. га; район Физиабго – скала Верблюды – 3 тыс. га.

Для заповедников, в отличие от национальных парков, рекреационная деятельность является вспомогательной, ее развитие ограничивается режимом особо охраняемой природной территории. При этом, охрана природы, основанная на запретительных мерах, малоэффективна. Наиболее надежным гарантом сохранения дикой природы на территориях заповедников и национальных парков является реальная поддержка обществом их природоохранной деятельности и посредством эколого-просветительской, экскурсионной и туристско-рекреационной деятельности сотрудниками заповедника на его территории. В Стратегии развития туризма Республики Адыгея определены перспективные направления туристского освоения территории КПБЗ.

На сегодняшний день ООПТ являются очень перспективным местом для удовлетворения возрастающих потребностей людей в познавательном отдыхе на природе. Важной и сложной задачей для сотрудников ООПТ является то, чтобы во время пребывания на охраняемой территории посетители были осведомлены о природных ценностях и сохраняли их. Охраняемые природные территории нуждаются в туризме, а туризму нужны охраняемые территории. Несмотря на то, что эти взаимоотношения сложны и часто противоречивы, туризм является существенным фактором при рассмотрении вопроса о создании ООПТ и управлении ими. Развитие экологического или познавательного туризма – это не только способ более тесного общения людей с сохранившейся в первозданном виде природой, привитие им навыков бережного отношения ко всему живому, но и при правильной организации дела – источник существенного дохода для обеспечения деятельности заповедника.

### **Список литературы**

1. Бушманова, Н.В. Туристский паспорт Адыгеи / Н.В. Бушманова, Г.Г. Дерзьян, З.К. Жане, Е.Н. Фоменко. – Майкоп: ОАО «Политграфиздат Адыгея», 2006. – 140 с.

# СУДОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ СОСТАВА АТМОСФЕРЫ НАД МОРЯМИ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

Н.В. Панкратова, А.И. Скороход, И.Б. Беликов, В.С. Ракитин,  
Ю.А. Штабкин, Е.В. Березина

*pankratova@ifaran.ru*

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

***Аннотация.** Представлены результаты судовых измерений метана и его изотопа  $d13C$  над морями Российской Арктики. В ходе судовых измерений были исследованы районы метановых сипов, выявлены области выхода пузырей с морского дна. Показано, что в районе сочтения пузырей метана с морского дна у морской поверхности концентрация  $CH_4$  может увеличиваться до 3.5 ppb.*

***Ключевые слова.** Атмосферный метан, моря Восточной Арктики, судовые наблюдения.*

## 1. Введение

Метан ( $CH_4$ ) является вторым по значимости парниковым газом после углекислого газа, при этом его радиационный форсинг до 32 раз выше, чем у  $CO_2$  [1]. С доиндустриальных времен концентрация метана увеличилась более чем на 150% [2]. При этом, на протяжении практически всего 20 века содержание метана в атмосфере возрастало, лишь в период с 1998-2005 гг, отмечалась некоторая стагнация, причины которой до сих пор остаются не ясны. После кратковременного перерыва концентрация метана снова начала возрастать [2]. Например, средняя глобальная концентрация  $CH_4$  в 2018 году составила 1858 ppb, а скорость роста в в 2018 году составила 11,5 ppb (Ed Dlugokencky, NOAA/ESRL ([www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends\\_ch4/](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/))). Увеличение концентрации атмосферного метана на 7,5 ppb в год эквивалентно увеличению его эмиссий на ~ 23-24 Tg  $CH_4$  в год [3].

Вклад эмиссий метана из океана в атмосферу невелик и оценивается в 2–40 тт в год, для сравнения водно-болотные угодья дают 153–227 тт в год, а вклад от сельского хозяйства составляет 178–206 тт в год [4, 5]. Тем не менее, из-за сложности наблюдений, потоки метана с поверхности океана в атмосферу имеют существенно большую неопределенность и нуждаются в дальнейшем изучении.

Подводная мерзлота и гидраты в шельфовых районах морей Восточной Арктики (МВА) обладают существенными запасами метана и потенциально могут вносить в значительный вклад в его эмиссии [6]. К настоящему времени обнаружено несколько полигонов, где наблюдается выход метановых пузырей из донных осадков в водную толщу [7, 8]. В этом исследовании основное внимание уделено полигонам в море Лаптевых, проанализирована концентрация метана, полученная в ходе судовых наблюдений на маршруте 63 и 72 рейсов НИС "Академик Мстислав Келдыш" и с борта НИС "Академик М.А. Лаврентьев".

## 2. Измерительный комплекс

Для измерений использовался автоматизированный комплекс на основе прибора G2132-i производства компании Picarro Inc. (США). Данный комплекс предназначен для измерений концентрации метана в диапазоне от 1.8 до 12 ppm с погрешностью менее 0.005 ppm, а значение  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$  - с погрешностью менее 1 ‰. Подробное описание проведенных калибровок и установки приборов на научных судах и представлено в [9, 10].

В экспедиции 2018 года были проведены синхронные измерения концентрации CO (анализатор Thermo TE48S), NO<sub>2</sub> (анализатор Thermo TE42C-TL) и O<sub>3</sub> (анализатор Dasibi 1008-AH) в приводном слое воздуха. Анализ данных показал, что в качестве критерия оценки затока загрязненного воздуха из трубы судна использовать только повышенную концентрацию CO<sub>2</sub>, как это было сделано в [11] недостаточно. Более надежно взять за критерий концентрацию CO и NO. Эти газы имеют антропогенное происхождение. При попадании загрязненного воздуха в воздухозаборник анализаторов наблюдается резкое повышение концентрации CO, NO и NO<sub>2</sub>, также происходит химическая реакция разрушения озона, значения его концентрации близки к нулю. При этом концентрация CO<sub>2</sub> может и не увеличиваться, и наоборот, при увеличении CO<sub>2</sub> содержание CO, NO и NO<sub>2</sub> может быть ниже пороговых значений. В качестве индикации загрязненного воздуха использовался порог NO в 0.2. ppb [12]. В результате обработки был отфильтрован 21% данных, когда концентрация NO<sub>2</sub> была больше 0.2 ppb.

## 3. Экспедиция и результаты

В период с 25 августа по 10 октября 2015 г. (НИС "Академик Мстислав Келдыш", Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН), с 24 сентября по 2 ноября 2016 г. (НИС "Академик М.А. Лаврентьев", Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН) и с 16 августа по 19 сентября 2018 г. совместно с Институтом океанологии им. П. П. Ширшова РАН были проведены три измерительные кампании по наблюдению концентрации метана CH<sub>4</sub>, углекислого газа CO<sub>2</sub> и значения  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$  отклонения изотопной сигнатуры 13C/12C для метана в воздухе над морской поверхностью с борта научно-исследовательских судов (Скорород и др. 2016, Pankratova et al., 2017).

Маршруты экспедиций проходили через моря российской Арктики. В 2015 году – из порта Архангельск через моря Белое, Баренцево, Карское и Лаптевых, в том числе через районы, описанные в [7] (рис. 2а). Маршрут экспедиции 2016 года пролегал от порта Тикси через моря Лаптевых и Восточно-Сибирское, и далее через Чукотское, Берингово и Японское моря до порта Владивосток (рис. 2б). В 2018 году экспедиция частично повторила маршрут 2015 года, судно вышло из порта Архангельск и прошло через моря Белое, Баренцево и Карское (рис. 2в).

Все маршруты охватывают всю территорию Российской Арктики, однако они проведены в разное время и при разных метеорологических условиях. В экспедиции 2015 и 2018 гг. прибрежные районы были свободны от снежного покрова. В 2016 г. измерения проводились в более поздний осенний период, когда на побережье арктических морей происходила адвекция холодного воздуха, и начал формироваться устойчивый снежный покров.



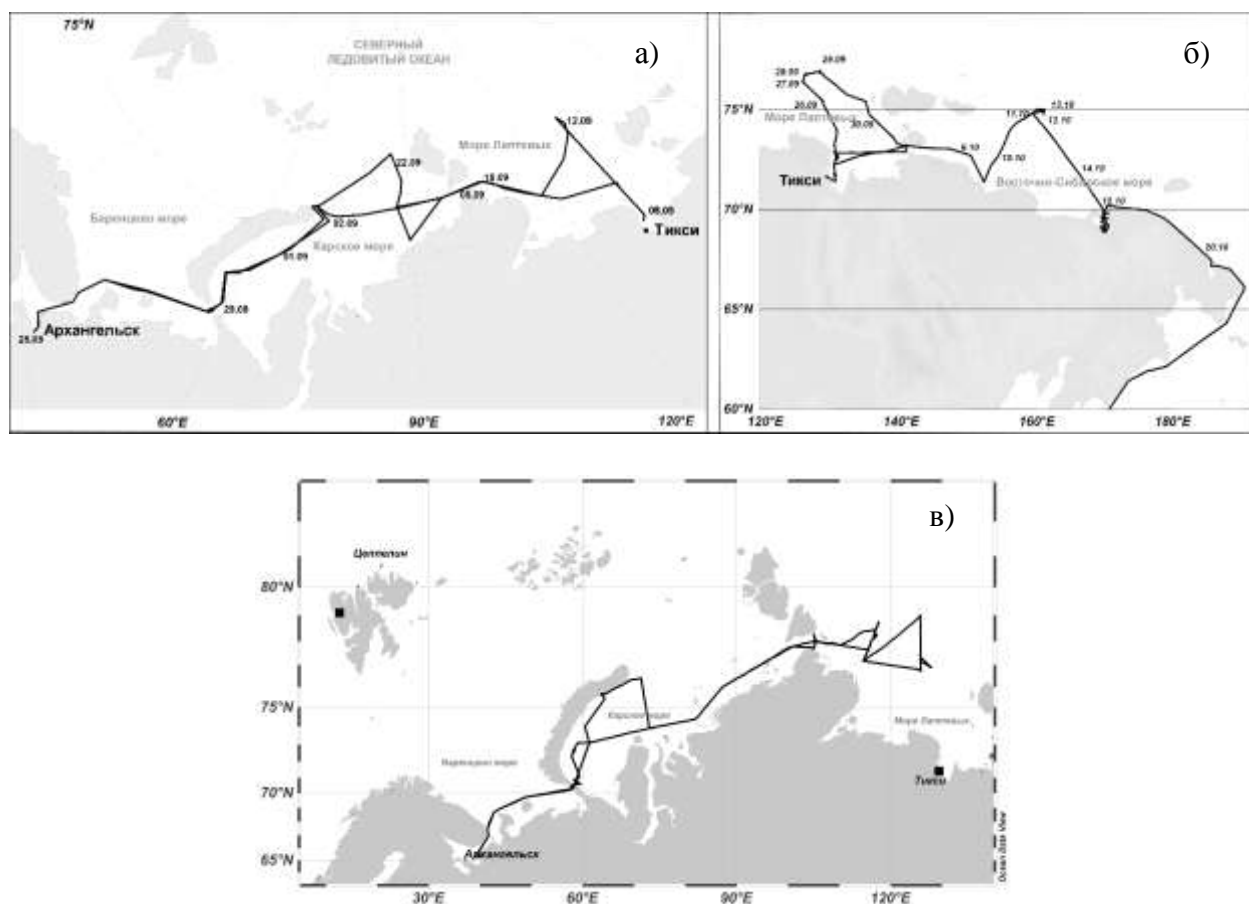


Рис. 2. а) Маршрут рейса № 63 НИС "Академик Мстислав Келдыш" 25 августа - 10 октября 2015 г.; б) маршрут рейса № 78 НИС "Академик М.А. Лаврентьев" 24 сентября - 2 ноября 2016 г.; в) маршрут рейса № 63 НИС "Академик Мстислав Келдыш" 16 августа по 19 сентября 2018 г.

Ввиду того, что измерения проведены в разное время значения концентрации метана и его изотопа сравнивать нельзя, однако полученный набор данных в двух экспедициях позволяет выделить некоторые закономерности пространственной и временной изменчивости концентрации метана в нижнем слое атмосферы. На рис. 3 представлены ряды данных наблюдений концентрации метана и значения  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ , с усреднением 1 минута. Статистические характеристики рядов наблюдений представлены в таблице 1.

Повышенные значения концентрации метана отмечались в Карском море, в период с 2 по 5 сентября 2015 г., и в море Лаптевых, с 12 по 14 сентября 2015 г., когда происходил активный вынос воздушных масс с материка, так что по всей вероятности, наблюдавшееся повышение концентрации метана было связано с эмиссиями от тундровых областей Западной и Восточной Сибири. Преобладание микробиологического источника метана подтверждают и результаты, полученные с помощью метода Килинга [13] (рис. 4).

В экспедиции 2016 г. пространственное распределение содержания метана более однородно (стандартное отклонение ряда составляет порядка 0,02 ppm), при этом значения концентрации  $\text{CH}_4$  стабильно превышают среднее глобальное значение, характерное для осеннего периода.

Таблица 1.

Статистические характеристики измеренных среднечасовых значений концентрации метана и  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ . а) 2015 г. б) 2016 г.

а)

2015 г.	Архангельск-Море Лаптевых-Архангельск		Море Лаптевых	
	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ ‰	$\text{CH}_4$ ppm	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ ‰	$\text{CH}_4$ ppm
Минимум	-50,7	1,857	-49,74	1,887
Максимум	-45,3	2,064	-45,29	2,050
Среднее	-47,6	1,918	-47,55	1,928
Стандартное откл.	0,8	0,039	0,81	0,033

б)

2016 г.	Море Лаптевых		Восточно-Сибирское море	
	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ ‰	$\text{CH}_4$ ppm	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ ‰	$\text{CH}_4$ ppm
Минимум	-57,12	1,938	-54,86	1,935
Максимум	-44,10	2,133	-44,96	3,537
Среднее	-49,59	1,962	-50,12	1,958
Стандартное откл.	1,46	0,015	1,2	0,024

в)

2018 г.	Архангельск-Море Лаптевых-Архангельск		Море Лаптевых	
	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ ‰	$\text{CH}_4$ ppm	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\text{CH}_4$ ppm
Минимум	-59,9	1,909	-56,6	1,926
Максимум	-44,1	3,541	-44,3	2,126
Среднее	-50,1	1,964	-50,2	1,953
Стандартное откл.	1,84	0,076	2,08	0,024

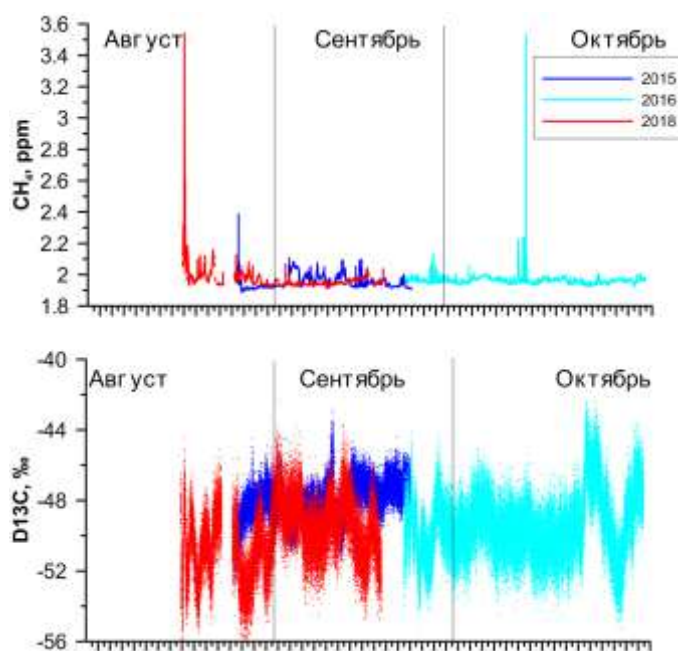


Рис. 3. Временные ряды  $\text{CH}_4$  и  $\text{D}^{13}\text{C}$  (G2132-I) в приповерхностном воздухе для экспедиций 2015, 2016 и 2018 гг.

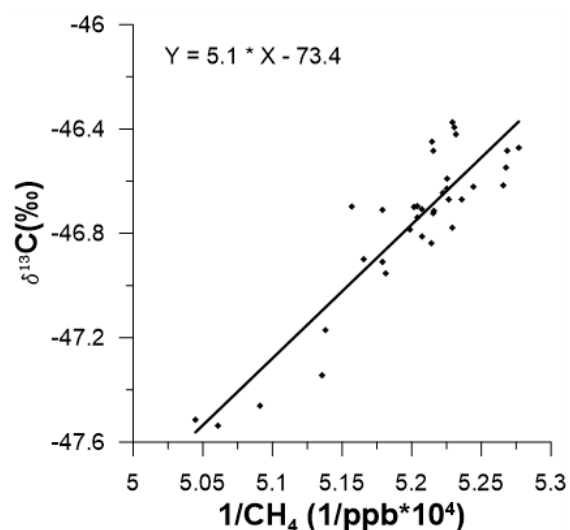


Рис. 4. Пример определения источников атмосферного метана в Арктике методами изотопного анализа (графики Килинга) по результатам измерений 7-9 сентября 2015 г.

В то же время в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском выявлены локализованные области с повышенной концентрацией метана в приводном воздухе. Наибольший интерес представляют так называемые полигоны сочения метана, описанные в [14]. Один из таких полигонов располагался приблизительно по координатам  $75^\circ$  с.ш. и  $160^\circ$  в.д. Судно находилось в этом полигоне с 11 по 13 октября 2016 г. На рис. 3 виден пик концентрации метана. При более детальном анализе временные ряды метана характеризуется большим количеством пиков до значений порядка  $2,0...2,2$  ppm и более. С борта судна визуально наблюдался выход пузырей метана из воды. По данным сонара судна, пузыри метана поступали непосредственно со дна, глубина в районе наблюдений достигала  $45...50$  метров. Следует отметить, что значения максимумов наблюдаемых пиков в значительной степени имеют стохастический характер и сильно зависят от времени отклика используемого прибора и условий наблюдений. Продолжительность пиков по времени не превышает десятков секунд. Таким образом, характер пиков, порождаемых выходом пузырей метана на поверхность, обуславливает незначительное повышение его средней концентрации в приводном воздухе в области сочения.

В таблице 2 представлены среднесуточные концентрации метана за несколько дней наблюдений в Восточно-Сибирском море. По приведенным данным хорошо видно, что превышение уровня среднесуточной концентрации в полигоне (12 октября) над этим же уровнем вне полигона (10 и 14 октября) составляет единицы процентов и сравнимо с региональными вариациями среднесуточной концентрации (например, за 9 октября, когда судно находилось вблизи залива Колымская Губа Восточно-Сибирского моря).

Вместе с тем следует учитывать, что высокая мозаичность областей сочения и сложные условия наблюдений (сильный ветер, волнение, невозможность отбора воздуха непосредственно у поверхности воды) существенно затрудняют исследования и, по всей видимости, могут занижать реальный атмосферный отклик от выбросов донного метана.

Таблица 2.

Среднесуточные концентрации метана в Восточно-Сибирском море

Дата	Среднесуточная концентрация CH <sub>4</sub> ppm
2016/10/09	1,960
2016/10/10	1,941
2016/10/11	1,955
2016/10/12	1,963
2016/10/13	1,950
2016/10/14	1,941

В 2018 году повышенные значения концентрации метана отмечались при проходе на восток в Карском море в районе Обской губы. Этому же району соответствует и пониженная соленость поверхностных вод, что может говорить о влиянии речного стока от Оби и Енисея. При пересечении этого же района в западном направлении повышенных значений концентрации метана не отмечалось, при этом соленость в Обско-Енисейском районе заметно приблизилась к характерным для Карского моря значениям.

Также были выявлены локализованные районы с повышенной концентрацией метана (до 2083ppb) в приводном слое, которая, по всей видимости, обусловлена эмиссией газа с шельфовой зоны моря Лаптевых. В ходе экспедиции были подробно обследованы два района, где ранее были обнаружены места сочтения пузырей метана из донных осадков [9]. В 2018 году с помощью судового эхолота снова были зафиксированы метановые факелы. На полигоне С15, расположенного в районе с координатами 76.78° с.ш., 125.85° в.д. (рис.5), выявлены локальные пики концентрации метана с максимумом 2083.2 ppb. При этом средняя концентрация метана составила всего 1930 ppb, ниже, чем в среднем вдоль всего маршрута. На полигоне "Один" (рис.5), напротив, отмечалась повышенная относительно среднего концентрация метана - 1971 ppb, при этом отдельные пики не превышали 2037 ppb.

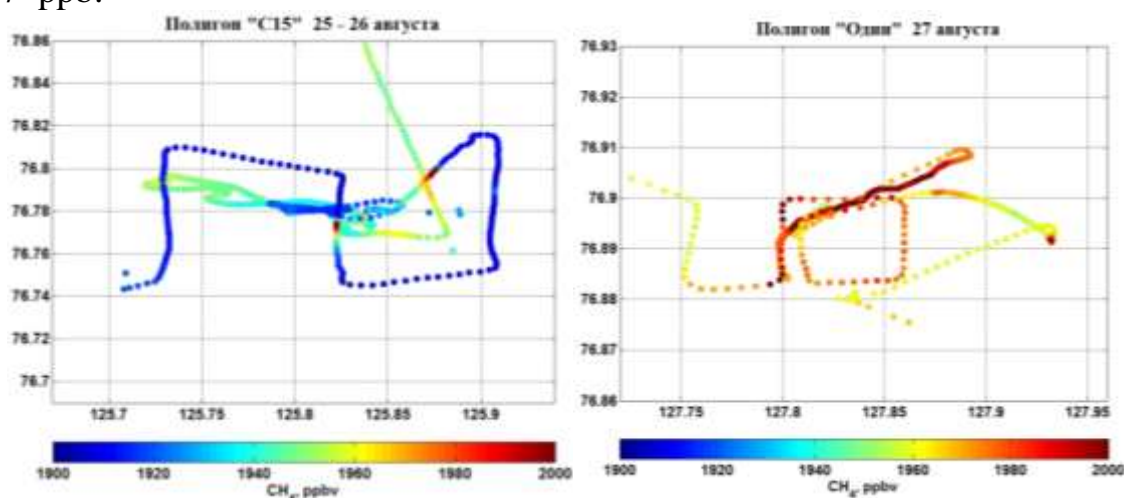


Рис.5. Концентрация метана в приводном воздухе на полигоне С15 (слева) и Один - справа.

Кроме описанных полигонов были выявлены метановые сипы и в других районах, например, на склоне материкового шельфа, однако там из-за значительной глубины метан успевает раствориться в воде, пузыри не доходят до поверхности

#### **4. Заключение**

В начале осени в поле распределения метана вносят неоднородность микробиологические источники, при адвекции воздушных масс с материка концентрация  $\text{CH}_4$  увеличивается. В некоторых районах Карского моря наблюдался значительный вынос метана из газовых месторождений Ямала и Западной Сибири. В конце осени, когда поверхность под снегом, наблюдаемые значения концентрации метана становятся более однородны, при этом значимой зависимости от направления ветра не обнаружено, что свидетельствует о том, что материковые источники не оказывали заметного влияния на измеренные величины.

Результаты измерений впервые подтвердили имеющиеся предположения о возможности формирования высоких пиковых концентраций метана в атмосферном воздухе за счет пузырьковой эмиссии. Однако полученные данные пока не позволяют дать даже приблизительные оценки интегральных выбросов донного метана.

Выполненные работы позволили впервые получить подобную информацию по выявлению источников атмосферного метана в Арктике, учет которых поможет точнее оценить происходящие изменения климата.

*Авторы выражают благодарность экипажам НИС "Академик Мстислав Келдыш" и НИС "Академик М.А.Лаврентьев", а также сотрудникам ИО им. П.П. Ширшова РАН и ТОИ ДВО РАН за организацию экспедиций и всеобъемлющую поддержку проведения измерений.*

#### **Список литературы**

1. Etminan, M., Myhre, G., Highwood, E., and Shine, K.: Radiative forcing of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide: A significant revision of the methane radiative forcing, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 12614–12623, <https://doi.org/10.1002/2016GL071930>, 2016.
2. Hartmann, D. L., Klein Tank, A. M. G., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F. J., Dlugokencky, E. J., Easterling, D. R., Kaplan, A., Soden, B. J., Thorne, P. W., Wild, M., and Zhai, P. M.: Observations: Atmosphere and Surface, in: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2013.
3. Worden, J. R., Bloom, A. A., Pandey, S., Jiang, Z., Worden, H. M., Walker, T. W., Houweling, S., and Röckmann, T.: Reduced biomass burning emissions reconcile conflicting estimates of the post-2006 atmospheric methane budget, *Nature communications*, 8, 2227, 2017.
4. Saunio, M., Bousquet, P., Poulter, B., Peregón, A., Ciais, P., Canadell, J. G., Dlugokencky, E. J., Etiope, G., Bastviken, D., Houweling, S., Janssens-Maenhout, G., Tubiello, F. N., Castaldi, S., Jackson, R. B., Alexe, M., Arora, V. K., Beerling, D. J., Bergamaschi, P., Blake, D. R., Brailsford, G., Brovkin, V., Bruhwiler, L., Crevoisier, C., Crill, P., Covey, K., Curry, C., Frankenberg, C., Gedney, N., Höglund-Isaksson, L., Ishizawa, M., Ito, A., Joos, F., Kim, H.-S., Kleinen, T., Krummel, P., Lamarque, J.-F., Langenfelds, R., Locatelli, R., Machida, T., Maksyutov, S., McDonald, K. C., Marshall, J., Melton, J. R., Morino, I., Naik, V., O'Doherty, S., Parmentier, F.-J. W., Patra, P. K., Peng, C., Peng, S., Peters, G. P., Pison, I., Prigent, C., Prinn, R., Ramonet, M., Riley, W. J., Saito, M., Santini, M., Schroeder, R., Simpson, I. J., Spahni, R., Steele,

P., Takizawa, A., Thornton, B. F., Tian, H., Tohjima, Y., Viovy, N., Voulgarakis, A., van Weele, M., van der Werf, G. R., Weiss, R., Wiedinmyer, C., Wilton, D. J., Wiltshire, A., Worthy, D., Wunch, D., Xu, X., Yoshida, Y., Zhang, B., Zhang, Z., and Zhu, Q.: The global methane budget 2000–2012, *Earth Syst. Sci. Data*, 8, 697–751, <https://doi.org/10.5194/essd-8-697-2016>, 2016.

5. Kirschke, S., Bousquet, P., Ciais, P., Saunoy, M., Canadell, J. G., Dlugokencky, E. J., Bergamaschi, P., Bergmann, D., Blake, D. R., and Bruhwiler, L.: Three decades of global methane sources and sinks, *Nat. Geosci.*, 6, 813–823, 2013.

6. Berchet, A.; Bousquet, P.; Pison, I.; et.al.// *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions*. 2015, Vol. 15 Issue 18, p25477-25501. 25p.

7. Shakhova, N., Semiletov, I., Leifer, I., Sergienko, V., Salyuk, A., Kosmach, D., Chernykh, D., Stubbs, C., Nicolsky, D., and Tumskey, V.: Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf, *Nat. Geosci.*, 7, 64–70, 2014.

8. Thornton, B. F., Geibel, M. C., Crill, P. M., Humborg, C., and Mörth, C. M.: Methane fluxes from the sea to the atmosphere across the Siberian shelf seas, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 5869–5877, 2016.

9. Скороход А. И., Н. В. Панкратова, И. Б. Беликов, Р. Л. Томпсон, А. Н. Новигатский, Академик РАН Г. С. Голицын. Атмосферный метан и его изотопный состав над морями российской Арктики по результатам судовых измерений летом и осенью 2015 года. // Доклады академии наук, 2016, том 470, № 5, с. 1–5 DOI: 10.7868/S0869565216290247

10. Pankratova N., Skorokhod A., Belikov I., Elansky N., Rakitin V., Shtabkin Y., Berezina E. EVIDENCE OF ATMOSPHERIC RESPONSE TO METHANE EMISSIONS FROM THE EAST SIBERIAN ARCTIC SHELF. *GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY*. 2018;11 :85-92. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-11-1-85-92>

11. Platt, S. M., Eckhardt, S., Ferré, B., Fisher, R. E., Hermansen, O., Jansson, P., Lowry, D., Nisbet, E. G., Pisso, I., Schmidbauer, N., Silyakova, A., Stohl, A., Svendby, T. M., Vadakkepuliambatta, S., Mienert, J., and Lund Myhre, C.: Methane at Svalbard and over the European Arctic Ocean, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 17207–17224, <https://doi.org/10.5194/acp-18-17207-2018>, 2018.

12. Панкратова Н.В., Н.Ф.Еланский, И.Б.Беликов, О.В.Лаврова, А.И.Скороход, Р.А.Шумский. Озон и окислы азота в приземном воздухе Северной Евразии по наблюдениям в экспериментах ТРОИКА//Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 3. С. 343-358

13. D.E. Pataki, J.R. Ehleringer, L.B. Flanagan, et.al.// *Global Biogeochem. Cycles*, 2003, 17(1), 1022

14. Shakhova, N., I. Semiletov, I. Leifer, A. Salyuk, P. Rekant, and D. Kosmach. (2010). Geochemical and geophysical evidence of methane release over the East Siberian Arctic Shelf, *J. Geophys. Res.*, 115, C08007, doi:10.1029/2009JC005602

# ВЕТРОВОЙ РЕЖИМ АТМОСФЕРЫ НА ТЕРРИТОРИИ АБХАЗИИ

<sup>1</sup>Э.В. Пачулия, <sup>1,2</sup> А.К. Ахсалба

*asida\_cen@mail.ru*

<sup>1</sup>Абхазский государственный университет, Абхазия, г. Сухум

<sup>2</sup>Институт экологии Академии наук Абхазии, Абхазия, г. Сухум

**Аннотация.** Проведен анализ временных изменений ветрового режима в г.Сухум за период с 1985 по 2018 гг. и данные ре-анализа NCEP-DOE за период 1980-2015 гг. Изучены экстремальные значения ветра в прибрежной зоне Абхазии на основе среднемесячных и среднесуточных данных компонент ветра на высоте 10 метров от поверхности из ре-анализа NCEP-DOE. Выявлены климатические изменения модуля скорости ветра на побережье Абхазии.

**Ключевые слова.** Шквал, скорость ветра, экстремальные значения, ветровой режим, ре-анализ.

## Введение

Ветер является одной из важных черт состояния атмосферы, главные элементы которой подвержены годичным, дневным и другим повторяющимся и непериодическим колебаниям. Все движения воздуха в атмосфере всегда турбулентны, вследствие чего направление и скорость ветра очень изменчивы [2].

Скорости и направления движения воздушных масс испытывают сильное воздействие расположенной здесь горной системы. Главный Кавказский хребет экранирует побережье от холодных вторжений воздуха с северо-востока и востока и отклоняет на северо-запад воздушные потоки, поступающие с моря по господствующим западному и юго-западному направлениям. Господствующее направление ветра зимой - восточное и северо-восточное [1, 3].

С точки зрения возможности проведения превентивных мероприятий, опасные природные процессы, как источник чрезвычайных ситуаций, могут прогнозироваться с очень небольшой заблаговременностью (от нескольких суток до нескольких часов). По прогнозам количество чрезвычайных ситуаций, вызванных сильными ветрами, дождями и градом, в основном, сохранится на прежнем уровне, либо будет увеличиваться за счет проявления плохо прогнозируемых локальных метеорологических процессов на фоне значительного износа объектов коммунального хозяйства и социальной сферы [4]. Территория любого региона подвержена комплексному воздействию десятков опасных природных явлений, развитие и негативное проявление которых в виде катастроф и стихийных бедствий ежегодно наносит огромный материальный ущерб и приводит к человеческим жертвам. Наиболее характерными природными явлениями по повторяемости в зависимости от времени года и приводящими к возникновению ЧС являются шквалы, ураганы, бури и смерчи [4].

## **Методы исследования**

Исследование полученных временных рядов проводилось методами статистического анализа: рассчитывались средние и максимальные значения скорости ветра, строились графики многолетнего хода, определялась роза ветров.

## **Результаты и обсуждения**

**Шквал** - резкое кратковременное усиление ветра до 20–30 м/с и выше, сопровождающееся изменением его направления, связанного с конвективными процессами. Несмотря на кратковременность шквалов, они могут приводить к катастрофическим последствиям. Шквалы в большинстве случаев связаны с кучево-дождевыми (грозовыми) облаками либо местной конвекции, либо холодного фронта. Шквал обычно связан с ливневыми осадками и грозой, иногда с градом. Атмосферное давление при шквале резко повышается в связи с бурным выпадением осадков, а затем - снова падает.

Шквалистый ветер, сопровождающийся ливневым дождем с градом, повреждает кровли жилых домов, зернохранилищ. Вызывает подтопление домов, построек, частного домовладения, мостовых переходов, сельскохозяйственных угодий. Гибнут посевы сельскохозяйственных культур, сады и огороды на значительных площадях. Повреждаются фермы, погибают сотни голов скота и птицы. В результате стихии уровень воды в реках повышается и превышает критические отметки.

Для измерения направления ветра служит флюгер который устанавливается вертикально на открытом и возвышенном месте, например, на башне, крыше здания или высоком столбе признаками для различных баллов.

Так как флюгер и анемометры обыкновенно помещают повыше, где строения, деревья и т. д. не мешают ветру, то наши метеорологические наблюдения показывают большую силу ветра, чем та, которую мы испытываем в самом нижнем слое воздуха. Разница далеко не мала [4,2].

В настоящее время на гидрометеостанции «Сухумский Маяк» для измерения скорости и направления воздушного потока, используют автоматизированную метеорологическую станцию Vantage Pro2 (рис. 1).

В приморской зоне Абхазии с мая по сентябрь возрастает повторяемость ветров западных румбов за счёт хорошо развитой бризовой циркуляции (рис. 2).

Направление морского бриза - западное и юго-западное, средняя скорость 3- 5 м/с. В холодную половину года, вследствие учащающегося стационарирования антициклонов и хорошей выраженностью Черноморской депрессии, увеличивается повторяемость восточных и юго-восточных ветров. В ноябре-марте повторяемость восточных и юго-восточных ветров составляет 42-49 % от общего числа случаев с ветрами различного направления [1, 5].

Наибольшие значения средних месячных скоростей ветра наблюдаются зимой с декабря по март (3,7-3,8 м/с), наименьшие значения приходятся на период с мая по октябрь (2,9-3,1 м/с) [1]. В течение всего года наиболее часто повторяются скорости ветра 1-3 м/с, которые составляют более половины



общего числа случаев за год. Сильные ветры (более 12 м/с) отмечаются, главным образом, в холодную часть года (декабрь-апрель) и преимущественно имеют юго-восточное и северо-западное направление [6].



Рис.1. Автоматизированная станция Ventage pro-2 на гидрометеорологической станции «Сухумский Маяк».

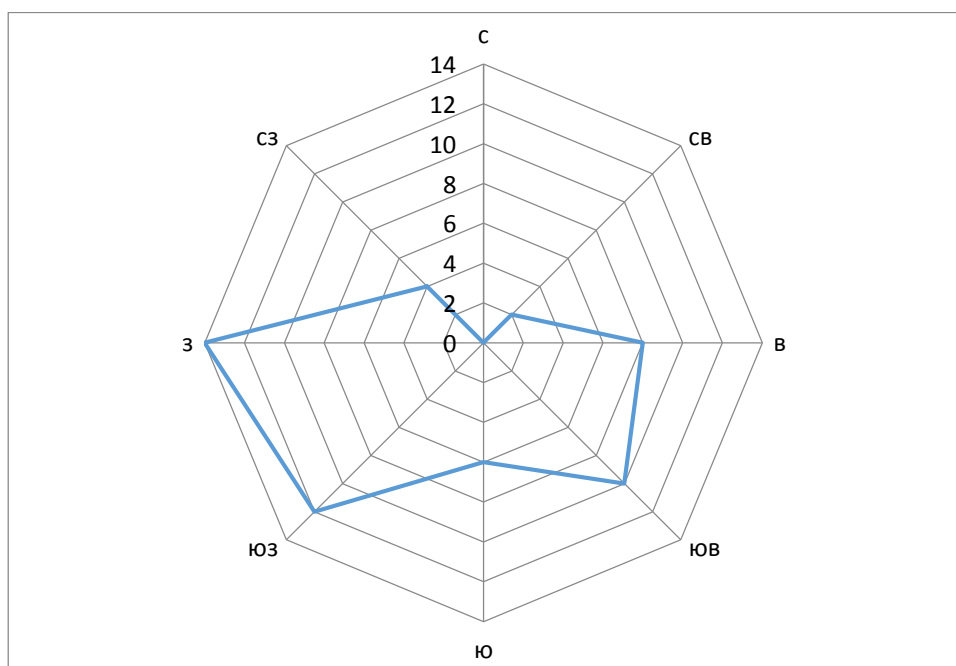


Рис. 2. Направление годового хода приземного ветра в г. Сухум по данным гидрометеостанции «Сухумский Маяк» за последние десятилетия

Для характеристики ветрового режима прибрежной зоны г. Сухума проведена статистическая обработка данных по гидрометеорологической станции «Сухумский маяк» за период с 1999 по 2015 гг. (табл. 1).

Таблица 1.

Среднемесячная повторяемость ветра различных румбов в прибрежной зоне г. Сухум в период с 1999 по 2016 гг. (%)

Мес/румб	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	ШТ
I	2,45	22,30	24,80	7,10	3,05	5,45	15,05	5,20	15,3
II	2,05	15,30	27,30	10,50	5,15	5,25	23,80	7,50	8,10
III	2,80	13,75	18,30	9,60	6,65	11,00	22,30	6,55	7,90
IV	1,25	9,20	15,65	10,70	6,10	13,65	27,80	5,10	11,60
V	1,70	8,20	12,10	9,50	4,60	14,85	32,50	6,10	10,55
VI	2,10	11,10	13,55	8,15	9,90	14,30	32,35	5,65	9,70
VII	1,05	9,65	18,75	9,00	7,20	15,40	25,30	3,40	9,85
VIII	1,00	11,25	13,15	7,20	5,95	14,95	28,15	4,10	9,65
IX	2,55	15,10	15,10	8,40	5,50	13,60	24,80	5,15	8,20
X	3,30	18,30	22,15	7,80	5,35	9,70	15,70	6,85	8,20
XI	3,55	22,65	23,25	8,25	3,85	6,95	12,50	5,50	8,60
XII	4,25	22,75	24,10	7,55	3,30	4,50	13,30	4,35	8,20
Сред.	2,30	14,95	19,00	8,60	5,50	10,8	22,80	5,50	9,65

Наибольшей среднегодовой повторяемостью в прибрежной сухумской акватории обладают ветры западного (22,8%) и восточного (19%) направлений, наименьшей – ветры южного (5,5%) и северного румбов (2,3%).

Среднегодовая повторяемость штиля составляет 9,7%. Наибольшая повторяемость наблюдается в зимний период (10,4%), наименьшая - в осенний (8,5%).

Наибольшая сезонная повторяемость ветров западного направления наблюдается летом, и составляют 28,6%, наибольшая сезонная повторяемость ветров восточного направления наблюдается зимой (25,4%).

Наибольшими среднегодовыми значениями скоростей характеризуются ветры юго-восточного (3,1 м/с) и западного (2,5 м/с) румбов, а наименьшие значения скорости ветра характерны для ветров северного направления (0,9 м/с) (табл. 2).

В весенне-летний период у ветров юго-восточного направления наблюдаются максимальные скорости, их среднемесячные значения колеблются в пределах 2,2-5,6м/с. Минимальные скорости у ветров северных румбов наблюдается в весенний период и колеблется пределах от 0,4м/с до 1,3 м/с.

Отличительная особенность сухумской акватории заключается в том, что наибольшая среднемесячная изменчивость скорости ветра наблюдается в летний сезон, а наименьшая - в зимний период.

На рис. 3 и 4 представлены среднемаксимальные и среднемесячные значения скорости ветра по данным гидрометеостанции «Сухумский Маяк» за последние десятилетия.

Таблица 2.

Среднемесячная скорость ветра различных направлений с 1999 по 2016 гг. (м/с)

Месяц/румбы	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
I	1,12	1,64	1,7	3,13	1,31	2,38	2,4	1,65
II	0,85	1,52	2,92	1,98	1,82	1,69	2,54	1,17
III	1,31	1,74	4,34	2,2	2,44	2,22	3,05	2,04
IV	0,61	1,69	2,46	5,61	3,06	2,49	2,23	1,59
V	0,41	1,3	2,16	2,31	2,05	2,34	2,19	1,86
VI	0,78	1,19	1,17	2,61	2,5	2,24	2,87	1,26
VII	0,48	1,39	2,22	3,25	2,68	1,99	2,41	2,24
VIII	1,47	1,47	2,82	4,06	2,68	2,99	2,2	0,85
IX	1,24	1,09	2,62	2,67	2,25	2,37	2,56	2,09
X	1,14	1,59	2,68	3,14	1,67	1,88	2,3	1,33
XI	1,18	1,78	2,83	3,25	1,4	2,08	3,47	1,47
XII	1,07	1,12	2,11	1,48	1,03	1,49	2,19	2,02
Сред.	0,94	1,85	1,43	3,08	2,08	2,16	2,51	1,64

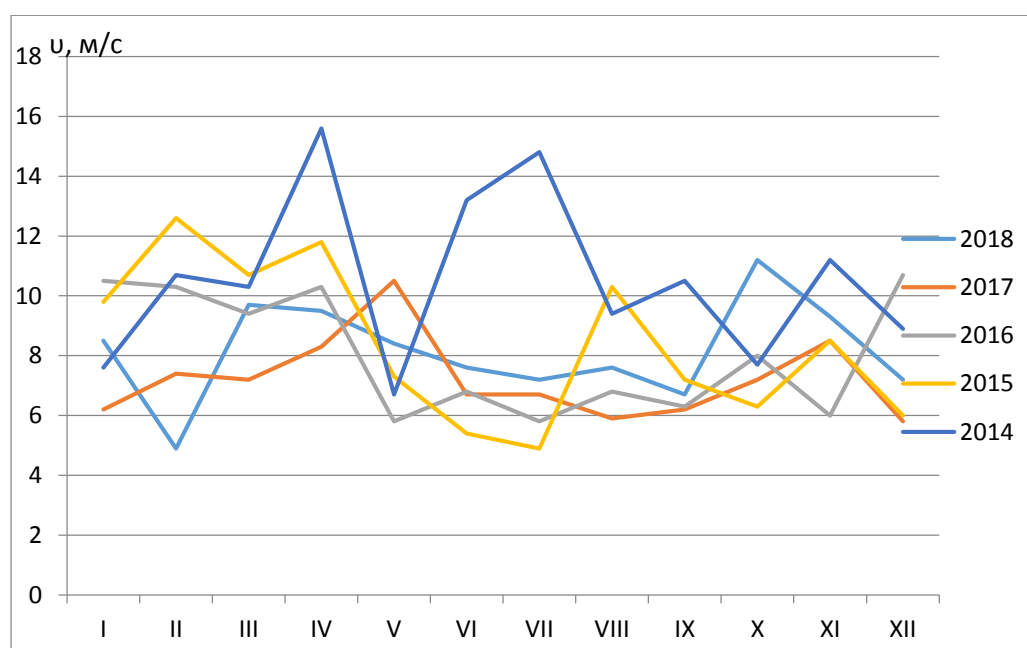


Рис. 3. Среднемесячное распределение приземного ветра в г. Сухум по данным гидрометеостанции «Сухумский Маяк» за последние пять лет.

По спутниковой информации шквалы распознаются в процессе слежения за развитием кучево-дождевой облачности. Шквалы возникают в передней части кучево-дождевых облаков. Иногда полосы из кучево-дождевых облаков образуют линии шквалов (рис. 5).

Рассмотрены вопросы об особенностях проявлений опасных гидрометеорологических явлений. В качестве исходных использованы данные NCEP-DOE за период 1980-2015 гг. (рис. 6).

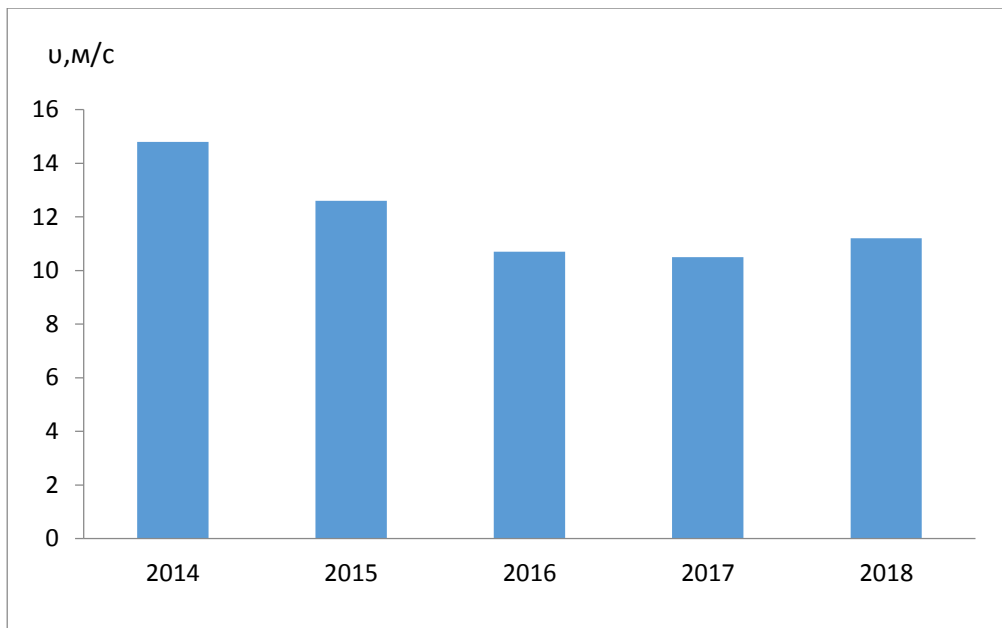


Рис. 4. Годовой ход абсолютных максимальных значений приземного ветра атмосферы в г. Сухум по данным гидрометеостанции «Сухумский Маяк» за последние пять лет



Рис. 5. Линия шквалов, 24-25 сентября 2018 г. в Краснодарском крае сильный грозовой дождь, ветер 15-20 м/с.

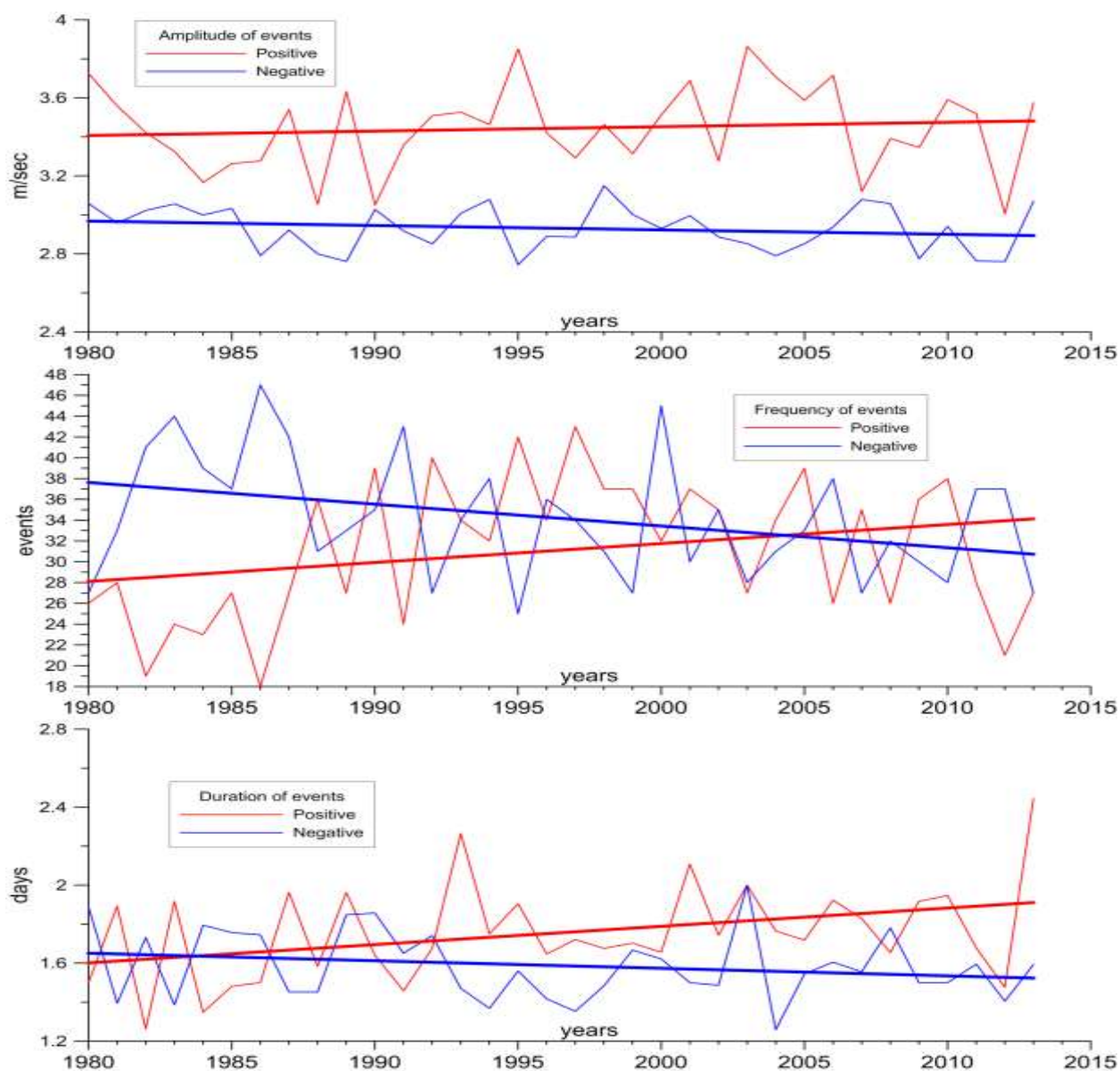


Рис. 6. Ежегодные изменения средней амплитуды (верхняя часть), количества (средняя часть) и средней продолжительности (нижняя часть) экстремальных явлений с положительными (красные линии) и отрицательными (синие линии) аномалиями модуля скорости ветра на высоте 10 м от поверхности в регионе Абхазии ( $42^{\circ}$ - $43.5^{\circ}$  с.ш.;  $40^{\circ}$ - $42^{\circ}$  в.д.), превосходящими 1 стандартное отклонение и их линейные тренды.

Таким образом, в последнее десятилетие участились резкие колебания направления и скорости ветра, именуемые порывами ветра, а особенно сильные из них – шквалами. При шквале ветер в один момент и краткосрочно (пару минут) резко усиливается (нередко до штормового) и потом слабеет. При всем этом, обычно, изменяется и его направление. В подавляющем большинстве случаев шквалы связаны с атмосферными фронтами и с кучево-дождевой облачностью. Отметим, что порывы шквальных ветров наносят существенный урон экономике республики Абхазии. Так в результате сильных порывов ветра 23 апреля 2017г. порваны линии электропередач, повалены деревья, рекламные щиты, местами снесены крыши многоэтажных домов, затруднено передвижение по дорогам.

## Список литературы

1. Ахсалба А.К. Основные особенности климата последних десятилетий территории Абхазии // Материалы XII Международного симпозиума «Проблемы экоинформатики». - М.: МНТОРЭС, 2016. – С. 120-124.
2. Ахсалба А.К., Пачулия Э.В. Особенности формирования шквалов на территории Абхазии/ тезисы докладов (молодежная секция) / ред.кол.: Резниченко Л.А., Вербенко И.А., Краснякова Т.В., Горбенко Е.Е., Корсунов К. А. – Луганск: изд-во ЛНУ им. В.Даля, 2018. – 24 с.
3. Исаев А.А. Экологическая климатология. - М: Научный мир. 2001.- 456с.
4. Куфтырева Н.С., Лашхия Ш.В., Мгеладзе К.Г. Природа Абхазии.- Сухум: Абгосиздат, 1961. - 342 с.
5. Справочник по климату СССР. Вып. I, ч. III: Ветер. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 305 с.
6. Экба Я.А., Дбар Р.С. Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии. – Сочи, 2007. -324 с.

# АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ГЛУБИНЫ ОЗЕРА ДГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»

**И.И. Подлипский, Д.Ю. Тиличко**

*i.podlipskiy@spbu.ru*

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт наук о Земле, Россия, г. Санкт-Петербург*

Национальный парк «Смоленское Поозерье» (НП «Смоленское Поозерье») находится в северной части Смоленской области и покрывает значительные части территорий двух районов – Демидовский и Духовщинский. Ежегодно его посещают десятки тысяч человек. В свою очередь, чрезмерная антропогенная нагрузка на некоторые, наиболее часто посещаемые объекты национального парка, может представлять опасность для видового и ландшафтного разнообразия, для сохранения которых был создан парк. И чтобы обеспечить устойчивое использование рекреационных ресурсов, национальному парку необходимо вести эколого-геологический мониторинг.

В августе 2016 и 2017 годов в рамках учебно-производственной практики группой студентов в сопровождении преподавателей проводились полевые исследовательские работы на территории водосбора озера Дго НП «Смоленское Поозерье». Объект исследования находится в рекреационной зоне, а также зонах хозяйственного назначения и экстенсивного природопользования центральной части парка. Также, нельзя не учесть важность именно этого объекта в направлении экологического туризма и экопросвещения, что говорит о необходимости мониторинга состояния всех компонентов среды. Стоит отметить, что с севера озеро граничит с особо охраняемой зоной, это вызывает определенный интерес к исследованию объекта, поскольку данная функциональная зона практически не испытывает антропогенной нагрузки в отличие от рекреационной зоны в южной части озера.

В связи с указанными отличиями интенсивности нагрузки представляет интерес для рационального природопользования установление связи между гранулометрическим составом донных отложений и глубины озерной котловины.

Полевые исследования проходили в два этапа. Первый этап исследований озера Дго проходил в 2016 году в южной части объекта: было отобрано 8 проб донных отложений. Во время второго полевого этапа исследований в 2017 год было отобрано 17 проб донных отложений с северной части озера Дго (рис. 1). Пробоотбор осуществлялся с лодки бентосным дночерпателем, аналогом ковша Ван-Вина по сети 200×200 м. После стандартной пробоподготовки пробы анализировались с использованием рентгенофлуоресцентного анализатора AP-104 на базе ресурсного центра СПбГУ «Геомодель» на содержание следующих элементов: Ni, Zn, Pb и Fe. Выбор данных элементов – наиболее распространенных поллютантов данной

территории - проведен на основе ранее проведенных работ в национальном парке [1-5].

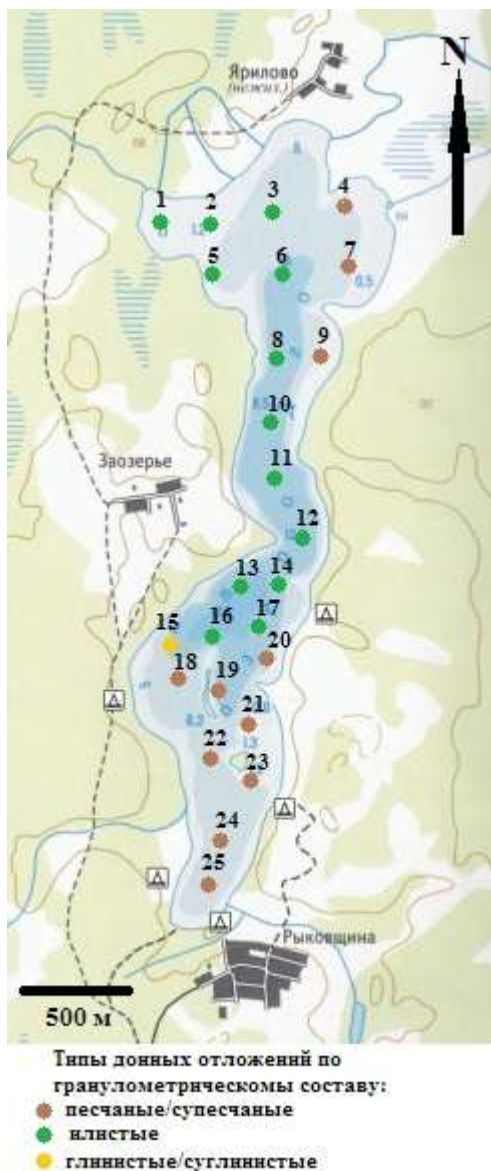


Рис. 1. Карта-схема расположения точек отбора проб

На территории озера Дго основой донных отложений являются четвертичные аллювиальные и озерные отложения, представленные песками, супесями и суглинками. На исследуемой территории были выделены 3 группы донных отложений по гранулометрическому составу с применением метода «шнур»: илистые (13 проб), глинистые и суглинистые (1 проба), песчаные и супесчаные (11 проб) (рис. 1).

После проведенного валового анализа, была установлена зависимость (коэффициент линейной корреляции 0,75 при критическом уровне значимости не более 5%) между глубиной отбора и гранулометрическим составом пробы: с увеличением глубины преобладают отложения илистого состава (табл. 1). Однако можно заметить 3 пробы (1, 2 и 5) в северной мелководной части озера илистого состава, что может быть объяснено зарастанием данной части озера (хорошо фиксируется по данным дистанционного зондирования), что приводит к повышенной аккумуляции органических фракций.



Таблица 1.

О глубинах отбора проб и их гранулометрического состава

№	Глубина, м	Гранулометрический состав
1	2,3	Илистые
2	3,5	Илистые
3	8,4	Илистые
4	5,6	Песчаные/супесчаные
5	4,7	Илистые
6	11,2	Илистые
7	4,9	Песчаные/супесчаные
8	10,3	Илистые
9	3,9	Песчаные/супесчаные
10	11,5	Илистые
11	10,8	Илистые
12	12,5	Илистые
13	14,0	Илистые
14	9,0	Илистые
15	10,8	Глинистые/суглинистые
16	10,0	Илистые
17	6,0	Илистые
18	7,3	Песчаные/супесчаные
19	4,4	Песчаные/супесчаные
20	3,6	Песчаные/супесчаные
21	4,8	Песчаные/супесчаные
22	10,2	Песчаные/супесчаные
23	2,0	Песчаные/супесчаные
24	8,5	Песчаные/супесчаные
25	5,1	Песчаные/супесчаные

В заключении хочется выделить необходимость принятия мер по очистке северной части озера Дго, так как данный объект является одним из наиболее значимых среди всех озер национального парка «Смоленское Поозерье» в направлении развития экологического туризма, а наибольший интерес среди туристов вызывают наиболее чистые водные объекты.

### Список литературы

1. Кононова Л.А., Зеленковский П.С., Подлипский И.И. Методика проведения эколого-геологической оценки состояния донных отложений озера Сапшо (национальный парк «Смоленское Поозерье»). / Материалы XV межвузовской молодежной научной конференции «Школа экологической геологии и рационального недропользования». СПб.: Изд-во СПбГУ, 2015, с. 52-57.

2. Подлипский И.И., Зеленковский П.С. Эколого-геохимическая оценка состояния системы «водосборная площадь-донные отложения» озера Лошамьё (национальный парк «Смоленское Поозерье»). / Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти профессора В.А. Шкаликова Природа и общество: в поисках гармонии Сборник научных статей: материалы докладов. Смоленский гуманитарный университет; ответственный редактор: Е.А. Бобров. Смоленск, 2015, с. 128-137.

3. Кононова Л.А., Зеленковский П.С., Подлипский И.И., Хохряков В.Р. Расчёт коэффициента суммарного загрязнения в почвах и донных отложениях рекреационной зоны национального парка «Смоленское Поозерье». / Материалы XVI межвузовской молодежной научной конференции «Экологические проблемы недропользования». СПб.: Изд-во СПбГУ, 2016, с. 260-262.

4. Зернов О.И., Зеленковский П.С., Подлипский И.И., Хохряков В.Р. Методика комплексной эколого-геологической съемки территории части водосборной площади озера Дго (национальный парк «Смоленское Поозерье»). / Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии северо-запада России. Труды XXIV Молодёжной научной конференции, посвященной памяти чл.-корр. АН СССР К.О. Кратца / Ред. Ф.П. Митрофанов. Апатиты: Изд-во К & М, 2016, с. 162-164.

5. Зеленковский П.С., Подлипский И.И., Беляев А.М., Терехова А.В., Гузев В.Е., Копылова В.И., Зернов О.И., Хохряков В.Р. Создание комплексной экологической тропы в национальном парке «Смоленское Поозерье». / Материалы XVII межвузовской молодежной научной конференции «Экологические проблемы недропользования». СПб.: Изд-во СПбГУ, 2017, с. 74-79.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТАВА АТМОСФЕРЫ НАД ЕВРАЗИЕЙ НА ОСНОВЕ НАЗЕМНЫХ И ОРБИТАЛЬНЫХ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В.С. Ракитин, А.И. Скороход, Н.В. Панкратова,  
Ю.А. Штабкин, А.В. Ракитина

*vadim@ifaran.ru, askorokhod@mail.ru, yuryshtabkin@gmail.com,*

*n\_pankratova@list.ru*

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

**Ключевые слова.** *Атмосферная спектроскопия, спутниковые методы, Евразия, состав атмосферы, тренды.*

Для домена «Евразия» (0–180° в.д., 0–85° с.ш.) и для разных временных периодов и сезонов. анализируются тренды общего содержания (ОС) СО и СН<sub>4</sub>, а также аэрозольной оптической толщи АОТ. Результаты спутниковых наблюдений орбитальных спектрометров AIRS, MOPITT, MODIS/Terra/Aqua сопоставлены с аналогичными оценками, полученными на основе наземных спектроскопических измерений на станциях ИФА РАН (ЗНС, ZOTTO, Пекин), СПбГУ (Петергоф) и международной сети NDACC, расположенных в исследуемом домене. Установлено, что в мегаполисах Москва и Пекин отмечен спад содержания СО со скоростью 1,7-2,9%/год, в зависимости от города, сезона и анализируемого временного интервала. Эти данные подтверждаются оценками для других современных мировых мегаполисов. Среднегодовое ОС СО в фоновых районах Северной Евразии в период 2003–2017 гг. в целом убывало со скоростью до 1,8 %/год в зависимости от региона. Примерно с 2007-2008 гг. спад фонового СО замедляется во всем исследуемом домене, а в летние и осенние месяцы отмечен рост ОС СО в большинстве средне- и высокоширотных фоновых районов Европы и Азии. Если этот положительный тренд в Восточной Сибири отчасти может быть связан с эмиссиями от природных пожаров, то для Европы такой характер динамики состава атмосфера пока не нашел объяснения, поскольку в домене «Центральная Северная Евразия», 0-90° Е, 42- 75° N, эмиссии от пожаров снижались. Увеличение скорости роста ОС СН<sub>4</sub> после 2007 г. наблюдается, в основном, в тропических и субтропических регионах, а также в Северной Европе. Тренды АОТ и СО совпадают по направленности в большинстве урбанизированных районов (за исключением Европы), а также в районах наиболее интенсивных природных пожаров. Для большинства районов Евразии получены отрицательные тренды АОТ (0.2-2.0%/год, в зависимости от региона).

Положительная динамика трендов содержания СО после 2007 г. в ряде регионов Евразии не может быть объяснена антропогенными эмиссиями или ростом эмиссий от природных пожаров.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 18-55-53062 (анализ данных спектроскопических измерений ОС СО в Москве и Пекине), а также Российского Научного фонда, проект № 16-17-10275 (в части анализа трендов СО, СН<sub>4</sub> и АОТ, а также метеорологических условий в Московском регионе).*

## СОДЕРЖАНИЕ ОКИСИ УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ МОСКОВСКОГО МЕГАПОЛИСА

<sup>1</sup>В.С. Ракитин, <sup>1</sup>Н.Ф.Еланский, Н.В. Панкратова, <sup>1</sup>А.В. Джола,  
<sup>1</sup>А.В. Ракитина, <sup>1,2</sup>А.В. Шилкин, <sup>1,3</sup>Н.С. Кириллова, <sup>1</sup>Е.И. Гречко

*vadim@ifaran.ru*

<sup>1</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Россия, г. Москва

<sup>2</sup>НПО "Тайфун", Россия, г. Обнинск, Калужская область

<sup>3</sup>Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,  
Россия, г. Москва

**Аннотация.** Представлен анализ долговременных рядов наземных спектроскопических измерений общего содержания (ОС) окиси углерода в Москве, Московской и Калужской областях на станциях ИФА РАН (Москва, Звенигород) и измерений концентраций на высотной метеорологической мачте (ВММ) НПО «Тайфун» (Обнинск) за весь период измерений (для Москвы и Звенигорода – с 1972 г. по настоящее время). Приведены оценки трендов содержания СО и его антропогенной части для разных периодов, а также характеристики дневных и недельных циклов. Скорость уменьшения ОС СО в Москве в разные сезоны различна,  $-2.9 \pm 0.5\%/год$  для января-марта, и  $-1.5 \pm 0.2\%/год$  для июля-сентября (2000-2017 гг.). Уменьшение антропогенной части содержания СО в Москве в период 2005-2017 гг. происходило со скоростью  $6,8\%/год$ . В результате анализа долговременных изменений метеорологических условий установлено уменьшение среднегодовой длительности приземных температурных инверсий в январе-марте ( $-3,5\%/год$  для 2006-2015 гг.), и рост в июле-сентябре со скоростью  $5,4\%/год$ . Среднегодовое количество штилевых дней в 2005-2017 гг. уменьшалось со скоростью  $7,1\%/год$ , что свидетельствует о «климатическом вкладе» в улучшение качества воздуха в Москве.

Тренды ОС СО в Звенигороде (ЗНС, Звенигородская научная станция) в разные временные периоды, начиная с 1972 г., имели разную направленность. Начиная с начала нового тысячелетия в целом отмечается уменьшение фонового ОС СО ( $-1,3 \pm 0,8\%/год$ , ЗНС, период 1998-2018 гг.). Спад фонового ОС СО (Звенигород) после 2007 года замедлился; более того, в летние и осенние месяцы наблюдается рост фонового ОС СО со скоростью  $0,7-0,9\%/год$ . Установлено, что аналогичная тенденция (рост СО в осенние месяцы) наблюдается и в Обнинске (концентрации на уровнях 121 и 302 м). Т.е., несмотря на сокращение антропогенных эмиссий, и при отсутствии роста эмиссий от пожаров на Европейской территории России, в летние и осенние месяцы произошло увеличение фоновой составляющей ОС СО.

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

### Введение

Монооксид углерода СО не относится к парниковым газам, и в процессе изучения климатических изменений и их связи с изменениями состава

атмосферы, в последние годы ушел как бы на второй план. Однако, СО обладает рядом важных свойств, по которым его можно отнести к ключевым малым атмосферным примесям. В глобальном масштабе СО во многом определяет концентрацию радикала гидроксила ОН, как основного окислителя, а также приводит к разрушению важнейшего парникового газа озона в атмосфере [1-3], и таким образом, играет важную роль во всей атмосферной фотохимии.

Приземная концентрация монооксида углерода в городах является одним из важнейших параметров оценки качества воздуха, вследствие токсичности СО, а также из-за возможности образования опасных концентраций приземного озона при повышенных концентрациях СО и развитии фотохимического смога в крупных городах или в районах природных пожаров [3,4]. Общеизвестна связь эмиссий СО с выбросами других парниковых газов и загрязняющих примесей, таких как СО<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, аэрозоли [5,6]. Считается, что мощности глобальных природных и антропогенных эмиссий примерно сопоставимы. Основной антропогенный источник СО – это процессы горения, в том числе сжигание топлива. Одним из важнейших непостоянных источников СО служат природные пожары, выбросы от которых могут достигать 25% от глобальных эмиссий [7,8]. Основным природным источником атмосферного СО является окисление метана и неметановых углеводородов [2,3].

Многочисленные публикации свидетельствуют об уменьшении антропогенных выбросов некоторых парниковых газов и загрязняющих примесей (например, СО, NO<sub>x</sub> и аэрозолей, включая сажевый «black carbon», или ВС) в Европейских странах, а также в странах Юго-Восточной Азии, исключая Индию [9-12]. Москва в этом отношении не является исключением; примерно с начала нового века в городском воздухе наблюдается существенное уменьшение как общего содержания [6], так и приземных концентраций СО [13]. Отрицательные тренды содержания и приземных концентраций упомянутых примесей, отмеченные как в урбанизированных, так и в фоновых районах Северного полушария, в этих исследованиях связываются обычно с уменьшением антропогенных эмиссий.

Задачей данной работы являлось исследование долговременных изменений (трендов) содержания окиси углерода в Московском мегаполисе, а также анализ изменений метеорологических условий в городе и за его пределами. Полученные результаты свидетельствуют не только о сокращении антропогенных выбросов СО в атмосферу, но также и об увеличивающемся влиянии метеорологических процессов в городском слое перемешивания на качество городского воздуха.

#### **Методы исследований**

Для анализа вариаций общего содержания (ОС) СО в атмосфере Московского мегаполиса и окружающих его районов использовались результаты долговременных спектроскопических измерений в Москве (центр города, пункт ИФА РАН), а также в Московской области (Звенигородская научная станция, далее ЗНС, около 50 км к западу от ИФА), см. схему на рис. 1.

Измерения в обоих пунктах проводятся с помощью идентичных спектрометров среднего разрешения ( $0,2 \text{ см}^{-1}$ ) с использованием эффекта поглощения молекулами примеси солнечного излучения в области основной полосы поглощения CO (около  $4,67 \text{ Мкм}$ ). Измерения проводятся в солнечные дни (около 70-80 измерительных дней в год) и, как правило, синхронно в обоих пунктах, что позволяет определить т.н. «антропогенную часть содержания» как разницу между измеренными ОС CO в Москве (городской пункт) и на ЗНС (фоновый пункт). Все спектры, записанный с 1970 г. по настоящее время, обработаны единой методикой, подробно изложенной в [14].

Поскольку на измерения в Звенигороде иногда может влиять перенос загрязнений из Москвы, дополнительно проводились исследования этого влияния (см. ниже). Для определения направления переноса воздушных масс на разных уровнях использовалась интерактивная модель расчета обратных траекторий (NOAA HYSPLIT MODEL: [www.arl.noaa.gov/ready](http://www.arl.noaa.gov/ready)).

Кроме того, для исследования долговременных тенденций CO в незагрязненных районах использовались данные измерений концентраций на высотной метеорологической мачте (ВММ) НПО «Тайфун» (Обнинск). Были также проведены исследования межгодовых и долговременных вариаций скорости ветра в слое перемешивания, как в Обнинске (на уровнях 8, 121 и 301 м упомянутой ВММ), так и в Москве (данные дистанционного зондирования с помощью акустического локатора SODAR) и в г. Долгопрудный (город-спутник, вплотную примыкающий к территории Москвы, станция аэрологического зондирования № 27612). Кроме того, для оценки повторяемости штилевых дней были привлечены данные о скорости ветра на уровне 2 м на метеостанции ВДНХ.

Долговременные тенденции (тренды) анализировались в разные периоды наблюдения и разные сезоны). Тренды ОС CO и CH<sub>4</sub> для наземных пунктов вычислялись на основе среднесезонного (или среднегодового) значения ОС CO и CH<sub>4</sub> с последующим построением линейной регрессии, вычислением ее параметров и статистических характеристик. Все оценки трендов приведены с указанием 95% доверительного интервала.

## **Результаты и обсуждение**

### **1. Влияние заносов из Москвы и других дополнительных факторов на региональный фон (ЗНС)**

Москва является самым северным мегаполисом мира, который располагается на равнине и большую часть года хорошо проветривается воздушными потоками. Но иногда возникают ситуации, сопровождающиеся резким ухудшением качества воздуха. Неблагоприятные метеорологические условия (антициклоны, штили, температурные инверсии) способствуют накоплению антропогенных выбросов в атмосфере мегаполиса и последующему распространению загрязнений в окружающие районы. Звенигородская научная станция (ЗНС) расположена примерно в 50 км к западу от центра Москвы (см. рис. 1) в экологически чистом районе, и данные ЗНС о содержании CO могут быть использованы в качестве региональных фоновых характеристик. Однако, в случае направления ветра с востока ЗНС возможен

занос загрязнений из Москвы. На рисунке 2 (а, б), представлен анализ случаев заметного повышения среднедневных содержаний СО на ЗНС (более чем на 10 % над типичными значениями). Эти случаи объясняются влиянием разных факторов – заносы из Москвы, сельскохозяйственные выжигания, дальний перенос. Заносы из Москвы приводят к существенному (более чем на 10%) повышению ОС СО в ЗНС в 5-6% случаев от общего количества измерительных дней (в зависимости от выбранного периода).

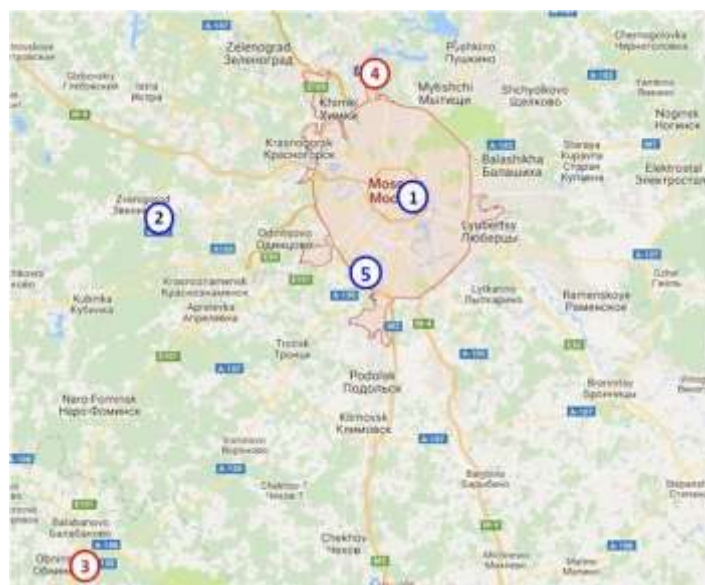


Рис. 1. Схема расположения научных станций: 1) Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва (измеряемые характеристики - ОС СО, СН<sub>4</sub>, Н<sub>2</sub>О; приземная концентрация ключевых загрязняющих газов и примесей); 2) Звенигородская научная станция ИФА РАН, Московская обл. (ОС СО, СН<sub>4</sub>, Н<sub>2</sub>О; приземная концентрация ключевых загрязняющих газов и примесей); 3) Обнинск, Калужская обл. (метеопараметры, концентрации СО на разных высотных уровнях); 4) Метеостанция ВДНХ (ВВЦ), Москва; 5) Метеорологическая обсерватория МГУ, Москва (метеопараметры, акустическое зондирование, приземная концентрация ключевых загрязняющих газов и примесей).

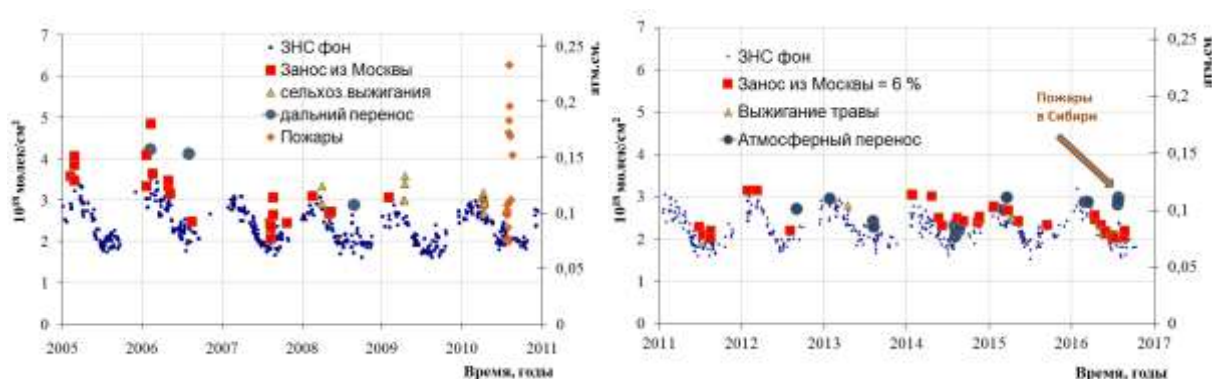


Рис. 2. Влияние дополнительных факторов на общее содержание СО в Звенигороде: а) 2005-2010 гг.; б) 2011-2016 гг.

Статистический анализ факторов, оказывающих влияние на содержание СО в Звенигороде в период 2011-2016 гг., приведен в таблице 1.

Таблица 1.

Факторы, влияющие на содержание СО в Звенигороде, период 2011-2016 гг.

Название фактора	Число случаев/ % от общего количества дней измерений
Дальний перенос	13/ 3,4
Занос из Москвы	24/ 6,4
Сельхоз. выжигания	3/ 0,1
<b>Общее кол-во измерений</b>	<b>377/100</b>

## 2. Содержание оксида углерода в Москве (ИФА РАН) и области (ЗНС): сезонные вариации, долговременные тенденции

Анализ межгодовых вариаций ОС СО в Москве указывает на уменьшение общего содержания СО в Москве в разные периоды и сезоны со скоростью от 1,5 до 2,9 %/год.

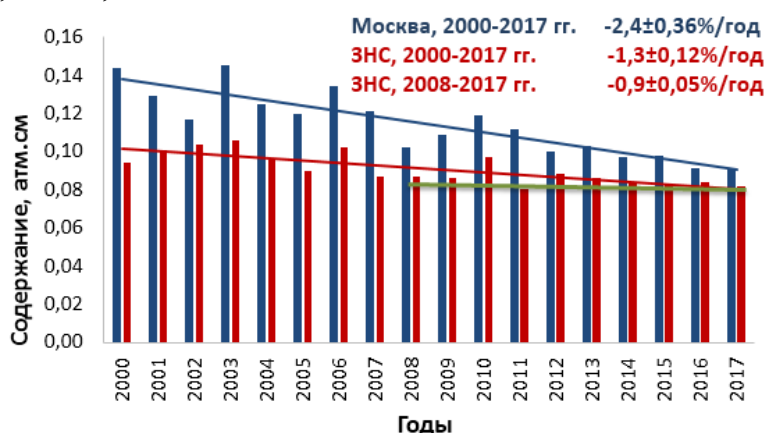


Рис. 3. Межгодовые вариации и тренды ОС СО в Москве и Звенигороде (ЗНС) 2000-2017 гг., среднегодовые значения.

На рисунках 4 и 5 представлены межгодовые вариации ОС СО в Москве и области (ЗНС) для холодного (январь-март) и теплого (июль-сентябрь) сезонов.

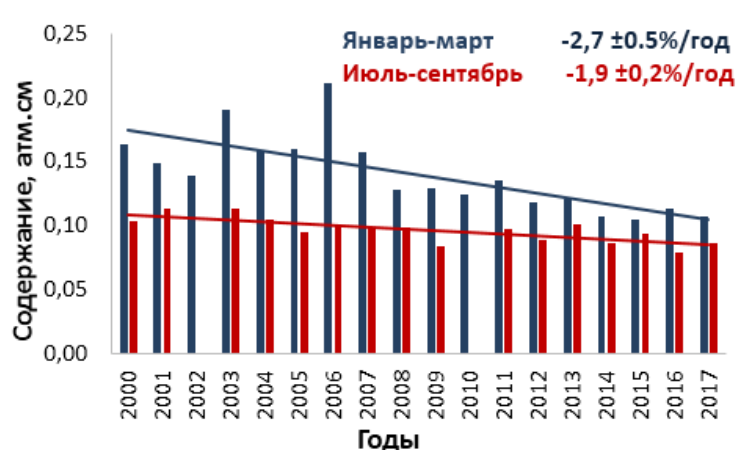


Рис. 4. Среднесезонное ОС СО в Москве и его тренды: январь-март и июль-сентябрь 2000-2017гг.





Рис. 5. Среднесезонное общее содержание CO в Звенигороде(ЗНС) и его тренды: январь-март и июль-сентябрь 2000-2017 гг.

Снижение ОС CO в Москве в период с 2000г. по 2017 г. свидетельствует, в первую очередь, о сокращении городских выбросов оксида углерода, и связано:

1. С закрытием промышленных предприятий в городе или переводом их за городскую черту;
2. С изменением состава автомобильного парка и улучшением качества автомобильных двигателей и автомобильного топлива, и ограничительными мерами правительства Москвы в отношении большегрузного транспорта.

3. Возможно также влияние т.н. «климатического фактора, связанного с улучшением условий удаления примесей из городского воздушного бассейна.

В то же время в Московской области (ЗНС) содержание CO уменьшается в зимние месяцы ( $-0,7 \pm 0,03\%/год$  в январе-марте и  $-0,9 \pm 0,04\%/год$  в апреле-июне 2008-2017 гг.), и растет в летние и осенние ( $0,9 \pm 0,07\%/год$  для июля-сентября 2008-2017 гг.). Это возрастание началось примерно с 2007-2008 года, см. рис. 5. Аналогичная тенденция (рост CO в летние и осенние месяцы) наблюдается и в Обнинске, где усредненные концентрации на уровнях 121 и 302 м снижаются со скоростью  $\sim 0,7\%/год$  для 2008-2017 гг.

Причины начала роста фонового CO полностью пока неясны. Эти причины, вероятно, связаны с разрастанием мегаполиса и увеличением транспортных потоков в области, а также (возможно) с увеличением влияния природных пожаров и дальним переносом загрязнений из районов пожаров в летние месяцы.

### 3. Влияние метеорологических условий на уровень загрязнения CO

Величина содержания CO в атмосфере Москвы зависит от скорости ветра и наличия температурных инверсий. В результате анализа метеоданных станции на ВДНХ (ВВЦ) в 2005-2017 гг. по скорости ветра, были выбраны дни, когда сумма скоростей ветра по 8 трехчасовым срокам наблюдений не превышала 3 м/с в сутки. Эти дни считались штилевыми. В среднем, в штилевой день происходит накопление ОС CO примерно на 12-15% в течение дня (см. рис. 6).

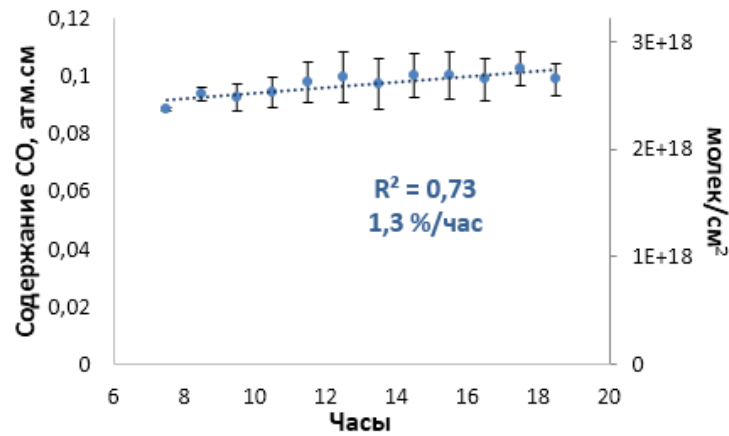


Рис. 6. Усредненный дневной ход ОС СО в штилевые дни 2011-2016 гг.

Ниже представлены характеристики повторяемости и продолжительности инверсий на территории Москвы в период 2006-2016 гг., полученные по результатам акустического зондирования в ИФА РАН. Общая повторяемость инверсий имеет тенденцию к увеличению, начиная с 2006 г. Однако, это увеличение (3,5%/год) характерно при вычислении среднегодовой продолжительности, т.е. для всех сезонов (т.н. годовое усреднение).

За весь период наблюдений 2006-2016 гг. также отмечен положительный тренд времени существования (или среднегодовой продолжительности) инверсий для Москвы ( $0,6 \pm 0,1$ ). Однако, в зимний период времени наблюдается уменьшение времени существования инверсий, то есть, улучшаются условия выноса примесей из приземного слоя городского воздуха именно в тот период, когда обычно фиксируются максимальные значения ОС СО [6]. В летний период, наоборот, наблюдается рост продолжительности инверсий, что означает ухудшение метеоусловий; однако, в этот период наблюдаются чаще всего минимальные уровни атмосферного загрязнения. Это отражено на рисунке 7.

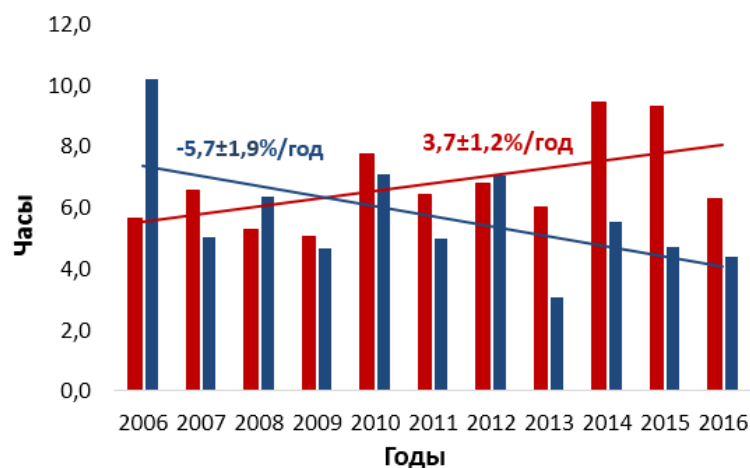


Рис. 7 Средняя продолжительность инверсий в 2006-2016 гг.: в холодный период (январь-март) и теплый период (июль-сентябрь)

Поскольку наиболее высокие значения концентрации содержания СО наблюдаются обычно в январе-марте (рис. 7), а направленность трендов продолжительности инверсий для сезонов отличается, то пока

преждевременно однозначно утверждать об улучшении условий выноса загрязнений из Московского воздушного бассейна. Необходимы дальнейшие исследования, в частности, получение информации о долговременных изменениях скорости и направлении ветра в регионе на разных уровнях.

Среднегодовое количество штилевых дней с 2005 по 2017 годы уменьшалось со скоростью около  $-7\%/год$  ( $-7,1\pm 2,6\%/год$ ) (Рис. 8), что свидетельствует о снижении повторяемости метеоусловий, благоприятствующих накоплению загрязнений в городском воздухе. В этот же период антропогенная часть содержания СО снизилась со скоростью  $6,8\%\pm 2,0\%/год$ .

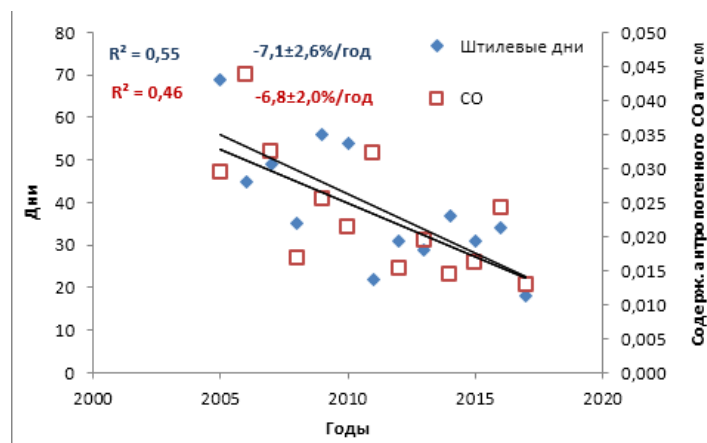


Рис 8. Повторяемость штилевых дней и антропогенная часть содержания СО в период 2005-2017 гг.

Таким образом, отрицательные тренды ОС СО в Москве могут быть частично объяснены не только уменьшением городских выбросов, но и уменьшением повторяемости неблагоприятных метеорологических условий.

### Выводы

1. Заносы из Москвы в Звенигород относительно редки и приводят к существенному (более чем на 10%) повышению общего содержания СО в ЗНС в 5-6 % случаев. Это обстоятельство позволяет использовать данные измерений ОС СО на ЗНС в качестве характеристик регионального фона.

2. Скорость уменьшения ОС СО в Москве в разные сезоны различна,  $-2,7\pm 0,5\%/год$  для января-марта, и  $-1,9\pm 0,2\%/год$  для июля-сентября (2000-2017 гг.). Возможно, это увеличение связано с интенсификацией хозяйственной деятельности и автомобильного движения в загородных районах, а также с разрастанием мегаполиса.

3. Отсутствие роста содержания и концентрации СО в Москве объясняется эффективностью мер, направленных на уменьшение выбросов автотранспорта, изменением качественного состава автомобильного топлива, а также сокращением выбросов промышленных предприятий, связанных с их перепрофилированием или закрытием и переводом за черту города.

4. Тренды ОС СО в Звенигороде (ЗНС, Звенигородская научная станция) в разные временные периоды, начиная с 1972 г., имели разную направленность. Начиная с начала нового тысячелетия в целом отмечается уменьшение фонового ОС СО ( $-1,3\pm 0,8\%/год$ , ЗНС, период 1998-2018 гг.).

Спад фонового ОС СО (Звенигород) после 2007 года замедлился; более того, в летние и осенние месяцы наблюдается рост фонового ОС СО со скоростью 0,4-0,6%/год. Установлено, что аналогичная тенденция (рост СО в летние и осенние месяцы) наблюдается и в Обнинске (концентрации на уровнях 121 и 302 м.

5. Вариации содержания СО в атмосфере Москвы зависят от скорости ветра и наличия температурных инверсий. В среднем, в штилевой день происходит накопление общего содержания СО примерно на 12-15 % в течение дня.

6. За весь период наблюдений 2006-2016 гг. также отмечен положительный тренд времени существования (или среднегодовой продолжительности) инверсий для Москвы. Однако, в зимний период времени наблюдается уменьшение времени существования инверсий, то есть, улучшаются условия выноса примесей из приземного слоя городского воздуха именно в тот период, когда фиксируются максимальные значения общего содержания СО. В летний период, наоборот, наблюдается рост продолжительности инверсий, что означает ухудшение метеоусловий.

7. Среднегодовое количество штилевых дней в 2005-2017 гг. уменьшалось со скоростью  $7,1 \pm 2,6\%$ /год, что свидетельствует в целом не только о сокращении антропогенных эмиссий, но также о «климатическом вкладе» в улучшение качества воздуха в Москве.

#### Список литературы

1. Novelli P. C., Masarie K. A., and Lang P. M, Distributions and Recent Changes in Carbon Monoxide in the Lower Troposphere // J. Geophys. Res., 1998, 103 (19), 015–033
2. Thompson A.M., Cicerone R.J. Possible Perturbations to Atmospheric CO, CH<sub>4</sub>, and OH // J. Geophys. Res., 1986, 91, D10, 10853–10864.
3. Jacob, D. J. (1999). Introduction to Atmospheric Chemistry, Princeton University Press, <http://acmg.seas.harvard.edu/people/faculty/djj/book/>
4. Khalil M.A.K., Pinto J.P., Shearer M.J. Preface Atmospheric carbon monoxide // Chemosphere: Global Change Science 1. 1999, V. 1, Issues 1–3, P. 1–375.
5. Wunch D., Wennberg P.O., Toon G.C., Keppel-Aleks, G., Yavin Y. G. Emissions of greenhouse gases from a North American megacity // GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS V. L15810
6. Голицын Г.С., Гречко Е.И., Ван Г. Ван П., Джола А.В., Емиленко А.С., Копейкин В.М., Ракитин В.С., Сафронов А.Н., Фокеева Е.В.. Исследование загрязнения Москвы и Пекина окисью углерода и аэрозолем // Изв. РАН, ФАО, 2015, №1, с.1–12.
7. Брасье Г., Соломон С. Аэрономия средней атмосферы, Л., Гидрометеиздат, 1987, 413 с
8. Yurganov L. N., Rakitin V., Dzhola A., August T., Fokeeva E., George M., Gorchakov G., Grechko E., Hannon S., Karpov A., Ott L., Semutnikova E., Shumsky R., and Strow L. Satellite- and ground-based CO total column observations over 2010 Russian fires: accuracy of top-down estimates based on thermal IR satellite data // Atmos. Chem. Phys., 2011, 11, 7925-7942
9. IPCC, Climate Change 2013, Working Group I, Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change, Fifth Assessment Report of Climate Change.
10. Pommier M., McLinden C. A., and Deeter M. Relative changes in CO emissions over megacities based on observations from space // GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 2013, V. 40, 1–6.

11. Dlugokencky E., Crotwell A., Masarie K., White J., Lang P., Crotwell M. NOAA measurements of long lived greenhouse gases // Asia-Pacific GAW Greenhouse Gases. Newsletter, KMA, 2013, 4, 6-9.
12. WMO/IGAC Impact of Megacities on Air Pollution and Climate, GAW report №205, 2012
13. Nikolai F. Elansky, Nikolai A. Ponomarev, Yaroslav M. Verevkin. Air quality and pollutant emissions in the Moscow megacity in 2005-2014 // Atmospheric Environment. V. 175. February 2018. P. 54–64.
14. Dianov-Klokov, V. I., Yurganov L. N., Grechko E. I. and Dzhola A.V. Spectroscopic measurements of atmospheric carbon monoxide and methane. 1: Latitudinal distribution // J.Atmos.Chem., 1989, V8, №2. P. 139–151.

## ОПАСНЫЕ ПОГОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В АРКТИКЕ

<sup>1,2</sup>И.А. Репина, <sup>1</sup>А.А. Шестакова, <sup>2,1</sup>М.И. Варенцов,

<sup>1</sup>Ф.А. Погарский, <sup>1</sup>Д.Г. Чечин

repina@ifaran.ru

<sup>1</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Россия, г. Москва,

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,

Россия, г. Москва

***Аннотация.** Береговая зона арктических морей севера Евразии становится объектом первоочередного внимания в связи с необходимостью создания производственной инфраструктуры по добыче, хранению и транспортировке полезных ископаемых, прежде всего, углеводородов. Но сокращение ледяного покрова Арктических морей предоставляет не только новые возможности, в частности, для повышения эффективности судоходства по Северному морскому пути, но и порождает новые проблемы. Экстремальные штормовые явления и сильные циклоны могут оказывать значительное влияние на инфраструктуру, сельское хозяйство, экосистемы и судоходство. Шторма, полярные мезоциклоны и морские льды создают опасность для судоходства, рыболовства, для объектов на шельфе морей.*

### **Введение**

Арктика и северные районы Евразии являются одним из наиболее чувствительных регионов к глобальным климатическим изменениям [1,2], где скорость роста температуры примерно в 2 раза выше, чем на всей планете в целом [2]. Рост температуры сопровождается изменениями других атмосферных переменных [3], в частности сокращением льда в Арктике [4,5], изменением гидрометеорологического режимов и изменениями облачного покрова [6,7].

В настоящее время Арктика привлекает повышенное внимание не только как регион с наиболее заметными климатическими изменениями, но и как мировая кладовая полезных ископаемых, перспективы разработки которых активно обсуждаются. Для России, владеющей основной частью арктического шельфа, Арктика является и перспективной торговой и транспортной артерией, так как в последние десятилетия открываются новые возможности использования Северного Морского пути.

Но климатические изменения могут привести и к не столь благоприятному исходу. Среди наиболее катастрофических последствий для прибрежных арктических районов: усиление эрозии крутых берегов, деградация уникальных прибрежных и морских экосистем, повреждение жилых зданий и технических сооружений, изменение топографии дна в результате эрозии. Климатические изменения в северной полярной области могут вызвать изменения в глобальной атмосферной циркуляции и меридиональном переносе тепла, что приведет к усилению циклонической активности в регионе. Увеличение площади морской поверхности свободной ото льда усиливает роль ветровых волн в Арктическом бассейне. Рост

наблюдаемых в регионе высот волн, обусловленный увеличением пространственных масштабов их генерации (разгона волн), несет в себе угрозу платформам по добыче углеводородов на континентальном шельфе, судам, идущим по Северному морскому пути или его участкам, а также береговым сооружениям, в том числе за счет увеличения скорости эрозии берега. Уменьшение продолжительности ледового сезона активизирует динамику льда, увеличивая его торосистость, и, в результате усиливается воздействие дрейфующих в ледяных полях торосистых образований на дно. Увеличение продолжительности динамически активного периода приводит к усилению воздействия волн на берег, что, несомненно, сказывается на динамике берегов, вызвав усиление их абразии. Воздействие этих катастрофических явлений может усугубляться возрастающей уязвимостью человеческого общества; например, Европа и Россия ставятся более уязвимыми с учетом растущей урбанизации, интенсивной разработки естественных ископаемых на Арктическом шельфе и в северных морях, и с увеличением морских транспортировок по северным морским путям.

### **Ветровой режим Арктики**

Катабатические ветра являются одним из основных климатообразующих факторов Арктических архипелагов (таких как Шпицберген, Новая Земля, Северная Земля) [8,9] и играют важную роль и в организации хозяйственной и исследовательской деятельности в этих регионах. Понимание движущих механизмов, формирующих ветровой климат Арктики, имеет ключевое значение для различных исследовательских и прикладных задач: регионального прогноза погоды, планирования промышленной деятельности и улучшения качества жизни местного населения. В частности, сильные и устойчивые приземные ветра в западной части Шпицбергена существенно влияют на океанские процессы и ледообразование [10] не только в окрестностях архипелага, но во всем атлантическом секторе Арктики [11]. Эти ветра являются движущей силой для океанской циркуляции и перемешивания, играющих значимую роль в биологических процессах в прибрежных районах [12,13]. Но сеть метеорологических станций, которые предоставляют информацию по климатологии ветра, довольно редка в Арктике. Исследования приземного ветра прибрежных районов Арктики основаны на качественных, но короткопериодных измерениях и поэтому недостаточны чтобы охарактеризовать ветровой климат региона, его вертикальную структуру и механизмы образования [8, 14-16]. Поэтому необходимо использование моделей высокого разрешения. Использование спутниковой информации для диагностики стоковых ветров, ареалов их распространения, взаимодействия с морской поверхностью представляет значительный интерес, но в настоящее время анализируется лишь на качественном уровне [17-19].

Частным случаем катабатических ветров являются подветренные бури. Подветренными бурями называются сильные ветра, которые формируются на подветренных склонах гор при строго определенном сочетании скорости и стратификации натекающего потока. Классическими примерами

подветренных бурь являются бора и фён. Лучше всего эти ветра изучены в густонаселенных районах мира и России – на Черноморском побережье Кавказа, на Адриатическом побережье, в Скалистых горах и Альпах. В полярных широтах большое внимание уделялось фёнам в Антарктиде [20]. В Арктике известны подветренные бури на Новой Земле, в Певеке (Чукотка) [21, 22], а также на некоторых склонах архипелага Шпицберген [23], однако степень их изученности значительно ниже. При этом их влияние на климат может быть значительно выше, чем у подветренных бурь, возникающих в умеренных и тропических широтах. Например, известно, что частые фёны на Шпицбергене приводят к ускоренному таянию ледников в теплое время года [24], а при новоземельской боре потоки тепла из океана в атмосферу возрастают в несколько раз по сравнению с обычными условиями [25], что должно приводить к охлаждению приповерхностного слоя воды и даунвеллингу.

Изменчивость скорости ветра в Арктике исследуется в большом количестве работ как по данным наблюдений наземных станций на островах и побережьях Арктики [26-28]. Второй оценочный доклад... (Wan et al. 2010, Hurrell et al. 2008), данных спутниковых альтиметров [29], так и по данным реанализов [30-34]. Для будущего климата рассматривается изменение средних и экстремальных значений скорости ветра по данным моделей CMIP5 [35, 36].

Оценки текущего изменения скорости ветра и высоты волнения в Арктике очень сильно разнятся при рассмотрении разных периодов, сезонов, регионов и источников данных. Согласно Второму оценочному докладу Росгидромета, на фоне общего уменьшения скорости ветра на территории России, слабые положительные тренды на станциях отмечаются лишь на Новой Земле, Северной Земле и севере Таймыра, а весной и на северо-западе Чукотки. Однако число дней со скоростью ветра более 15 м/с на берегу Северного Ледовитого океана сильно уменьшилось (на 10-20% за декаду). Для акваторий российских арктических морей также проводился анализ трендов метеорологических параметров по данным GLDAS за 1979-2011 гг [31], который выявил отрицательный тренд в море Лаптевых, Белом море и особенно сильный в Восточно-Сибирском море, в то время как в Чукотском и особенно Баренцевом море тренд скорости ветра положительный. На побережье канадской Арктики тренды скорости ветра по данным наблюдений на станциях положительные, в отличие от континентальной части Канады, где скорость значительно уменьшается в последние 60 лет [27]. Такая картина распределения трендов близка к той, что получена для территории России [26].

### **Полярные мезоциклоны**

Полярными мезоциклонами называют интенсивные мезомасштабные вихри, которые образуются в высоких широтах, как правило, в холодный период года. Образование ПМЦ часто происходит в условиях вторжения холодной воздушной массы со льда на открытую относительно теплую морскую поверхность [37]. Их размеры относительно невелики и составляют от сотни до тысячи километров (характерный масштаб 200–600 км.), а время



жизни изменяется от нескольких часов до нескольких суток. Интерес к их исследованию объясняется тем, что МЦ имеют взрывной характер формирования и вызывают экстремальные погодные явления (штормовые волнение и ветер, обледенение судов и сооружений, снежные заряды с ухудшением видимости). Очаги формирования полярных мезоциклонов существуют в высоких широтах как северного, так и южного полушарий [38]. В Северном полушарии основные районы их распространения: моря Бофорта, Норвежское [39], Баренцево [40], Гренландское, Лабрадор [41] Охотское и Берингово моря [42], залив Аляска [43], также они наблюдаются в Японском море, расположенном значительно южнее основных районов мезоциклогенеза в Атлантическом и Тихом океанах [44]. В последние годы, в связи с уменьшением площади ледяного покрова и увеличением продолжительности безледного сезона в морях Восточной Арктики, полярные мезоциклоны стали образовываться и там, где ранее практически не наблюдались: над Карским, Восточно-Сибирским морями и морем Лаптевых [45].



Рис. 1. Формирование полярного мезоциклона на фоне холодного вторжения.  
Данные MODIS, 7 марта 2013 года.

В связи с небольшим размером и малым временем жизни полярных мезоциклонов, их обнаружение и анализ на основе синоптической информации крайне затруднены, а в большинстве случаев просто невозможны из-за низкой плотности сети метеорологических наблюдений в полярных широтах. По этой причине для изучения полярных мезомасштабных вихрей часто используются данные дистанционного зондирования Земли из космоса – в первую очередь, спутниковые снимки видимого диапазона, на которых полярные мезоциклоны обычно видны как спирали и запятыя в облачных полях, хотя встречаются и более сложные облачные структуры мезовихрей [46] (Рис.1). Наиболее полную информацию дает мультиспектральный подход к анализу данных спутникового зондирования, позволяющий использовать данные приборов, работающих в различных диапазонах электромагнитного спектра [42, 45, 47]. Использование спутников, оснащенных активными и пассивными микроволновыми приборами, обладающих более высоким

разрешением и широкой полосой обзора, значительно расширило возможности, связанные с получением информации о полярных мезовихрях.

Тем не менее, спутниковые данные имеют неравномерное в пространстве и времени покрытие территории, а также неоднородность временных серий наблюдений различных спутников и приборов, вследствие чего они плохо подходят для применения формализованных алгоритмов идентификации и анализа полярных циклонов, в частности, в задачах изучения их климатологии и трендов ее изменения. Гораздо лучше для подобных задач подходят регулярные сеточные данные – различные реанализы, или же результаты регионального климатического моделирования [48]. Но современные глобальные реанализы имеют пространственное разрешение недостаточное для корректного воспроизведения полярных циклонов [49].

В настоящее время предполагается, что существует четыре основных механизма, которые могут определять развитие полярных мезоциклонов (ПМЦ). Это конвективная неустойчивость [43], в том числе вызванная интенсивным обменом теплом поверхности с атмосферой под действием ветра (WISHE), бароклинная неустойчивость, термическая неустойчивость, вызванная выделением скрытого тепла конденсации в средней тропосфере (CISK), динамическая неустойчивость, вызванная аномалией потенциального вихря на уровне тропопаузы.

При оценке роли этих механизмов, большинство исследований в настоящее время опираются на данные спутникового зондирования с высоким разрешением или данные численного моделирования гидродинамическими мезомасштабными моделями. Количественная оценка вклада каждого из факторов для реальных циклонов затруднена, что мотивирует гидродинамическое моделирование идеализированных случаев, когда подобные оценки можно произвести явно.

Воспроизведение полярных мезоциклонов в рамках современных гидродинамических моделей атмосферы технически не является проблемой. Современный уровень вычислительных технологий и проведение численных экспериментов с региональными моделями атмосферы с горизонтальным шагом сетки порядка первых километров [50, 51], позволяющим разрешать мезомасштабные процессы в атмосфере и, в частности, полярные мезоциклоны. При этом даже увеличение шага сетки с 75 км (в реанализе ERA-Interim) до 30 км (в Arctic System Reanalysis) значительно повышает качество воспроизведения полярных мезоциклонов [52].

Однако формальная возможность воспроизведения подобных объектов при повышении шага сетки является необходимым, но недостаточным явлением для их успешного прогноза. Немногочисленные работы, посвященные оценке качества воспроизведения подобных явлений в рамках региональных мезомасштабных моделей атмосферы, показали высокую чувствительность результатом моделирования к настройкам модели, используемым параметризациям и конфигурации численных экспериментов.

## Морское волнение

По спутниковым данным с конца 1970\_х годов отмечается значительное сокращение площади арктических морских льдов (<http://nsidc.org/>). От тенденций изменений для морских льдов зависят перспективы использования основных арктических транспортных систем, в частности Северного морского пути, эффективность рыболовства и шельфовых разработок [53-55]. При уменьшении покрытия Арктического бассейна морскими льдами следует ожидать усиления интенсивности морского волнения в связи с увеличением длины разгона волн. Уровень волнообразования зависит от ветровой активности в атмосфере, длины волны, сплоченности льда, размера ледовых полей. Рост наблюдаемых в регионе высот волн, обусловленный увеличением пространственных масштабов их генерации (разгона волн), несет в себе угрозу платформам по добыче углеводородов на континентальном шельфе, судам, идущим по Северному морскому пути или его участкам, а также береговым сооружениям, в том числе за счет увеличения скорости эрозии берега. Особую важность представляет и взаимодействие ветровых волн с морским льдом. При штормовых ветрах возможно развитие сильного волнения, способного разрушить лед и сместить границы кромки льда на тысячи километров, образовав тем самым положительную обратную связь, еще больше увеличив доступный для волн масштаб разгона. (см. Рис. 2 с примером ледовых условий летом 2012 г.). В частности, в районе Чукотского моря и моря Бофорта по описанному сценарию в августе 2012 г. площадь ледового покрова сократилась на  $10^6$  км<sup>2</sup> за 4 суток в результате воздействия ветровых волн, образовавшихся при прохождении через район двух циклонов [56].

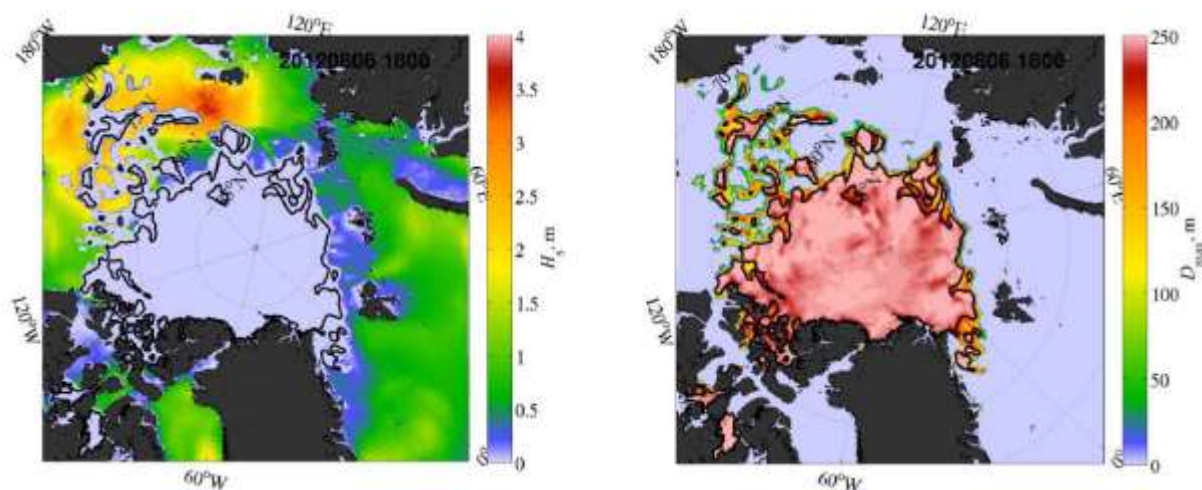


Рис. 2. Результат летнего шторма 2012 г. из прогностической системы TOPAZ. Прогноз волнения был выполнен из модели Global WAVEWATCH III. Левый рисунок показывает предсказанную значимую высоту волн (волн выше 4 м. не наблюдается), сплошная линия показывает границу сплошного льда. Правый рисунок показывает прогноз максимальных размеров ледяных полей, образовавшихся в результате разрушения льда волнами. Сплошная линия та же, что и на левом рисунке и обозначает границу льдин больших 250 м. Наибольшее количество разрушенных льдин наблюдается в тихоокеанском секторе.

Моделирование взаимодействия морского волнения и льда имеет давнюю историю [57]. В настоящее время наибольшие ошибки в

моделировании морского волнения наблюдаются в прикромочных зонах. После ветра в Арктике морской лед и айсберги играют наиболее важную роль в формировании морского волнения. Попытки включить лед в модели морского волнения были и раньше, например, для описания диссипации зыби [58]. Данные дистанционного зондирования также используются для валидации модели в прикромочных зонах. В используемой в настоящее время версии глобальной модели прогноза волнения WAVEWATCH, границы морского льда задаются из прогностической модели (ECMWF), которая основана на грубом разрешении (25 км) данных по морскому льду со спутников SSM/I.

В работе [26], где рассматривается климатология и тренды высоты волны и скорости ветра по данным альтиметров в летние месяцы в период 1996-2015 гг., в целом отмечается положительный тренд средних и экстремальных значений высоты волн для большей части морей Арктики, а также для экстремальных значений (90 и 99 перцентиль) скорости ветра.

### **Заключение**

Проведенный в статье анализ показывает большую вероятность возрастания частоты повторяемости опасных гидрометеорологических явлений в Арктике при современных изменениях климата. В особенности, при уменьшении площади ледяного покрова. Согласно модельным оценкам, при антропогенных сценариях отступление морского льда в Арктике будет продолжаться и дальше, что может существенно продлить сезон морской навигации и приблизить перспективу использования новых высокоширотных маршрутов для судоходства. В последние годы, признавая важность и необходимость развития Северного морского пути, Правительство РФ приняло ряд государственных программ, предусматривающих дальнейшее развитие и освоение арктического региона и его континентального шельфа, базовое инвестирование в объекты транспортной и логистической инфраструктуры в акватории российского участка СМП, строительство новых атомных ледоколов, использование новых технологий и экологической защиты для использования в районах Арктики и Крайнего Севера. При этом климатические изменения несут в себе как негативное, так и позитивное влияние - важен учет и оценка рисков.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 18-05-80065-опасные явления.*

### **Список литературы**

1. ACIA. 2005. Arctic climate impact assessment. Cambridge: Cambridge University Press.
2. IPCC. 2014. Summary for policymakers. In Climate change 2014: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, ed. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M. Midgley. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
3. Serreze M.C., Barry, R.G. 2011. Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis // Global and Planetary Change. 2011. V. 77(1-2). P. 85-96.

4. Stroeve J., Holland M.M., Meier W., Scambos T., Serreze M. Arctic sea ice decline: Faster than forecast // *Geophysical research letters*. 2007. V. 34(9).
5. Liu Y., Key J.R., Wang X. Influence of changes in sea ice concentration and cloud cover on recent Arctic surface temperature trends // *Geophysical Research Letters*. 2009. V. 36(20).
6. Wang X., Key J.R. Arctic surface, cloud, and radiation properties based on the AVHRR Polar Pathfinder dataset. Part I: Spatial and temporal characteristics // *Journal of Climate*. 2005. V. 18(14). P.2558-2574.
7. Eastman R., Warren S.G. Interannual variations of Arctic cloud types in relation to sea ice // *Journal of Climate*. 2010. V. 23(15). P.4216-4232.
8. Esau I., Repina I. Wind climate in Kongsfjorden, Svalbard, and attribution of leading wind driving mechanisms through turbulence-resolving simulations // *Adv. Meteorol.* 2012. P. 568454, 16 p.
9. Gorter W., Van Angelen J.H., Lenaerts J.T., Van den Broeke M.R. Present and future near-surface wind climate of Greenland from high resolution regional climate modelling // *Climate dynamics*. 2014. V. 42(5-6). P. 1595-1611.
10. Geyer F., Ferand I., Smedsrud L.H. Structure and forcing of the overflow at the Storfjorden sill and its connection to the Arctic coastal polynya in Storfjorden // *Ocean Science*. 2010. V. 6, No. 1. P. 401–411.
11. Sandvik A.D., Furevik B.R. Case study of a coastal jet at Spitsbergen - comparison of SAR- and model-estimated wind // *Monthly Weather Review*. 2002. V. 130, No. 4. P. 1040–1051.
12. Sundfjord A., Albrechtsen J., Kasajima Y., Skogseth R., Kohler J., Nuth C., Skarðhamar J., Cottier F., Nilsen F., Asplin L., Gerland S. Effects of glacier runoff and wind on surface layer dynamics and Atlantic Water exchange in Kongsfjorden, Svalbard; a model study // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2017. V. 187. P. 260-272.
13. Noufal K.K., Najeem S., Latha G., Venkatesan R. Seasonal and long term evolution of oceanographic conditions based on year-around observation in Kongsfjorden // *Arctic Ocean, Polar Science*. 2017. V. 11. P.1-10.
14. Argentini S., Viola A.P., Mastrantonio G., Maurizi A., Georgiadis T., Nardino M. Characteristics of the boundary layer at Ny-Alesund in the Arctic during the ARTIST field experiment // *Annali di Geofisica*. 2003. V. 46, No. 2. P. 185–196.
15. Biene H.J., Argentini S., Maurizi A., Mastrantonio G., Viola A. The local wind field a Ny-Alesund and Zeppelin mountain at Svalbard // *Meteorol. Atmos. Phys.* 2001. V. 78. P. 107-113.
16. Репина И.А, Иванов Б.В, Кузнецов Р.Д. Режим ветра над ледниковыми склонами (по данным измерений на архипелаге Шпицберген) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2009. Т. 6(2). С. 180-187.
17. Bromwich D.H., Carrasco J.F. Satellite observations of katabatic wind propagation for Great distances across the Ross ice shelf // *Month. Whether Rev.*, 1992. V. 120. P. 1940-1949.
18. Li X., Zheng W., Pichel W.G., Zou C.Z., Clemente-Colón P. Coastal katabatic winds imaged by SAR // *Geophysical research letters*. 2007. V. 34(3). L03804.
19. Oltmanns M., Straneo F., Moore G.W., Mernild S.H. Strong downslope wind events in Ammassalik, southeast Greenland // *Journal of Climate*. 2014. V. 27(3). P. 977-993.
20. Steinhoff D. F., Bromwich D. H., Monaghan A. Dynamics of the foehn mechanism in the McMurdo Dry Valleys of Antarctica from Polar WRF // *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 2013. V. 139, №. 675. P. 1615-1631.
21. Шестакова А.А. Волновое сопротивление при подветренных бурях в разных регионах России по результатам моделирования // *Метеорология и гидрология*. 2018. No.3. С. 98–104.
22. Шестакова А. А. Новоземельская бора: подветренные характеристики и структура натекающего потока // *Арктика и Антарктика*. 2016, . No.2. С. 11–22.

23. Maciejowski W., Michniewski A. Variations in weather on the east and west coasts of South Spitsbergen, Svalbard // *Polish Polar Research*. 2007. V. 28, issue 2. P. 123-136.
24. Majchrowska E., Ignatiuk D., Jania J., Marszałek H., Wąsik M. Seasonal and interannual variability in runoff from the Werenskioldbreen catchment, Spitsbergen // *Polish Polar Research*. 2015. V. 36(3). P. 197-224.
25. Moore G. W. K. The Novaya Zemlya Bora and its impact on Barents Sea air-sea interaction // *Geophysical Research Letters*. 2013. V. 40(13). P. 3462-3467.
26. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Алексеев, Г. В., Ананичева, М. Д., Анисимов, О. А., Ашик, И. М., Бардин, М. Ю., Богданова, Э. Г. и др. Государственный научный центр Российской Федерации "Арктический и антарктический научно-исследовательский институт" Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. 2014.
27. Wan H., Wang X.L., Swail V.R. Homogenization and trend analysis of Canadian near-surface wind speeds // *Journal of Climate*. 2010. V. 23(5). P. 1209-1225.
28. Hundecha Y., St-Hilaire A., Ouarda T.B.M.J., El Adlouni S., Gachon P. A nonstationary extreme value analysis for the assessment of changes in extreme annual wind speed over the Gulf of St. Lawrence, Canada // *Journal of applied meteorology and climatology*. 2008. V. 47(11). P. 2745-2759.
29. Liu Q., Babanin A.V., Zieger S., Young I. R., Guan C. Wind and wave climate in the Arctic Ocean as observed by altimeters // *Journal of Climate*. 2016. V. 29(22). P. 7957-7975.
30. Суркова Г.В., Соколова Л.А., Чичев А.Р. Многолетний режим экстремальных значений скорости ветра в Баренцевом и Карском морях // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2016. Т.5. С. 53-58.
31. Костяной, А. Г., Гинзбург, А. И., Лебедев, С. А. Климатическая изменчивость гидрометеорологических параметров морей России в 1979-2011 годах // *Труды Главной геофизической обсерватории им. АИ Воейкова*. 2014. Т. 570. С. 50-87.
32. Hughes M., Cassano J.J. The climatological distribution of extreme Arctic winds and implications for ocean and sea ice processes // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2015. V. 120(15). P. 7358-7377.
33. Stopa J.E., Cheung K.F., Tolman H.L., Chawla A. Patterns and cycles in the climate forecast system reanalysis wind and wave data // *Ocean Modelling*. 2013. V. 70. P. 207-220.
34. Wang X.L., Feng Y., Swail V.R., Cox A. Historical changes in the beaufort–chukchi–bering seas surface winds and waves, 1971–2013 // *Journal of Climate*. 2015. V. 28(19). P. 7457-7469.
35. Суркова Г.В., Крылов А.А. Изменения средних и экстремальных скоростей ветра в Арктике в конце XXI века // *Арктика и Антарктика*. 2018. Т. 3. С. 23-36.
36. Dobrynin M., Murawsky J., Yang S. Evolution of the global wind wave climate in CMIP5 experiments // *Geophysical Research Letters*. 2012. V. 39(18).
37. Rasmussen E.A., Turner J. *Polar lows*. Cambridge: Cambridge University press, 2003.
38. Turner J., Lachlan-Cope T., Thomas J. A comparison of Arctic and Antarctic mesoscale vortices // *J. Geophys. Res.* 1993. V. 98. P. 13019-13034.
39. Wilhelmsen K. Climatological study of gale-producing polar lows near Norway // *Tellus*. 1985. V. 37A. P. 451–459.
40. Rasmussen E. A case study of a polar low development over the Barents Sea // *Tellus*. 1995. V. 37A. P. 407–418.
41. Mailhot J., Hanley D., Bilodeau B., Hertzman O. A numerical case study of a polar low in the Labrador Sea // *Tellus*. 1996. V. 48A. P. 383–402.
42. Гурвич И.А., Митник Л.М., Митник М.Л. Мезомасштабный циклогенез над дальневосточными морями: исследование на основе спутниковых микроволновых радиометрических и радиолокационных измерений // *Исследование Земли из космоса*. 2008. №. 5. С. 58-73.

43. Businger S. The synoptic climatology of polar-low out-breaks over the Gulf of Alaska and the Bering Sea // *Tellus*. 1987. V.39A. P.307–325.
44. Yanase W., Niino H., Watanabe S.I.I., Hodges K., Zahn M., Spengler T., Gurvich I.A., Climatology of polar lows over the Sea of Japan using the JRA-55 reanalysis // *Journal of Climate*. 2016. V. 29. P. 419-436.
45. Заболотских Е.В., Гурвич И.А., Шапрон Б. Новые районы распространения полярных циклонов в Арктике как результат сокращения площади ледяного покрова // *Исследование Земли из космоса*. 2015. № 2. С. 64–77.
46. Мохов И.И., Акперов М.Г., Лагун В.Е., Луценко Э.И. Интенсивные арктические мезоциклоны // *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*. 2007. Т.43, № 3. С. 291-297.
47. Заболотских Е.В., Митник Л.М., Бобылев Л.П. Сравнительная оценка существующих и перспективных методов исследования в области мониторинга и прогнозирования мезо-масштабных циклонических вихрей, включая полярные циклоны // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2010. Т. 7. № 3. С. 23-29.
48. Zahn M., von Storch H. A longterm climatology of North Atlantic polar lows // *Geophys. Res.Lett.* 2008. V. 35. № 22.
49. Варенцов М.И., Веземская П.С., Заболотских Е.В., Репина И.А. Оценка качества воспроизведения полярных мезоциклонов по данным реанализов и результатам регионального климатического моделирования // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2016. Т. 13. № 4. С. 168–191.
50. Clark P., Roberts N., Lean H., Ballard S.P., Charlton-Perez C. Convection-permitting models: A step-change in rainfall forecasting // *Meteorol. Appl.* 2016. V. 23. № 2. P. 165–181.
51. Prein A.F., Langhans W., Fosser G., Ferrone A., Ban N., Goergen K., Keller M., Tölle M., Gutjahr O., Feser F., Brisson E., Kollet S., Schmidli J., Lipzig N.P.M. Van, Leung R. A review on regional convection-permitting climate modeling: Demonstrations, prospects, and challenges // *Rev. Geophys.* 2015. V. 53. № 2. P. 323–361.
52. Smirnova J., Golubkin P. Comparing polar lows in atmospheric reanalyses: Arctic System Reanalysis versus ERA-Interim // *Monthly Weather Review*. 2017. V. 145. №. 6. P. 2375-2383.
53. Мохов И.И., Семенов В.А., Хон В.Ч., Погарский Ф.А. Изменения распространения морских льдов в Арктике и связанные с ними климатические эффекты: диагностика и моделирование // *Лед и снег*. 2013. № 2 (122). С. 53-62.
54. Хон В.Ч., Мохов И.И. Климатические изменения в Арктике и возможные условия арктической морской навигации в XXI веке // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2010. Т.46. № 1. С. 19-25.
55. Khon V.C., Mokhov I.I., Latif M., Semenov V.A., Park W. Perspectives of Northern Sea Route and Northwest Passage in the 21st century // *Climatic Change*. 2010. P. 757-768.
56. Parkinson C. L., Comiso J. C. On the 2012 record low Arctic sea ice cover: Combined impact of preconditioning and an August storm // *Geophys.Res.Lett.* 2013. 40(7). P.1356-1361.
57. Ardhuin F., Marié L., Rasclé N., Forget P., Roland A. Observation and estimation of Lagrangian, Stokes, and Eulerian currents induced by wind and waves at the sea surface // *Journal of Physical Oceanography*. 2009. V. 39(11). P. 2820-2838.
58. Squire V.A. Of ocean waves and sea-ice revisited // *Cold Regions Science and Technology*. 2007. V. 49(2). P.110-133.

## **АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ РЕЛЬЕФА И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ**

**Ф.А. Романенко, А.Л. Гуринов, Т.Ю. Репкина, Е.А. Еременко,  
А.В. Бредихин**

*eremenkoeaig@gmail.com*

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

Арктическая зона России – область сравнительно недавнего активного хозяйственного освоения. Хотя первые поселения появились здесь несколько тысячелетий назад, а заметное антропогенное воздействие на природные геосистемы началось на небольших участках в XV веке, но лишь в XX веке оно охватило значительные территории. Тем не менее, даже сегодня, на более чем 85% площади Арктики отсутствует постоянное население, и природопользование сводится к пастбищному хозяйству или отсутствует вовсе. Но на немногих 15 % развиты самые разнообразные типы хозяйственной деятельности (добыча полезных ископаемых, переработка и транспорт углеводородного сырья, строительство поселений, обрабатывающая промышленность и пр.). Природные геосистемы арктической зоны чрезвычайно уязвимы к любому антропогенному воздействию, что связано, прежде всего, с длительностью их восстановления, а также с присутствием здесь особого природного образования – многолетней мерзлоты. До начала активной хозяйственной деятельности арктическим районам был присущ определенный спектр геоморфологических процессов, среди которых ведущую роль играли криогенные. С приходом человека спектр процессов существенно трансформировался, причем, в зависимости от геоморфологических условий конкретного района, эти изменения существенно различаются. Существенным фактором трансформации природных геосистем стало появление антропогенного рельефа и так называемых «рельефоидов» [5]. Взаимоотношения созданного человеком рельефа и окружающей среды, особенно в Арктике, остаются пока слабо изученными. Далеко не везде антропогенное воздействие продолжается, и там, где оно прекратилось, антропогенный рельеф продолжает развиваться под влиянием природных факторов. Степень и характер трансформации естественных процессов рельефообразования в районах освоения и развитие антропогенного рельефа во взаимосвязи с естественным геоморфологическим режимом территории зависят от двух важных факторов: типа хозяйствования (определяет специфику создаваемых форм рельефа и рельефоидов, скорости и направленность изменения естественных процессов) и геоморфологических условий (рельефа и естественных процессов рельефообразования). Арктика весьма мозаична с точки зрения распределения указанных факторов, в том числе, в связи с разным возрастом районов хозяйственного освоения. Поэтому особый интерес приобретает исследование антропогенного преобразования



рельефа самых старых районов освоения, например, окрестностей посёлка Чупа на севере Карелии.

Чупинский горный район – один из старейших регионов добычи полезных ископаемых на севере России. Он возник в XVI веке (Дедовская шахта) и служил ареной активных горных работ до середины 2000-х гг. (с продолжительным перерывом в XVIII-XIX вв.). Поэтому здесь сформировался обширный комплекс разнообразных форм антропогенного рельефа, наложенный на естественную поверхность и заметно осложнивший облик природных ландшафтов. Чупинский горный район занимает участок Прибеломорской равнины и мелкосопочника между Нильмогубой на севере и Лоухским озером на юге. С востока естественной границей района служит побережье Кандалакшского залива Белого моря (Карельский берег), с запада – трасса автомобильной дороги Р-21 «Кола» (бывшая М-18) Санкт-Петербург-Мурманск. Крупнейший населённый пункт и столица горного района – посёлок Чупа.

Рельеф района - цокольная волнистая или увалистая структурно-денудационная равнина, в западной части – холмисто-грядовая ледниковая равнина (основной морены) с крупными болотными массивами [1]. Над ней господствуют отдельные холмы и увалы, традиционно называемые здесь «горами» (безымянная сопка с абсолютной отметкой 170 м к западу от с. Тэдина, горы Ругозерская – 103 м, Новоселы – 102,7 м, Гирвасбор – 68,5 м и др.). Мощность четвертичного покрова невелика, часто не более 1-2 м. Скальный цоколь образован разными видами гнейсов и амфиболитов позднего архея, пронизанными интрузиями основных и ультраосновных пород возрастом от протерозоя до среднего палеозоя. Архейские комплексы содержат линзы, дайки и жилы пегматитов кварц-полевошпатового состава, нередко с большим количеством мусковита. Именно эти мусковитовые пегматиты стали основным объектом горных работ и с XVI века в Западную Европу пошёл поток светлой слюды, использовавшейся в первую очередь для окон. Она получила название «мусковит» именно потому, что поступала в Европу из Московии.

Горные работы интенсивно велись в XVI – начале XVIII в. и были прекращены по приказу Петра I. Выработки заросли густым лесом и в настоящее время на местности почти не видны. Пегматитовое сырьё для фарфоровой промышленности экспортировалось позднее из Скандинавии [4].

После 1917 г. вновь встал вопрос об использовании значительных запасов кварц-полевошпатового и слюдяного сырья. Немалую роль в возобновлении геологических разведок сыграл А. Е Ферсман, посещавший здесь еще до революции месторождения беломорита («Воспоминания о камне»), а в 1920-23 гг. руководивший геологическими работами в сравнительно недалеко расположенных Хибинских и Ловозерских тундрах.

Главным энтузиастом возобновления добычи в Чупинском районе выступил профессор Петр Алексеевич Борисов (1877-1963). Он провёл детальные разведочные работы на крупном месторождении Панфилова Варака (сопка высотой 75,1 м) на берегу Нильмогубы [2], где и началась добыча. В

1922 г. был создан Чупинский ГОК (ГОК «Карелслюда»), в 1934 г. – Союзслюдкомбинат. Лоухское, Чупинское, Хетоламбинское рудоуправления эксплуатировали крупные месторождения керамических и слюдяно-керамических пегматитов имени Чкалова, Попов Наволок, 8 Марта, Черная Салма, Кривое озеро, Хетоламбино и др. Добывалось до 40-60 тыс. тонн сырья в год, значительная часть шла на экспорт в Германию в Мейсен на знаменитый фарфоровый завод.

Расцвет предприятия пришёлся на 1940-80е гг., и до начала XXI в. оно было градообразующим предприятием пос. Чупа. На экспорт во многие страны шли разные виды кварц-полевошпатового сырья, мусковит и молотый пегматит для керамической, радиоэлектронной и электротехнической промышленности. Чупинская слюда обладала высоким качеством и сравнительно низкой себестоимостью, так как добыча велась главным образом с поверхности. Приповерхностные месторождения, как правило, образованные небольшими жилами и дайками, быстро вырабатывались, поэтому велась широкомасштабная разведка, с 1946 г. осуществлявшаяся Северной геологоразведочной экспедицией. Именно к эпохе советского освоения относится появление в северо-западном Беломорье большей части антропогенного рельефа, сохранившегося до настоящего времени.

В 1968 г. введена в строй Чупинская помольно-обогажительная фабрика (ПОФ), основной сырьевой базой которой являлись пегматитовые месторождения Северной Карелии. Она оставалась единственной в СССР, производившей молотое кварц-полевошпатовое сырье для производства хозяйственного фарфора и электроизоляторов. Несмотря на её небольшую мощность, сырья не хватало, и мощности фабрики загружались за счёт других районов Карелии. Добывались также кусковой микроклиновый пегматит, кусковой микроклин для глазурей и кварц [4]. Так, на старейшем (добыча с 1924 г.) месторождении Хетоламбино, состоящем из восьми участков, к середине 1970-х гг. было добыто 32,7 тыс. т микроклина, 208,9 тыс. т микроклинового пегматита, 17,6 тыс. т кварца и 4,1 тыс. т мусковита (крупнейший в СССР производитель этой слюды). Но к концу XX века значительная часть месторождений была выработана, и прироста запасов не хватало в новых экономических условиях. Закат Чупинского ГОКа долго и мучительно проходил в 1990-е гг., закончился его банкротством в 1999 г. и ликвидацией ПОФ к 2005 г. Рудники и обогажительные фабрики были брошены, шахты затоплены, добытое, но не вывезенное сырье в стандартных пластиковых мешках и сейчас окружает молчаливые фабрики (например, в районе Малиновой Варакки). Отвалы понемногу зарастают молодым лесом, постройки ветшают и рушатся.

В ходе исследования антропогенного рельефа Чупинского горного района нами были обследованы четыре горных участка. Проведена аэрофотосъемка с помощью беспилотного летательного аппарата, построены цифровые модели местности и ортофотопланы, выполнено полевое дешифрирование доступных космических снимков с сервисов Google и

Yandex. Составлены геоморфологические планы в масштабах 1:5 000 и обзорные геоморфологические карты мелкого масштаба (1: 200 000).

Установлено, что в Чупинском горном районе в 1920-е – 1990-е гг. создан обширный комплекс антропогенного рельефа, состоящий из денудационных (выработанных) и аккумулятивных форм.

К выработанным формам антропогенного происхождения относятся:

– ущелья и рвы с субвертикальными, иногда нависающими бортами, высотой до 20-25 м, длиной до 200 м, образованные при разработке пегматитовых жил. Это самые распространенные и характерные формы, появление которых происходило на протяжении всего XX века (более древние в районе работ не обнаружены);

– карьеры, обычно ступенчатые, с ярусами берм и хаосами частично или полностью отделившихся блоков (например, у пос. Чкаловский, где такой карьер расположен на склоне холма высотой 59,7 м к востоку от поселка). Отдельные отработанные карьеры полностью или частично застроены зданиями обогатительных фабрик (например, к северу от пос. Плотина, построена в 1965 г.), в настоящее время разрушающимися. Часто карьеры используются, как свалки (например, залитый водой карьер у дороги к бывшей паромной переправе, не менее половины акватории которого заполнено пластиковыми бутылками и другим мусором);

– шахты, штольни и иные подземные выработки. В 1952-55 гг. начали работать шахты по добыче слюды глубиной 30-50 м на рудниках Тэдино, Малиновая Варакка и Плотина (шахта «Капитальная»). В 1990-х гг. все они были законсервированы и затоплены;

– шурфы и геологические канавы длиной десятки метров; шириной по бровкам - 5-30 м; глубина - 3-8 м, возникавшие большей частью во второй половине XX века в период интенсивных разведок;

– обнажённые участки скальных поверхностей, где производилась разведка с помощью бульдозеров и поверхностный слой грунта снимался вместе с растительностью. Площадь таких участков – сотни квадратных метров (например, к северу от озера Уракко, где месторождение выявлено в 1971 г. при детальной съёмке).

К аккумулятивным формам антропогенного происхождения относятся:

– отвалы вскрытых или отработанных после обогащения пород, создающие искусственные террасы и насыпи высотой до 30 метров, они также имеют сложный рельеф, как правило, нескольких высотных уровней (например, в 4 км к востоку от Хетоламбины). Сейчас отвалы интенсивно разбирают и вывозят на строительство и укрепление дорог в Лоухском районе, в том числе, магистрали Р-21 «Кола»;

– насыпи вспомогательного назначения, строившиеся при прокладке дорог, ограждении добычных сооружений. Обычно они невелики по высоте (до 1,5 м) и заросли лесом или кустарником;

– дорожные насыпи высотой до 3 метров и шириной иногда до 10-12 метров, построенные из материала вскрыши – очень характерный элемент ландшафта, т.к. значительную часть Чупинского района занимают болота и

автомобильные дороги строились и строятся на значительном протяжении на насыпи;

– дамбы и берегозащитные стенки на берегах озер и водохранилищ. Самый известный подобный объект – плотина, построенная к 1936 году для сплава леса и отделяющая залив губы Чупа от основной её акватории. Её длина – 110 м, ширина – 8-9 м. Уровень воды в заливе, внутренний берег которого заметно заболочен, на метр выше уровня воды в губе во время отлива.

Третья важная составляющая антропогенного рельефа Чупинского района – «рельефоиды» [5], т.е. здания и сооружения производственного и жилого назначения. Рельефоиды могут стоять либо отдельно (брошенные фабрики в лесу), либо осложнять иные антропогенные формы (отвалы и фабрики севернее пос. Плотина).

При проведении рекультивационных мероприятий и обеспечения безопасности остро необходим учёт современной динамики развития антропогенного рельефа. Некоторые из образовавшихся форм (в основном аккумулятивные, сложенные грубообломочным материалом, глыбами и щебнем) достаточно стабильны и интенсивно зарастают лесом и кустарником. Они практически не подвергаются воздействию эрозионных и прочих процессов. Также стабильны залитые водой карьеры, за исключением высоких стенок. На них, как и в глубоких рвах и ущельях, возможны обвальные и осыпные процессы. Преобладающие в Чупинском районе гнейсы и амфиболиты обладают высокой прочностью, но весьма трещиноваты. При возможных небольших сейсмических толчках, а данный участок Карельского берега может их испытывать и испытывал, по историческим данным, в XVI-XIX веках неоднократно [3], на таких стенках возможны, в том числе, обвалы. Тем не менее, карьер на Панфиловой Вараке используется сейчас в рекреационных целях – через него налажена верёвочная переправа для туристов-экстремалов.

Антропогенный рельеф Чупинского района в настоящее время – не только свидетельство былого развития промышленности Севера, но и полигон для изучения естественной рекультивации, то есть преобразования созданных человеком объектов естественным образом, без проведения специальных мероприятий. Район перспективен для развития рекреационной деятельности, в частности, здесь может быть создан горный парк и разработаны маршруты историко-геологических и минералогических экскурсий (крупные обломки мусковита, биотита, кварца и полевых шпатов – не редкая находка в этих местах). Горные парки уже существуют в Карелии – «Рускеала» в Сортавальском районе, Рудный парк «Тулмозёрье» в Пряжинском районе. В Эстонии недавно создан музей сланцевой промышленности – “Eesti kaevandus museum” на бывшей сланцевой шахте «Кохтла». Таким образом, антропогенный рельеф Чупинского горного района расширяет рекреационные возможности региона.

Чупинский горный район – обширная область развития антропогенного рельефа на суше. Трансформация естественных процессов в его пределах

может быть, в целом, оценена как незначительная. Это связано, прежде всего, с небольшой густотой и глубиной эрозионного расчленения территории, устойчивым скальным субстратом, отсутствием интенсивных процессов переноса вещества флювиальными, береговыми и прочими процессами в зоне антропогенного воздействия. Иначе складывается ситуация там, где интенсивность естественного морфолитогенеза и общие объемы потоков вещества в естественных природных ландшафтах существенно выше. К таким районам относятся побережья морей Северного Ледовитого океана.

Антропогенная трансформация рельефа береговой зоны и береговых процессов происходит в пределах населенных пунктов, промышленных и военных объектов. Она связана со строительством берегозащитных и портовых сооружений, переходов трубопроводов, изъятием отложений пляжей и дюнного комплекса, загрязнением береговой зоны отходами производства и потребления, в том числе затонувшей и брошенной техникой.

В зависимости от интенсивности воздействия и генетического типа берега, антропогенное влияние приводит к смене естественных берегов техногенными (в случае строительства инженерных сооружений в береговой зоне), изменяет скорость или тип береговых процессов, емкость и направления потоков наносов. Степень антропогенных изменений береговой зоны в рамках данного исследования оценивалась путем дешифрирования космических снимков Quick Bird съемки 2010-18 гг. (<https://www.google.com/earth/>) и Landsat съемки 1988-2016 гг. (<https://earthengine.google.com/timelapse/>), по опубликованным и интернет-источникам, а также результатам полевых исследований на ключевых участках побережья Белого моря.

В настоящее время техногенные берега занимают менее 0,1% береговой линии арктического побережья России. Чаще всего они представлены небольшими (десятки – сотни метров вдоль берега) причальными и берегозащитными сооружениями. Протяженные (километры – первые десятки километров) участки техногенных берегов, образованных берегозащитными и портовыми сооружениями, неупорядоченными береговыми постройками и просто скоплениями мусора присутствуют в районах дореволюционного и советского периодов освоения. Наибольшую протяженность они имеют в Кольском заливе (Баренцево море), вершине Кандалакшского залива (Белое море) и п. Диксон (Карское море). Однако степень трансформации морфолитодинамических процессов на этих участках, сменивших малоизмененные морем скалистые берега, незначительна.

Максимальное воздействие на рельеф и береговые процессы оказывают техногенные берега, созданные при строительстве переходов трубопроводов и портовых сооружений на аккумулятивных пляжевых и лагунных берегах. При строительстве неизбежно нарушается естественный рельеф подводного берегового склона, пляжи, дюнный комплекс и береговые уступы. Защитные сооружения трубопроводов (коффердамы), ковши и пирсы портов блокируют потоки наносов. В результате динамическое влияние небольших (первые сотни метров) техногенных берегов может распространяться на десятки километров и охватывать берега с естественным рельефом. Так, в результате

строительства перехода трубопровода на о. Варандей, естественная тенденция к незначительному отступанию берега приобрела масштабы антропогенной катастрофы. На участке длиной 15 км произошли необратимые изменения рельефа и морфолитодинамики берега [6]. В результате изъятия и уплотнения наносов пляжей и разрушения дюнного комплекса в береговой зоне возник резкий дефицит наносов. В отдельные годы берег отступал на 7-10 м, а в среднем за последние десятилетия - 4 м/год, что в 1,5-2 раза превышает темпы разрушения берегов такого типа в естественном состоянии. Низкие террасы и остатки пляжей разрушают штормовые нагоны и эоловые процессы, что еще больше увеличивает дефицит наносов.

Загрязнение береговой зоны отходами производства и потребления, а также затонувшими судами и брошенной техникой, приводит к локальным изменениям вдольбереговых потоков наносов. В ряде случаев отходы образуют аккумулятивные формы берегового рельефа.

В устье Унской губы Белого моря в районе п. Пертоминск образовался комплекс береговых антропогенных форм. В XIX веке на восточном берегу при входе в залив был сооружен бревенчатый ковш размерами 100x100 м. В 1941 г. его заменили бревенчатым причалом той же длины, голова которого выдвинута до глубин 5 м. Причал перехватывает поток наносов, направленный внутрь губы. На протяжении 200 м севернее причала берег нарастает в результате заполнения входящего угла. Скорость выдвигания контура со времени последней реконструкции причала составляла 1 м/год, а объем техногенно обусловленной аккумуляции – 0,2 тыс. м<sup>3</sup>/год. Южнее причала, на протяжении 1,5 км происходит низовой размыв берега со скоростью 0,1-1,5 м/год [7]. В результате отступления берега разрушены несколько домов поселка. Для защиты от размыва в 2000-х годах на подмываемом береговом уступе были установлены бетонные плиты и созданы навалы мусора. Однако проблему дефицита наносов на данном участке берега это не решило, и абразионные процессы продолжают здесь активно развиваться.

В то же время, на западном (противоположном) берегу залива сооружен ковш, служивший для перемещения сплавной древесины на лесопильный завод, действовавший в 1930-х годах. Из опилок, поступавших в береговую зону, образовались два береговых вала протяженностью около 100 м при ширине 3-4 м и относительной высоте до 0,5 м. С прекращением поступления отходов в береговой зоне восстановились процессы естественной аккумуляции, «опилочные» валы сменились песчаными. Таким образом, на данном участке после прекращения хозяйственной деятельности в береговой зоне природное равновесие восстановилось естественным образом.

Пертоминск – лишь один из десятков поселков арктического побережья, где проблема активизации абразии с начала хозяйственного освоения остается актуальной. Ежегодные потери земельных угодий на арктическом побережье достигают сегодня нескольких квадратных километров в год. Отчасти эти потери – прямое следствие нарушения естественного хода морфолитодинамических процессов в береговой зоне.

*Работы выполнены при поддержке РФФИ (проект № 18-05-60200), а также в рамках темы госзадания АААА-А16-116032810089-5 «Эволюция природной среды, динамика рельефа и геоморфологическая безопасность природопользования».*

#### **Список литературы**

1. Атлас Карельской АССР. М.: ГУГК, 1989. 40 лл.
2. Борисов П.А. К вопросу о пегматитовых жилах Западного Беломорья и их использовании//Труды Института по изучению Севера. Вып.33. 1926. 28 с.
3. Никонов А.А. Фенноскандия – недооцененная сейсмогенерирующая провинция//Геофизика XXI столетия. 2002 год: Сб. трудов IV геофиз. чтений им. В.В. Федынского. М.: Научный мир, 2003. С. 207-214.
4. Пекки А. С., Разоренова В. И. Месторождения полевошпатового сырья Карелии. Труды Института геологии Карельского филиала АН СССР, вып.38. Л.: Наука, 1977. 150 с.
5. Розанов Л.Л. Теоретические основы геотехноморфологии. М.: Изд-во ИГ АН СССР, 1990. 186 с.
6. Огородов С. А. Морфолитодинамика береговой зоны Варандейского района Печорского моря в условиях техногенного прессинга // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2004. № 3. С. 273–278.
7. Сафьянов Г. А., Репкина Т. Ю. Динамика берегов Унской Губы (Летний берег Белого моря) // Геоморфология. 2013. № 1. С. 82–89.

# ВЛИЯНИЕ ОДНОМЕРНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ НА СМАЧИВАНИЕ МИКРОКАПЛЯМИ ЛЕГКОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ ПИРИТА И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

<sup>1</sup>И.Н. Сергеев, <sup>1,2</sup>А.Х. Хоконов, <sup>1</sup>М.Б. Масаев, <sup>1,3</sup>З.А. Ахматов,

<sup>3</sup>И.И. Аброков

azkh@mail.ru

<sup>1</sup>Кабардино-Балкарский государственный университет, Россия, г.Нальчик

<sup>2</sup>Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Россия, г. Нальчик

<sup>3</sup>Московский физико-технический институт, Россия, г. Москва

В современных технологиях, связанных с решением задач ядерной и солнечной энергетики широкое распространение получили различные виды нержавеющей стали и халькогениды железа, в частности пирит. При этом возникает задача формирования электрических микроконтактов с использованием легкоплавких металлов и их сплавов [1]. Основной характеристикой при этом является краевой угол смачивания и его размерная зависимость, а также влияние на него микрошероховатости поверхности [2,3]. Для проведения подобных исследований важную роль играет способ получения микрокапель легкоплавких металлов и методика их высаживания на подложку. В настоящей работе использован новый метод высаживания микрокапель на подложку, основанный на взрывном микродиспергировании, используемый для получения нанопорошков.

Для получения микрокапель использовался метод взрывного разрушения тонких проволочек с диаметром 100 мкм и металлических лент шириной порядка 1 мм и толщиной 50 мкм [4]. Фотография узла для взрывного диспергирования и электрическая схема установки показаны на рисунках 1а и 1б, соответственно. Подложки в виде тонких пластин изготавливали из монокристаллического пирита и нержавеющей стали марки Х18Н10Т, напряжение разряда составляло 7 кВ, а энергия взрыва ~2,5 Дж.

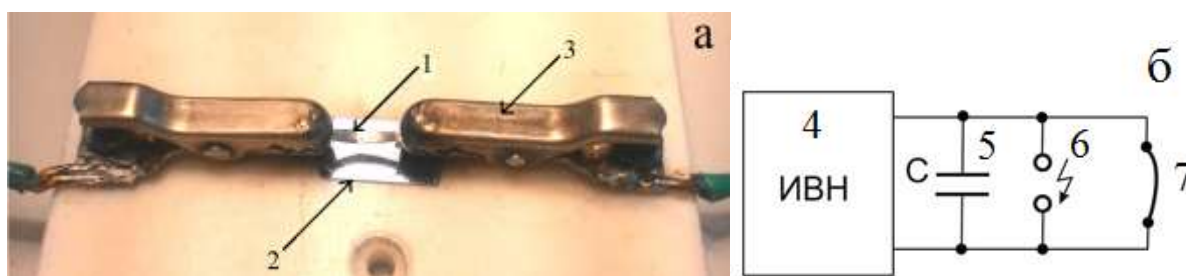


Рис. 1. Устройство для получения микрокапель методом взрывного диспергирования. а: 1 – фольговый образец, 2 – подложка, 3 – держатели образца; б: 4 - высоковольтный источник постоянного тока, 5 – высоковольтный конденсатор, 6 - электрический разрядник, 7 – образец.

Для измерения размеров капель и определения контактных углов использовались цифровые изображения, полученные с помощью оптического микроскопа с ССД-камерой. В качестве примера на рис. 2 приведены фотография участка подложки из монокристаллического пирита с



микрокаплями *In* при увеличении  $\times 750$  (а) и распределение микрокапель по размерам в пределах всей подложки (б). Как видно из рисунка 2а, закристаллизовавшиеся микрокапли имеют форму сферического сегмента или форму, близкую к сферической. Размеры капель на подложке (рис. 2, б) лежат в интервале 1...50 мкм с максимумом распределения  $\sim 20$  мкм. Расчет краевых углов, учитывая форму капель, проводили с использованием соотношений

$$R = \frac{1}{2} \left( \frac{d^2}{4} + h \right), \quad \theta = \arcsin \left( \frac{d}{2R} \right) \text{ для } \theta < 90^\circ,$$

$$\theta = 180^\circ - \arcsin \left( \frac{d}{2R} \right) \text{ для } \theta > 90^\circ,$$

где  $R$ - радиус капли,  $d$  – диаметр ее основания,  $h$  – высота капли,  $\theta$  - краевой угол смачивания. На рис. 3 показана схема обмера микрокапель для случая  $\theta < 90^\circ$ .

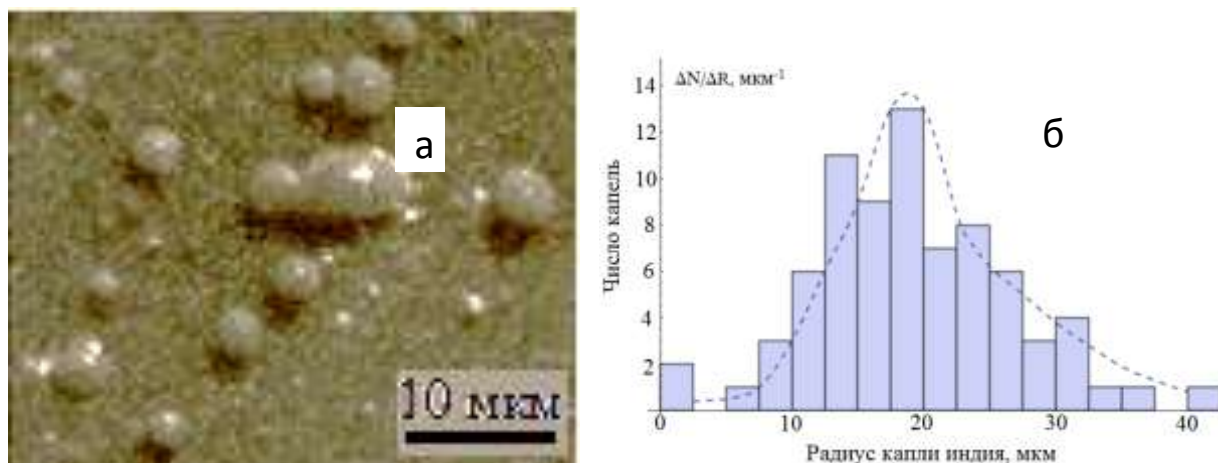


Рис. 2. Микрокапли *In* на подложке из высоколегированной стали X18H10T, полученные методом взрывного диспергирования (а), и распределение высаженных капель по размерам (б).

На рисунке 3 показаны микрокапли индия на поверхности пирита.



Рис. 3. Микрокапли индия на поверхности монокристаллического пирита

Для учета одномерного поверхностного натяжения введем одномерное натяжение  $\tau$ . Условие равновесия имеет вид

$$\frac{\tau}{r} + \sigma \cos \theta = \sigma_{13} - \sigma_{12}, \quad (1)$$

где  $\theta$  - угол смачивания,  $r$  – радиус контура смачивания,  $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости,  $\sigma_{13}$  – поверхностное натяжение твердой подложки,  $\sigma_{12}$  – межфазное натяжение жидкость-твердая подложка. Найдем одномерное поверхностное натяжение для индия на поверхности пирита. Для оценки примем, что  $\sigma_{13} = 2150$  мН/м,  $\sigma_{12} = 1530$  мН/м и  $\sigma = 600$  мН/м. Используя соотношение 1 и то, что углы смачивания на рисунке 3 соответствуют  $62^\circ$  и  $121^\circ$  для большой капли ( $d = 54$  мкм) и маленькой ( $d = 19.4$  мкм) соответственно, для одномерного поверхностного натяжения получим  $\tau = 18$  мкН.

*Работа выполнена при поддержке грантов: РФФИ 18-02-01042а, РФФИ 16-29-13011 офи\_м, Фонда содействия инновациям № 0038507.*

### **Список литературы**

1. Xi ZHAO, Shuo XU, Jing LIU. Surface tension of liquid metal: role, mechanism and application // Front. Energy 2017, 11 (4): 535–567.
2. Капиллярные свойства островковых пленок и малых частиц: К 20 монография / Н. Т. Гладких, С. В. Дукаров, А. П. Крышталь, В. И. Ларин, В. Н. Сухов. – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2015. – 212 с.
3. Dukarov S.V., Kryshal O. P., Sukhov V.N. Surface Energy and Wetting in Island Films // In: Wetting and Wettability, Rijeka: InTech, 2015.– P. 169–206.
4. Н. В. Гревцев, Ю. М. Кашурников, В. А. Летягин, Б. И. Махорин. Некоторые особенности движения и конденсации продуктов электрического взрыва проводников // Прикладная механика и техническая физика, 1974, № 2, с. 92-97.

# МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

И.В. Серых, А.Г. Костяной

*iserykh@ocean.ru, kostianoy@gmail.com*

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

**Аннотация.** Анализ среднемесячных данных температуры поверхности Баренцева моря на различных глубинах показал её существенный рост за последние десятилетия. На фоне этого роста обнаружены колебания температуры с периодами близкими к периодам Эль-Ниньо – Глобальной атмосферной осцилляции, Северо-Атлантического колебания и изменениям Северо-Атлантического течения.

**Ключевые слова.** Изменения климата, температура воды, Баренцево море, Эль-Ниньо, Глобальная атмосферная осцилляция, Северо-Атлантическое колебание, Северо-Атлантическое течение.

**Abstract.** Analysis of monthly average data on the surface temperature of the Barents Sea at various depths showed its significant growth over the past decades. Against the background of this growth, temperature fluctuations with periods close to the El Niño periods — the Global Atmospheric Oscillation, the North Atlantic Oscillation, and changes in the North Atlantic Current were found.

**Keywords.** Climate change, water temperature, Barents Sea, El Niño, Global Atmospheric Oscillation, North Atlantic Oscillation, North Atlantic Current.

Для исследования сезонной и межгодовой изменчивости температуры Баренцева моря были проанализированы среднемесячные данные температуры на 22 различных глубинах от 5 до 446 метров океанического ре-анализа ECMWF Ocean Reanalysis System 4 (ORAS4) на сетке  $1^\circ \times 1^\circ$  за период 1958-2017 гг. [1]. В данной работе представлены результаты исследования только температуры поверхности (глубина 5 м) Баренцева моря. Производилось усреднение данных для региона Баренцева моря, ограниченного следующими координатами  $68^\circ$ - $80^\circ$  с.ш.,  $20^\circ$ - $55^\circ$  з.д. В каждом узле сетки рассчитывался средний сезонный ход за рассматриваемый период, который затем вычитался из исходных данных для получения аномалий относительно сезонного хода. Линейные тренды рассчитывались методом наименьших квадратов. Для сглаживания и полосовой фильтрации применялся фильтр Баттерворта. Спектры строились методом быстрого преобразования Фурье. Вейвлетное преобразование производилось с применением вейвлетной функции Морле [2]. Для вейвлетных кросс-корреляций двух рядов вычислялись произведения их вейвлетных вещественных компонент [3].

Анализ изменений аномалий температуры воды Балтийского моря на различных глубинах (Рис. 1) показал наличие существенных различий между горизонтами 5 и 55 метров, при этом различные горизонты от 55 до 207 метров отличаются совсем незначительно. С глубиной более 207 метров происходит

сильное сокращение площади горизонтов, поэтому их сравнение с поверхностью становится затруднительным.

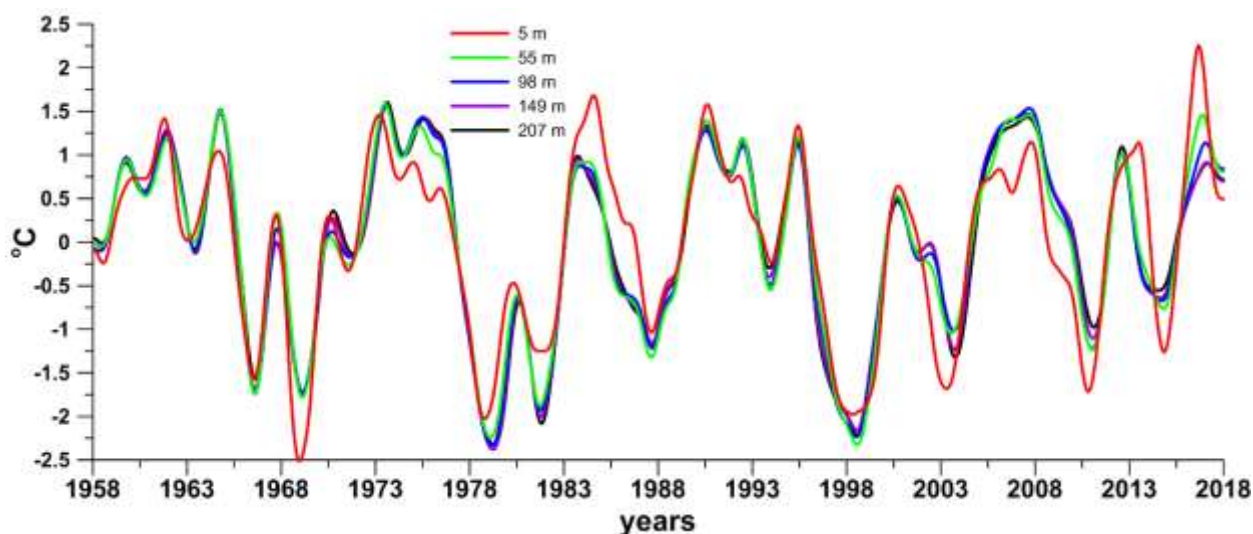


Рис. 1. Ряды средних аномалий (относительно сезонного хода) температуры Баренцева моря ( $68^{\circ}$ - $80^{\circ}$  с.ш.;  $20^{\circ}$ - $55^{\circ}$  з.д.) на глубинах 5, 55, 98, 149 и 207 метров после применения 2-летнего фильтра Баттерворта нижних частот и удаления линейного тренда, рассчитанные по среднемесячным данным ORA-S4 за 1958-2017 гг.

На средних полях температуры воды Балтийского моря для глубины 5 м (Рис. 2) хорошо виден заток и распространение на восток теплых вод из Северной Атлантики вдоль Скандинавского побережья и Кольского полуострова [4]. Разница температур между западом и востоком Баренцева моря на широтах  $70^{\circ}$ - $75^{\circ}$  с.ш. составляет  $5^{\circ}\text{C}$ . В то время как на широтах  $75^{\circ}$ - $80^{\circ}$  с.ш. разница практически отсутствует.

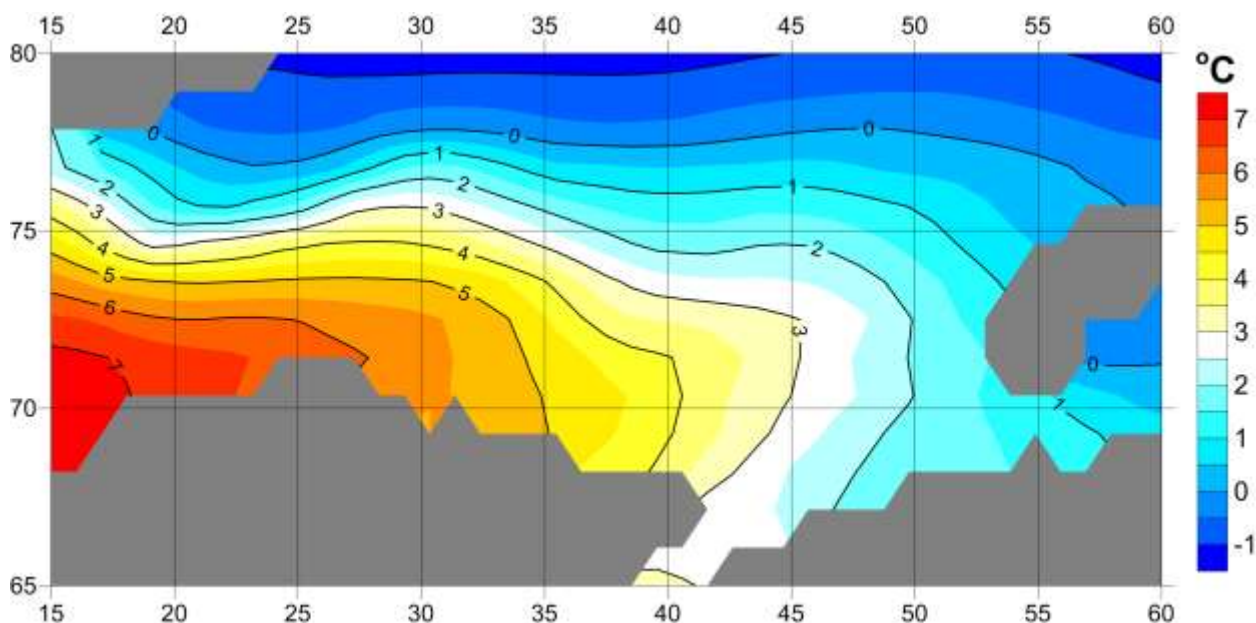


Рис. 2. Поле средней температуры Баренцева моря на глубине 5 м по данным ORA-S4 за 1958-2017 гг.

Анализ данных показал существенный рост средней температуры поверхности Баренцева моря за последние 60 лет (Рис. 3), вызванный, по всей

видимости, глобальным потеплением климата на планете. Причем у поверхности (глубина 5 м) температура росла быстрее, чем на глубине. Температура Баренцева моря увеличивалась в среднем на  $0.2^{\circ}\text{C}$  за 10 лет, и таким образом за 60 лет выросла почти на  $1.5^{\circ}\text{C}$ . Наиболее быстро температура росла в 2-х регионах Баренцева моря: ( $75-77^{\circ}$  с.ш.;  $28-35^{\circ}$  в.д.) и ( $73-76^{\circ}$  с.ш.;  $45-55^{\circ}$  в.д.) – вплоть до  $0.4^{\circ}\text{C}$  за 10 лет у поверхности. По всей видимости, это связано с сокращением площади морского льда в этих регионах.

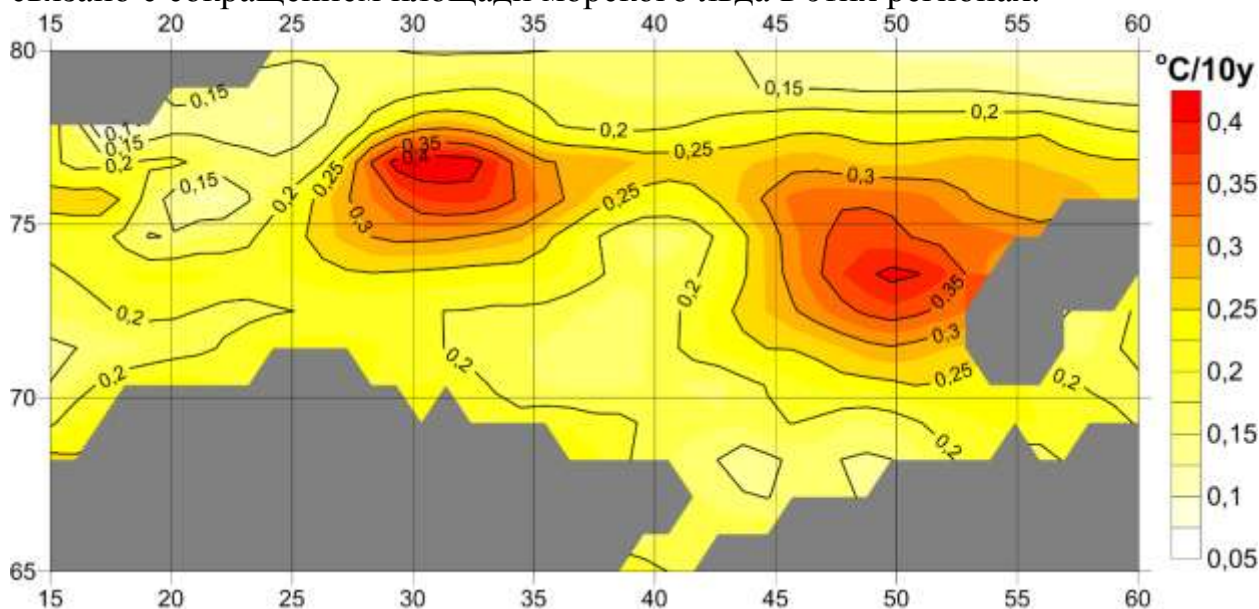


Рис. 3. Поле средних изменений температуры Баренцева моря ( $^{\circ}\text{C}$  за 10 лет) на глубине 5 м, рассчитанное по линейным трендам среднемесячных аномалий (относительно сезонного хода) полученных по данным ORA-S4 за 1958-2017 гг.

Сезонный ход у поверхности составляет  $6-7^{\circ}\text{C}$ , а на глубине 55 метров  $2-3^{\circ}\text{C}$  (Рис. 4). Интересным представляется тот факт, что в XXI веке средняя температура Баренцева моря не опускалась ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , как у поверхности, так и на глубине 55 метров. Причем летняя температура у поверхности в 2013 и 2016 годах поднималась выше рекордных  $8^{\circ}\text{C}$ . Для анализа межгодовых изменений сезонный ход был исключен из дальнейшего рассмотрения.

На фоне общего роста температуры наблюдается сильная межгодовая изменчивость её аномалий относительно сезонного хода (Рис. 5). Причем изменчивость температуры в теплое время года превышает изменчивость в холодное. Так помимо уже упомянутых летних полугодий 2013 и 2016, аномально теплыми были 1984, 1990 и 1995 гг. Аномально же холодными были летние полугодия 1966, 1968 и 1969 гг. Также наблюдаются сильные аномалии одного знака продолжительностью более одного года. Холодные периоды: 1978-1982 и 1997-1999 гг. Теплые периоды: 1973-1976, 1983-1985, 1990-1992 и 2005-2007 гг. Интересным представляется тот факт, что переходы между периодами аномалий противоположных знаков приходятся на глобальные климатические сдвиги середины 1970-х и конца 1990-х годов. Также периоды отрицательных аномалий приурочены к сильнейшим событиям Эль-Ниньо 1982 и 1997 гг.

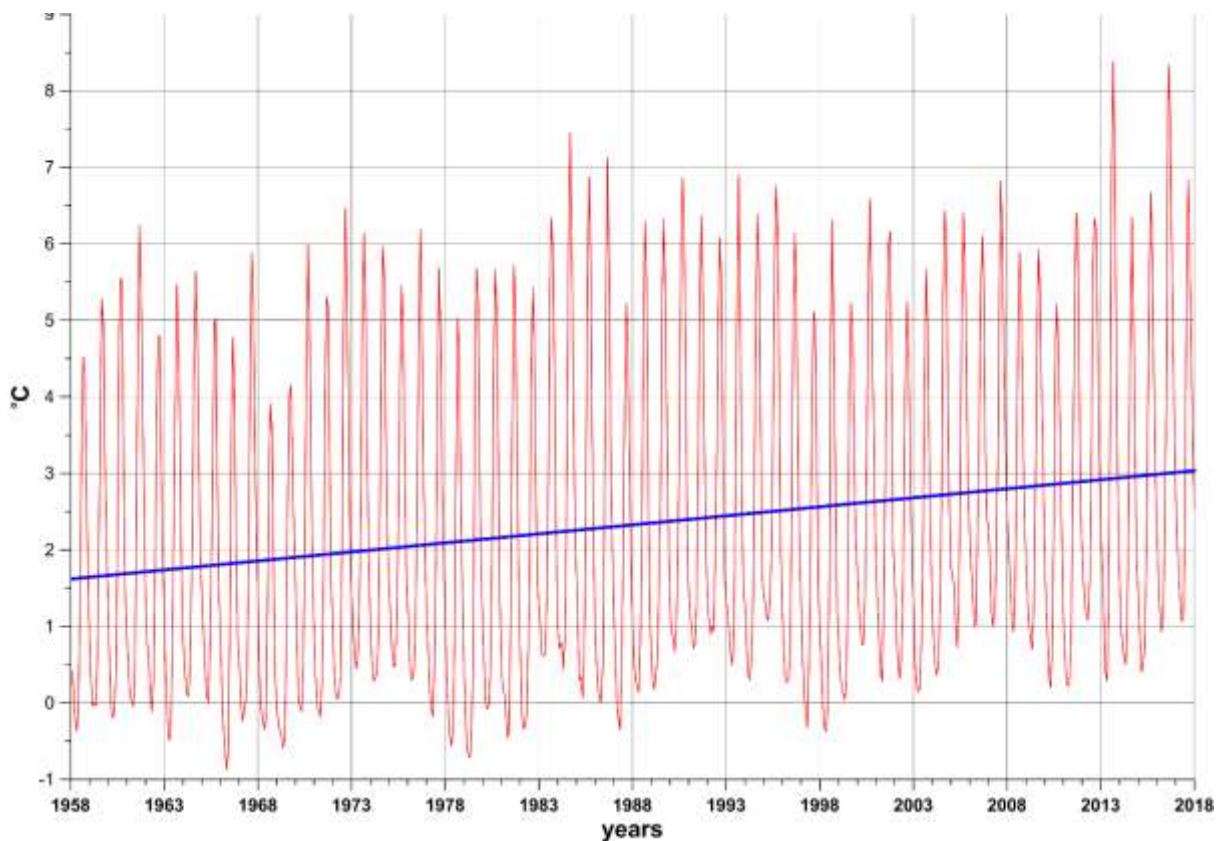


Рис. 4. Изменение средних значений температуры Баренцева моря ( $68^{\circ}$ - $80^{\circ}$  с.ш.;  $20^{\circ}$ - $55^{\circ}$  з.д.) (красный) и линейный тренд (синий) на глубине 5 м, рассчитанные по среднемесячным данным ORA-S4 за 1958-2017 гг. Имеет место увеличение температуры в среднем на  $0.2^{\circ}\text{C}$  за 10 лет.

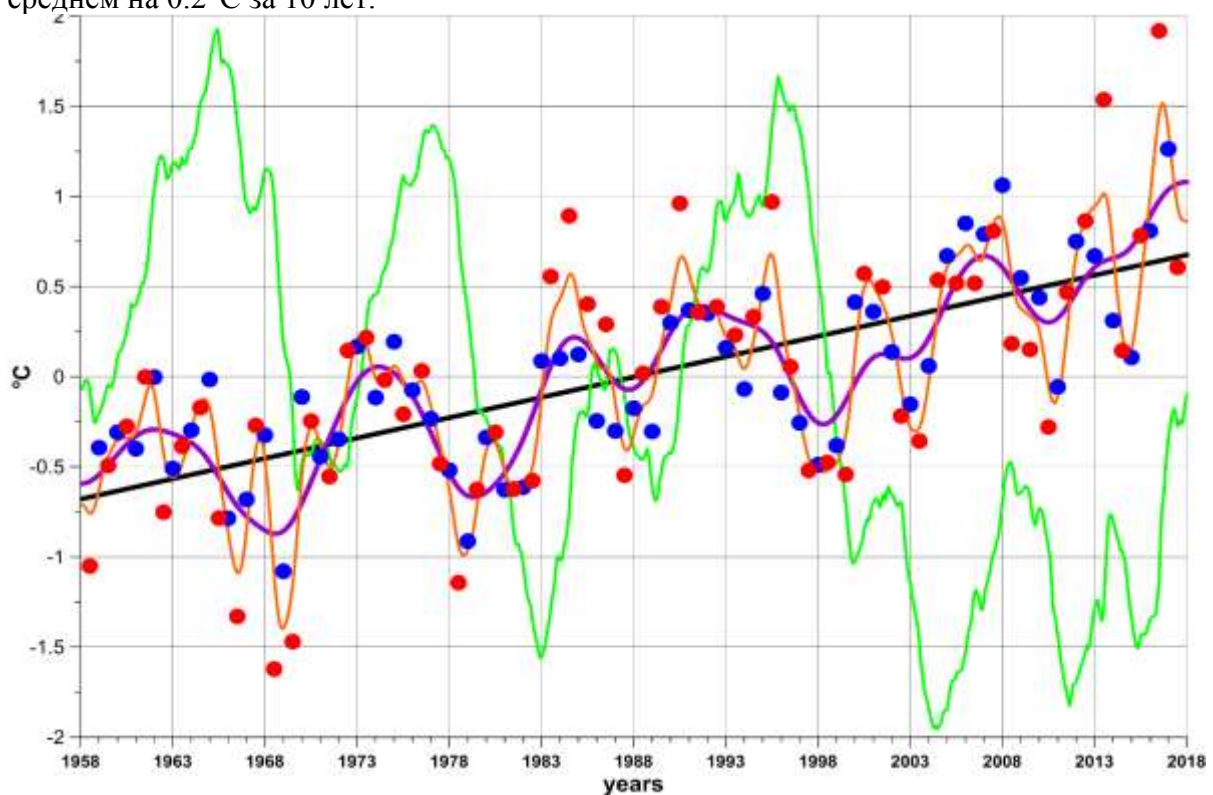


Рис. 5. Изменение средних аномалий (относительно сезонного хода) температуры Баренцева моря ( $68^{\circ}$ - $80^{\circ}$  с.ш.;  $20^{\circ}$ - $55^{\circ}$  з.д.) на глубине 5 м, сглаженных 2-летним (оранжевый) и 7-летним (фиолетовый) фильтрами Баттерворта нижних частот. Их линейный тренд (черный) и накопленная сумма аномалий после удаления линейного тренда (зеленый). Кругами отмечены средние значения аномалий для теплого (май-октябрь) (красный) и холодного (ноябрь-апрель) (синий) полугодий. Использованы среднемесячные данные ORA-S4 за 1958-2017 гг.

Расчет спектров и вейвлетных преобразований показал, что в межгодовой изменчивости выделяются периоды от 2 до 6 лет, от 8 до 10 лет и около 14 лет (рис. 6 и 7). Которые можно связать с Эль-Ниньо – Южным колебанием [5], Северо-Атлантическим колебанием [6] и изменениями Северо-Атлантического течения [7], соответственно.

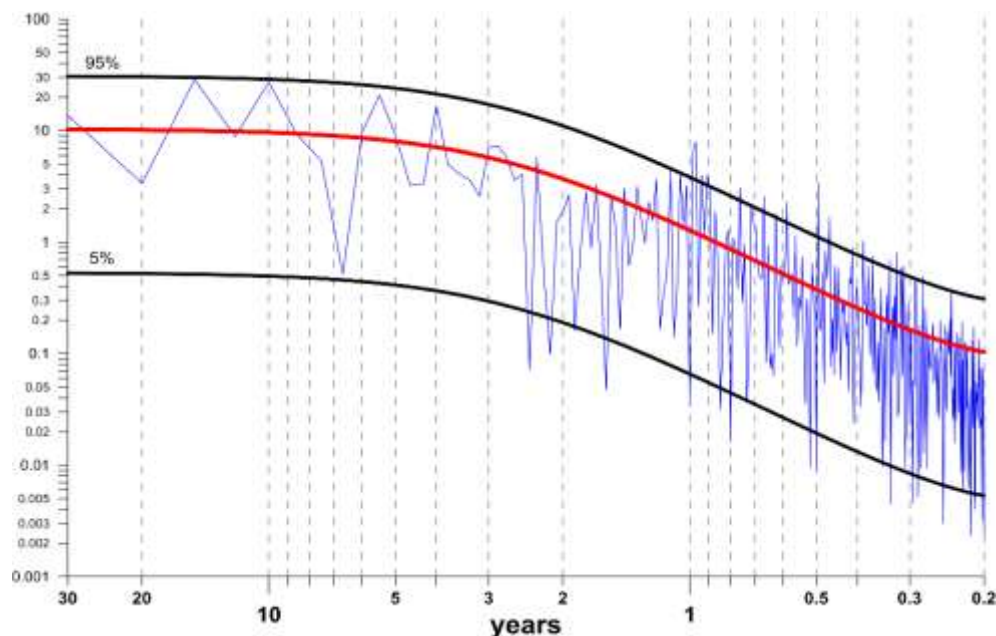


Рис. 6. Энергетические спектры (синий) рядов средних аномалий (относительно сезонного хода) температуры Баренцева моря ( $68^{\circ}$ - $80^{\circ}$  с.ш.;  $20^{\circ}$ - $55^{\circ}$  з.д.) на глубине 5 м по среднемесячным данным ORA-S4 за 1958-2017 гг., рассчитанные быстрым преобразованием Фурье. Отмечен доверительный интервал от 5% (черная линия внизу) до 95% (черная линия вверху) и спектр красного шума (красная линия между ними). Произведено предварительное нормирование рядов на их среднеквадратические отклонения.

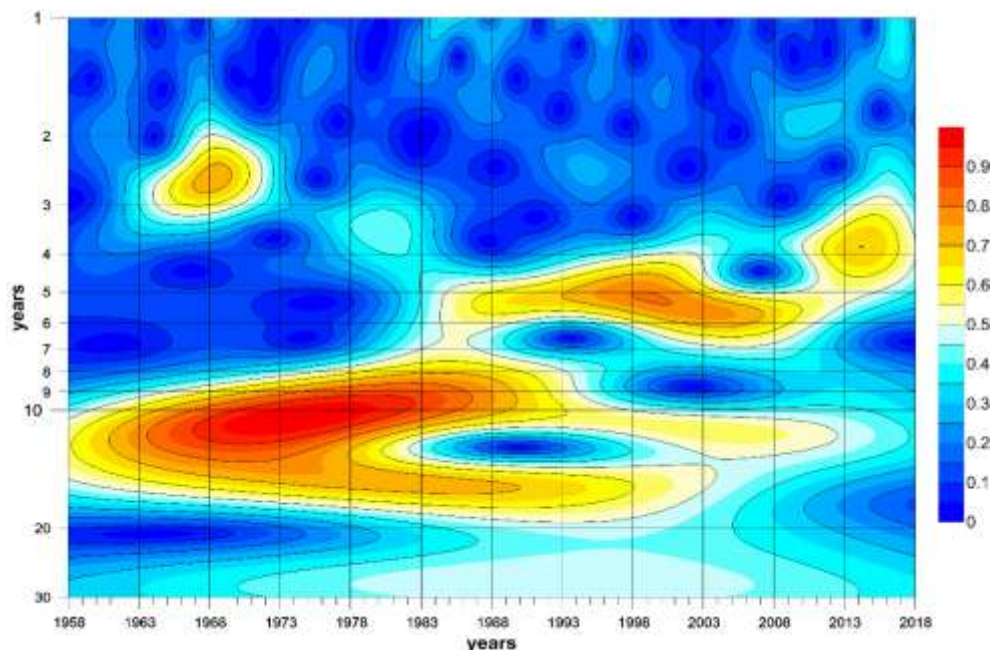


Рис. 7. Картина вейвлетного преобразования рядов средних аномалий (относительно сезонного хода) температуры Баренцева моря ( $68^{\circ}$ - $80^{\circ}$  с.ш.;  $20^{\circ}$ - $55^{\circ}$  з.д.) на глубине 5 м по среднемесячным данным ORA-S4 за 1958-2017 гг. Произведено предварительное нормирование рядов на их среднеквадратические отклонения.

В работах [8-10] показано, что Эль-Ниньо – Южное колебание является элементом Глобальной атмосферной осцилляции (ГАО), что объясняет связь столь отдаленных регионов, как тропики Тихого океана и Баренцево море, а также возникновение соответствующих аномалий в Баренцевом море до начала событий Эль-Ниньо. Во время же событий Ла-Нинья (отрицательная фаза ГАО) в Баренцевом море наблюдаются положительные аномалии температуры.

Полученные результаты свидетельствуют о влиянии планетарных и региональных мод климатической изменчивости на межгодовые и междекадные изменения аномалий температуры Баренцева моря. Связь с Глобальной атмосферной осцилляцией подтверждается присутствием наибольших энергий колебаний около 1998 года, когда наблюдалось сильнейшее событие Эль-Ниньо. Квази-8-летнее и квази-14-летнее колебания более стационарны, но и для них имеются периоды усилений и затуханий.

*Работа выполнена в рамках проекта РФФИ N 18-05-80065.*

### **Список литературы**

1. Balmaseda M.A., Mogensen K., Weaver A.T. 2013. Evaluation of the ECMWF ocean reanalysis system ORAS4. Q. J. R. Meteorol. Soc. 139: 1132–1161. DOI:10.1002/qj.2063.
2. Torrence, D.C., and G.P. Compo, 1998: A practical guide to wavelet analysis. Bulletin of the American Meteorological Society, 79, 61-78.
3. Torrence, D.C., and P.J. Webster, 1999: Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system. Journal of Climate, 12, 2679-2690.
4. Родионов В.Б., Костяной А.Г. Океанические фронты морей Северо-Европейского бассейна. Москва, ГЕОС, 1998, 292 с.
5. Serykh I.V., Sonechkin D.M. Manifestations of motions of the Earth's pole in the El Niño–Southern Oscillation rhythms // Doklady Earth Sciences. 2017. Vol. 472. No. 2. P. 256-259.
6. Moron V., Vautard R., Ghil, M. Trends, interdecadal and interannual oscillations in global sea-surface temperatures. Clim. Dyn. 1998, 14, 545–569.
7. Arthun M., Eldevik T., Viste E. Skillful prediction of northern climate provided by the ocean // Nat. Commun. 2017. 8. 15875.
8. Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Yu.A., Serykh I.V. El Niño as a consequence of the global oscillation in the dynamics of the earth's climatic system // Doklady Earth Sciences. 2012a. Vol. 446, Part 1, pp. 1089–1094.
9. Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Y.A., Serykh I.V. On El Niño's impact upon the climate characteristics of the Indian monsoon // Oceanology. 2012b. Vol. 52, No. 2, pp. 147–156.
10. Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Y.A., Serykh I.V., Sonechkin D.M. Statistical significance and climatic role of the Global Atmospheric Oscillation // Oceanology. 2016. Vol. 56. No. 2. P. 165-171.



## РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ ДРЕВНИХ ЭНДЕМИЧНЫХ ВИДОВ ФЛОРЫ АБХАЗИИ

<sup>1</sup>Э.А. Сиротюк, <sup>2</sup>И.Г. Гергия

*emiliya09@yandex.ru*

<sup>1</sup>Майкопский государственный технологический университет,  
Россия, г. Майкоп

<sup>2</sup>Абхазский государственный университет, Абхазия, г. Сухум

**Аннотация.** Дана краткая характеристика территории Абхазии. Показано, что основное число реликтовых эндемиков флоры республики сосредоточено в Колхидском рефугиуме. Приведены примеры изоляции редких палеоэндемиков внутри страны, существования географических викариантов за ее пределами, генетических связей эндемичных реликтовых горечавок Абхазии с горечавками восточноазиатской и североамериканской флорами. Обоснована необходимость изучения и охраны редкого генетического фонда флоры Абхазии.

**Ключевые слова.** Республика Абхазия, флора, Колхидский рефугиум, палеоэндемики, третичные реликты, географические викарианты.

**Annotation.** A brief description of the territory of Abkhazia is given. It is shown that the main number of relict endemics of the flora of the Republic is concentrated in the Colchis refugium. Examples of isolation of rare paleoendemics inside the country, existence of geographical vicariants outside the country, genetic connections of endemic relict gentians of Abkhazia with gentians of East Asian and North American flora are given. The necessity of studying and protection of rare genetic Fund of flora of Abkhazia is proved.

**Keywords.** The Republic of Abkhazia, the flora of the Colchis refugium, paleoendemic, tertiary relicts, geographical vicariance.

Республика Абхазия – уникальный флористический регион со своеобразной растительностью и флорой. Это связано как с определенным географическим положением, так и с физико-географическими особенностями территории. Абхазия расположена в северо-западной части Закавказья. Площадь республики составляет 8665 км<sup>2</sup>, средняя протяженность с северо-запада на юго-восток – 170 км, с юга на север – 66 км. Северо-западная и северная границы Абхазии проходят по правому берегу реки Псоу и гребню Главного Кавказского хребта. На востоке и юго-востоке граница проходит по Абхазско-Сванетскому хребту, южным отрогам Кодорского хребта и нижнему течению реки Ингур. На юге территория республики омывается водами Черного моря [1].

Большую часть территории республики (64 %) занимают высокогорные массивы. Наиболее обширными из них являются Гагрский и Бзыбский хребты, находящиеся на севере республики и сложенные мощными известняками, отличающимися активными карстовыми процессами. Горная область Абхазии опоясана холмистыми предгорьями, занимающими около 10 % площади республики. Они не имеют сплошного простираения и представлены

отдельными холмами или параллельными грядами (Новофонские гряды, Эшерские холмы и др.), высота которых не превышает 300 м над ур.м. Холмистые предгорья на востоке переходят в низменную приморскую равнину (26 %), а на западе обрываются к берегу моря. Морская прибрежная полоса тянется почти 240 км и представляет собой низменность с пляжами, косогорами, холмами и речными долинами, простираясь от г. Гагра по направлению к юго-востоку, переходя за р. Бзыбь [2]. Таким образом, Абхазия – типично горная страна, в которой ведущую роль в формировании природных условий играет рельеф.

Более половины территории республики занято лесами (493,6 тыс. га), в которых произрастает около 180 видов древесно-кустарниковых пород, в том числе 50 видов деревьев, из которых наиболее распространены *Fagus orientalis* Lipsky, *Abies nordmanniana* (Stev.) Spach, *Castanea sativa* Mill., *Quercus iberica* Stev., *Carpinus betulus* L., *Buxus colchica* Poyark. Около 10% территории Абхазии отведено под особо охраняемые природные территории: Рицинский реликтовый национальный парк, Пицунда-Мюссерский и Псху-Гумистинский заповедники [3].

Флора Абхазии насчитывает 2190 видов. Значительное разнообразие рельефа, литологического состава, климата, почв и древний возраст территории обусловили здесь формирование разнообразной растительности, а богатый спектр экологических условий – произрастание большого числа редких и исчезающих растений (около 30% от общего числа видов флоры).

При анализе флоры любого региона особое внимание исследователей привлекают эндемичные виды, определяющие ее оригинальность. Наиболее мощными центрами экологической и морфологической дифференциации видов и местами концентрации палео- и неоэндемиков флоры являются горы [4]. Согласно А.А. Колаковскому [5], Кавказ является одним из звеньев горной цепи Евразии (от Пиренеев до Тибета) и Северной Америки, а также центром «островного» третично-реликтового эндемизма, достигающего здесь 42 %. Это значительно больше по сравнению со смежными регионами. Наибольшее число кавказских палеоэндемиков сосредоточено в Колхидском флористическом рефугиуме, который стоит в одном ряду с такими рефугиумами умеренных флор, как Уссурийский, Калифорнийский и Аппалачский. Все они находятся в пределах выделенной А.А. Колаковским Средиземногорной области [5].

В плейстоцене территория Абхазии являлась частью Колхидского рефугиума, поэтому здесь нашли убежище многие представители третичной кавказской флоры. По данным С.М. Читанавы [6], эндемиками являются 750 видов флоры Колхиды (рисунок 1). Абсолютное большинство эндемиков являются скально-лесными и альпийскими литофитами. Они формировались здесь на петрофитных станциях, постоянно существующих со времен их вздымания, и которые служат ареной эволюции многих видов.

В составе флоры Абхазии насчитывается 319 колхидских эндемичных видов, в том числе 133 абхазских вида [7]. Особое внимание ботаников привлекает северная часть Абхазии (междуречье рек Мзымта – Кодор), которая признается «ядром» древней и оригинальной нагорно-луговой флоры, стоящей особняком во флоре Колхиды. Это флористическое «ядро» включает 82 эндемичных абхазских вида (рисунок 1).

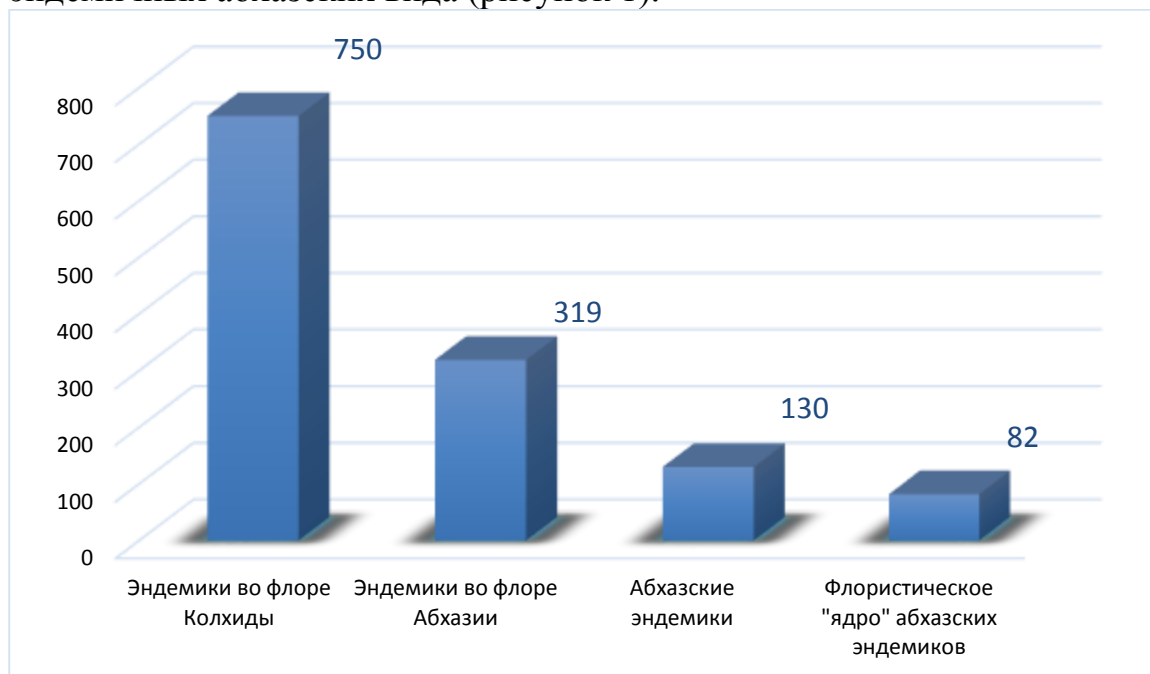


Рис. 1. Численность эндемичных видов растений во флорах Колхиды и Абхазии

По подсчетам ученых, распределение колхидских эндемичных видов по южному макросклону в пределах Западного и Центрального Кавказа выглядит следующим образом: на Черкессию приходится 16 % видов, на Абхазию – 49 %, на Мингрелию – 23 % и на Рача-Имеретию – 12 % (рисунок 2).

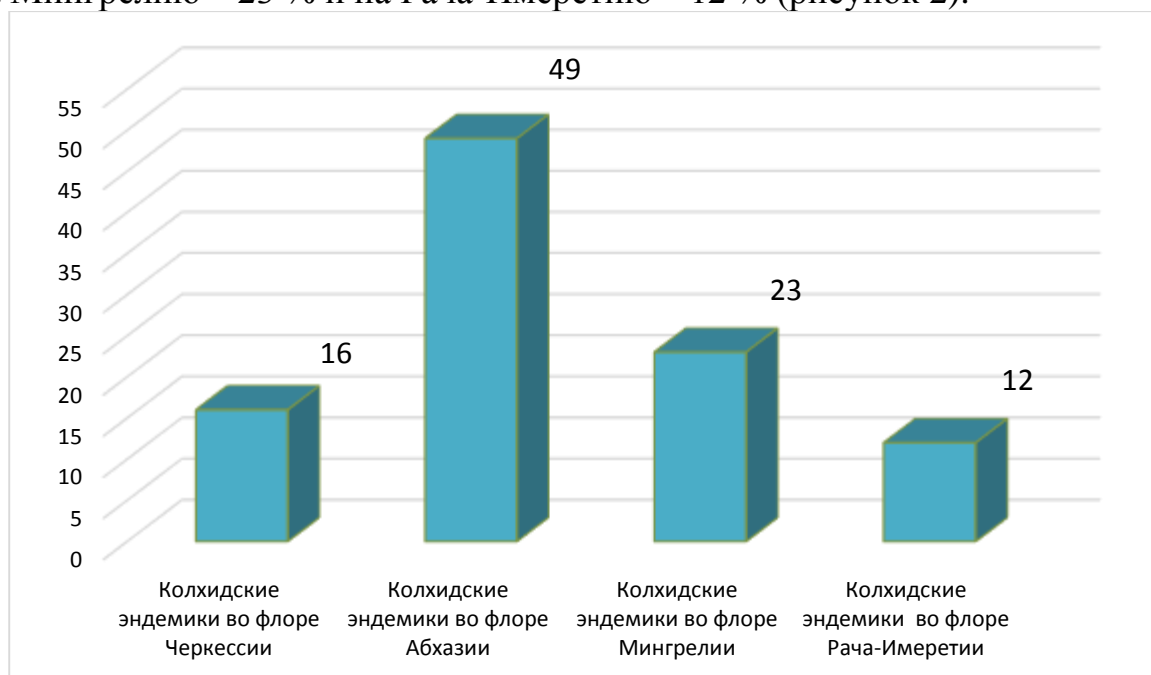


Рис. 2. Распределение колхидских эндемиков на южном макросклоне Западного и Центрального Кавказа (%)

Такую концентрацию эндемичного «ядра» кальцефилов Колхиды в Абхазии исследователи связывают с тем, что здесь представлен наиболее богатый спектр экотопов, где они могли формироваться, произрастать и сохраняться. Это еще раз подтверждает правомерность выделения А.А. Гроссгеймом [8] Абхазии в особый ботанико-географический район, значительную часть территории которой составляет Гагрско-Бзыбская группа районов, где находится флористическое «ядро» эндемиков известняковой флоры Северной Колхиды, около половины которых приурочено к нижнему горно-лесному поясу, чуть менее половины – к альпийскому.

Некоторые эндемичные виды в процессе исторического развития оказались изолированными. К примеру, популяции *Campanula pendula* M. Bieb. (= *Campanula antiqua* (Kolak.) Kolak. & Serdyuk.) и *C. jadvigae* Kolak. встречаются исключительно на Гагрском массиве, а популяции *C. dzyschrica* Kolak. и *C. panjutinii* Kolak. – только на Бзыбском хребте.

Более 60% эндемичных абхазских видов обладает узким ареалом и представлено малочисленными популяциями: *Alopecurus longifolius* Kolak., *Asplenium hermanni-christi* Fomin, *Euphorbia panjutinii* Grossh., *Mzymtella sclerophylla* Kolak. (= *Campanula sclerophylla* (Kolak.) Czer.), *Omphalodes kusnetzovii* Kolak., *Carex halleriana* Asso, *Gentiana bzybica* (Doluch.) Kolak и другие.

Многие эндемичные виды, близкие в систематическом отношении, распространены на относительно ограниченных территориях и являются географическими викариантами. Так, абхазский вид *Betonica abchasica* (Bornm.) Chinth. имеет близкородственные связи с *B. nivea* Stev., произрастающей в Осетии, Дагестане и Азербайджане и в горах Эльбурса; *Seseli rupicola* Woronow близка к *S. gummiferum* Pall. ex Smith, распространенной в горном Крыму и на Балканах; *Ranunculus helenae* Albov близок к *R. hybridus* Biria, произрастающему в известняковых Альпах; *Betonica abchasica* (Bornm.) Chinth. связана близким родством с *B. nivea* Stev., произрастающей в Осетии, Дагестане и Азербайджане, а также в горах Эльбурса [9].

Значительный интерес в этом плане представляют родственные связи эндемичных реликтовых горечавок Абхазии с горечавками восточноазиатской и североамериканской флорами. Так, узкоареальный палеоэндемик *Gentiana paradoxa* Albov является близким сородичем китайских эндемичных видов горных провинций Китая (Юньнань и Сычуань) – *G. hexaphylla* Maxim., *G. tetraphylla* Maxim. ex Kusn. и *G. ternifolia* Franch., и *G. verticillata* L. – североамериканского эндемичного вида из Кордильер. Об этом свидетельствует много признаков, но главные из них – архаичное строение цветка и мутовчатое листорасположение (рисунок 3). На мутовчатость листьев, как на уникальное явление в роде *Gentiana* L., впервые обратил внимание монограф рода Н.И. Кузнецов [10]. У *G. paradoxa* листья располагаются, преимущественно, по четыре-пять в мутовках, они узколинейные, с одной жилкой. Однако в популяциях встречаются особи, у которых каждый побег имеет собственное листорасположение: супротивное,

по три или по четыре листа в мутовках [11]. Причем, в случае супротивного листорасположения листья обычно широкие и имеют три жилки. Таким образом, все эти виды являются древними географическими викариантами.



Рис. 3. Фото *Gentiana paradoxa*

Достаточно очевидно, что на Кавказе, в Юго-Восточной Азии и Северной Америке имеются параллельные ветви эволюционного развития секции *Septemfidae* Kuhn. рода *Gentiana* L. Предполагаем, что местом возникновения предковой формы всех этих генетически близких, но обособленных географически, горечавок, является Юго-Восточная Азия. Проникновение анцестрального вида из Юго-Восточной Азии на Кавказ возможно было по северо-восточному берегу Тетиса. Предковая форма *G. verticillata* могла попасть из Юго-Восточной Азии в Северную Америку по горному Тихоокеанскому поясу, простирающемуся от провинции Юньнань до Аляски и Калифорнии не позднее олигоцена [12; 13].

Многие исследователи флоры отмечают способность многих палеоэндемиков к видообразованию, в том числе путем гибридизации. Так, *G. paradoxa* в современный период своей истории дала вспышку аллопатрического видообразования, что привело к обособлению экологически замещающей ее в высокогорьях мутовчатолистной *G. rhodocalyx* Kolak. [14; 15]. Также *G. paradoxa* гибридизировала с *G. kolakovskiyi* Doluch. с образованием *G. bzybica* с тройчатым листорасположением, а также с *G. septemfida* Pall. с образованием мутовчатолистной *G. vittae* Kolak. [16; 17; 18].

*G. paradoxa* является петрофитом и гигромезофитом, произрастает, преимущественно, в составе скально-лесных комплексов и известково-каменистых участков в поясе дубовых и дубово-грабовых лесов. Вид распространен по обе стороны ГКХ и существует в виде двух географических

популяций: колхидской – на ближайших к Черному морю передовых хребтах: Гагрском, Бзыбском и Аибге (центр ареала), и малолабинской – на отрогах хр. Малый Бамбак (граница ареала). В пределах ареала вид встречается прерывисто, в виде локальных комплексов соседствующих метапопуляций, приуроченных к вторичным скальным дубовым лесам из *Quercus iberica* Stev. (в центре ареала) и *Q. petraea* (Matt.) Liebl. (на границе ареала). Метапопуляции горечавки необыкновенной произрастают в центре ареала на известняках, а на его границе – на глинистых карбонатных сланцах [19].

С 1985 г. нами ведутся наблюдения за состоянием популяций *G. paradoxa*, как на Гагрском и Бзыбском хребтах, так и на северном макросклоне ГКХ – на хр. Малый Бамбак в Капустинской балке. Результаты мониторинга вида в 2015 г. свидетельствуют о том, что все выявленные популяции вида на обоих макросклонах ГКХ стали крайне малочисленными, с регрессивной онтогенетической структурой и низким виталитетом особей. Считаем, что это – следствие не только естественных причин, но и, прежде всего, прямого воздействия человека. И в Абхазии, и на хребте Малый Бамбак уничтожаются дубовые леса, а это главные сообщества, в которых обитает горечавка необыкновенная. Что касается непосредственно малолабинской популяции, то здесь основной причиной значительного сокращения численности явилось осушение Капустинской балки для прокладки туристической тропы.

В настоящее время стала очевидной угроза исчезновения и других эндемичных видов Абхазии. Основные причины: низкая конкурентная мощность видов, естественное разрушение местообитаний, глобальное изменение климата. Однако основную опасность для них представляет хозяйственное освоение территории: вырубка лесов, строительство туристических объектов, интенсивный выпас скота, высочайшая рекреационная нагрузка на экосистемы из-за большого потока туристов в летний период.

Таким образом, Абхазия – горная страна, в результате длительной истории которой сложился уникальный растительный покров, оригинальный по своему флористическому составу, богатый по числу видов и древний по происхождению. Палео- и неоэндемики северной известняковой части Абхазии – это генофонд, отражающий автохтонное развитие ее древней флоры и поддерживающий связь с природно-историческим прошлым территории. Происходящее сокращение таксономического разнообразия флоры Абхазии требует объективного научного анализа, который позволил бы оценить современное состояние популяций наиболее уязвимых узколокальных видов, расширить представления об их адаптационных возможностях и разработать мероприятия для сохранения и восстановления. Это очень трудная задача, но она требует незамедлительного решения. И первым промежуточным результатом работы должно стать издание Красной книги Республики Абхазия.

## Список литературы

1. Гулиа В.О. Орловская Т.В. Адзинба З.И. Читанава С.М. Физико-географическая характеристика Абхазии (сообщение 1) // Межд. журнал прикладных и фундаментальных исследований. Биол. науки. 2014. № 11 (часть 1). С. 35-38.
2. Сиротюк Э.А., Гергия И.Г., Айба Э.А. Распространение и эколого-ценотические особенности абхазских видов *Gentianaceae* // Педагогическое образование в России. 2015. № 3. С. 153-169.
3. Сиротюк Э.А., Айба Э.А., Гергия И.Г. Род *Gentiana* L. в Рицинском реликтовом национальном парке (Республика Абхазия) // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. Естеств.-матем. и техн. науки. 2017. Вып. 1 (196). С. 64-71.
4. Тахтаджян А.Л. Происхождение и расселение цветковых растений. Л.: Наука, 1970. 147 с.
5. Колаковский А.А. Средиземногорная область – арена эволюции флоры Северного полушария / А.А. Колаковский. Сухум: Изд.-полигр. объедин., 2002. 84 с.
6. Читанава С.М. Флора Колхиды. Материалы к конспекту флоры дикорастущих сосудистых растений. Сухум: ООАС, 2004. 239 с.
7. Тания И.В., Абрамова Л.М. Редкие виды высших растений Рицинского реликтового национального парка (Республика Абхазия) // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16, № 1. С. 54-58.
8. Гроссгейм А.А. Анализ флоры Кавказа / А.А. Гроссгейм // Тр. бот. ин-та. Баку: Изд-во АН Азерб. ССР, 1936. 260 с.
9. Адзинба З.И. Эндемы флоры Абхазии (география и экотопология) / З.И. Адзинба. Тбилиси: Мецниереба, 1987. 120 с.
10. Кузнецов Н.И. Подрод *Eugentiana* Kusnez. рода *Gentiana* Tournefort. Систематическая, морфологическая и географическая обработка. СПб.: Тип. В. Демакова. 1894. 531 с.
11. Сиротюк Э.А., Плешкова Ю.В. Некоторые аспекты происхождения и вопросы родства горечавок секции *Septemfidae* (Kusn.) Kolak. Западного Кавказа // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2006. № 3. С. 58-62.
12. Сиротюк Э.А. Жизненная форма и модель побегообразования *Gentiana paradoxa* Albov // Материалы Межд. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы экологии в условиях современного мира». Майкоп: Изд-во МГТИ, 2001. С. 83-85.
13. Сиротюк Э.А. О происхождении и родстве некоторых горечавок Западного Кавказа // Фундаментальные исследования. 2005. № 10. С. 89-90.
14. Колаковский А.А. Новые данные к таксономии и истории некоторых кавказских горечавок // Сообщ. АН Гр. ССР. 1978. Т. 92. № 1. С. 161-164.
15. Сиротюк Э.А. О прогрессивном характере реликтового эндемизма *Gentiana paradoxa* Albov // Материалы третьей науч.-практ. конф. Майкопского гос. технол. ин-та (20-25 апреля 1998 г.) «Экология и лесное хозяйство». Майкоп: Изд-во МГТИ, 1998. С. 105-107.
16. Долуханов А.Г. Заметки о кавказских горечавках подсекции *Septemfidae* Kusn. // Зам. по систематике и географии растений АН Гр. ССР. 1948. Вып. 14. С. 38-60.
17. Цвелев Н.Н. Обзор видов семейства *Gentianaceae* флоры Кавказа // Бот. журн. 1993. Т. 78. № 6. С. 131-138.
18. Сиротюк Э.А. Биоэкология горечавковых Западного Кавказа Майкоп: ООО «Качество», 2006. 182 с.
19. Сиротюк Э.А. Влияние эдафических факторов среды на биологические особенности горечавки необыкновенной // Материалы первой Межд. науч. конф. «Слитые почвы генезис, свойства, социальное значение». Майкоп: РИПО «Адыгея», 1998. С. 67-69.

**КОМУ НЕОБХОДИМЫ ЗНАНИЯ ОБ ОКЕАНЕ?  
ПОДГОТОВКА К ДЕСЯТИЛЕТИЮ ООН, ПОСВЯЩЁННОМУ НАУКЕ  
ОБ ОКЕАНЕ В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ (2021-2030)**

**В.И. Сычев**

vsychev@rshu.ru

*Российский государственный гидрометеорологический университет,  
Россия, г. Санкт-Петербург*

***Аннотация.** Статья посвящена примерам международного сотрудничества и региональной деятельности на подготовительном этапе Десятилетия ООН, посвященного наукам об океане в интересах устойчивого развития (2021-2030 гг.). Показаны некоторые элементы практических действий по развитию потенциала с использованием опыта работы Межправительственной океанографической комиссии (МОК) ЮНЕСКО.*

***Ключевые слова.** Десятилетие наук об океане в интересах устойчивого развития (2021-2030 гг.), ООН, Межправительственная океанографическая комиссия (МОК) ЮНЕСКО, План реализации и Дорожная карта, международное сотрудничество, развитие потенциала.*

***Abstract.** The article is devoted to some examples of international cooperation and regional activity for the preparation phase of the Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030) based on the IOC experience. Some elements of a practical application of capacity development actions were shown.*

***Keywords.** Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030), United Nations (UN), Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) of UNESCO, Implementation Plan and Roadmap, capacity development.*

Зачем человечеству знания об океане?

Океан завораживает человека своей красотой, могуществом и силой. Чем глубже он исследует это чудо природы, тем больше понимает, что океан просто необходим для поддержания жизни людей. Океан сохраняет энергию и тепло и зимой смягчает погодные условия. Он очищает атмосферу, поглощает углекислый газ и выделяет кислород. Океан дарит полезные натуральные продукты и лекарства. Зная это, человек продолжает изучать океан, чтобы глубже узнать, как влияют океаны на климатические условия.

Водная оболочка Земли играет огромную роль в её климатической системе, так как занимает большую часть её поверхности. Благодаря ветрам и течениям, при взаимодействии океанов с атмосферой идет постоянная циркуляция воды, перенос тепла и газов. Тепло переносится из низких широт в высокие, из-за этого температура на планете несколько выравнивается, и вода остается в жидком состоянии, что важно для жизни большинства организмов.

Человек изучает Океан с целью открытия и изучения неизвестных видов животных и растений, которые обитают в нём, а также выявления причин сокращения и исчезновения некоторых популяций.

К знаниям об океанах человека ведёт желание познать их глубины и обитателей, уточнить карту донного рельефа, особенно в мелководных



районах. Чтобы предсказать опасные явления, цунами, наводнения, тайфуны, гигантские волны открытого моря, человек ведёт научные исследования и учится правильно их прогнозировать.

Человечеству следует учиться сохранять и не повреждать места обитания подводных организмов при гидротехнических работах, прокладке подводных кабелей и газопроводов, эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

Кроме перечисленных существует множество других причин, по которым человеку необходимы знания об океане.

Удовлетворение потребностей почти 3 миллиардов человек зависит от морского и прибрежного биоразнообразия. Океан поглощает около трети вырабатываемого людьми CO<sub>2</sub>, смягчая негативные последствия изменения климата. Науке еще не удалось оценить совокупное воздействие человеческой деятельности на океан, включая воздействие загрязнения окружающей среды, потепления и закисления океана, которые угрожают этой среде, жизненно необходимой для выживания человечества. Согласно Глобальному докладу Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО (МОК) о состоянии наук об океане, национальные расходы на науки об океане составляют от 0,04 до 4% от общего объема инвестиций в исследования и разработки.

Предоставляя природные и одновременно инновационные решения основных задач, стоящих перед планетой - от изменения климата до искоренения нищеты - океан необходим для обеспечения нашего социального, экономического и экологического баланса.

По инициативе МОК ЮНЕСКО [22] Генеральная Ассамблея ООН на 72-й сессии 6 декабря 2017 г. постановила «провозгласить 10-летний период, начинающийся 1 января 2021 года, Десятилетием Организации Объединённых Наций, посвящённым науке об океане в интересах устойчивого развития». Заинтересованные страны члены ООН призваны поддержать усилия, направленные на то, чтобы предотвратить ухудшение состояния здоровья океана и создать условия для его устойчивого развития. Организация Объединённых Наций объявила Десятилетие наук об океане в интересах устойчивого развития (2021-2030 гг.) с целью мобилизации научного сообщества, ответственных политических деятелей, бизнеса и гражданского общества для реализации программы совместных исследований и технологических инноваций.

Десятилетие наук об океане поможет также ускорить прогресс в достижении Цели устойчивого развития 14 по сохранению и рациональному использованию океана, морей и морских ресурсов. Объявление Десятилетия подтверждает поддержку государств-членов ООН инициативы МОК-ЮНЕСКО, озвученной на Конференции по океану ООН (Нью-Йорк, 5-9 июня) и изложенной в Декларации министров по океанам и здоровью человека (Лиссабон, 8 сентября).

Заинтересованные страны члены ООН призваны поддержать усилия, направленные на то, чтобы предотвратить ухудшение состояния здоровья

океана и оказать поддержку странам в создании более благоприятных условий для его устойчивого развития. Генеральная Ассамблея ООН поручила МОК ЮНЕСКО подготовить План мероприятий и Дорожную карту с подробным описанием механизмов на этапе подготовки, при консультации с государствами-членами, партнерами ООН и другими заинтересованными сторонами. Некоторые примеры дальнейшего международного сотрудничества и региональной деятельности на опыте МОК на подготовительном этапе Десятилетия, используют элементы практических действий по развитию потенциала с использованием мирового опыта.

Объявление о проведении Десятилетия поддерживает усилия МОК по активизации международного сотрудничества в области наук об океане. Это может способствовать улучшению координации исследовательских программ, систем наблюдения, развития потенциала и подготовки кадров квалифицированных специалистов, планирования морского пространства и уменьшения морских рисков с целью улучшения управления ресурсами океанических и прибрежных зон.

В 1957–1958 гг. был проведен Международный геофизический год, который фактически продлился три года, и в нём много места было отведено океанологии. Во время проведения последней глобальной долговременной программы по изучению Мирового океана в 1990–2002 гг., посвященной исследованию циркуляции Мирового океана, страны объединились в изучении океана. Поэтому если нынешняя инициатива объявить Десятилетие наук об океане закончится разработанной и скоординированной международной программой исследований, то это приведет к важным и полезным результатам. Десятилетие нацелено на определение рамок для международной координации и партнерства с целью укрепления исследовательского потенциала в области морских наук и передачи новых технологий.

Генеральный директор ЮНЕСКО Одри Азуле приветствовала объявление о проведении Десятилетия и призвала все заинтересованные стороны присоединиться к усилиям по укреплению научного сотрудничества. Проведение Десятилетия обеспечит координацию исследований Мирового океана и прибрежных регионов. В циркулярном письме № 2712, распространенном среди государств – членов МОК, была представлена дорожная карта, уточняющая механизмы управления этой работой на подготовительном этапе, а также предварительные ориентиры и ожидаемые конечные результаты Десятилетия. Была сформирована Группа планирования Десятилетия (ГПД) по подготовке в течение двух лет проекта его Программы. Предложен логотип Десятилетия.

Подготовка к Декаде стала основным пунктом повестки дня 51-й Сессии Исполнительного совета Межправительственной океанографической комиссии (МОК) ЮНЕСКО [25].

Разработанная «Дорожная карта для Десятилетия Организации Объединенных Наций, посвященного науке об океане в интересах устойчивого развития» [23], представляет собой предварительный руководящий документ

в отношении механизмов и процедур, которые определены необходимыми для подготовки плана проведения Десятилетия.

Науку об океане в подготовленных документах понимают в широком смысле как включающую следующие аспекты: социальные и гуманитарные науки, научно-техническая база науки об океане (системы наблюдений и обработки данных), прикладное использование указанных наук на благо общества, в том числе передача научных знаний и их применение в регионах с недостаточным научным потенциалом, взаимосвязь между наукой и политикой/наукой и бенефициарами научного прогресса. В контексте Десятилетия будет также поощряться использование в океанографических исследованиях традиционных знаний.

Главным мотивом провозглашения Десятилетия Организации Объединенных Наций, посвященного науке об океане в интересах устойчивого развития, является содействие усилиям, направленным на то, чтобы предотвратить процесс ухудшения состояния Мирового океана и создать благоприятные условия для устойчивого освоения океанов, морей и прибрежных районов.

Десятилетие необходимо для того, чтобы государства-члены и заинтересованные стороны смогли предложить и реализовать на практике стратегии и политику адаптации к новым условиям.

Цели и задачи Десятилетия направлены на то, чтобы побудить научное сообщество, граждан и органы, отвечающие за формирование политики, выйти за рамки традиционного мышления и добиваться реальных изменений, например, объема производимой информации об океане или подходов к сотрудничеству и партнерству в вопросах устойчивого освоения и охраны здоровья экосистем океана.

Взаимодействие ученых разных стран может способствовать ослаблению критических факторов напряженности в обществе, в связи с чем данное Десятилетие должно стать важным инструментом поощрения мирного использования ресурсов Мирового океана и укрепления сотрудничества между странами в вопросах, касающихся океана [22].

Десятилетие призвано стимулировать принятие конкретных мер в областях, имеющих ключевое значение с точки зрения принципов устойчивого развития. В программе мероприятий Десятилетия следует предлагать возможности для объединения в единую сеть сообщества на самых разных уровнях: от местного и национального до регионального и глобального.

Восполнение недостающих данных и информации посредством проведения комплексных исследований в ходе Десятилетия должно помочь устранить подтвержденные пробелы в научных данных и информации, способствовать более эффективному проведению оценки состояния Мирового океана, а также других региональных и глобальных оценок на основе согласованных механизмов формулирования научных проблем, осуществления совместных комплексных исследований, охватывающих разные научные дисциплины (как естественные, так и экономические и

социальные), сбора и распространения данных, соответствующих международным стандартам, а также укрепления технических возможностей.

Оценки состояния Мирового океана говорят о «существенных различиях в потенциале государств с точки зрения возможности проведения морских научных исследований, необходимых для надлежащего управления деятельностью человека, потенциально угрожающей морским экосистемам». Для ряда стран это создает серьезные трудности ввиду отсутствия у них необходимых знаний и базовой инфраструктуры, которые позволяли бы обеспечить рациональное использование ресурсов океана.

Важнейшее значение имеет развитие новых форм сотрудничества и партнерства, которые способствовали бы более широкому доступу к научным данным, современному оборудованию и технологиям. При этом цели Десятилетия касаются не только развития научного потенциала: речь идет о формировании на уровне, как директивных органов, так и гражданского общества, нового понимания этой проблематики с помощью повышения уровня знаний о Мировом океане.

Реализация следующих стратегических задач Десятилетия позволит обеспечить долгосрочное воздействие на уровне политики и общества [21, 23].

Три первые задачи касаются формирования необходимой научной базы знаний об океане:

- Накопление базы знаний о системе океана, ее роли для системы Земли и климата, включая человеческий компонент, о ее биоразнообразии и морском дне в поддержку устойчивого управления.

- Создание всеобъемлющей и открытой базы научных данных и потенциала в целях внедрения экосистемного подхода в управлении, способствующего улучшению состояния морской среды и развитию «голубой» экономики. Особое внимание будет уделено изучению социально-экономических аспектов устойчивого освоения ресурсов Мирового океана, а также углублению понимания и оценке совокупного воздействия стрессогенных факторов.

- Сохранение жизни людей и уменьшение опасности экстремальных погодных явлений и связанных с океаном угроз посредством ускоренного осуществления программы научных исследований и создания вспомогательных комплексных систем раннего предупреждения о различных видах угроз, а также повышения уровня готовности и информированности населения.

Следующие задачи призваны способствовать решению первых трех задач:

- Укрепление существующих сетей наблюдений за океаном, систем данных и иной инфраструктуры, а также сотрудничества и партнерских связей, на которые они опираются, в целях обеспечения к 2030 г. потребностей всех государств.

- Существенное укрепление научно-технического потенциала заинтересованных сторон, занимающихся вопросами океана посредством расширения доступа и использования научных знаний, ускоренной передачи

морских технологий, профессиональной подготовки и обучения, а также повышения уровня знаний о Мировом океане для участия в развитии и прикладном использовании наук об океане и соответствующих технологий в интересах устойчивого экономического развития, производства продовольствия, рационального использования ресурсов океана, оценки его состояния и принятия мер, связанных с изменением климата.

- Укрепление сотрудничества, координации и информационного взаимодействия между заинтересованными сторонами, включая частный сектор, при осуществлении морских научно-исследовательских программ, а также оперативное предоставление новых и полученных ранее научных данных в распоряжение директивных органов и органов, определяющих политику в контексте осуществления Повестки-2030 и в более широком контексте.

Для решения стратегических задач общего характера определены первоначальные приоритеты в сфере научных исследований и разработок для достижения существенного и быстрого прогресса в ряде приоритетных тематических областей научных исследований и разработок, перечисленных в «Дорожной карте» [25]. Для университетской науки и совершенствования форм и методов образования, одним из основных направлений определены создание потенциала, активизации механизмов передачи морских технологий, профессиональная подготовка и обучение, распространение знаний об океане.

В рамках подготовительных мероприятий Десятилетия на 51-й Сессии Исполнительного Совета МОК ЮНЕСКО в июне 2018 г. был утвержден круг заданий для созданной временной ГПД [16]. Проведены Глобальное совещание и Форум заинтересованных сторон, на которых обсуждались основные цели и задачи Десятилетия.

Региональные совещания, в том числе в Российской Федерации, проводятся в течение 2019 г. Предварительные результаты региональных совещаний, заседаний и решений ГПД планируются к обсуждению на XXX Ассамблее МОК ЮНЕСКО в июне-июле 2019 г., на втором Глобальном совещании и Форуме заинтересованных сторон в первом квартале 2020 г. и 53-й Сессии Исполнительного Совета МОК ЮНЕСКО в июне 2020 г. В третьем квартале 2020 г. предлагается обсуждение Плана действий государствами-членами ООН и заинтересованными сторонами и предложение к утверждению на Генеральной Ассамблее ООН [25].

Официальное начало Десятилетия Организации Объединенных Наций, посвященного науке об океане в интересах устойчивого развития, запланировано 1 января 2021 г.

Страны и организации, которые располагают необходимой инфраструктурой и учебно-методической базой, подключаются к участию в мероприятиях, поставленных Задачей V «Плана создания потенциала» 7-й приоритетной области научных исследований и разработок подготовительного периода Десятилетия.

В учебных заведениях Российской Федерации в течение длительного времени используют полученный опыт МОК ЮНЕСКО для формулирования

и выполнения задач создания потенциала. Например, ряд университетов планирует совершенствовать накопленный за более 25 лет участия в разработках и реализации проектов и работе МОК ЮНЕСКО [3, 4, 9, 11-13, 24]. Среди них следует отметить Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ) Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ, г. Санкт-Петербург) Майкопский государственный технологический университет (МГТУ, г. Майкоп, Республика Адыгея), Тверской государственный университет» (ТвГУ, г. Тверь) и другие.

Координатор обучающих программ Европейского космического агентства (ЕКА) и ЮНЕСКО БИЛКО Валборг Байфилд в выступлении на семинаре агентства во Фраскати (Италия) отметила, что к 2014 г., к компьютерным курсам ЮНЕСКО БИЛКО подключено более 5200 пользователей из почти 170 стран, из них 250 из России [20]. Но еще большее количество российских студентов и научных работников прошли через специализированные курсы: в 2012-2017 гг. были проведены занятия и семинары в Москве, Твери, Уфе, Ульяновске, Калининграде, Майкопе, Архангельске, других городах России, а также странах Западной Африки на французском языке. В настоящее время при обучении студентов и проведении семинаров, национальных, региональных и международных школ используются спутниковые данные различных программ и учреждений, в том числе ИФРЕМЕР (Франция), NASA, NSIDC (США), ЕКА и др.

Продолжаются контакты между университетами и научно-исследовательскими учреждениями Российской Федерации и Гвинейской Республики. Например, РГГМУ, МГУ и Гвинейский научно-исследовательский центр (CERESCOR) сотрудничают в рамках национальных и международных программ в области океанологии и морской метеорологии, что по мнению Посольства РФ в Гвинейской Республике отвечает интересам обеих стран и способствует налаживанию долговременных контактов и международному авторитету учреждений в рамках основных мероприятий МОК ЮНЕСКО. Таким образом, закладывается прочный фундамент для дальнейшего сотрудничества в области развития потенциала, в том числе в рамках программ МОК ЮНЕСКО и ОДИНАФРИКА.

С 2012 г. между РГГМУ и МГТУ установились плодотворные партнерские отношения. Сотрудники и студенты РГГМУ участвовали в Адыгее в Международных научно-практических конференциях, Международных школах молодых ученых, их организации и проведении. Для занятий Международной школы молодых ученых в 2016 г. в МГТУ были опубликованы материалы и методические пособия при участии сотрудников РГГМУ [10, 14]. Тесные контакты с преподавателями и специалистами инженерно-экономического факультета МГТУ (декан, доктор экономических наук, профессор Беданов М.К.) способствовали публикации докладов студентов в 2013-2017 гг. и их участию в мероприятиях, проводимых МГТУ. Примеры использования программ международного сотрудничества приведены в многочисленных публикациях [12, 15, 16, 18].

Возможности учреждений в области создания потенциала могут стать более устойчивыми, а, вероятно, даже возрастут в результате создания информационно-координационного механизма при профессиональной подготовке и обучении специалистов. С целью распространения знаний об океане среди разных групп населения планируется разработка программы мероприятий для повышения их уровня знаний об океане. С этой целью в последние годы проведены конференции с организацией студенческих школ, которые способствовали повышению уровня знаний о морской среде, ее обитателях и рациональном использовании. Опубликованы материалы школ и курсов для обучения, например, в 2016-2018 гг. [8, 14, 17, 19]

В настоящее время реализуется новый этап освоения Арктики и ее природных богатств разными странами. С 2012 г. в Российской Федерации началась комплексная работа по разведке арктического шельфа и поиску минеральных ресурсов в рамках программы, рассчитанной до 2030 г., восстанавливается инфраструктура на архипелаге Новая Земля и на Новосибирских островах. В результате исследований последних лет подготовлены данные для обучающих материалов по обеспечению навигации судоходной трассы Северного морского пути сведениями о ледовой обстановке [1, 2, 12, 16].

Важное место, особенно для районов Сибири и Дальнего Востока, уделяется исследованию малоизученных районов океана и его побережья как следствие понимания, насколько океан все ещё остается в значительной степени неисследованным. Основной целевой аудиторией таких программ становятся школы, что потребует включения «знаний об океане» в школьные программы, проведения соответствующей разъяснительной работы на уровне властей, государственных органов и широкой общественности.

С этой целью МОК ЮНЕСКО осуществляет координацию мероприятий по распространению современных знаний об Океане и прибрежных регионах, в том числе определяющих условия экологического состояния рек и бассейнов, имеющих связь с морскими бассейнами.

В программе подготовки Десятилетия планируется организация многочисленных региональных мероприятий, среди которых следует выделить традиционную международную VIII конференцию «Морские исследования и образование – Marine Research and Education - MARESEDU-2019», II Студенческую межвузовскую международную научную конференцию, организованную Комиссией истории географических знаний Географического Общества в Санкт-Петербурге «Parte Incognita – II», под названием «Дары моря». Проблемы изучения Мирового океана: География, история, культура – 2019», Всероссийскую олимпиаду школьников по географии «Земля – наш общий дом!» и многие другие.

В рамках Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации» 14-15 марта 2019 г. состоялось заседание Круглого стола «Подготовка к Десятилетию ООН, посвящённому науке об океане в интересах устойчивого развития в области обучения и повышения уровня

знаний о Мировом океане». Некоторые из пунктов принятой участниками Круглого стола резолюции содержали их предложения по программе подготовки и поддержке мероприятий МОК ЮНЕСКО» [6, 7]:

- поддерживать планы реализации задач и стратегии МОК ЮНЕСКО в области развития потенциала в подготовительный период «Десятилетия ООН, посвящённого науке об Океане в интересах устойчивого развития»;

- предложить при создании органа (Национального комитета) Российской Федерации по реализации «Десятилетия ООН, посвящённого науке об Океане в интересах устойчивого развития» и обсуждению плана участия в нем рассмотреть решение Круглого стола и использовать его при обсуждении планов органов Российской Федерации, имеющих поручение по реализации в стране «Десятилетия ООН, посвящённого науке об Океане в интересах устойчивого развития»;

- учитывая многолетние инициативы кафедр ЮНЕСКО Санкт-Петербурга, поддержать их деятельность в сфере расширения базы научных знаний и передачи морских технологий регионам страны, чьи возможности в настоящее время ограничены, и внести их в список инициатив МОК ЮНЕСКО от Российской Федерации в подготовительный период «Десятилетия ООН, посвящённого науке об Океане в интересах устойчивого развития»;

- учитывая, что научные исследования и подготовка кадров в области морских наук «Обучение-через-исследования» отвечают стратегии ЮНЕСКО в области развития потенциала и национальным интересам Российской Федерации, ходатайствовать о включении программы «Обучение-через-исследования» в список инициатив МОК ЮНЕСКО в подготовительный период «Десятилетия ООН, посвящённого науке об Океане в интересах устойчивого развития», с дальнейшей поддержкой в качестве мероприятий при проведении под эгидой МОК ЮНЕСКО для целей развития потенциала в интересах устойчивого развития 2021-2030 гг.;

- использовать платформу программы «Обучение-через-исследования (Class@Baikal МГУ, «Плавучий университет» ИО РАН)» для придания ей статуса инициатив «Десятилетия ООН, посвящённого науке об Океане в интересах устойчивого развития»;

- предложить включить ежегодную Международную конференцию «Морские исследования и образования (MARESEDU)», организованную МГУ им.М.В.Ломоносова и ИО РАН, в список официальных мероприятий МОК ЮНЕСКО по подготовке «Десятилетия ООН, посвящённого науке об Океане в интересах устойчивого развития»;

- отмечая активную деятельность Всемирной конфедерации подводной деятельности (CMAS), Федерации подводного спорта России, ассоциации «Федерация Фридайвинга» Российской Федерации по защите и сохранению морской среды, учитывая высокий авторитет российских организаций и спортсменов на мировой арене, осуществлять сотрудничество с признанными авторитетами, мировыми знаменитостями и рекордсменами, участвующими в реализации программ по обучению молодежи, охране и сохранению природы морей России.



- направить настоящее решение в адрес руководителей организаций, планирующих национальные и международные проекты, Межведомственной национальной океанографической комиссии с целью консолидации усилий на национальном уровне в подготовительный период «Десятилетия ООН, посвященного науке об Океане в интересах устойчивого развития», а также в предложения от делегации РФ на XXX Ассамблею МОК ЮНЕСКО в июне-июле 2019 г.

О подготовке к Десятилетию ООН, посвященному науке об океане в интересах устойчивого развития и его задачах в области обучения и повышения уровня знаний о Мировом океане докладывалось на IV Всероссийском конгрессе кафедр ЮНЕСКО в Казани при участии Генерального директора ЮНЕСКО Одри Азуле 6-7 марта, на V Международном арктическом форуме «Арктика – территория диалога» в Санкт-Петербурге 9-10 апреля, и на собрании Попечительского Совета по организации Российско-французского центра в Санкт-Петербурге при участии президента Межрегиональной общественной организации «Ассоциация полярников» А.Н. Чилингарова и посла Франции по делам Арктики и Антарктики Сеголен Руаяль 10 апреля 2019 г. [5].

Таким образом, уже в подготовительный период научное сообщество, видные общественные и государственные деятели, политики и простые граждане, а также органы, отвечающие за формирование программы Десятилетия политики, знакомятся с его основными задачами, чтобы найти пути их реализации за рамками традиционного мышления. В итоге могут быть получены реальные изменения, например, в области получаемой информации или подходов к сотрудничеству и партнерству в вопросах устойчивого освоения и охраны здоровья экосистем океана и прибрежных регионов.

### **Список литературы**

1. Артамонова А.В. Примеры результатов дистанционного зондирования района Земли Франца-Иосифа в различные сезоны. // Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Материалы IV Международной научно-практической конференции (Майкоп, 15–18 мая 2017 г.). Ч.1.- Майкоп: Изд-во «ИП Кучеренко В.О.». 2017. С.66-72.

2. Бычкова И.А., Михальцева С.В., Платонова Е.В., Степанов В.В., Сычев В.И. Примеры обработки спутниковой информации о ледяном покрове для практических целей и подготовки кадров высшей квалификации. // Применение космических технологий для развития арктических регионов. Сборник тезисов докладов Всероссийской конференции с международным участием (Архангельск, 17–19 сентября 2013 года), Архангельск, ИПЦ САФУ. 2013. – С.94–95.

3. Карлин Л.Н., Сычев В.И. Программный комплекс ЮНЕСКО-БИЛКО для решения задач дистанционного зондирования океана. // Материалы международной конференции «Космическая съемка – на пике высоких технологий». М.: Совзонд. 2007. С.27–28.

4. Круковска Т., Малинин В.Н., Сычев В.И., Волков А.В., Тюряков С.А. Применение пакетов прикладных программ ЮНЕСКО в гидрометеорологии. Краткое руководство пользователя и примеры практического использования WinDAMS. Часть 1. Введение в анализ временных рядов – СПб.: Изд. РГГМУ, 2001. 36 С.

5. Рябинин В.Э., Сычев В.И. К Десятилетию ООН, посвященному науке об океане в интересах устойчивого развития (2021–2030 гг.). // Ученые записки Российского

государственного гидрометеорологического университета, № 54. Научно-теоретический журнал. СПб.: РГГМУ, 2019. С.73–79.

6. Рябинин В.Э., Сычев В.И. К Десятилетию ООН, посвящённому науке об океане в интересах устойчивого развития (2021–2030 гг.), и подготовка кадров в области морских наук. // Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации» 14-15 марта 2019 г., в двух томах; том 1, СПб.:РГГМУ, 2019, С.13-15.

7. Рябинин В.Э., Сычёв В.И. Подготовка к объявленному ООН Десятилетию наук об океане в интересах устойчивого развития (2021–2030 гг.). // Сборник трудов V международной научно-практической конференции ИНФОГЕО 2018 «Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий» в двух томах; том 1, СПб.:РГГМУ, 2018, С.20-25.

8. Свергун Е.И. Элементы мониторинга Азовского моря по современным спутниковым данным. // Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Материалы IV Международной научно-практической конференции (Майкоп, 15–18 мая 2017 г.). Ч.2.- Майкоп: Изд-во «ИП Кучеренко В.О.». 2017. С.111-116.

9. Сычев В.И. «Балтийский плавучий университет» (БПУ) и его предыстория в ЛГМИ/РГГМУ в 60–80е годы XX в. // Труды V Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU–2016)»: – М.: Феория, 2016. С.35–38.

10. Сычев В.И. Динамика береговой зоны Краснодарского водохранилища по данным дистанционного зондирования в 2015-2016 гг. // Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Материалы IV Международной научно-практической конференции (Майкоп, 15–18 мая 2017 г.). Ч.2.- Майкоп: Изд-во «ИП Кучеренко В.О.». 2017. С.149-163.

11. Сычев В.И. Компьютерные курсы ЮНЕСКО/БИЛКО в России для обучения студентов–океанологов. // – ММН Бюллетень ЮНЕСКО, Изд. ВНИРО, 1995. № 71. С.19–20.

12. Сычев В.И. Некоторые результаты международного сотрудничества при подготовке специалистов-гидрометеорологов в области обработки спутниковой информации. // Сборник докладов Всероссийской конференции с международным участием «Цифровая экономика и гидрометеорологическое образование», 18- 19 сентября 2018 г., М.: 2018, С. 112-124.

13. Сычев В.И. Новые компьютерные курсы программы ЮНЕСКО «Окружающая среда и развитие прибрежных регионов и малых островов» для обучения и использования спутниковых данных в сети Интернет.// – В кн. «Материалы конгресса «Образование–98», Ч.2, Москва, изд. МЭСИ, 1998. С.183–187.

14. Сычёв В.И. Практическое использование спутниковых изображений по результатам дистанционного зондирования Земли из Космоса. Ч.4. Введение в анализ спутниковых данных с помощью интегрированной системы анализа спутниковых изображений ЮНЕСКО БИЛКО. – Майкоп: – 2016. 84 С.

15. Сычев В.И. Примеры использования программного комплекса ЮНЕСКО WinIDAMS в науках об окружающей среде. //– Материалы итоговой сессии ученого совета РГГМУ, – СПб.: Изд. РГГМУ, 2002, С.173–175.

16. Сычёв В.И. Примеры результатов международного сотрудничества при обучении обработке спутниковой информации в программах подготовки специалистов. // Межвузовский сборник научных трудов: Информационные технологии и системы. Выпуск 1(32). СПб.: 2018. С. 82-95.

17. Сычев В.И., Рублев П.А. Современное состояние и динамика прибрежной зоны и водных объектов по спутниковым данным высокого разрешения (на примере Краснодарского водохранилища). // Прикладные аспекты геологии, геофизики и

геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Материалы III Международной научно-практической конференции (Майкоп, 11–14 мая 2015 г.). - Майкоп: Изд-во «Магарин О.Г.». 2015. С.207-213.

18. Сычев В.И., Шаромов В.Ю. Опыт и перспективы сотрудничества РГТМИ и ГУНИО в рамках, научных гидрометеорологических исследований и подготовки кадров. // В сборнике: Океанологическому факультету – 25 лет (исследования и подготовка кадров в области морских наук) Сборник научных трудов. Российский государственный гидрометеорологический институт. Санкт–Петербург, 1995. С. 65–68.

19. Сычев В.И., Эдвардс А.Д. Введение в программное обеспечение для обработки спутниковых изображений. // Краткое руководство пользователя и примеры практического использования программных продуктов ЮНЕСКО. – СПб.: ЮНЕСКО: 2008. 96 С.

20. Byfield V., Dobson M., Donlon C., Edwards A., Robinson Ia., Sychev V.I., Whittle Ch. Capacity Development in Coastal and Marine Remote Sensing with UNESCO Bilko. // В сборнике: 50 лет развития образования и просвещения для формирования будущего океанов и прибрежных территорий (Обмен знаниями и опытом, и предложение новых путей – Вклад в основные цели развития планеты и в задачи декады ООН по образованию для устойчивого развития) Материалы Международной конференции. Под общей редакцией: Карлин Л.Н., Олюнин Ю.В., Сычев В.И. СПб.: 2010. С. 80–93.

21. Decade of Ocean Science for Sustainable Development. [Электронный ресурс] // Fifty-first Session of the IOC Executive Council, Paris, France. United Nations. 2018. Режим доступа: [http://www.ioc-unesco.org/index.php?option=com\\_oe&task=viewDocumentRecord&docID=22214](http://www.ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=22214). Дата обращения: 20.01. 2019.

22. International (UN) Decade of Ocean Science for Sustainable Development. [Электронный ресурс] // Resolution XXIX-1: Decisions adopted by the IOC Assembly at its 29th Session. Paris. 2017. Режим доступа: [http://www.ioc-unesco.org/index.php?option=com\\_oe&task=viewDocumentRecord&docID=19770](http://www.ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=19770). Дата обращения: 20.01.2019.

23. Revised roadmap for the UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development. [Электронный ресурс] // 51st IOC Executive Council. Paris. IOC/EC-LI/2 ANNEX 3. 2018. 55 P. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265141>. Дата обращения: 20.01. 2019.

24. Sychev, Vitaly. The UNESCO Bilko software package for the marine applications of remotely sensed data. The 3rd International Workshop on Science of SAR Polarimetry and Polarimetric Interferometry. ESA–ESRIN Frascati, Rome, Italy. 2007. P. 78–79.

25. United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030). [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://en.unesco.org/ocean-decade/> Дата обращения: 20.01. 2019.

# ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАПРИПАЙНОЙ ПОЛЫНИИ СЕВЕРНЕЕ ОСТРОВА КОТЕЛЬНЫЙ

**В.И. Сычев**

*vsychev@rshu.ru*

*Российский государственный гидрометеорологический университет,*

*Россия, г. Санкт-Петербург*

**Аннотация.** *Статья посвящена практическому применению дистанционного зондирования в водах Арктики. Описаны примеры определения характеристик ледяного покрова и Великой Сибирской полыньи к северу от острова Котельный.*

**Ключевые слова.** *Дистанционное зондирование, Landsat-8 Oli, Sentinel-2 MSI, Aqua, Terra/MODIS, Арктика, Великая Сибирская полынья, остров Котельный.*

**Abstract.** *The article is devoted to the practical application of remote sensing in Arctic waters. Examples of the detection of the characteristics of the ice cover and the Great Siberian Polinya to the North of the Kotelny island are described.*

**Keywords.** *Remote sensing, Landsat-8 Oli, Sentinel-2 MSI, Aqua, Terra/MODIS, Arctic, ice, Great Siberian Polinya, Kotelny island.*

Интенсивное развитие инфраструктуры Северного морского пути (СМП) требует детального изучения значительных акваторий, в том числе морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Особое значение в этих условиях приобретает информационное обеспечение весенне-летней навигации сведениями о ледовой обстановке по многозональным спутниковым данным. Для дополнительного информационного обеспечения перед началом навигации и в начальный период ледового плавания необходимо определение характеристик сплоченности морского льда и пространств чистой воды и тонких льдов [1].

Одной из характерных особенностей климатических колебаний температуры в Арктике является смена периодов похолоданий и потеплений. В начале XX в. отмечались отчетливо выраженные периоды [2,3]. похолодания. Современное состояние ледяного покрова и прогнозы с помощью численных моделей указывают на наступивший в последние годы период потепления и прогнозируемое значительное уменьшение площади льда к середине и к концу XXI в. Но в отдельные годы возникают препятствия для безледокольного плавания по СМП. Поэтому необходимость ледокольного обеспечения судоходства и работ на шельфе в Арктике сохраняется.

Детальный анализ многоспектральных спутниковых данных последних лет [4,5] по оценке неоднородности поверхности, покрытой льдом, позволил предложить методы контроля за положением плавучих льдов. В период очищения районов плавания ото льда с учетом прогноза характеристик ветра

определялись состояние трассы СМП, скорость и направление дрейфа льдов в районе перевозок [6,7].

Большое значение для правильных оценок климатических и погодных условий имеют так называемые заприпайные полыньи в Арктике, которые систематически образуются в зимний период между неподвижным припаем и сплочённым дрейфующим льдом и представляют собой значительные пространства чистой воды и молодых льдов различной толщины размерами от нескольких сотен метров до сотен километров.

Такие образования представляли основное препятствие в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском для первых санных экспедиций в начале XIX в. К северу от островов, которые были названы именем П. Ф. Анжу, значительные пространства чистой воды, получившие название «сибирская полынья», не позволили этому морскому офицеру убедительно доказать существование или отсутствие Земли Санникова [3].

Считается, что роль заприпайных полыней в формировании климата Арктики может быть достаточно велика. Над участками чистой воды из-за большой разности температур воды и окружающего воздуха, достигающей 20–40°C, возникают мощные конвективные потоки, и большое количество скрытого и явного тепла, на один-два порядка больше, чем над паковыми льдами, поступает из океана в атмосферу. В результате теплоотдачи в атмосферу в полыньях происходит интенсивное ледообразование, которое, в свою очередь, приводит к росту плотности воды, что влияет характер процессов на шельфе. Однако до настоящего времени недостаточно изучена изменчивость характеристик полыней, их размеры, характер и скорость образования в них ледяного покрова.

Определение характеристик полыней затруднено из-за их значительной временной изменчивости, связанной с интенсивностью процессов в Арктике. При оценке величины их площади трудно различить участки чистой воды и покрытые молодым новообразованным тонким льдом, а это приводит к существенной недооценке поступления тепла из океана в атмосферу при низких температурах воздуха. Поэтому исследование пространственной неоднородности ледяного покрова в зонах заприпайных полыней представляет важную практическую задачу.

На рис. 1 приведено псевдоцветное изображение (комбинация каналов 7-2-1 Terra/MODIS) заприпайной полыньи севернее островов Анжу в апреле-мае. Как правило, такие полыньи образуются при достаточно продолжительных ветрах. Поэтому значительная изменчивость процессов, вызывающих образование и поддерживающих существование полыней, в большой степени связана с изменчивостью в поле ветра. Интенсивность процессов образования и площадь молодых льдов в разводьях обусловлена временем года и отрицательной температурой воздуха в зимний период и весной до начала таяния льда. В связи с этим размеры заприпайной полыньи могут изменяться от года к году, что проиллюстрировано на рис. 1.

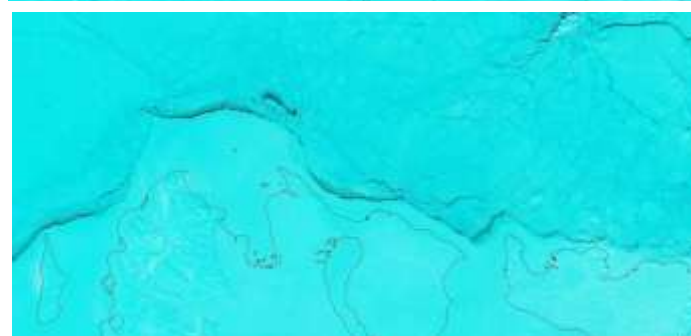
На практике для ежедневных наблюдений ледяного покрова в полярных районах используются данные пассивного микроволнового зондирования, но



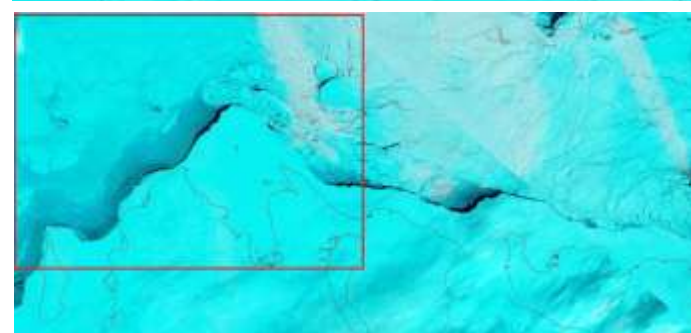
27 марта 2000 г.



27 марта 2003 г.



17 марта 2012 г.



3 апреля 2018 г.

Рис. 1. Псевдоцветное изображение (комбинация каналов 7-2-1 Terra/Modis) заприпайной полыньи севернее островов Анжу в апреле-мае.

даже более высокое пространственное разрешение радиометров AMSR-E и AMSR-2 не позволяет определить размеры участков открытой воды менее 3-6 км.

Данные видимого и инфракрасного диапазона приборов MODIS спутников Aqua и Terra имеют более высокое разрешение. Для них построены алгоритмы определения толщины и сплочённости льда, которые применяются для оценок площади полыней и идентификации зон формирования молодого льда при отсутствии или незначительной облачности, но такие условия в

полярных широтах случаются достаточно редко. Тем не менее, подобные оценки помогают уточнить особенности пространственной неоднородности подстилающей поверхности при малых горизонтальных градиентах ее температуры, особенно в период таяния льда. Псевдоцветное изображение (комбинация каналов 7-2-1) Terra/MODIS с разрешением 250 м в общих чертах отображает особенности поверхности (рис.2), а также позволяет проанализировать отличия на участках, которые на снимке высокого разрешения соответствуют областям новообразованного льда. Все же данные Aqua, Terra/MODIS нередко не позволяют отделить области чистой воды от тонкого льда (до 15-30 см толщиной), этой процедуре препятствует и наличие облачности на снимке. Вместе с тем такая информация в сочетании с данными более высокого разрешения позволяет детальнее проанализировать процессы формирования заприпайных полыней.

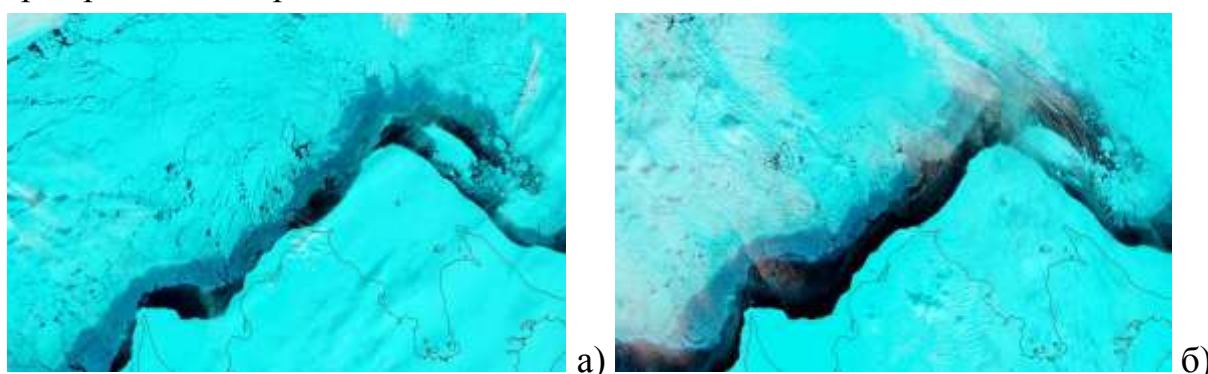


Рис. 2. Псевдоцветное изображение (комбинация каналов 7-2-1) Terra/Modis от 27 (а) и 28 (б) апреля 2018 г. для выделенного участка на рис.1.

На рис. 1 от 3 апреля 2018 г. ширина полыньи в выделенном прямоугольнике составляла 20-27 км. Затем вследствие низких отрицательных температур она покрылась новообразованным молодым льдом. Отжимной ветер привел к тому, что ширина новой полосы чистой воды составила от 3 до 7 км, затем в течение 7 суток она менялась от 5-7 до 30-55 км. Полынья покрывалась молодым льдом, который дрейфовал к северу и северо-западу, освобождая новые пространства чистой воды. Минимальная ширина полыньи к 13 апреля составила 3-10 км, и она снова покрывалась молодым тонким льдом, который на снимках оптического диапазона незначительно отличался от чистой воды (рис.2а), представленной оттенками темно-синего цвета. С 27 по 28 апреля, в течение одних суток кромка плавучих льдов на разных участках сместилась на расстояние от 5 до 20 км (рис.2б), что привело к значительному изменению площади полыньи и усилению теплообмена между океаном и атмосферой.

Приведенные примеры указывают на возможные погрешности данных определенного диапазона, поэтому их рекомендуется использовать, как правило, с микроволновыми данными, а также с численными моделями и статистическими методами восстановления. Для уточнения могут использоваться также данные радаров с синтезированной апертурой (РСА) вне зависимости от времени суток и наличия облачного покрова, а также приборов

оптического диапазона спутников Sentinel-2a, b. Для РСА на спутниках Европейского космического агентства Sentinel-1a и b пространственное разрешение меняется от (1–3)х(1–3) м при ширине полосы обзора 25–50 км до 100×100 м при полосе обзора 400–500 км (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/>) [8].

Спутниковые данные Landsat-8 Oli от 27 апреля и Sentinel 1a от 28 апреля 2018 г. (с пространственным разрешением 30 и 40 м соответственно) на рис.3 позволяют уточнить площади различных элементов поверхности и особенности динамики ледяного покрова, которые не могли быть выделены на рис. 2. Сильный юго-восточный ветер привел к образованию пространств чистой воды, которые хорошо видны на изображении РСА. В юго-западной части участка на снимке Sentinel 1a выделяется широкий припай в прибрежной области залива Стахановцев Арктики, где расположен аэродром Темп [5,9]. На снимке можно также выделить характеристики ледяного покрова, но в видимом диапазоне некоторые из них плохо различимы на покрытой снегом поверхности. Альbedo покрытого снегом льда толщиной более 30 см меняется примерно от 0.95 для свежеснежного до характерных значений порядка 0,7-0,8 [4].

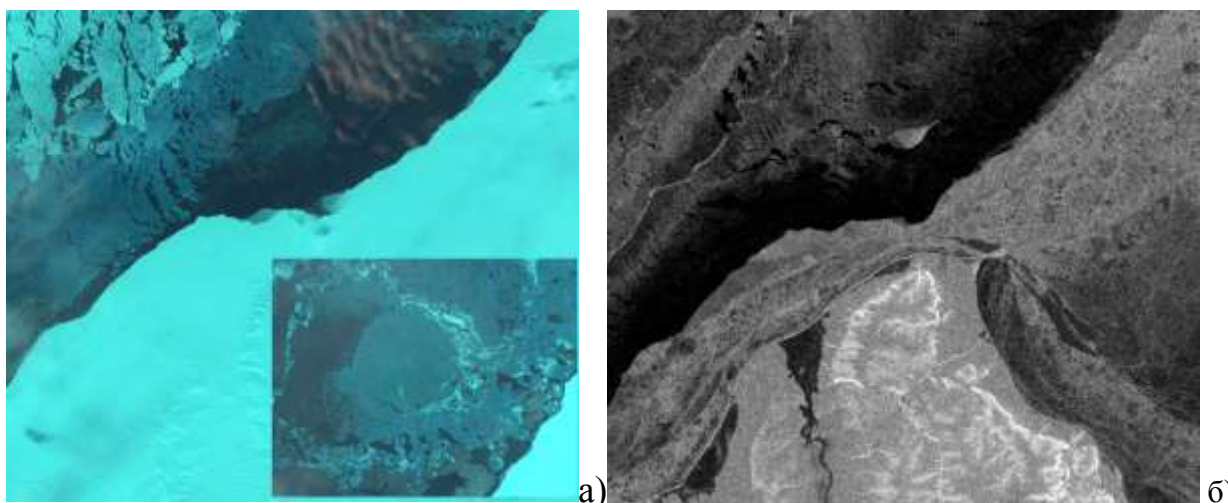


Рис. 3. Изображения Landsat-8 Oli (а) от 27 апреля 2018 г. и Sentinel 1a от 28 апреля 2018 г. (б)

По мере удаления от кромки припая сплочённый лед (9-10 баллов) выделяется «матовой текстурой» поверхности с уменьшенной яркостью по сравнению с припаем и крупными ледяными полями. Далее от припая различимы крупные ледяные поля и тёмные участки с чистой водой между ними (рис. 3а). Врезка со снимком Landsat-8 Oli на рис. 3а иллюстрирует характер антициклонического вихревого образования, которое находится севернее области на рис. 3, зоны конвергенции молодого льда в виде полос белого цвета и области молодого льда в нижней части фрагмента.

Использование многозональных спутниковых данных позволяет выявить некоторые особенности процессов образования заприпайных полыней особенно при интенсивных динамических процессах. Например, к середине апреля 2019 г. севернее Новосибирских островов при слабых ветрах переменных направлений преимущественно южных четвертей наблюдался



ледяной покров сплоченностью 9-10 баллов. Площадь припая превышала значения апреля 2018 г., особенно севернее острова Котельный, а ширина заприпайной полыньи к 19 апреля составляла 1-3 км. На рис. 4 и 5 приведены данные Terra/Modis, Landsat-8 Oli и Sentinel 1a, b, которые иллюстрируют, как при усилении южных ветров до 5-7 м/с ширина заприпайной полыньи выросла 20 апреля до 10 км (рис. 5а, б). Затем 21 апреля юго-восточный ветер усилился сначала до 8-10 м/с, а во второй половине суток – до 10-12 м/с, что привело к дальнейшему увеличению размеров полыньи.

На рис. 5 в-г комбинация каналов 3-6-7 Terra/Modis и 7-2-1 Landsat-8 Oli, и данные Sentinel 1a иллюстрируют, как в течение 21 апреля ширина заприпайной полыньи увеличивалась до 10-20 км. К 22 час её размеры на всём участке севернее Новосибирских островов достигли ширины 20-22 км, на пространствах чистой воды отчётливо видны полосы циркуляции Ленгмюра.

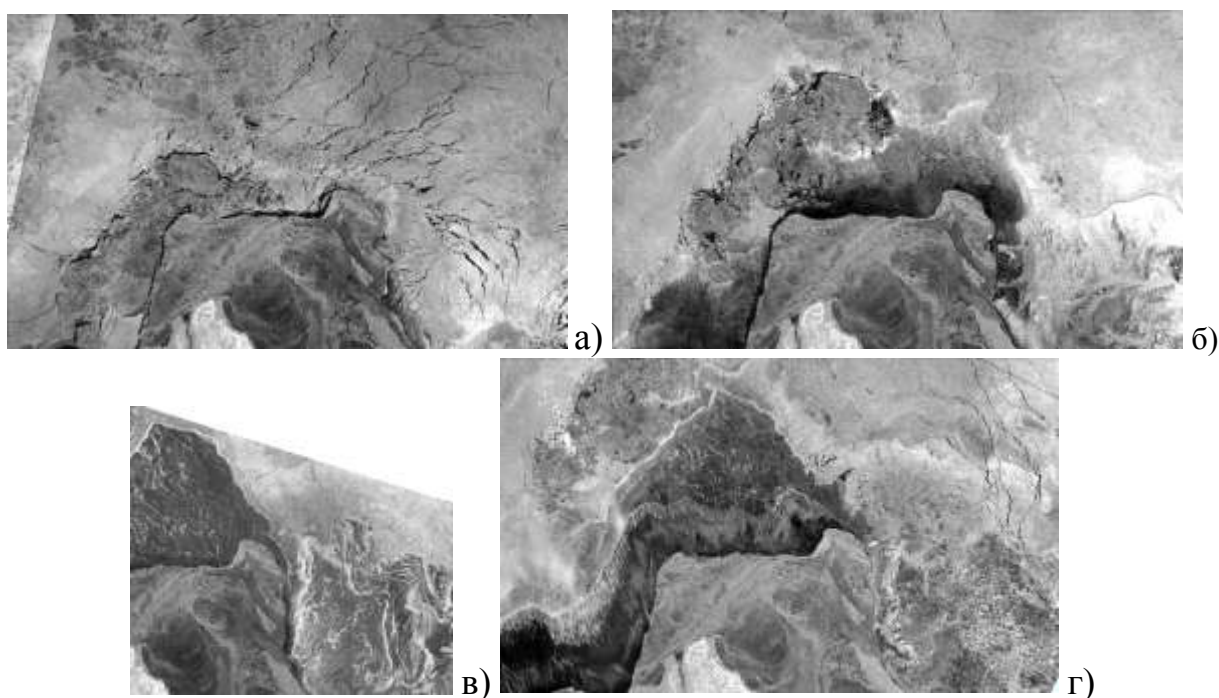


Рис. 4. Изображения Sentinel 1b от 19 апреля (а) и Sentinel 1a от 23 (б), 26 (в) и 28 (г) апреля 2019 г.

Вариации их яркости зависят от скорости ветра, а направление ветра можно определить по ориентации полос, которые им вызваны (рис. 5г). К 23 апреля ширина полыньи достигла 40 км, причем её значительная площадь, более 50 % покрылась молодым льдом, а на чистой воде отчётливо видны полосы тонкого льда. К 26 апреля при умеренном южном ветре до 5-7 м/с ширина полыньи достигла 70 км на меридиане 139° в. д., а её площадь оставалась в пределах примерно 5000 км<sup>2</sup> (рис. 5 в, г).

Для оценок крупномасштабных характеристик заприпайных полыней используются данные микроволнового радиометра Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR2) на японском спутнике Global Change Observing Mission-Water 1st (GCOM-W1), имеющем самое высокое пространственное разрешение среди микроволновых приборов. Радиометр измеряет яркостную температуру уходящего излучения Земли на 7 частотах в диапазоне от 6,9 до

89,0 ГГц на вертикальной и горизонтальной поляризациях.

Для анализа использовались ежедневные карты сплоченности льда на сетке 3,125x3,125 км, которые были построены по яркостным температурам в Бременском университете (<http://www.iup.uni-bremen.de:8084/amr2/>). На рис.6 приведены изменения площади полыньи с 19 по 26 апреля 2019 г. и сплоченности льда в них. На участке севернее Новосибирских островов в восточной части моря заметно, как от небольшой площади размеры полыньи росли к 21 апреля и далее до максимальной величины 26 апреля. Общий

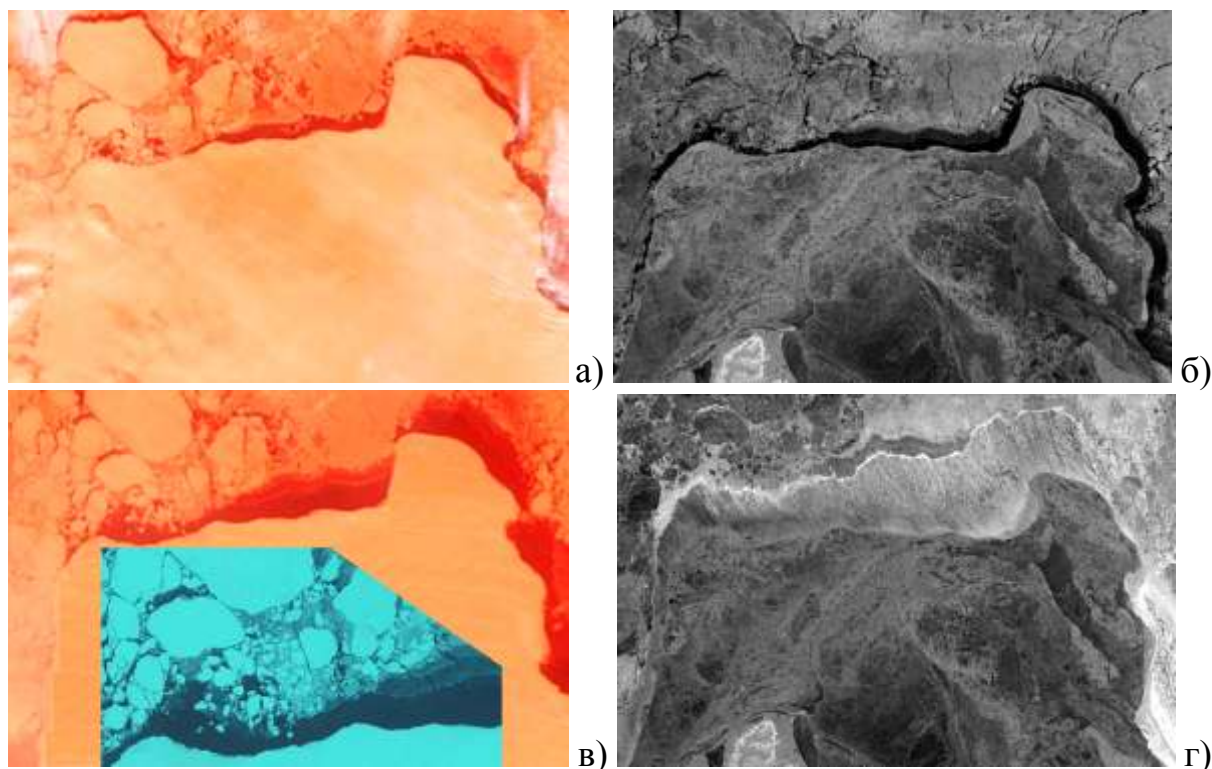


Рис. 5. Изображения Terra/Modis (комбинация каналов 3-6-7) от 20 (а) и 21 (в) апреля и Sentinel 1a от 20 (б) и 21 апреля (г) 2019 г. На врезке приведено изображение Landsat-8 OIi от 21 апреля (комбинация каналов 7-2-1).

характер изменений согласуется с оценками по многозональным данным более высокого разрешения (рис.4-5), но последние позволяют провести детальный анализ пространственной неоднородности и более точно показать площади чистой воды и льда различной сплочённости.

После начала таяния альbedo припая и больших ледяных полей в видимом диапазоне становятся близкими по своим значениям. В этих условиях кромка припая может быть определена достаточно точно при наличии за ней полыней или прогалов.

Так как роль заприпайных полыней и их влияние на климат Арктики могут быть достаточно велики, особенно в формировании процессов на шельфе, поэтому требуется дальнейшее изучение их изменчивости, а также характеристик и скорости образования в них ледяного покрова.

Серьезную проблему при определении продемонстрированных характеристик полыней представляет также значительная временная изменчивость процессов в Арктике. Приведенные примеры показывают, что в

полюсье трудно определить площади участков, покрытых молодым тонким льдом, а это приводит к существенным погрешностям при оценках теплообмена между океаном и атмосферой, особенно в зимний период. Поэтому исследование пространственной неоднородности ледяного покрова в зонах заприпайных полюсьей продолжает оставаться важной практической задачей.

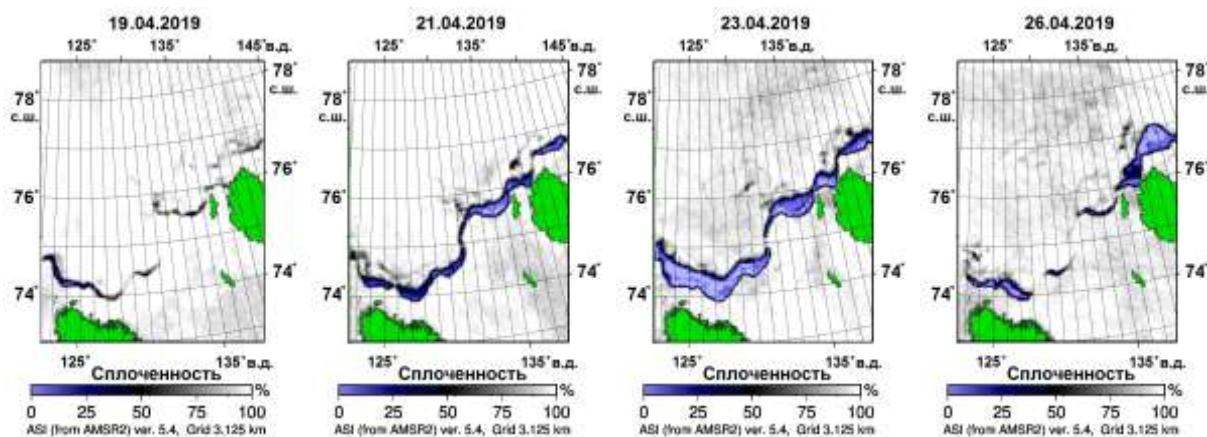


Рис. 6. Изображения положения заприпайной полюсьей в море Лаптевых по данным AMSR2 от 19, 21, 23 и 26 апреля 2019 г.

### Список литературы

1. Сычев В.И. Некоторые результаты дистанционного зондирования труднодоступных районов Арктики. // Морские исследования и образование (MARESEDU–2017). Труды VI Международной научно–практической конференции. М.: 2017. С. 39–42.
2. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М. Климатические изменения ледовых условий в арктических морях Евразийского шельфа // Проблемы Арктики и Антарктики. СПб.: 2007. №75. С. 149–160.
3. Сычев В.И. Условия плавания судов ГЭСЛО (из дневников участников) и современные изменения ледовой обстановки в навигационный период в море Лаптевых по спутниковым данным // Труды VII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2018)» Т. III (IV): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2019, С. 233-237.
4. Йоханнессен О.М., Александров В.Ю., Фролов И.Е., Сандвен С., Петтерссон Л.Х., Бобылев Л.П., Кластер К., Смиронов В.Г., Миронов Е.У., Бабич Н.Г. Научные исследования в Арктике. Том 3. Дистанционное зондирование морских льдов на северном морском пути: изучение и применение. СПб.: Наука, 2007. 512 С.
5. Сычев В.И., Ананьева А.А. Информационное обеспечение навигации данными дистанционного зондирования в мелководных районах Арктики. // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право/ Вып. 1 (32). – СПб.: ООО «Андреевский издательский дом». 2018. С.47–52.
6. Сычев В.И. Коморина И.Ю., Шишин В.Ю. Информационное обеспечение сведениями о ледовой обстановке арктических морей по многозональным спутниковым данным. // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право: Сб. тр. Международной научно-практической конференции «Инфогео 2015» / Вып. 2 (16). – СПб.: ООО «Андреевский издательский дом». – 2015. С. 68–69
7. Сычев В.И., Жихарцев Н.К., Лямин А.В., Обухова Е.С. Современные спутниковые данные при решении экологических проблем районов малых островов Арктики. // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право/ Вып. 1 (32). – СПб.: ООО «Андреевский издательский дом». – 2018. – С.77–81.

8. Митник Л.М., Хазанова Е.С.. Динамика ледяного покрова в морях Восточно-Сибирском и Лаптевых по данным спутникового микроволнового зондирования во второй половине октября 2014 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 2. С. 100-113

9. Сычёв В.И., Ананьева А.А. Особенности ледовых условий у западного побережья острова Котельный по спутниковым данным. // Труды VII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2018)» Т. III (IV): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», - 2019, - С. 171-176.

# МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ БЕЛАЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА)

<sup>1</sup>Р.А. Тороян, <sup>2</sup>И.П. Тах

*rubenet@mail.ru*

<sup>1</sup>*Майкопский государственный технологический университет,  
Россия, г. Майкоп*

<sup>2</sup>*Федеральное агентство водных ресурсов «Кубанское бассейновое водное  
управление», Россия, г. Краснодар*

**Аннотация.** Представлены результаты исследования содержания, пространственного распределения и трансформации Fe, Mn, Pb, Zn и Cu в системе вода – донные отложения р. Белая. Проведено сопоставление полученных результатов с фоновыми концентрациями металлов, которые позволяют оценить антропогенную составляющую. Установлено, что сброс с промышленных предприятий, обуславливают повышенные концентрации металлов в донных отложениях на определенных участках бассейна р. Белая

**Ключевые слова.** Тяжелые металлы, водная экосистема, донные отложения, нормирование, загрязнение, река Белая.

**Keywords.** Heavy metals, water ecosystem, bottom sediments, rationing, pollution, Belaya river.

## **Введение**

В настоящее время методы оценки качества воды с помощью системы ПДК загрязняющих веществ не дают полного представления о состоянии природных вод и не являются достаточной гарантией их охраны от загрязнения. При оценке уровня загрязненности реки используются среднегодовые концентрации содержания загрязняющих веществ в водном потоке. Для получения объективных среднегодовых значений требуется отбор и анализ большого количества проб, отобранных в разные гидрологические периоды года. Донные отложения – наиболее консервативный компонент речной экосистемы, отражающий уровень содержания тяжелых металлов в водной толще реки, поэтому донные отложения могут выступать объективным источником информации о степени загрязнения водной системы в целом.

Из многочисленных опубликованных данных следует, что минералогический состав и гранулометрические характеристики донных отложений контролируют изменение в них тяжелых металлов. Поэтому, при оценке уровня загрязненности речных осадков необходимо учитывать влияние указанных факторов и вводить соответствующие поправки. Широко используемым на практике приемом нивелирования различий в условиях формирования донных отложений является нормирование. Известно, что при этом используют различные варианты нормирования: по содержанию мелких фракций (< 20 мкм) в составе донных отложений [3]; по содержанию карбонатов, C<sub>орг.</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [5]; расчет коэффициента концентрирования относительно кремния [4], относительно алюминия и лития [6], относительно

железа [2]. Предполагается, что существует линейная связь между элементами, т.е. концентрация индикаторного элемента изменяется в зависимости от минералогического состава и гранулометрических характеристик донных отложений, и при этом пропорционально изменяется концентрация нормируемого элемента. Следовательно, нормирующий элемент должен быть важной составной частью одного (или более) носителя тяжелых металлов и отражать гранулометрическую изменчивость донных отложений.

Цель работы - изучить распределение тяжелых металлов в поверхностном слое в донных отложениях на различных участках р. Белая. Постановка такой цели весьма актуальна в связи с тем, что широкое использование р. Белая в качестве источника водоснабжения для промышленных целей требует постоянного контроля качества ее вод.

#### **Методика исследований**

Река Белая – второй по длине и самый мощный по водности левобережный приток р. Кубань, впадающий в Краснодарское водохранилище. Водосборный бассейн занимает площадь 5990 км<sup>2</sup>, длина водотока реки – 277 км. Река берет начало у вершин Главного Кавказского хребта на высоте 2197 м над у.м.. Бассейн реки вытянут в меридианальном направлении, и имеет асимметричное строение речной системы, принимая в среднем и нижнем течениях, в основном, левобережные притоки и лишь в верховьях - правобережные. Апробировано семь контрольных створов по р. Белая, пробы донных отложений отбирались дночерпателем Петерсона Д-25 на глубине 10 см от поверхности залегания. Пробы измельчались, с помощью капроновых сит разделялись на две гранулометрические фракции с диаметром ячеек 1,0 – 0,25 мм и < 0,25 мм и разлагали смесью кислот HNO<sub>3</sub>: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: HCl : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 2 : 1 : 1 : 2 при слабом нагреве [1]. Определение фоновых концентраций тяжелых металлов проводилось на глубине 20 – 30 см. В ходе исследования также определялись гидрохимические показатели: рН, окислительно-восстановительный потенциал и органический углерод.

Определение концентрации тяжелых металлов в донных отложениях проводилось атомно – абсорбционным методом в лаборатории ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Адыгея»: Pb, Cu, Fe, Mn и Zn – на спектрометре «КВАНТ – АФА» (чувствительность 10<sup>-6</sup> – 10<sup>-9</sup> мкг/л). Измерения проводились в 3-х кратной повторности. Относительная ошибка в пределах 0,01 – 5%.

#### **Результаты исследований и их обсуждения**

В исследуемых пробах содержание всех металлов находится на фоновом уровне, исключение составляют лишь отдельные точки отбора, где содержание Pb, Zn и Cu немного превышает уровень фона. Зарегистрированы максимальные величины концентраций Zn в донных отложениях на участке пос. Министочник, аул Бжедугхабль и устьевой части Белой, Pb – на створе пос. Министочник и устье реки, Cu – в нижнем течении р. Белая.

Содержание исследованных металлов в донных отложениях значительно больше, чем в воде. По величине концентраций металлы располагаются в следующий убывающий ряд:  $Fe > Mn > Zn > Pb > Cu$  (табл. 1). Система "донные отложения – придонная вода" достаточно сложна, основные определяющие ее факторы – это окислительно-восстановительные процессы, наличие комплексообразователей, величины рН, температуры и др. Более высокие значения рН и окислительно-восстановительного потенциала придонных слоев воды затрудняют переход металлов из отложений в водную толщу. Последнее подтверждает аккумулялирующую роль донных отложений и вывод о том, что в р. Белая миграция тяжелых металлов в системе "вода - донные отложения" идет сверху вниз.

По мнению многих авторов, решающее влияние на формы нахождения и уровень содержания металлов в донных отложениях и взвешенных веществах оказывают рН среды и сульфат-сульфидное равновесие, которое, в свою очередь, определяется окислительно-восстановительными условиями донных отложений [3-6]. По полученным результатам можно констатировать, что металлы почти во всех исследуемых створах концентрируются в донных отложениях реки в окислительном горизонте в труднорастворимых формах и связанных с органическим веществом. На участках реки в районе пос. Министочник, ст. Ханской и аул Адамий металлы присутствуют в виде карбонатов с переходом в сульфидные формы.

Принимая во внимание механизм поступления тяжелых металлов в донные отложения при анаэробных условиях и отмеченный нами факт, того, что наблюдаемое при аэробных и умеренно-анаэробных условиях в донных отложениях р. Белая в среднем на порядок увеличивается содержание органического углерода в крупной фракции над мелкой.

При проведении сравнительной выборки по донным отложениям с гранулометрическим разделением фракций. По трем створам из семи наблюдаются достоверные изменения по содержанию Fe (ст. Ханская – аул Адамий), по содержанию Pb – в пяти из семи створов отмечается высокая достоверность различий (пос. Министочник – аул Адамий). Высокая достоверность выявлена по содержанию Zn в пос. Министочник и ауле Бжедугхабль, по содержанию Cu от ст. Даховская до аула Адамий. Из результатов следует, что выборки практически однородны по изученным створам.

Одними из наиболее важных факторов, влияющих на адсорбционную способность ионов тяжелых металлов, являются размеры частиц. Определяющее значение имеет удельная площадь поверхности частиц [2]. Статистический анализ связей концентраций металлов с размерами частиц донных отложений р. Белая показал, что коэффициенты корреляции имеют положительные значения для частиц размерами 0,25 – 1,0, <0,25 мм. Хорошо адсорбируются Fe ( $r = 0,99$ ), Pb ( $r = 0,97$ ), Cu ( $r = 0,69$ ), Zn ( $r = 0,93$ ), Mn ( $r = 0,45$ ). Это означает, что частицы ила – главный сорбирующий и коагулирующий материал для приведенных выше тяжелых металлов.

В литературе неоднократно отмечалась существенная роль в геохимических циклах Fe и Mn. Данные исследований свидетельствуют о средней корреляции Fe с концентрациями Cu ( $r = 0,48$ ), Mn ( $r = 0,44$ ), Zn ( $r = 0,32$ ), Pb ( $r = - 0,81$ ). Максимальные значения этих коэффициентов отмечены для частиц диаметром  $< 0,25$  мм:  $r = 0,79$  (Cu),  $r = 0,65$  (Mn),  $r = 0,50$  (Zn), Pb ( $r = - 0,70$ ). Для фракции частиц с диаметром  $0,25 - 1,0$  мм концентрация Mn тесно связана с концентрациями Cu ( $r = 0,92$ ), Zn ( $r = 0,45$ ) и Pb ( $r = - 0,18$ ), для мелкой фракции соответствующие показатели –  $0,37$  (Cu),  $0,25$  (Zn) и  $- 0,47$  (Pb). Наиболее высокие коэффициенты корреляции содержания Fe с выше указанными металлами характерны для мелкой фракции, в то время как Mn - для более крупной фракции, что свидетельствует об идентичности процессов трансформации тяжелых металлов в донных отложениях. Полученные высокие значения коэффициентов корреляции содержания Mn и Fe с концентрациями Zn и Cu, свидетельствуют об участии этих элементов в редокс-цикле Fe и Mn.

Таблица 1.

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях р. Белая, мг/кг сухого веса

элемент	фракция, мм	Номер створа							Cv, %
		1	2	3	4	5	6	7	
pH	-	7,51	7,52	7,53	7,54	7,95	8,27	8,30	-
Еh	-	+ 229	+ 346	+ 49	+ 179	+ 61	+ 191	+ 167	-
Cu	1 – 0,25	6,576	5,189	4,578	2,688	5,632	5,729	5,226	3,73
	< 0,25	5,104	4,041	5,945	2,331	6,287	6,778	6,076	3,77
	фон	3,67	3,86	3,06	2,57	4,95	3,15	4,97	3,76
Zn	1 – 0,25	9,564	10,025	12,509	4,371	9,146	9,983	10,407	4,10
	< 0,25	10,306	9,570	14,983	4,228	11,520	13,317	11,415	4,11
	фон	8,16	10,08	7,28	4,87	9,74	6,80	8,99	4,06
Pb	1 – 0,25	9,266	9,911	11,713	7,176	4,222	3,996	5,021	4,25
	< 0,25	9,632	9,347	12,891	6,423	4,345	5,038	4,901	4,24
	фон	10,57	10,09	8,32	5,46	4,16	2,67	3,53	4,24
Fe	1 – 0,25	727,71	700,44	691,31	380,06	1699,99	1869,0	1870,5	25,0
	< 0,25	704,28	711,94	723,21	356,68	1822,67	2096,4	1983,6	25,0
	фон	745,00	714,60	640,37	349,65	1721,60	1524,9	2047,5	25,0
Mn	1 – 0,25	112,86	101,10	67,97	53,097	91,67	96,01	98,97	25,0
	< 0,25	57,83	106,32	64,67	60,48	88,14	98,29	101,08	25,0
	фон	74,19	106,99	45,63	56,12	84,79	62,39	110,14	24,9
C <sub>орг.</sub> , %	1 – 0,25	19,33	23,17	22,82	83,83	16,65	99,54	23,05	-
	< 0,25	16,42	22,82	22,59	14,09	13,86	49,49	19,44	-

Примечание: доверительный интервал при P = 0,95 составлял (%): Fe – 8 - 45, Mn – 12 - 25, Cu – 7 - 25, Zn – 16 - 55, Pb – 16 – 50.

Анализ полученной матрицы корреляции показал, что сильной корреляционной зависимости между изучаемыми показателями нет. Зависимости между показателями, по всей видимости, свидетельствует о нелинейности связей между ними.



## **Заключение**

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях р. Белая, в целом, находится на фоновом уровне для незагрязненных водоемов. Тяжелые металлы в донных отложениях одного и того же створа реки распределены неравномерно, также прослеживается существенная пространственная изменчивость. На момент исследования миграция металлов в системе "вода – донные отложения" идет в основном сверху вниз.

Приоритетными гидрохимическими факторами, влияющими на содержание тяжелых металлов в донных отложениях р. Белая, являются окислительно-восстановительные условия. Накопление тяжелых металлов и органических веществ в донных отложениях исследуемых участках р. Белая – это два параллельно протекающих процесса. Наиболее высокие коэффициенты корреляции содержания Fe с изучаемыми металлами характерны для мелкой фракции, в то время как Mn – для более крупной фракции, что свидетельствует об идентичности процессов трансформации тяжелых металлов в донных отложениях.

## **Список литературы**

1. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. М: Химия, 1984. 432 с.
2. Потемкин В.Н. Гранулометрический анализ морских донных отложений. М: Наука, 1967. 128 с.
3. Balls P.W. // Netherlands Journ. of Sea Research. 1989. V. 23. No. 1. P. 7 – 14.
4. Horowitz A.J. A primer on trace metal-sediment chemistry. Alexandria, 1985. 67 p.
5. Steell K.F., Wagner G.H. Trace metal relationships in bottom sediments of freshwater stream the Buffalo River, Arkansas. J. Sediment Petrol. 1975. V. 45. № 1. p. 310 – 319.
6. Vasiliev O.F., Papina T.S., Pozdnjakov Sh.R. Suspended sediment and associated mercury transport – the case study on the Katun River. Proc. 4 Int. Symp. on river sedimentation, Beijing. China: IRTCES, 1990. p. 155 – 162.

# ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ ВОДА-ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ: НА ПРИМЕРЕ РЕКИ БЕЛАЯ

<sup>1</sup>Р.А. Тороян, <sup>2</sup>И.П. Тах

*rubenet@mail.ru*

<sup>1</sup>*Майкопский государственный технологический университет,  
Россия, г. Майкоп*

<sup>2</sup>*Федеральное агентство водных ресурсов «Кубанское бассейновое водное  
управление», Россия, г. Краснодар*

**Аннотация.** *Представлены результаты исследования содержания и пространственного распределения тяжелых металлов в системе «вода – донные» отложения реки Белой. Получены количественные данные и сделан сравнительный анализ степени загрязнения различных абиотических сред экосистемы реки. Показано, что характер вертикального распределения тяжелых металлов в донных отложениях связан с уровнем загрязнения и условиями проточности реки.*

**Ключевые слова.** *Тяжелые металлы, водная экосистема, донные отложения, нормирование, загрязнение, река белая.*

**Keywords.** *Heavy metals, water ecosystem, bottom sediments, rationing, pollution, Belaya river.*

## **Введение**

В последние годы геосистемам бассейн рек уделяется повышенное внимание как функционально-целостным территориальным системам. Их целостность определяется движением потока воды, и поступлением в него химических элементов, и твердых веществ. Хозяйственное освоение территорий бассейнов рек существенно изменяет потоки вещества, что в свою очередь оказывает влияние на состояние природных и природно-антропогенных ландшафтов и хозяйственную деятельность человека (Воды..., 1994). В связи с этим бассейны малых и средних водоемов можно рассматривать как локальные экосистемы.

При оценке состояния локальной экосистемы водного объекта важно учитывать загрязненность ее токсичными веществами. Наибольшую опасность среди них представляют тяжелые металлы. В определенных концентрациях они не только влияют на качество пресных вод, но и становятся токсичными для гидробионтов (организмов, постоянно обитающих в водной среде) и аккумулируются в их тканях. По трофическим цепям тяжелые металлы могут попадать в организм человека. Эти обстоятельства и обуславливают необходимость исследования загрязненности локальных экосистем водных объектов тяжелыми металлами (Гапеева, 1997; Орлов, 2002; Fischer, 1979; Plant, 1987).

Бассейн реки Белой левого притока реки Кубань представляет собой сложную природно-антропогенную систему, в пределах которой взаимодействуют естественные, урбанизированные и аграрные ландшафты. По берегам реки, главной водной артерии Республики Адыгея, расположено большое количество крупных и средних населенных пунктов с достаточно развитой сетью сельскохозяйственных и промышленных предприятий (Глава 1 в данной книге). Поэтому одной из проблем реки Белой является загрязнение ее водной среды тяжелыми металлами (Zn, Cu, Pb). В научной литературе отсутствует количественная оценка антропогенных и природных факторов, определяющих источник поступления тяжелых металлов в речную сеть, нет данных физико-химических показателей на межфазовое распределение веществ в системе «вода – донные отложения». Это приводит к значительным трудностям при анализе имеющейся информации; сложностям в получении объективных данных об источниках поступления тяжелых металлов, о степени загрязнения различных участков реки, исходных данных для оперативного мониторинга и долгосрочного прогнозирования.

Цель исследования – изучение особенностей накопления и распределения тяжелых металлов компонентами экосистемы реки Белая.

### **Природно-климатические условия бассейна**

В соответствии с ботанико-географическим районированием Северо-Западного Кавказа р. Белая расположена в умеренно влажной зоне. Продолжительность солнечного сияния достигает 2200 – 2400 ч/год. Теплый период продолжается 9 – 10 месяцев в году. Среднегодовая температура воздуха составляет  $+10,6^{\circ}\text{C}$ ; самый жаркий месяц – июль со среднемесячной температурой воздуха  $+23^{\circ}\text{C}$ , абсолютный максимум отмечен в августе  $+42^{\circ}\text{C}$ . Наиболее низкие температуры наблюдаются зимой: среднемесячная температура воздуха составляет  $-2,4^{\circ}\text{C}$ , абсолютный минимум отмечен в январе и равен  $-31^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность безморозного периода составляет 190 дней. Зима короткая, мягкая, с частыми оттепелями, снежный покров неустойчивый, максимальная высота покрова составляет 15 – 20 см. За год с водной поверхности испаряется около 900 мм воды. Для равнинной и предгорной территории характерно сочетание избытка тепла с относительным недостатком влаги, в горной части увлажнение избыточное.

Река Белая – второй по длине и самый мощный по водности левобережный приток р. Кубань, впадающий в Краснодарское водохранилище. Водосборный бассейн занимает площадь  $5990\text{ км}^2$ , длина водотока реки – 277 км. Река берет начало у вершин Главного Кавказского хребта на высоте 2197 м над у.м. Бассейн реки вытянут в меридианальном направлении, и имеет асимметричное строение речной системы, принимая в среднем и нижнем течении в основном левобережные притоки и лишь в верховье правобережные. У верховья реки Белая впадают правобережные притоки – река Киша (кордон Лагерный) и река Дах (станция Даховская)

длиною в 52 км и 23 км, площади их водосборного бассейна составляют 499 и 389 км<sup>2</sup> соответственно. Основным левобережным притоком – река Пшеха ниже города Белореченска длиной 139 км, площадью водосборного бассейна 2090 км<sup>2</sup>.

Водный режим Белой формируется за счет ледникового и снегового питания, грунтовых вод и дождевых осадков. Скоростной режим реки очень разнообразен и подвержен изменениям в зависимости от сезона, водности и конкретного створа.

Гидрографическая сеть по территории распределяется весьма неравномерно. Наибольших величин коэффициент густоты речной сети достигает в горных районах. Здесь в верховьях реки коэффициент густоты речной сети (по крупномасштабной карте) достигает 1,5 км/км<sup>2</sup>, составляя в среднем по зоне 0,7 – 0,9 км/км<sup>2</sup>. Коэффициент густоты речной сети в предгорной зоне составляет 0,6 – 0,7 км/км<sup>2</sup> и уменьшается до 0,2 – 0,3 км/км<sup>2</sup>.

### Методические аспекты исследования

Оценка состояния бассейна р. Белая осуществлялась методом экспедиционных обследований с отбором проб воды и донных отложений. Пробы отбирались с шагом 30-35 км от кордона Лагерного до устья (рис.1).

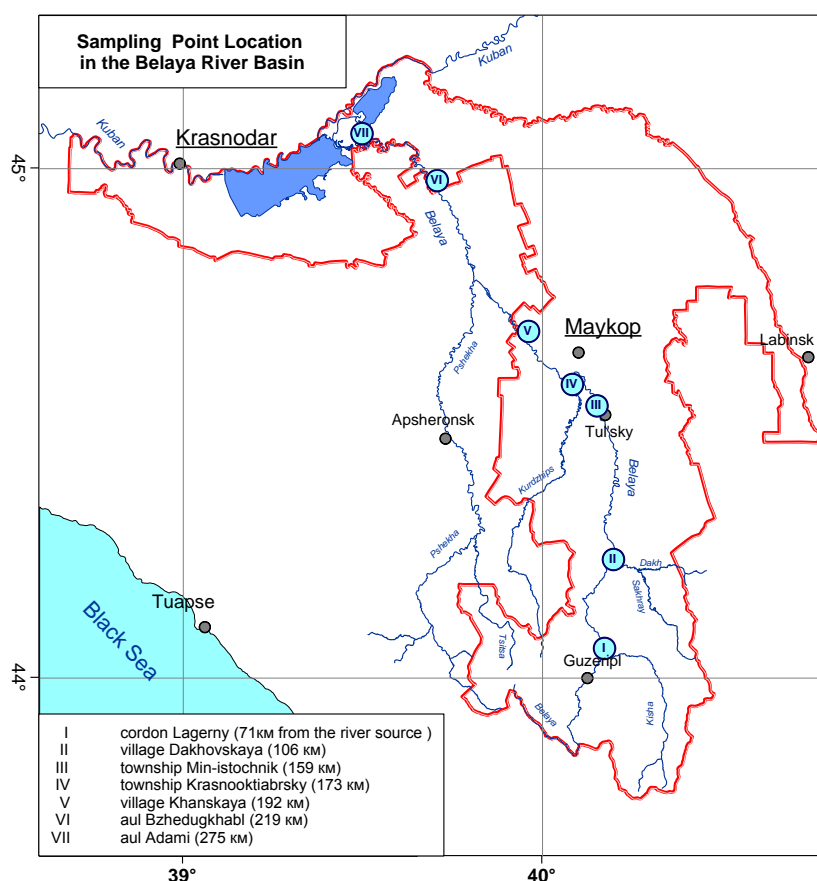


Рис. 1. Расположение контрольных створов (точек отбора проб) в бассейне реки Белая. (I - 44°03'17" с.ш. 40°10'04" в.д., II - 44°13'58" с.ш. 40°11'50" в.д., III - 44°33'06" с.ш. 40°09'24" в.д., IV - 44°34'35" с.ш. 40°05'09" в.д., V - 44°40'50" с.ш. 39°57'40" в.д., VI - 44°58'36" с.ш. 39°42'27" в.д., VII - 45°06'00" с.ш. 39°28'09" в.д.).

В пробах определялись содержание Zn, Cu, Mn, Pb, Fe и гидрохимические показатели – органический углерод, рН, окислительно-восстановительный потенциал (Eh), мутность и температуры воды (Алекин и др., 1973; Руководство..., 1977).

Отбор и подготовка проб к анализу осуществлялись согласно общепринятым методикам и стандартам. Донные отложения разлагали смесью кислот  $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2 = 2:1:1:2$  (для определения подвижных форм металлов количественное определение содержания тяжелых металлов в образцах (вода и донные отложения) проводили атомно-абсорбционным методом на АА – спектрометрах «Квант – Z ЭТА» и «Квант – АФА». Определение рН и окислительно-восстановительного потенциала проводилось потенциометрическим методом на приборе «Ионномер И – 130». Величину органического углерода ( $C_{\text{орг.}}$ ) определяли методом мокрого сжигания по Тюрину (Аринушкина, 1970).

По всем результатам экспедиционных работ составлены акты отбора проб и заполнены протоколы исследований. Проведена статистическая обработка данных: определены коэффициенты корреляции, доверительные границы изменения параметров для вероятности 0,95.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Скрининговые исследования содержания тяжелых металлов в водном потоке позволяют оценить уровни загрязнения реки на различных ее участках, проследить пространственное распределение и выявить источники поступления тяжелых металлов в русловую часть.

*Содержание тяжелых металлов в воде.* По мере приближения к устьевой зоне реки Белой концентрации тяжелых металлов в придонной воде реки Белой незначительно увеличивается. Установлено, что по величине концентрации элементы располагаются в следующей последовательности:  $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb}$ .

Установлено, что концентрация металлов в воде реки варьирует в широком диапазоне: 0,19 – 2,70 мг/дм<sup>3</sup> (железо), 0,007 – 0,22 мг/дм<sup>3</sup> (марганец), 0,0009 – 0,14 мг/дм<sup>3</sup> (медь), 0,0013 – 0,043 мг/дм<sup>3</sup> (цинк) и 0,00008 – 0,0025 мг/дм<sup>3</sup> (свинец).

Наиболее высоким содержанием отличается железо и марганец. Средние концентрации растворенных форм металлов в поверхностных водах превышают по железу предельно допустимый уровень для вод хозяйственно-бытового назначения, и составляют 1,1 – 5,2 ПДК; по марганцу превышение незначительное. Сравнение полученных результатов с более жестким нормативом, разработанным для водоемов рыбохозяйственного назначения, позволило установить, что диапазон варьирования значений составляет для железа от 1,2 до 27,0 ПДК (в среднем 8 – 13 ПДК), для марганца – от 0,7 до 31,0 ПДК (в среднем 1,2 – 11,0 ПДК). Цинк отмечается в воде только в весенний период, в среднем составляя 1,3 – 2,1 ПДК.

Превышение железа и марганца для рыбохозяйственного назначения обнаружено на участках реки повсеместно, но наибольшие концентрации

отмечаются в среднем течении реки, а именно под городом Майкопом. Причиной такой ситуации можно считать месторождение железо-марганцевых руд в прослое биогермов верхнего сармата (рудообразование древнего морского бассейна).

Анализ полученного материала на содержание тяжелых металлов в придонной воде р. Белая показал, что выборки исследуемых створов по отношению к кордону Лагерному (фон) отмечаются достоверные различия. По содержанию Fe по трем из семи створов достоверны (ст. Даховская ( $t = 2,54$ ), пос. Краснооктябрьский ( $t = 2,24$ ) и ст. Ханская ( $t = 2,73$ )) и по содержанию Mn – в четырех из семи (ст. Даховская ( $t = 3,30$ ), пос. Министочник ( $t = 2,20$ )) – достоверные различия, ст. Ханская ( $t = 4,49$ ) – очень достоверные и аул Бжедугхабль ( $t = 1,96$ ) – близки к достоверности).

Характеризуя пространственную динамику металлов, можно отметить, что средние концентрации металлов заметно увеличиваются в воде после прохождения рекой населенного пункта. Выявленная пространственная динамика содержания металлов в речной системе обусловлена, вероятно, наличием на исследуемых участках источников их поступления.

*Содержание тяжелых металлов во взвешенном веществе.* Средневзвешенные концентрации тяжелых металлов во взвешенном веществе на всем протяжении реки Белой изменяются в широком диапазоне: железо– от 3,1 до 2287,3 мг/кг, марганец– от 0,75 до 64,5 мг/кг, свинец–от 0,08 до 115,1 мг/кг, медь– от 0,24 до 0,7 мг/кг и цинк– 1,4–15,8 мг/кг. Наибольшая концентрация тяжелых металлов отмечается в среднем течении реки, что связано их поступлением с дождевыми стоками.

Во время осенней гомотермии в нижнем течении реки наблюдается некоторое увеличение содержания тяжелых металлов во взвешенных частицах. Это указывает на протекание процессов десорбции ионного обмена на поверхности взвешенных частиц, в результате которых некоторая часть железа, марганца и цинка переходит в растворенную форму, а медь и свинец адсорбируются на поверхности взвесей.

Увеличение количества транспортируемых наносов в период весеннего половодья и в осенний период приводит к подавляющему преобладанию в воде взвешенных форм тяжелых металлов.

Доли растворенных форм тяжелых металлов в весенний и осенний период соответственно составляют: Fe – 0,1–17,0% и 0,5–73,5%; Mn – 0,06–17,4% и 0,2–73,4%; Pb–0,04–7,7% и 0,1–14,8%; Zn– 0,17–8,14% и 89,0–99,3%.

Для экспертизы состояния водных экосистем предпочтительнее использовать сопоставление количества взвешенных частиц тяжелых металлов в литре воды и их удельной концентрации во взвешенном веществе (Линник, 1986; Balls, 1989).

Если обе характеристики указывают на их повышенное содержание, то можно с уверенностью констатировать существование на изучаемом участке реки источника поступления данного металла. В реке Белая данная ситуация была отмечена в 3–5км ниже зоны эксплуатации Майкопского месторождения геотермальных вод и сельскохозяйственных предприятий (по содержанию

свинца, цинка и железа), и в 1 км ниже города Майкопа до устья реки в зонах урбанизированных и аграрных ландшафтах (по содержанию железа, марганца, свинца, меди и цинка).

Анализ пространственного распределения тяжелых металлов во взвеси в зонах влияния промышленных и сельскохозяйственных предприятий показал тенденцию накопления большинства тяжелых металлов не в близи объекта (источника загрязнения), а на определенном удалении от него (1–3 км).

Результаты исследования позволили установить, что тяжелые металлы преобладают в водной среде в составе взвешенных частиц. Это обусловлено химическими свойствами этих металлов, ионы которых активно сорбируются природными сорбентами. Анализ полученных проб по содержанию тяжелых металлов во взвешенном веществе на изучаемых участках реки Белой показал, что между содержаниями меди и марганца, меди и цинка четко просматривается сильная положительная связь ( $r=0,68-0,95$ ).

Зависимость между показателями мутности воды, кислотности и концентрацией тяжелых металлов выражена слабо и очень слабо ( $r=0,08-0,36$ ). Это связано с тем, что взвешенные вещества меньшей фракцией характеризуются высокой сорбционной емкостью.

В условиях высоких скоростей течения реки. Они длительное время находятся в русле и играют определяющую роль в междоузлиевом распределении тяжелых металлов в системе «вода-взвешенные вещества».

*Содержание тяжелых металлов в донных отложениях.* Концентрации токсичных веществ в донных отложениях рек обычно превышают их концентрации в водной толще. Донные отложения в среднем течении р. Белая представлены гравелисто-галечниковым аллювием с песчаным наполнением, в нижнем – покрытым глинисто-илистым осадком. Анализ результатов исследования по определению динамики подвижных форм изученных металлов в донных отложениях реки показал, что среднее содержание элементов варьирует по годам и сезонам, однако годовые различия концентраций металлов в отложениях значительно ниже, чем по сезонам года. Показатели варьирования содержания тяжелых металлов в верхнем слое донных отложений колеблются в широких пределах: цинк – от 2,6 до 33,2 мг/кг (в среднем за год 11,3 мг/кг); свинец – от 1,1 до 14,8 мг/кг (в среднем за год 4,9 мг/кг); медь – от 0,5 до 7,5 мг/кг (в среднем за год 3,7 мг/кг); марганец – от 25,1 до 140,7 мг/кг (в среднем за год 73,1 мг/кг); железо – от 276,0 до 2217,3 мг/кг (в среднем за год 1172,8 мг/кг).

Наибольшим количеством подвижного марганца, свинца и меди донные отложения характеризуются в весенний период (табл. 1). В осенний период, для которого характерен интенсивный биологический круговорот, отмечается существенное снижение концентраций железа и цинка, что вызвано перемешиванием водных масс (гомותרмия), сопровождающимся окислением металлов и выпадением последних в виде гидроксидов ( $Fe(OH)_3$  и  $Zn(OH)_2$ ).

В донных отложениях природных вод наиболее типичными движущими силами интенсификации обмена тяжелых металлов в системе "донные отложения – поровой раствор" являются градиент изменения окислительно-восстановительных условий и значение рН, а также концентрация растворенного органического вещества (Förstner, 1995; Зубкова, 1996). Водородный показатель (рН) донных отложений р. Белая изменяется от 7,51 до 8,41 при среднем значении рН 7,98. Содержание органического углерода в донных отложениях вниз по течению реки увеличивается, и составляет в верхнем и нижнем течениях 19,92% и 45,74% соответственно.

Таблица 1.

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в донных отложениях  
р. Белая, мг/кг

Показатель	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu
Весна					
Среднее значение	1162,99	85,61	7,42	10,10	5,16
Стандартная ошибка	291,75	21,40	0,32	0,41	0,17
Минимум	275,98	47,05	3,00	2,94	1,80
Максимум	2217,25	140,70	14,84	18,85	7,57
Коэффициент вариации, %	25,00	25,01	42,86	41,01	33,94
Осень					
Среднее значение	1178,67	58,84	2,44	12,59	2,59
Стандартная ошибка	294,67	14,30	0,11	0,52	0,09
Минимум	389,94	24,69	1,15	2,64	0,52
Максимум	1737,16	94,56	3,98	33,23	6,24
Коэффициент вариации, %	25,00	24,25	43,03	40,98	33,62

Окислительно-восстановительные процессы, протекающие при диагенезе донных отложений, обуславливают перераспределение химических элементов, поступающих с взвешенным веществом в процессе седиментации. В верхнем слое донных отложений весной окислительно-восстановительные условия составляют + 49 - + 346 мВ. В вегетационный период окислительно-восстановительный потенциал указывает на возникновения восстановительных условий и достигает +163 - - 60 мВ.

В ходе исследования состояния донных отложений на различных участках реки проведена обработка данных по выявлению статистических зависимостей между определяемыми показателями. Были вычислены парные коэффициенты корреляции между показателями загрязнения донных отложений и физико-химическими показателями.

Установлена прямая связь между содержанием цинка и марганца ( $r = 0,76$ ) и очень тесная связь между цинком и медью ( $r = 0,90$ ). Заметно слабее выражена обратная зависимость между величиной рН и содержанием Mn, Pb, Zn и Cu, что подтверждает известную более высокую подвижность их в кислой среде (Орлов и др., 2002). Высокой величиной характеризуется зависимость



между окислительно-восстановительным потенциалом и такими металлами как марганец и цинк – 0,88 и 0,69 соответственно. Зависимость концентрации железа и органического углерода характеризуется как средняя ( $r = 0,56$ ).

Между концентрациями металлов и окислительно-восстановительным потенциалом отмечена положительная связь, а между кислотностью, органическим углеродом и металлами – отрицательная.

В исследуемых пробах содержание всех металлов находится на фоновом уровне, исключение составляют лишь отдельные точки отбора, где содержание Pb, Zn, Cu, Fe и Mn немного превышает уровень фона. Зарегистрированы максимальные величины концентраций цинка (в 1,2 – 1,9 раза) и свинца (в 1,4 – 1,7 раза), превышающие природные значения в донных отложениях на участке пос. Министочник, а. Бжедугхабль и устьевой части реки; медь (в 1,2 – 2,0 раза) – в нижнем течении р. Белая; железо (в 1,3 раза) и марганец (в 1,6 раза) – в а. Бжедугхабль.

Анализ динамики содержания металлов в различных слоях донных отложений указывает на то, что оно варьирует под воздействием комплекса эндогенных (микрорельеф, активность микробиологических процессов, содержание органических веществ, pH, окислительно-восстановительные условия) и экзогенных факторов, в том числе антропогенных. Верхние слои более обогащены тяжелыми металлами, что вызвано их поступлением из водной толщи с биологическими компонентами и проточным связыванием с органическими веществами.

По всем изученным разрезам четко прослеживается снижение концентраций свинца, цинка, меди и железа вниз по профилю донных отложений (табл. 2).

Таблица 2.

Содержание тяжелых металлов в иловых горизонтах р. Белая, мг/кг

Глубина отбора, см	Свинец	Цинк	Медь	Железо	Марганец
0 – 10	7,42±0,33	11,34±0,41	3,87±0,17	1235,78±293,23	72,22±17,41
10 – 20	6,87±0,31	8,08±0,33	3,61±0,14	1035,01±258,75	74,23±18,56
20 – 30	5,71±0,24	7,96±0,37	3,76±0,14	1166,43±291,61	77,68±19,42

Незначительное содержание тяжелых металлов в донных отложениях показывает, что вертикальное распределение цинка, меди, свинца и железа достаточно однородное, что свидетельствует о равномерной антропогенной нагрузке и близких к оптимальным условиям для "перемешивания" грунта.

Нами сравнивались выборки по донным отложениям. По трем створам из семи наблюдаются достоверные изменения по содержанию Fe (ст. Ханская – аул Адамий  $t = 2,10-2,52$ ), по содержанию Pb – пяти из семи створов отмечается высокая достоверность различий (пос. Министочник – аул

Адамый  $t = 3,81-12,13$ ). Высокая достоверность выявлена по содержанию Zn в пос. Министочник и аул Бжедугхабль ( $t = 5,41$  и  $t = 4,36$  соответственно), по содержанию Cu от ст. Даховская до аул Адамый ( $t = 2,85-16,08$ ). Из результатов следует, что выборки практически не однородны по изученным створам.

### **Заключение**

Концентрация растворенных и взвешенных форм исследованных элементов (содержание Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, окислительно-восстановительный потенциал, pH, мутность и температура воды) в пробах воды из различных створах реки Белая характеризуется неоднородностью. Для Fe, Mn, Zn и Cu проявляется отчетливая тенденция к увеличению их содержания вниз по течению реки с максимальными концентрациями на участке предгорной зоны республики. Для изученных тяжелых металлов характерно преобладание взвешенной формы миграции.

Для концентраций тяжелых металлов в донных отложениях характерна значительная неравномерность их распространения на различных участках реки Белой. Практически на всем протяжении реки (за исключением притоков и устья) донные отложения представлены обломочным и песчаным материалом. Существенному загрязнению донных отложений цинком и свинцом подвержены участки у поселка Министочник, аула Бжедугхабль и устья реки. В нижнем течении реки Белая преобладает загрязнение донных отложений медью.

Со сменой окислительно-восстановительной зональности в донных отложениях происходит закономерное изменение форм нахождения тяжелых металлов. Наиболее подвижными будут те тяжелые металлы, которые в наибольших количествах находятся в составе обменной, карбонатной фракциях и фракциях железомарганцевых оксидов и гидроксидов. При нарушении равновесных условий на границе контакта твердой и жидкой фаз, прежде всего при снижении pH, окислительно-восстановительных условий и дефиците растворенного кислорода, а также в случае повышения минерализации контактирующей воды возможно увеличение миграционной подвижности тяжелых металлов и их переход в водную среду.

На створах с низким содержанием тяжелых металлов вертикальное распределение их достаточно однородное. В менее загрязненных участках реки важную роль в распределении тяжелых металлов по вертикали играет проточность: при слабой проточности (участок реки от поселка Министочник до аул аБжедугхабль) наибольшие концентрации отмечены в поверхностных слоях 0–10 см по сравнению со слоем 10–30 см, а при сильной проточности (станция Даховская) в поверхностном слое наблюдается наиболее низкое содержание тяжелых металлов в слое 0 – 10см, а наиболее высокое в слое 10 – 30 см.

К числу наиболее важных факторов, определяющих распространение тяжелых металлов в донных отложениях реки Белая, помимо гидрологических

условий и условий сброса загрязняющих веществ относятся размеры частиц и редокс-цикл Fe и Mn. Полученные высокие значения коэффициентов корреляции свидетельствуют о важной роли редокс-циклов Fe и Mn могут играть важную роль в геохимическом круговороте таких элементов, как Zn и Cu.

### Список литературы

1. Беус А.А. Геохимия литосферы. М.: Недра, 1972. 296 с.
2. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. М.: Химия, 1984. 432 с.
3. Воды суши: проблемы и решения. М.: ИВП РАН, 1994. 560 с.
4. Гапеева М.В, Законнов В.В., Гапеев А.А. // Водные ресурсы. 1997. Т. 24. № 2. С. 174.
5. Денисова А.И, Нахшина Е.П., Новиков Б.И., Рябов В.К. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды. Киев: Наука думка, 1987. 164 с.
6. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в природных водах. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 270 с.
7. Линник П.Н., Тимченко В.М. // Гидробиологический журн. 1987. Т. 22. № 3. С. 76–79.
8. Мизандронцев И.Б. Химические процессы в донных отложениях водоемов. Новосибирск.: Наука, 1990. 176 с.
9. Мур Дж.В, Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М.: Мир, 1987. 140 с.
10. Потемкин В.Н. Гранулометрический анализ морских донных отложений. М.: Наука, 1967. 128 с.
11. Нормы и критерии оценки загрязнения донных отложений в водных объектах. Региональный норматив. СПб., 1996. 20 с.
12. Савицкий В.Н., Пелешко В.И., Осадчий В.И. // Журн. аналитическая химии. 1987. Т. 42. № 4. С. 677 – 683.
13. Хатчинсон Д. Лимнология. М.: Прогресс, 1969. 592 с.
14. Balls P.W. The partition of trace metals between dissolved and particulate phases in European coastal waters: a compilation of field data and comparison with laboratory studies. Netherlands. Journal of Sea Research. 1989. V. 23. No. 1. P. 7 – 14.
15. Horowitz A.J. A primer on trace metal-sediment chemistry. Alexandria, 1985. 67 p.
16. Plant J.A., Raiswell R. Principles of environmental geochemistry. In: Applied environmental geochemistry. Academic Press. London, 1987. P. 1 – 39.
17. Salomons W. Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments / Eds. Stigliani. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 353 p.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ НА СЕВЕРНОМ МОРСКОМ ПУТИ С ПОМОЩЬЮ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

<sup>1,2</sup>В.Ю. Третьяков, <sup>2</sup>С.В. Фролов, <sup>3</sup>М.И. Сарафанов

*v\_yu\_tretyakov@mail.ru, svf@aari.ru, mik\_sar@mail.ru*

<sup>1</sup>Санкт-Петербургского государственного университета,  
Россия, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт,  
Россия, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного  
университета, Россия, г. Санкт-Петербург

**Аннотация.** Рассматривается методика исследований динамики ледовых условий плавания на трассах Северного Морского Пути с помощью геоинформационных технологий.

**Ключевые слова.** Геоинформационные технологии, ледовые условия плавания, Северный Морской Путь.

**Abstract.** There is considered methodology for researches of ice conditions dynamics along the Great Northern throughway by means of geoinformation technologies.

**Keywords.** Geoinformation technologies, ice conditions of navigation, Great Northern throughway.

Обеспечение безаварийного плавания судов, разработанных для перевозки сжиженного газа (проект «Ямал СПГ»), по маршруту п. Сабетта (Обская Губа) – Берингов пролив требует компьютерного моделирования плаваний с учётом возможных изменений ледовых условий за последние десятилетия. Моделирование требует статистических распределений параметров ледяного покрова. Для их получения проанализированы электронные векторные карты ледовой обстановки формата шейпфайлов ArcGIS из архива ФГБУ ААНИИ, созданные по спутниковым снимкам [1]. В их таблицах атрибутов ледовая информация содержится в следующих текстовых полях: в «S» – общая сплоченность дрейфующих льдов, идентификатор припая («fast») или чистой воды («free»); «S\_1» – частная концентрация самой возрастной градации льдов. В соответствии с российской номенклатурой морских льдов выделяются 3 возрастные градации. Поэтому присутствуют 3 поля со значениями частных концентраций отдельных категорий льдов. В каждой возрастной категории выделяются 3 градации форм льда, т.е. размеров отдельных дрейфующих льдин, и соответствующие им 3 градации толщины льда, т.е. возраста. Поля, названия которых содержат символ «F», содержат код формы (размеров) льдин, а с именами, начинающимися с символа «A» – код возрастной градации льда. Поля «F\_1\_1», «A\_1\_1», «F\_1\_2», «A\_1\_2», «F\_1\_3», «A\_1\_3» детализируют информацию о возрасте льдов, частная концентрация которых записана в поле «S\_1»; поля «F\_2\_1», «A\_2\_1», «F\_2\_2», «A\_2\_2», «F\_2\_3», «A\_2\_3» относятся ко второй по возрасту градации льдов, её частная концентрация

хранится в поле «S\_2»; характеристики самых молодых льдов записаны в полях «S\_3», «F\_3\_1», «A\_3\_1», «F\_3\_2», «A\_3\_2», «F\_3\_3», «A\_3\_3». Часто некоторые из перечисленных полей, а иногда даже большинство их не содержит никакой информации.

На рисунке 1 представлен стандартный маршрут плаваний танкеров-газовозов типа YAMALMAX («Ямалмакс»), построенных в рамках реализации масштабного российского проекта по производству сжиженного природного газа «Ямал СПГ». Апробация методики статистической обработки ледовой информации выполнена по несколько отличающемуся маршруту Сабетта - Берингов пролив, также представленному на этом рисунке.

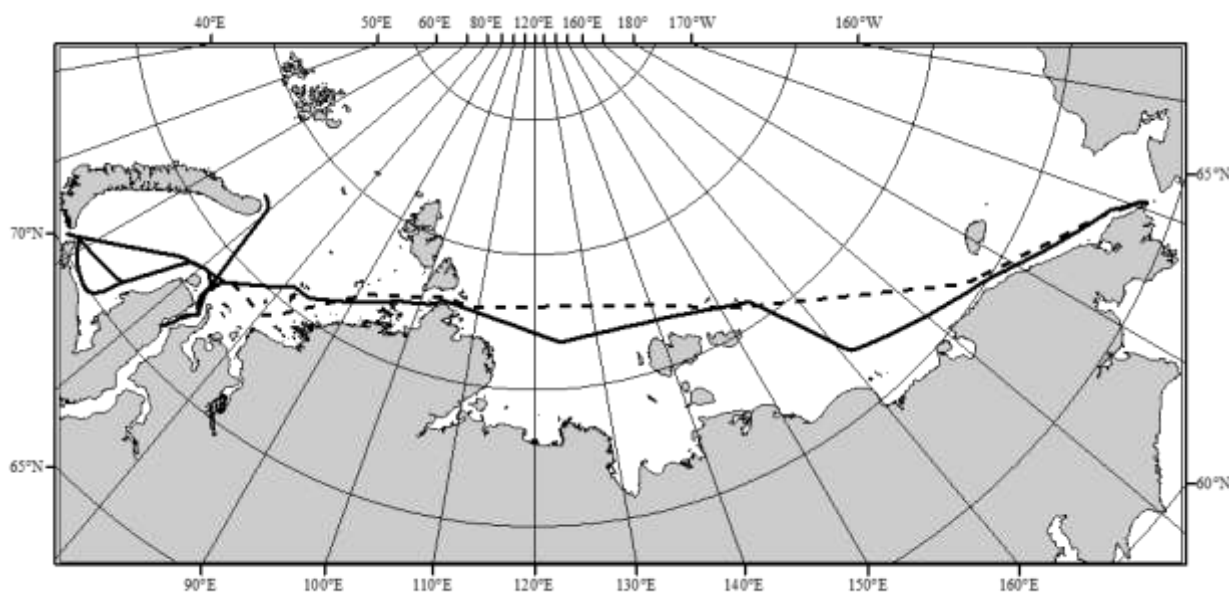


Рис. 1. Стандартные маршруты плаваний танкеров-газовозов типа YAMALMAX (сплошные линии); маршрут для отладки методики обработки (пунктир)

Обработка шейпфайлов производится в среде ArcGIS с помощью набора программ на языке Python. Необходимо, чтобы их имена шейпфайлов имели определённую структуру, содержащую сведения о периоде времени, к которому относится информация. Для записи исходных шейпфайлов в новые применяется программа «переименование шейпфайлов». В корневом каталоге диска создаются папки морей Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского: «Kar, Lap, VSM, Chuk». Внутри них создаются вложенные папки: «номер года» \ «номер месяца» \ «номер декады» \ «идентификатор полудекады – первой или второй части декады («a» или «b») в том случае, если к данной декаде относятся 2 шейпфайла. Исходные шейпфайлы переносятся в папки декад или полудекад, и добавляются в качестве источников слоёв во фрейм документа карты ArgGIS, из которого вызывается эта программа. Координаты шейпфайлов архива в большинстве случаев записаны в системе координат WGS84. Однако шейпфайлы с ледовой информацией за 1998 г. – начало 2000-х годов не имеют файлов систем координат. С помощью программы «задание проекции» для таких шейпфайлов создаются файлы системы координат с расширением «prj». Создаётся новый документ карты

ArgGIS, в его единственный фрейм в качестве слоёв добавляются все шейпфайлы без файлов системы координат. Затем программа задаёт для каждого слоя фрейма систему WGS84 и создаёт файл системы координат.

Затем с помощью программы «перепроецирование исходных шейпфайлов 4 морей» были созданы шейпфайлы с записью координат объектов в системе координат: стереографическая проекция на датуме WGS84 с центральным меридианом 120° в.д. и широтой истинного масштаба 90° с.ш. Особенность этой программы, как и последующих, заключается в том, что исходные шейпфайлы могут не быть источниками слоёв фрейма. Необходимо, чтобы внутри папки с файлом документа карты находились папки «Kar», «Lar», «VSM», «Chuk», содержащие шейпфайлы ледовых карт с именами, содержащими год, месяц, декаду и, возможно, полудекаду, к которым относится информация.

Далее шейпфайлы ледовой ситуации по отдельным морям: Карскому, Лаптевых, Восточно-Сибирскому, Чукотскому, относящиеся к одному и тому же временному интервалу, объединялись в один шейпфайл с помощью программы «Объединение КЛВСМЧук». В ней задаётся список строковых значений частей имён шейпфайлов, указывающих временные интервалы (год, месяц, декада, полудекада при необходимости). По этому списку выполнялся цикл с заданием адресов и имён исходных шейпфайлов для объединения и шейпфайлов – результатов выполнения этой операции.

Затем для уменьшения погрешности при расчётах протяжённостей участков маршрута плавания с помощью программы «перепроецирование шейпфайлов KLVС» были созданы новые шейпфайлы с системами координат, минимизирующими искажения расчётов в пределах каждого отдельного моря. Для участков маршрута плавания в пределах каждого моря были созданы точки центроидов и получены их географические координаты. В данной программе на основе каждого объединённого шейпфайла создавались 4 шейпфайла с различными параметрами стереографической проекции и с минимальными искажениями в окрестностях 4-х центроидов.

Следующий этап обработки – оверлейные операции пересечения участка маршрута плавания в пределах конкретного моря с ледовыми картами. Программы для выполнения этой операции имеют названия «оверлей маршрут лед <море>». Здесь для каждого моря был создан отдельный документ карты с одним фреймом. Его система координат: стереографическая проекция с параметрами центроида участка маршрута в этом море. Фрейм должен содержать слой участка маршрута в пределах моря. Шейпфайл его источника имеет систему координат фрейма. В папку с файлом документа карты помещаются все шейпфайлы ледовых карт, имеющие систему координат фрейма. В этих программах также формируется список сроков создания ледовых карт. По всем элементам этого списка организуется цикл указания адресов и имён шейпфайлов ледовых карт, и задания адресов и имён шейпфайлов – результатов оверлейной операции пересечения участка маршрута и данной ледовой карты. В этом же цикле выполняется сама оверлейная операция. Её результат – шейпфайл участков маршрута с

ледовыми характеристиками пересечённых полигонов ледовой карты. Затем в теле цикла из этого шейпфайла удаляются возможные пространственные дубликаты, задаются имя и адрес нового шейпфайла – результата объединения объектов с одинаковыми ледовыми характеристиками, и этот шейпфайл создаётся. В его таблицу атрибутов добавляется числовое поле «Dlina\_nm», в которое записываются результаты расчётов протяжённостей линейных объектов в морских милях.

Затем выделяются линейные объекты, удовлетворяющие определённым условиям, и определяются суммарные протяжённости таких участков. Для этого были разработаны программы «расчёты <название моря>». В них также применяется цикл по всем элементам списка сроков получения информации для ледовых карт. В цикле выполняется задание адреса и имени исходного шейпфайла с ледовой информацией по маршруту плавания в пределах определённого интервала времени; задание адресов и имён создаваемых шейпфайлов, содержащих объекты исходного шейпфайла, соответствующие условиям запросов, и шейпфайлов с результатами объединения таких объектов в один. В результате запросов создаются шейпфайлы, объекты которых удовлетворяют условиям запросов, и шейпфайлы – результаты объединения всех объектов этих шейпфайлов в один объект с расчётом его протяжённости. Создаются шейпфайлы участков маршрута: в припае; в дрейфующих льдах общей сплоченностью 9, 9-10, 10 баллов при условии, что это не начальные льды; в сплоченных дрейфующих льдах при наличии старых льдов, при наличии толстых льдов; при наличии средних льдов; с частной концентрацией толстых льдов, равной или превышающей 5 баллов; с частной концентрации суммы толстых и средних льдов 5 баллов и более. Имена шейпфайлов указывают специфику запроса, временной интервал, к которому относится ледовая информация, и содержат идентификатор моря. Имена шейпфайлов с результатами объединения всех объектов, совпадают с именами исходных шейпфайлов, но в начале их имён ставятся символы «sum\_».

Для репрезентативного статистического анализа внутригодовой и межгодовой динамики параметров ледяного покрова по маршрутам плаваний необходимо оперировать значениями, относящимися к декадам месяцев. Поэтому программа «осреднение по декадам <название моря>» при наличии полудекадных значений рассчитывает среднее значение за декаду. В ней формируются списки временных интервалов полудекад «а» и «b», к которым относится ледовая информация. Затем выполняется цикл по всем элементам этих списков с определением адресов и имён шейпфайлов с результатами объединения объектов, начинающихся с группы символов «sum\_», и относящихся к разным частям одной и той же декады. Из таблицы атрибутов каждого шейпфайла подобной пары возвращается значение протяжённости объединённого линейного объекта, и определяется среднее значение. Копированием относящегося к полудекаде «а» шейпфайла создаётся новый шейпфайл, в имени которого нет символов полудекад «а» или «b», и который таким образом относится к декаде в целом. В его атрибутивную таблицу, содержащую только одну строку, в поле «Dlina\_nm» записывается

рассчитанное среднее значение протяжённости. Так для каждой декады определяются значения следующих суммарных протяжённостей участков по маршруту плавания в пределах определённого моря: в припае; в дрейфующих льдах общей сплоченностью 9, 9-10, 10 баллов при условии, что льды не представлены только начальными формами; в сплоченных дрейфующих льдах 9, 9-10, 10 баллов при наличии старых льдов, при наличии толстых однолетних льдов, при наличии однолетних льдов средней толщины, при наличии толстых однолетних льдов с частной концентрацией 5-10 баллов, при наличии толстых однолетних льдов и однолетних льдов средней толщины с суммой частных концентраций 5-10 баллов.

Для подекадного статистического анализа межгодовой изменчивости с помощью программ «складывание по декадам <название моря>» создаются шейпфайлы, содержащие все объединённые пространственные объекты участков маршрута, относящиеся к определённым месячным декадам за весь многолетний период. Программа запускается на исполнение из документа карты, файл которого записан в папку, содержащую шейпфайлы суммарных протяжённостей по декадам. В программе создаётся отсортированный по возрастанию список обозначений лет, пустые списки для хранения адресов и имён шейпфайлов с объединёнными пространственными объектами участков маршрута, и пустые списки для хранения номеров соответствующих этим шейпфайлам лет. Списки заполняются внутри цикла по всем элементам списка обозначений лет. При возвращении каждого элемента этого списка определяется числовое значение номера года. Далее с использованием строкового значения года задаются значения обозначений года, месяца и декады в именах шейпфайлов объединённых пространственных объектов. Затем определяются значения переменных, содержащих адреса и имена этих шейпфайлов, атрибутивные таблицы которых содержат значения суммарных протяжённостей участков маршрута плаваний в припае; в сплоченных льдах; в сплоченных льдах с наличием старых льдов и т.д. по отдельным декадам данного года. Эти строковые значения добавляются в качестве элементов в списки шейпфайлов. Каждый список предназначен для хранения адресов и имён шейпфайлов, содержащих значения одного параметра, т.е. суммарной протяжённости участков маршрута, удовлетворяющих определённому условию, в одной определённой декаде. Параллельно заполняются списки номеров лет. Каждому списку адресов и имён шейпфайлов соответствует один список номеров лет. Элемент списка лет с тем же номером, что у элемента списка адресов и имён шейпфайлов, указывает номер года, к которому относятся данные шейпфайла. По окончании цикла заполнения списков в программе задаются адреса и имена создаваемых шейпфайлов, в которые будут добавлены объекты всех шейпфайлов из заполненных списков. Имена создаваемых шейпфайлов определяется по следующему правилу: в начале имени расположена группа символов «tab\_», затем идентификатор параметра («fast», «spl», «star» и т.д.), знак нижнего подчёркивания, обозначение месяца и декады («мм\_д»), «\_», идентификатор моря («Kar», «Lap», «VSM», «Chuk»). Затем выполняется операция «Merge» добавления пространственных объектов



из всех шейпфайлов каждого списка адресов и имён шейпфайлов в новые шейпфайлы, имена которых начинаются с «tab\_». В таблицах атрибутов файлов результатов каждая строка соответствует одному конкретному году. Так как в списках адреса и имена шейпфайлов идут строго по порядку лет, то в таблицах атрибутов созданных шейпфайлов значения протяжённостей также записываются в порядке возрастания номеров лет. Затем в каждую атрибутивную таблицу добавляется числовое поле «God», в которое добавляются значения из списка номеров лет. В результате в таблице атрибутов присутствуют 2 числовых поля: «Dlina\_nm», в котором записаны значения суммарной протяжённости всех участков маршрута, удовлетворяющих определённым условиям в определённую декаду внутри года, и поле «God», в котором записаны номера лет, к которым относятся значения протяжённостей. Таким образом, таблицы атрибутов содержат межгодовую динамику суммарных протяженностей участков маршрута с определёнными ледовыми условиями по внутригодовым декадам.

Файлы формата dBASE с семантической информацией шейпфайлов записываются в формате таблиц Microsoft Excel. Ряды значений протяжённостей анализируются в среде приложения Mathcad на наличие трендов с методом интегральных кривых (накопленных сумм) с помощью специально разработанной программы (рабочей области). Для проверки рядов на однородность ряды исходных значений подразделяются на 2 части. При наличии излома линии интегральной кривой ряд делится по времени места излома, если изломов больше одного – по месту самого значительного излома. При отсутствии изломов ряд делится пополам. Проверка выполняется с помощью ранговых непараметрических критериев Уилкоксона-Манна-Уитни и Зигеля-Тьюки. Нулевая гипотеза о принадлежности обеих частей ряда к одной генеральной совокупности либо не опровергается с определённым значением верности гипотезы в процентах, либо опровергается. Ряд считается неоднородным, если гипотеза его однородности опровергается хотя бы одним из критериев или если хотя бы по одному из критериев гипотеза об однородности не опровергается с вероятностью, меньшей 50 %.

Важным параметром состояния ледяного покрова по маршруту плаваний является приведённая суммарная протяжённость участков маршрута с определёнными характеристиками льдов. Приведённая протяжённость льдов определённой возрастной градации на участке маршрута рассчитывается умножением протяжённости этого участка на долю льдов этой градации. Например, частная концентрация старых льдов равна 2 баллам, а протяжённость участка маршрута – 10 морских миль. Приведённая протяжённость старых льдов на этом участке составит  $10 \cdot 2 / 10$ , т.е. 2 морские мили с условной концентрацией 10 баллов.

Расчёт значений приведённой протяжённости выполняется с помощью специальной программы на языке Python «приведённая протяжённость <возрастная градация льдов> <название моря>». Ледовое плавание наиболее трудно в сплоченных льдах присутствием старых, толстых однолетних льдов и однолетних льдов средней толщины. Именно в них возможны сжатия судов

дрейфующими льдами, чреватые возникновением аварийных ситуаций, опасных загрязнением окружающей среды при разрушении танков с нефтью и сжиженным газом. В папку с файлом документа карты должны помещаются созданные ранее шейпфайлы с участками маршрута с наличием льдов определённой возрастной градации, относящиеся к определённой декаде. В программе создаются списки символов лет, месяцев, декад, входящих в имена шейпфайлов участков маршрута с наличием льдов определённой градации, например, старых льдов. По всем элементам списков лет, месяцев и декад выполняются вложенные циклы. По возвращаемым в циклах текущим значениям их элементов формируется название шейпфайла, имя которого начинается с обозначения возрастной градации льдов, например, «star\_» для старых льдов, и относящегося к определённой декаде конкретного месяца и года. При существовании шейпфайла в таблицу атрибутов добавляется числовое поле частной концентрации старого льда. Затем проводится просмотр всех строк атрибутивной таблицы с анализом значений всех полей частных концентраций, возрастных групп льда и их форм (размеров льдин). В результате по данным каждой записи таблицы атрибутов вычисляется значение частной концентрации старых льдов, и оно заносится в соответствующее поле. В таблицу атрибутов добавляется числовое поле «Pr\_dl\_star» приведённой протяжённости старых льдов, выполняется цикл просмотра всех записей таблицы с расчётом значений приведённой протяжённости и их записью. Затем внутри цикла возвращения всех элементов списка обозначений декад расположен список просмотра и возвращения символов полудекад. Аналогично формируется название шейпфайла, информация которого относится к полудекаде, проверяется его существование, и в случае его существования, так же, как и для декады, выполняется расчёт значений приведённой протяжённости старых льдов с занесением результатов в таблицу атрибутов этого шейпфайла.

На следующей стадии обработки для каждого шейпфайла участков маршрута с наличием старых льдов рассчитывается суммарное значение приведённой протяжённости старых льдов с помощью программы «суммарная прив\_протяженность старого льда в <название моря>». В ней также создаются списки лет, месяцев, декад и полудекад, по всем элементам которых организуются вложенные друг в друга циклы. На каждом шаге цикла внутри декады создаётся строковая переменная, содержащая адрес и имя шейпфайла участков маршрута с наличием старых льдов, имя которого начинается с группы символов «star\_». На предыдущем этапе обработки для каждого объекта этого шейпфайла уже рассчитано значение приведённой протяжённости, и записано в поле «Pr\_dl\_star». Если такой файл существует, то дальнейшая обработка ведётся внутри тела этого цикла. Если нет, то расчёт выполняется уже внутри вложенного внутрь него цикла перебора обозначений полудекад, где также создаётся строковая переменная адреса и имени шейпфайла, уже содержащего обозначение полудекады. В обоих случаях выполняется цикл просмотра всех записей таблицы атрибутов шейпфайла с расчётом суммы всех значений приведённой протяжённости. Далее задаются

адрес и имя шейпфайла для записи результата, начинающееся с группы символов «priv\_star\_». Этот новый шейпфайл создаётся с помощью операции «Select» из исходного шейпфайла, имя которого начинается со «star\_», условие выбора объектов: значение поля «FID» равно 0, т.е. в новый шейпфайл копируется только один, первый в таблице атрибутов пространственный объект. В таблице атрибутов нового шейпфайла удаляются все поля кроме «FID» и «Pr\_dl\_star», в последнее заносится рассчитанное значение суммарной приведённой протяжённости. Теперь для каждого временного интервала рассчитана суммарная приведённая протяжённость льдов определённой возрастной градации.

Для получения значений для тех декад, в которых исходная информация относилась к двум временным интервалам используется программа «расчёт средней за декаду приведённой протяжённости». В ней также реализованы вложенные циклы по всем элементам списков лет, месяцев и декад. Для каждой декады формируются строковые переменные, содержащие адреса и имена шейпфайлов с суммарной приведённой протяжённостью за полудекады «a» и «b» (имена этих шейпфайлов начинаются с группы символов «priv\_»). При условии существования этих файлов выполняется просмотр их таблиц атрибутов с получением значений суммарной приведённой протяжённости, и рассчитывается среднее значение. Затем создаётся строковая переменная, содержащая адрес и имя шейпфайла для записи значения суммарной приведённой протяжённости, относящееся к декаде в целом. Этот шейпфайл создаётся копированием шейпфайла с данными за полудекаду «a», а в поле «Pr\_dl\_star» таблицы атрибутов этого нового шейпфайла записывается рассчитанное по двум полудекадам среднее значение. Теперь все декады имеют значения приведённых протяжённостей.

Следующий этап – расчёт приведённых протяжённостей льдов определённых возрастных категорий по всему маршруту плаваний с помощью программы «приведённая протяжённость <возрастная категория льдов> по всем 4 морям». В папке с файлом документа карты ArcGIS, из которого она запускается на исполнение, должен находиться шейпфайл «priv\_0\_dлина.shp» с нулевым значением поля «Pr\_dl\_<идентификатор возраста льда>». Этот шейпфайл создаётся копированием любого шейпфайла с полем суммарной протяжённости «Pr\_dl\_<...>» в таблице атрибутов с единственной записью. В это поле заносится значение «0». В программе адрес и имя этого шейпфайла заносён в строковую переменную. Далее внутри вложенных циклов просмотра элементов списков обозначений лет, месяцев и декад на каждом шаге определяются адреса и имена шейпфайлов, содержащих значения приведённых протяжённостей за один и тот же интервал времени, т.е. одинаковую декаду определённого месяца одного года для всех 4-х морей. Из таблиц атрибутов этих шейпфайлов извлекаются значения суммарных протяжённостей, которые складываются. Для каждого временного интервала создаётся строковая переменная с адресом и именем шейпфайла результата. Имя этого шейпфайла должно начинаться с группы символов «priv\_<идентификатор возрастной градации льдов>\_», а заканчиваться

набором символов «\_all\_route». Он создаётся копированием шейпфайла с нулевым значением в поле «Pr\_dl\_<...>». Если рассчитанная сумма приведённых протяжённостей по всем 4-м морям больше нуля, то в это поле записывается значение суммы.

Для анализа межгодовой изменчивости создаются таблицы со значениями средней суммарной приведённой протяжённости за интервал апрель-май за разные годы. Этот этап обработки выполняется с помощью программы «складывание приведённых протяжённостей <название возрастной категории льдов> за все годы». Необходимо, чтобы в папке с файлом документа карты находился шейпфайл «priv\_0\_dlina\_god.shp» с нулевым значением поля «Pr\_dl\_<...>» и с полем «God».

На каждом шаге вложенных циклов просмотра всех элементов списков обозначений лет, месяцев и декад определяются значения суммарной приведённой протяжённости по всему маршруту для каждой из 6 декад периода апрель-май, и рассчитывается значение средней приведённой протяжённости за этот внутригодовой интервал. Затем внутри цикла перебора элементов списка обозначений лет выполняется задание строковой переменной последовательности символов, содержащей адрес и имя шейпфайла для записи средней приведённой протяжённости за апрель-май для конкретного года, определяемого текущим элементом списка обозначений лет. Этот шейпфайл создаётся копированием шейпфайла «priv\_0\_dlina\_god.shp». В поле «Pr\_dl\_<идентификатор возрастной градации льдов>» заносится значение средней приведённой протяжённости за апрель-май, а в поле «God» – числовое значение года.

По завершении цикла перебора всех элементов списка обозначений лет, создаётся шейпфайл средних за апрель-май значений приведённой протяжённости для каждого из лет списка. Он создаётся с помощью операции «Merge», осуществляющей добавление всех объектов из списка адресов и имён шейпфайлов в новый шейпфайл. Его таблица атрибутов содержит упорядоченную по возрастанию номера года последовательность средних приведённых протяжённостей за весь период лет в поле «Pr\_dl\_star», и поле «God» с соответствующими числовыми значениями номеров годов.

Получены следующие выводы. При присутствии на маршруте «Сабетта – Берингов пролив» (пунктирная линия на рисунке 1) старых льдов их частная концентрация в большинстве случаев не превышала 2-3 балла. Особенно суровыми условия плавания были в 1998, 1999 и в 2001 гг., когда частная концентрация старых льдов достигала 9 баллов, а суммарная протяженность таких участков маршрута в Восточно-Сибирском море в майские декады превышала 200 морских миль. Однако уже в 2003 и 2004 гг. старые льды на маршруте исчезли, а позднее частные концентрации старых льдов в сплоченных льдах не превышали 3-5 баллов. Редкое появление старых льдов на маршруте в последние годы, вероятно, объясняется усилением циклонической активности и ускорением трансарктического дрейфа льдов в Арктическом бассейне. За период 1998-2018 гг. уменьшилась суммарная протяженность участков маршрута плаваний в припае и в сплоченных льдах

при наличии старых льдов. Увеличилась суммарная протяженность маршрута плаваний в сплоченных льдах, в сплоченных льдах при наличии толстых льдов, однолетних льдов средней толщины, с частной концентрацией 5 и более баллов толстых однолетних льдов, с частной концентрацией суммы толстых однолетних льдов и однолетних льдов средней толщины 5 и более баллов. Уменьшение средней приведённой протяжённости пути плавания в старых льдах в апреле и мае на 160 морских миль при сравнении периодов 1998-2007 гг. и 2008-2018 гг. частично компенсируется увеличением практически на эту же величину (166 морских миль) приведённой протяжённости пути плавания в однолетних толстых льдах.

Создан инструментарий для анализа условий ледового плавания танкеров-газовозов типа YAMALMAX. Планируется выполнить аналогичный анализ для любых категорий сплоченности льдов, а также анализ изменчивости суммарной протяжённости участков маршрутов по чистой воде.

#### **Список литературы**

1. Бресткин С.В., Быченков Ю.Д., Девятаев О.С., Фоломеев О.В., 2016. Обеспечение гидрометеорологической безопасности в Арктическом регионе. Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктическом регионе. Безопасный город в Арктике Международная научно-практическая конференция. Материалы конференции. МЧС России. 2016. С. 68-72.

# ПОТЕНЦИАЛ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ПРИ ИХ КОМПЛЕКСНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ (АКМОЛИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А.А. Тулегенова

*ainur18.93@list.ru*

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,*

*Россия, г. Москва*

## **Введение**

Большие запасы полезных ископаемых, в том числе углеродосодержащих, таких как нефть, газ и уголь формируют зависимость экономики от их добычи и экспорта т.к энергетический сектор играет важную роль в экономическом развитии. В период с 1999 по 2017 ВВП Республики Казахстана (РК) выросло с 16,9 до 159,4 млрд. долларов США [1]. В этот же период потребление электроэнергии выросло с 34,8 млн.т.у.т до 67,4 млн.т.у.т. [2]. Основными видами энергетических ресурсов, которые используются в Казахстане для получения энергии, являются нефть и уголь. В 2018 году добыча нефти достигла 90,36 млн. тонн [3], угля – 117,8 млн. тонн [4]. При этом доля экспорта нефти в настоящее время составляет 75% – 80% от общего объема добычи.

Однако, распределение полезных ископаемых на территории Казахстана неравномерно. В Акмолинской области запасы углеродосодержащих полезных ископаемых незначительны по сравнению с другими областями, где активно добывается уголь. В то же время потребление электроэнергии значительно и растет (в 2017 году 8 645,2 млн. кВтч, что на 4,3% больше показателей 2016 года) [5]. В результате область входит в пятерку лидеров потребления электрической энергии в Республике. При этом за последние 5 лет наблюдается положительная динамика роста населения области, в то время как установленная мощность электростанций остается прежним. Выработка энергии осуществляется на ТЭЦ, где в качестве топлива используется уголь. Угольные электростанции Казахстана обеспечивают 80% выбросов углерода в окружающую среду в связи с низким качеством казахстанского угля и зольностью порядка 50-65%. В этой связи освоение экологически чистых возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является важным механизмом для достижения устойчивого развития РК. Строительство децентрализованных энергетических установок на основе ВИЭ позволят не только сократить эмиссию парниковых газов, но и диверсифицировать источники энергии в Республике. Согласно стратегии развития «Казахстан-2030», к 2030 году доля выработки от возобновляемых источников энергии должна составить 11%, в то время как в настоящее время она не превышает 1% от общей выработки энергии.

Для проектирования объектов на ВИЭ, прогноза их производительности и рентабельности необходима предварительная оценка ресурсов. Целью данной работы является комплексная оценка ресурсов ВИЭ на территории Акмолинской области.

### **Источники данных и методика исследования**

Акмолинская область находится в северной части Казахстана, имеет резко континентальный, засушливый климат (лето жаркое короткое, зима морозная). Основным климатообразующий фактор - солнечное сияние, максимальные температуры приходятся на июнь- июль. Скорость ветра в области ослабевает летом и зимой, а в межсезонье усиливается. По данным метеостанций, среднегодовая скорость ветра составляет 3,8 м/с. Акмолинская область входит в группу аграрных регионов со значительным промышленным потенциалом. Однако, основной отраслью специализации области является производство и переработка сельскохозяйственной продукции. Вклад области в общереспубликанский объем валовой продукции сельского хозяйства по данным за 2013-2014 гг. составил 12% [6]. Эти масштабы определяют не только получение сельскохозяйственной продукции, но и образование значительного количества органических отходов, которые могут рассматриваться как ресурс для биоэнергетики, т.е. производства энергии путем конверсии органического вещества отходов в различные виды энергоносителей (биогаз, тепловую и электрическую энергию). Таким образом, как наиболее масштабные для Акмолинской области могут быть рассмотрены ресурсы солнечной, ветровой энергии и биомассы. Именно они будут предметом дальнейшего исследования.

В качестве исходных данных для оценки ресурсов ВИЭ использовалась климатическая база данных NASA POWER (NASA Prediction Of Worldwide Energy Resource) [7], статистические материалы министерства сельского хозяйства и официальных сайтов районов Акмолинской области. В качестве базовых величин для оценки ресурсов принимались:

1. Суммы суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность ( $\text{кВтч/м}^2$ )
2. Суммы суммарной солнечной радиации на наклонную поверхность ( $\text{кВтч/м}^2$ )
3. Скорость ветра на высоте 50 м
4. Урожайность сельскохозяйственных культур и поголовье скота в хозяйствах Акмолинской области.

В ходе работы были построены карты среднегодового распределения ресурсов солнечной и ветровой энергии (рис. 1, 2).

Приход солнечной радиации на территории области определяется в основном широтностью. Можно считать, что средние годовые солнечные ресурсы распределены по территории области равномерно (разброс между минимальным и максимальным значениями составляет  $0,4 \text{ кВтч/м}^2/\text{день}$ ). В южной части области выделяется зона с повышенным приходом солнечной радиации (но не более чем на  $0,2 \text{ кВтч/м}^2/\text{день}$ ). Ресурсы ветровой энергии (в качестве характеристики ресурсов рассматривалась средняя скорость ветра на высоте 50м) по территории области также довольно однородны. Можно выделить район на севере области с несколько повышенной (но не более чем на  $0,5 \text{ м/с}$ ) среднегодовой скоростью ветра.

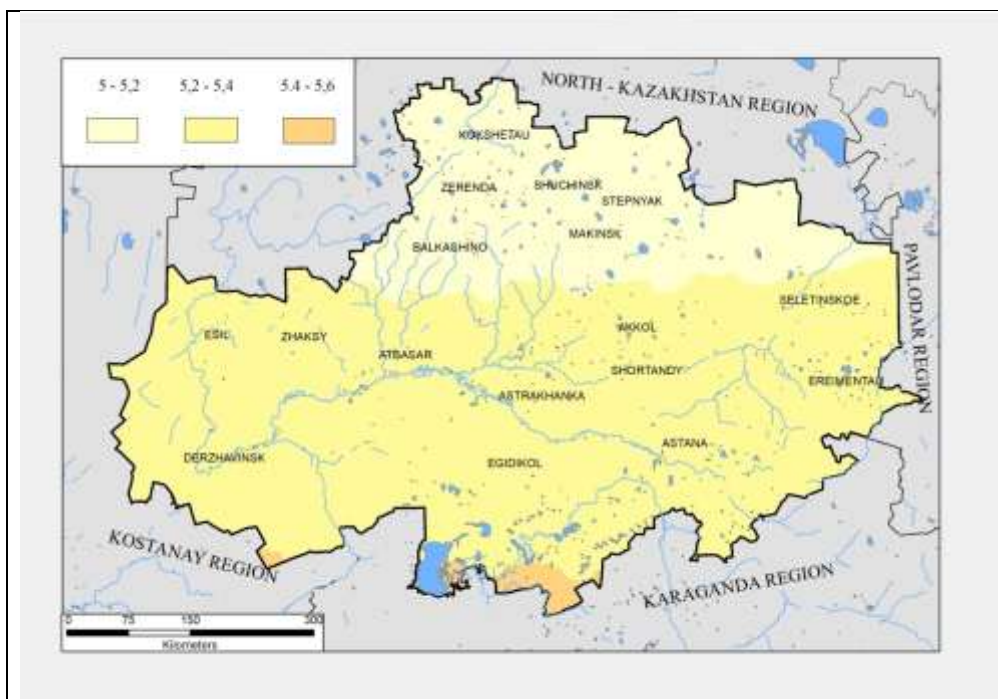


Рис. 1. Среднее годовое значение суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность в Акмолинской области (кВтч/м<sup>2</sup>/день)

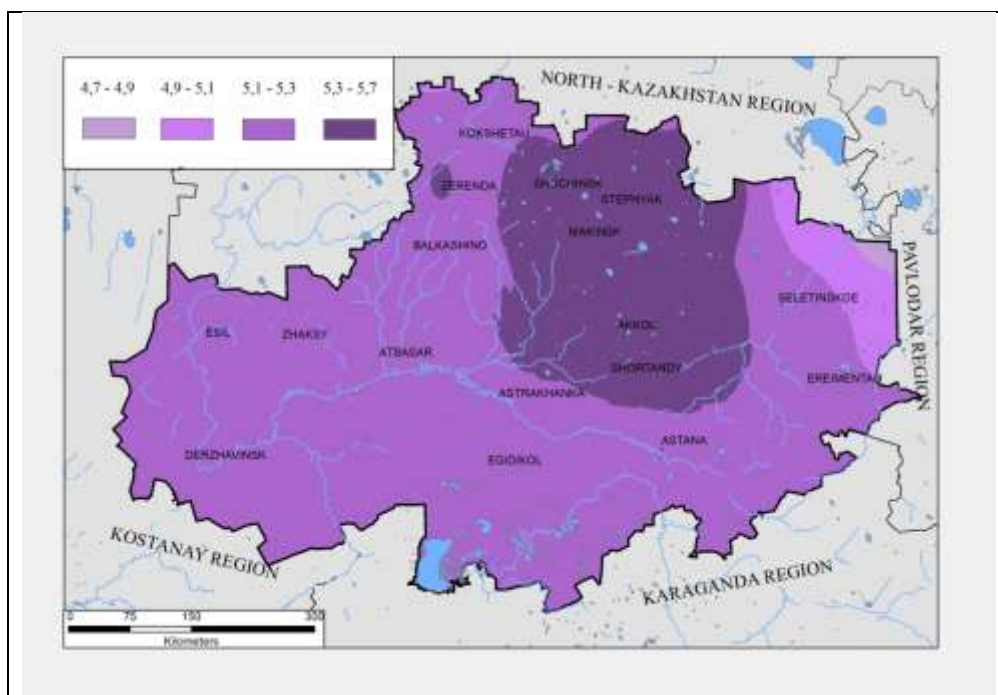


Рис. 2. Средняя годовая скорость ветра на высоте 50 м на территории Акмолинской области (м/с)

### Оценка валового и технического потенциалов производства энергии от различных видов ВИЭ

В качестве валового потенциала солнечной энергии была принята и рассчитана средняя годовая сумма суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность, приходящая на всю территорию области. В качестве валового потенциала ветровой энергии была принята и рассчитана годовая энергия воздушного потока единичной площади поперечного сечения



(1 м<sup>2</sup>) на высоте 50 м, средняя для всей территории области. При таких допущениях валовый потенциал энергии солнца в Акмолинской области составил порядка 184 252 млн МВтч/год, для ветровой энергии – 1.25 МВтч/м<sup>2</sup>/год.

Для расчета технического потенциала солнечной энергии использовались данные о суммарной солнечной радиации на наклонную поверхность. Технический потенциал при этом определялся как годовая производительность монокристаллических фотоэлектрических модулей стандартной площади (1,9 м<sup>2</sup>) и КПД (20%), размещенных с максимальной плотностью на всей территории области. Предполагалось, что для минимального влияния взаимного затенения модулей, расположенных под углом, равным широте, на производительность, они установлены рядами с техническими проходами между ними. В результате на площадь 1000 м<sup>2</sup> можно разместить 143 модуля. При таких допущениях технический потенциал солнечной энергии на территории Акмолинской области составил 10 594 млн МВтч/год.

Технический потенциал ветровой энергии определялся как годовая производительность стандартных ВЭУ (в качестве таковых были выбраны ВЭУ Enercon E-48 800 kW высотой 50 м), установленных на всей территории области с максимальной плотностью (на расстоянии 10Н, где Н – высота ВЭУ). В результате проведенных оценок было получено, что технический потенциал ветровой энергии на территории области составляет 445 млн МВтч/год.

В связи с тем, что потенциал солнечной и ветровой энергии распределен равномерно по площади региона, выбор территорий с максимальным комплексным потенциалом использования ресурсов ВИЭ будет определяться распределением биоэнергетических ресурсов и отсутствием факторов, которые препятствуют сооружению энергогенерирующих станций.

Поскольку Акмолинская область является одним из лидеров сельскохозяйственного производства в Республике Казахстан, в данной работе в качестве сырья для развития биоэнергетики были взяты отходы от сельскохозяйственного сектора. Были проведены оценки энергетического потенциала сельскохозяйственных отходов, формируемых ежегодно на территории Акмолинской области. При расчетах доступного валового энергетического потенциала (ДВП) отходов животноводства в хозяйствах, использовались данные о поголовье скота [8, 9], нормы образования отходов и их энергосодержание. Причем рассматривались только отходы крупных животноводческих и птицеводческих предприятий, где эти отходы накапливаются постоянно и легко собираются. Энергетический потенциал отходов растениеводства в общем случае рассчитывается по всем возделываемым культурам. А именно, для каждого вида сельскохозяйственных культур учитываются экспериментально обоснованные нормы образования отходов и их удельное энергосодержание. В связи с наличием на территории Акмолинской области сельскохозяйственных угодий с высоким естественным плодородием почв, основной специализацией растениеводства является производство зерна.

Поэтому в части растениеводства учитывались только зерновые культуры, именно они выращиваются исключительно на сельскохозяйственных предприятиях, где возможен рентабельный сбор отходов; доля остальных культур незначительна. Результаты отражены на картах доступного валового потенциала энергии отходов животноводства и растениеводства для районов Акмолинской области (рис. 3, 4)

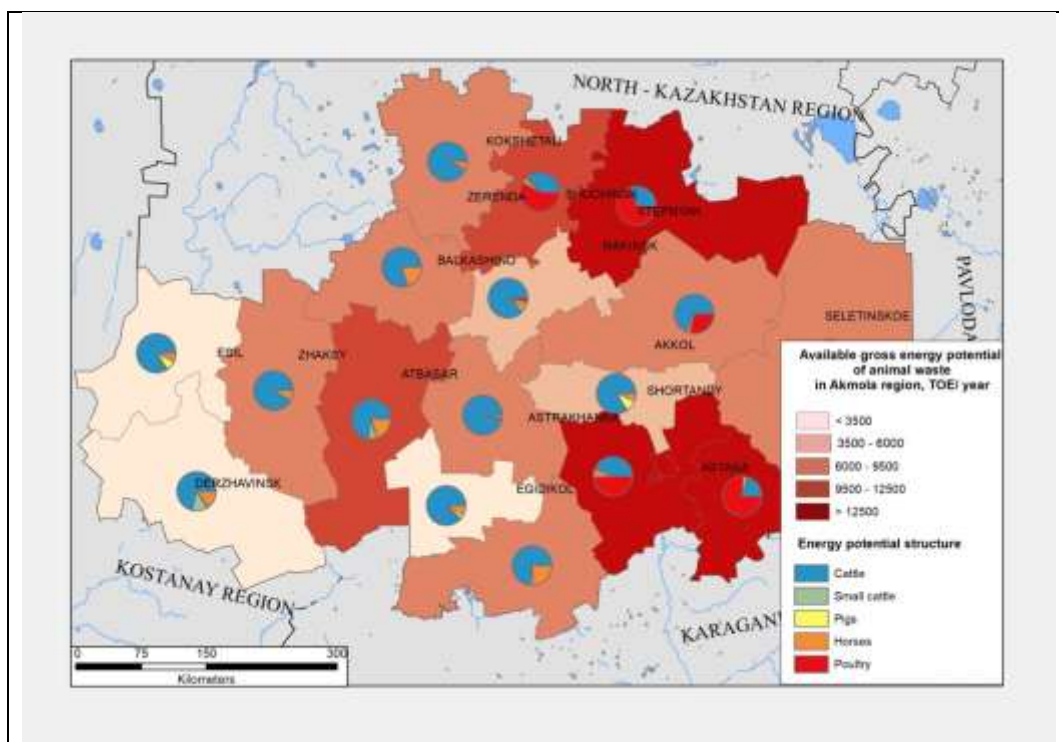


Рис. 3. Доступный валовый потенциал отходов животноводства в районах Акмолинской области

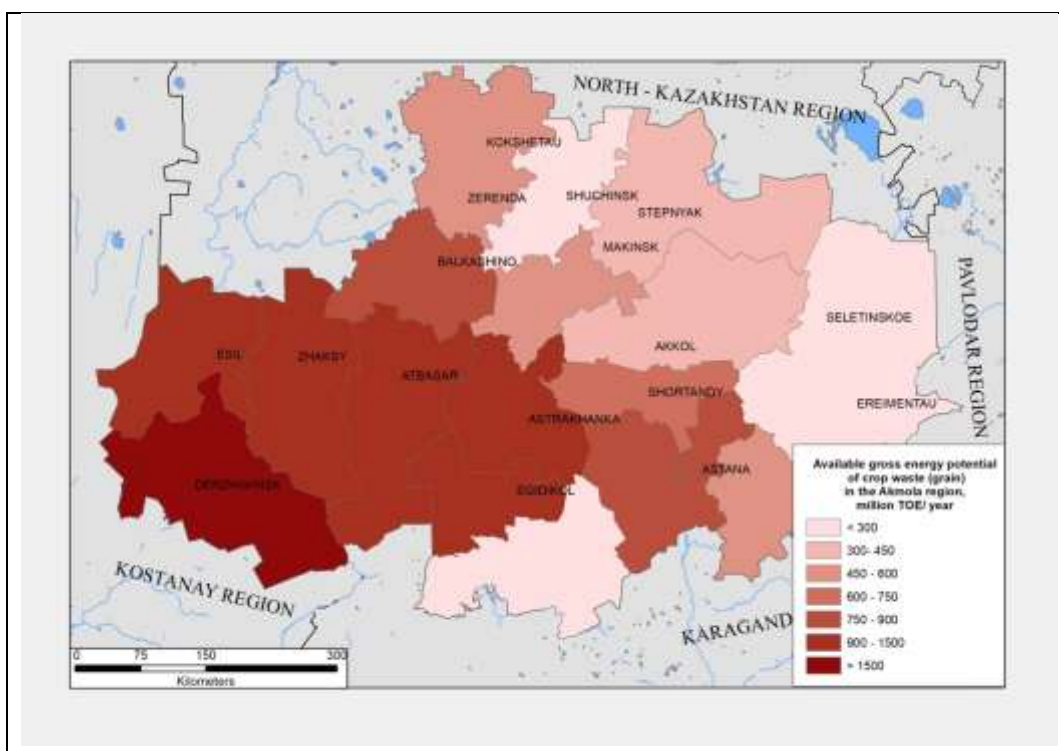


Рис. 4. Доступный валовый потенциал отходов зерновых в районах Акмолинской области

Максимальное поголовье КРС (крупный рогатый скот) и, как следствие, максимальный ДВП отходов их содержания среди районов Акмолинской области составил 6 724 т.у.т/год, минимальный – 1 579 т.у.т/год. Максимальным ДВП для МРС (мелкий рогатый скот) составил 933 т.у.т, минимальный – 9 т.у.т. Максимальный ДВП отходов содержания лошадей составил 2 403 т.у.т/год, минимальный – 173 т.у.т/год. Максимальный ДВП отходов предприятий птицеводства составил 15863 т.у.т/год.

Аналогично были проведены расчеты доступного валового энергетического потенциала отходов производства зерна как основного источника отходов растениеводства в Акмолинской области. При этом была проведена дифференциация по районам области (рис. 4). Максимальное значение ДВП составило 250 835 т.у.т, минимальное 22 100 т.у.т.

Для более точного выявления территорий с максимальным доступным валовым энергетическим потенциалом сельскохозяйственных отходов с целью определения территорий для размещения биогазовых станций, была осуществлена выборка крупных сельскохозяйственных предприятий и рассчитано количество ежегодно образуемых отходов на них. Предполагалось, что рентабельным является транспортировка отходов на расстояния не выше 40 км. [10] На рис.5 показано схематично распределение условной «плотности образования отходов» на площади в пределах 40 км (Плотность определялась делением годового количества отходов на площадь круга радиуса 40 км). В зонах пересечения плотность образования отходов увеличивалась, и территории с наиболее высокой итоговой плотностью образования отходов рассматривались как имеющие наиболее высокий доступный валовый энергетический потенциал отходов животноводства (рис. 6).

Таким образом, распределение ресурсов биоэнергетики с учетом только крупнейших сельскохозяйственных предприятий Акмолинской области, следующее: максимальное количество органических отходов (и, соответственно, потенциал биоэнергетики) обеспечивается на птицефабриках и фермах, выращивающими крупный рогатый скот. ДВП крупнейшей животноводческой фермы составил 2568,2 т.у.т./год, минимальное 77 т.у.т./год, ДВП крупнейшей птицефабрики области составил 1814 тыс.т.у.т./год. Для крупных сельскохозяйственных предприятий был рассчитан технический энергетический потенциал отходов. В качестве технического потенциала рассматривалось количество электроэнергии, которое может быть выработано на миниТЭС на биогазе, полученном при метановом сбраживании годового количества отходов данного предприятия. Технический потенциал электроэнергии для крупнейшей птицефабрики составил 6871 МВтч/год (при условии использования 50% отходов), для крупнейшей фермы КРС технический потенциал электроэнергии составил 6203 МВтч/год.

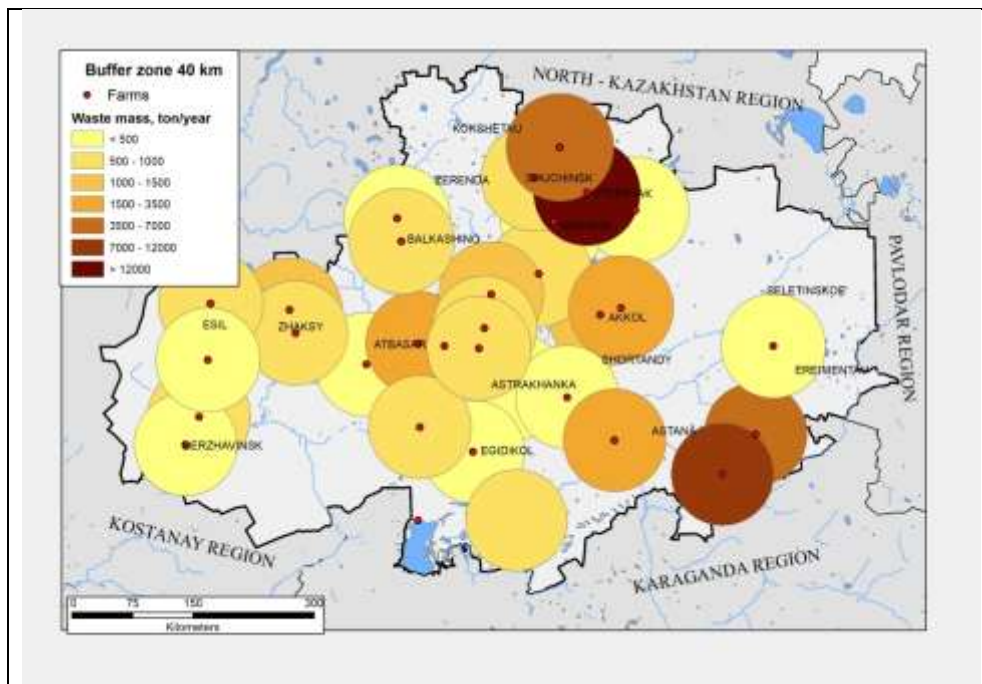


Рис. 5. Буферные зоны (40 км) вокруг крупных животноводческих предприятий с указанием «плотности» образования отходов в них

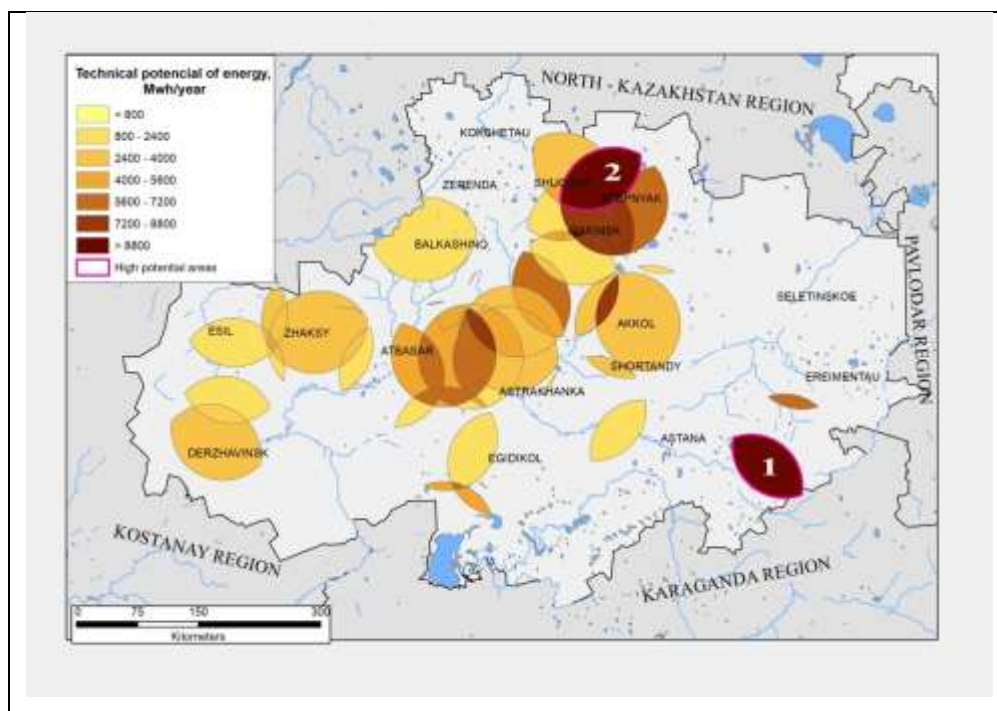


Рис. 6. Технический энергетический потенциал сельскохозяйственных отходов. Выделены территории с максимальным техническим энергетическим потенциалом органических отходов

На рис. 6 представлено распределение технического энергетического потенциала органических отходов сельского хозяйства Акмолинской области. Максимальный вклад в формирование технического энергетического потенциала биоэнергетики области вносят птицефермы. В зонах максимальной плотности технического потенциала его значение составляло от 11 080 МВтч/год (максимальное значение) до 187 МВтч/год (минимальное

значение). На представленной карте выделены 2 зоны (участка территории) с максимальным энергетическим потенциалом органических отходов. Проведем оценку технического энергетического потенциала всех видов ВИЭ, рассмотренных в данной работе. Площади выделенных участков составляют 4849 км<sup>2</sup> и 5536 км<sup>2</sup> соответственно. Для оценки комплексного (суммарного) потенциала всех ВИЭ предположим, что на этой площади с максимально возможной плотностью установлены фотоэлектрические модули и ветровые установки, а также биогазовая станция, перерабатывающая органические отходы, образующиеся от предприятий на этой территории

На первом участке (Аршалинский район) технический потенциал солнечной энергии составил 175 млн. МВтч/год, технический потенциал биоэнергетики составляет 15 966 МВтч/год, энергии ветра – 15 млн. МВтч/год. Суммарный технический потенциал составляет 190 млн. МВтч/год. На втором участке (граница Енбекшилдерского и Щучинского районов) технический потенциал энергии составил 200 млн. МВтч/год, биоэнергетики – 20974 МВтч/год, энергии ветра – 17 млн. МВтч/год. Суммарный технический потенциал составляет 217 млн. МВтч/год.

### **Заключение**

Комплексный анализ ресурсов ВИЭ на территории Акмолинской области, показал, что распределение ресурсов солнечной и ветровой энергии на территории области достаточно равномерно. Распределение ресурсов биоэнергетики более дифференцировано т.к в качестве доступного ресурса следует рассматривать только отходы крупных сельскохозяйственных предприятий. Пространственный анализ показал, что максимальный потенциал приурочен к птицефабрикам и фермам крупного рогатого скота. Полученные значения демонстрируют высокий потенциал комплексного использования ресурсов ВИЭ. Суммарный технический потенциал энергии для территорий, выбранных в результате комплексного анализа энергопотенциалов в качестве наиболее перспективных, составил 190 млн. МВтч/год и 217 млн. МВтч/год.

### **Список литературы**

1. Сайт World Bank. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://data.worldbank.org/country/kazakhstan>. Дата обращения: 15.03.2019.
2. Сайт Britishj Petroleum. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.bp.com/> Дата обращения: 15.03.2019.
3. Сайт Нефть-капитал. Нефтяной рекорд поставил Казахстан в 2018 г. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://oilcapital.ru/news/markets/11-02-2019/neftyanoy-rekord-postavil-kazahstan-v-2018-godu>. Дата обращения: 10.03.2019.
4. Сайт информационного агентства REGNUM. В 2018 году в Казахстане добыли более 117 млн тонн угля. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://regnum.ru/news/2563089.html>. Дата обращения: 10.03.2019.
5. Сайт компании Самрук-Энерго. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.samruk-energy.kz/ru/> Дата обращения: 15.03.2019.
6. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы, 2012 год №717.

7. Сайт NASA Prediction of worldwide energy resource (NASA POWER). Электронный ресурс. Режим доступа: URL: <https://power.larc.nasa.gov/>. Дата обращения: 05.02.2019.
8. Статистический сборник. Сельское, лесное и рыбное хозяйство в Республике Казахстан за 2014 год. Астана. – 248 с.
9. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии в России и местным видам топлива (показатели по территориям) Под ред. П.П. Безруких. М. : ИАЦ "Энергия", 2007, 272с.
10. Sliz-Szkliniarz B and Vogt J 2012 Renewable and Sustainable Energy Reviews №16 p 750–763.

## ВЛИЯНИЕ АВТОМОБИЛИЗАЦИИ И ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА ЗЕЛЕННЫЕ НАСАЖДЕНИЯ ГОРОДА

А.З. Уджуху, И.Б. Ахунова, Г.А. Гук, С.Р. Уджуху

*inna0116@mail*

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

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные аспекты воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду региона. Показаны результаты экспериментальных исследований влияния выбросов загрязняющих веществ от автомобильного транспорта на зелёные насаждения города Майкопа. Экспериментальным путём было проведено исследование состояния ствола древесины растущих деревьев в придорожной зоне.*

***Ключевые слова.** Автомобилизация, окружающая среда, автомобильный транспорт, загрязняющие вещества, интенсивность движения, зеленые насаждения, экосистема города.*

Необходимый рост уровня автомобилизации напрямую связан с развитием экономики страны и региона. Но наряду с положительными сторонами развития, присутствуют и негативные последствия увеличения роста автомобилей. Например, повышение интенсивности движения приводит к увеличению показателей дорожно-транспортных происшествий, истощению пропускной способности городских улиц и дорог, а также резко увеличивается негативное влияние на окружающую среду. В системе ВАДС элементы «автомобиль-среда» напрямую связаны между собой, в которой элемент «среда» испытывает только негативное воздействие от элемента «автомобиль».

Автомобильный транспорт является основным источником загрязнения воздуха, занимает первое место по степени нанесения вреда окружающей среде и по величине экологического ущерба. Автотранспортный комплекс отрицательно воздействует практически на все составляющие экологической системы: атмосферу, водные ресурсы, земельные ресурсы, литосферу и человека. Особенно высокая концентрация загрязняющих веществ от выбросов автомобилей отмечается в городах, районных центрах, других населенных пунктах вдоль дорог с интенсивным движением автомобильного транспорта [1].

При оценке воздействия транспорта на окружающую среду необходимо учитывать весь круг факторов, связанный с его функционированием. Кроме непосредственного поступления загрязняющих веществ в атмосферу, шумового воздействия, изменение и загрязнение экосистемы происходит в результате строительства автомобильных дорог и инженерных сооружений на них, а также эксплуатации транспортных средств [2]. В результате эксплуатации транспортных средств на территории Республики Адыгея

образуется токсичных отходов потребления более 250 тонн в год, (отработанные покрышки, маслоотходы, ветошь и фильтры промасленные, отработанные аккумуляторы, отработанные тормозные колодки и накладки и др.). Все эти отходы хранятся на промплощадках предприятий и организаций. Места их временного хранения не обустроены, не все предприятия ведут учет их образования, нарушаются правила обращения с токсичными отходами, что ведет к загрязнению поверхностных вод нефтепродуктами и другими ингредиентами. Всего от транспортной отрасли образуется 1,5 тыс. тонн отходов производства и потребления [3].

Автомобильные дороги, как важный объект транспортной инфраструктуры, оказывают существенное отрицательное влияние на окружающую среду, вызывают деградацию природных экосистем. Перегруженность дорог, снижение эксплуатационных скоростей движения, и как следствие, значительные транспортные задержки многократно увеличивают объемы выбросов выхлопных газов в атмосферу, шум, загрязнение почв и водных источников [4]. Это воздействие многогранно и заключается, прежде всего, в нарушении природного ландшафта, отчуждении земель, изменении режима стока поверхностных и грунтовых вод, загрязнении придорожной территории (свинец, тяжелые металлы, отходы АТК); в канцерогенных выбросах асфальтобетонных заводов и строительно-дорожных машин в атмосферу; низком качестве строительства автомобильных дорог и состоянии их покрытия, являющихся причиной многочисленных дорожно-транспортных происшествий и многие другие факторы.

Влияние дорожной сети на окружающую среду проявляется медленно и постепенно, что опасно своими отдалёнными последствиями. Зона влияния дороги на параметры окружающей среды в зависимости от интенсивности движения транспорта и при отсутствии лесонасаждений составляет 95–214 м. При наличии лесонасаждений ширина полосы избыточного загрязнения сокращается до 75–154 м [5].

Республика Адыгея располагает развитой транспортной сетью. Ее основу составляют автомагистрали, железные дороги, авиалинии, нефте- и газопроводы. В республике первое место как загрязнитель воздушного бассейна также принадлежит автомобильному транспорту. В соответствии с лабораторным контролем за качеством атмосферного воздуха в населенных пунктах республики в местах интенсивного движения автотранспорта и на городской территории выбросы вредных веществ от передвижных источников в 2016 году составили 72,306 тыс. тонн (таблица 1) [6].

В настоящее время в г. Майкопе насчитывается около 75 тысяч единиц автотранспорта, с постоянным его увеличением.

Для оценки влияния выбросов загрязняющих веществ от автомобильного транспорта на зелёные насаждения города Майкопа экспериментальным путём было проведено исследование по определению состояния ствола древесины растущих деревьев в придорожной зоне.



Таблица 1.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу стационарными объектами транспортного комплекса в 2016 году (тонн)

Загрязняющие вещества	Выбросы, тонн	загрязняющих веществ без очистки, тонн
всего:	750,532	750,399
твердые	0,816	0,754
газообразные и жидкие	749,761	749,761
из них: сернистый ангидрид	0,142	0,142
окись углерода	89,286	89,286
окислы азота	569,399	569,399
углеводороды без ЛОС	14,810	14,810
ЛОС	3,773	3,773
прочие газообразные и жидкие	72,306	72,306

Для эксперимента была выбрана магистральная улица Хакурате с интенсивным движением автотранспорта. Интенсивность движения составляет 1860 авт/ч. Примерно 25% интенсивности движения составляет транзитный транспорт, из которого большая часть составляет грузовой транспорт с грузоподъемностью более 10 т [7]. Исследование проводилось для выявления влияния интенсивности движения на зелёные насаждения улицы. Опытными образцами выступали те породы деревьев, которые находятся непосредственно рядом (до 5 м) от проезжей части. Во время эксперимента было обследовано 21 дерево породы липа. Объём окружности деревьев колебался в пределах 100 - 142 см.

В обследовании определения состояния стволов деревьев использовали возрастную бурав (рис.1).



Рис. 1. Возрастной бурав

Возрастной бурав представляет собой полый цилиндр, на одном конце которого имеется резьба, другой конец — четырехгранный. При взятии проб древесины (керны) бурав четырехгранным концом вставляют в ручку, ставят его перпендикулярно оси ствола и ввинчивают в древесину. По мере углубления бурава в полость трубки входит древесина (рис. 2).



Рис. 2. Экспериментальный процесс

После того, как бурав войдет в древесину на требуемую глубину в его полость через отверстие на ручке вставляют желобчатую пластинку и поворачивают бурав в обратную сторону, извлекают его из ствола дерева вместе с цилиндром древесины (рис.3).



Рис. 3. Проба древесины (образец № 1)

В процессе проведения экспериментального исследования, на 6-ти деревьях образцы невозможно было взять, так как бур проваливался внутрь, из-за того, что эти деревья сгнили изнутри. В результате обследования остальные керны оказались разрушены и имели низкую плотность древесной породы (рис.4).



Рис. 4. Проба древесины (образец № 2)

Таким образом, состояние исследуемых пород деревьев на улице Хакурате имеют признаки ослабления структуры древесины. Считаем, что основным параметром влияния на внутреннее состояние деревьев является высокая, постоянная, долговременная интенсивность транспортного потока.

#### **Список литературы:**

1. Гук Г.А., Богачев А.В. Воздействие автотранспортного комплекса на экологию региона. //Материалы Международного научно-практического семинара «Экологические проблемы современности». Майкоп: ИП «Магарин О.Г.», 2009. С. 97-105.
2. Гук Г.А., Апухтина Е.М. Реализация программно-целевого подхода к решению экологических проблем автотранспортной деятельности в Республике Адыгея. //Современные проблемы геофизики и геоэкологии (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды): Материалы Международной школы молодых ученых. - Майкоп: ИП «Кучеренко В.О.», 2016.- С. 58-80
3. Ахунова И.Б., Гук Г.А. Методика оценки тяжести последствий дорожно-транспортных происшествий в аномальных геопатогенных зонах. //Решение проблем развития предприятий: роль исследований: Материалы II Международной научно-практической конференции. 20 ноября 2012 г.: Сборник научных трудов. – Краснодар, 2012. – С.15-20.
4. Теучеж И.Б., Гук Г.А. Безопасность на дорогах Адыгеи: состояние, проблемы, тенденции развития. //Вестник Майкопского государственного технологического университета. Вып. 1. - Майкоп: Издательство ОАО «Полиграф-ЮГ», 2010. - С. 147-150.

5. Ахунова И.Б., Калова Б.М. Исследование влияния автострады на содержание свинца в почве. //Наука и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции 30 декабря 2013 года. В 8 частях. Часть VI. Мин-во обр. и науки. – М: «АР-Консалт», 2014. - С. 24-26.

6. Уджуху С.Р. Влияние автотранспорта на состояние растительности нижнегорной части Республики Адыгея. //Современные проблемы геофизики и геоэкологии (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды): Материалы Международной школы молодых ученых.- Майкоп: ИП Кучеренко В.О.», 2016.- С. 80-87.

7. Ахунова И.Б., Уджуху А.З. О некоторых дополнительных направлениях к задачам в федеральной целевой программе «Повышение безопасности дорожного движения» //Информационно – научный журнал. Бюллетень транспортной информации - №3 (261).- 2017. С. 33-35.

# СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ МОРФОСКУЛЬПТУРЫ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

**С.В. Харченко**

*har4enkkoff@yandex.ru*

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,*

*Россия, г. Москва*

*Институт географии РАН, Россия, г. Москва*

**Аннотация.** В работе протестированы некоторые методы классификации с обучением для распознавания границ наиболее распространенных в европейской части Российской Арктики типов морфоскульптуры. Среди этих методов: дискриминантный анализ (линейный и квадратический), машины опорных векторов, деревья классификации, случайный лес. В качестве входных переменных взяты спектральные характеристики рельефа, рассчитанные по скользящему окну размерами 10\*10 км. Показано, что для параметрических методов большую роль играет линеаризация распределений исходных данных, она увеличивает эффективность прогноза сразу на 5-6%. Наиболее эффективным оказался метод случайного леса (почти абсолютная надежности). Уступают ему, но, в общем, так же могут использоваться – квадратический дискриминантный анализ и метод машин опорных векторов (64-66%). Чуть более чем в половине случаев верно определяло тип морфоскульптуры дерево классификации, а в 46% случаев – линейный дискриминантный анализ.

**Ключевые слова.** Распознавание образов, спектральные характеристики рельефа, статистическая модель, классификация с обучением, геоморфологическое картографирование.

В этой работе нами показан пример автоматизации проведения границ между различными типами морфоскульптуры [2]. Долгое время считалось и продолжает считаться, что автоматизация общего геоморфологического картографирования принципиально невозможна. При этом частные, например, морфометрические карты, которые используются как вспомогательный материал в самых разных прикладных задачах, строятся автоматически с точностью, которую позволяет получить исходная цифровая модель рельефа (ЦМР). Автоматизация выделения дискретных геоморфологических единиц (исключая разве что водосборные бассейны) является гораздо более сложным вызовом. Существуют немногочисленные попытки такой автоматизации, например, относительно свежая статья [8].

Нами предпринята очередная такая попытка в отношении распознавания типов морфоскульптуры в условиях российской Арктики с опорой на фокальные спектральные морфометрические характеристики рельефа (далее – СХР). Основы спектрального анализа рельефа и история его развития для решения морфометрических задач описана в [3]. Вся процедура создания и тестирования модели распознавания состоит из следующих блоков.

1) Подбор данных для обучения модели. Нами использовалась глобальная модель высот Alos World 3D [4] и Геоморфологическая карта СССР масштаба 1: 2 500 000 [1]. Модель высот была нарезана по контурам отдельных типов морфоскульптуры.

2) Расчет морфометрических характеристик рельефа, которые станут входными переменными для модели. Для этой цели нами рассчитываются различные коэффициенты разложения ЦМР в ряд Фурье: амплитуда наиболее значимой гармоники, генеральное направление колебаний поля высот и другие, всего – 9 СХР.

3) Собственно обучение модели. Нами, по созданным таблицам данных вида «числовые индикаторы – отклик (тип рельефа)», обучаются несколько моделей. Для этой цели использовались методы: линейный дискриминантный анализ (ЛДА), квадратический дискриминантный анализ (КДА), машины опорных векторов (МОВ), дерево классификации (ДК) и случайный лес (СЛ). Процесс обучения в разных случаях предполагает нахождение оптимальных коэффициентов дискриминационных уравнений (ЛДА и КДА), наиболее репрезентативных для текущей разбивки на классы входных параметров и их пороговых значений (ДК и СЛ) и так далее. Критерием оптимальности в задачах классификации выступает общая точность (доля истинно идентифицированных объектов от общего числа) и каппа-статистика [6, 7, 9].

4) Апробация модели на тестовой части выборки.

Венцом этой процедуры может стать прогноз классовой принадлежности на всю территорию и автоматизированное построение геоморфологической карты. В этой работе мы пока ограничиваемся сравнительным тестированием различных методов.

Была проведена проверка возможности идентификации нескольких типов морфоскульптуры. Само это понятие (наряду с «морфоструктурами») в геоморфологии введено И. П. Герасимовым и Ю. А. Мещеряковым [2]. Под первыми понимаются закономерные сочетания в пространстве форм рельефа экзогенного происхождения, созданные тем или иным агентом рельефообразования. Под вторыми – чаще всего, крупные формы рельефа, имеющие структурно-геологическую предопределенность. В данной работе мы делаем акцент именно на типах морфоскульптуры, распознавание которых, в целом, менее тривиальная задача, ведь их границы – это границы распространения групп форм рельефа, а не границы самих форм (например, крупных морфоструктур).

Для анализа нами были взяты 1) волнистый и полого-холмистый рельеф моренных равнин, 2) грядово-холмистый рельеф, преимущественно экзарационного происхождения, 3) горный эрозионно-денудационный рельеф, 4) полого-увалистый рельеф зандровых равнин, 5) волнистый и полого-холмистый экзарационный рельеф, 6) горный рельеф с криогенно-гляциальной обработкой. Далее в тексте они будут обозначаться индексами от МК1 до МК6. Эти 6 типов морфоскульптуры упорядочены здесь по занимаемым площадям и составляют от половины до 80% площади исследуемой территории и локализованы достаточно компактно для расчета

спектральных характеристик рельефа по скользящему окну (отдельные фрагменты территории с тем или иным типом морфоскульптуры достаточно велики для эффективного использования скользящего окна). Схема распространения типов морфоскульптур показана на рис. 1. Строго говоря, наибольшие площади занимает в регионе специфический «выдел» аккумулятивного рельефа *разного (смешанного)* генезиса. Однако включение его в модель представляется ошибочным по очевидным причинам.

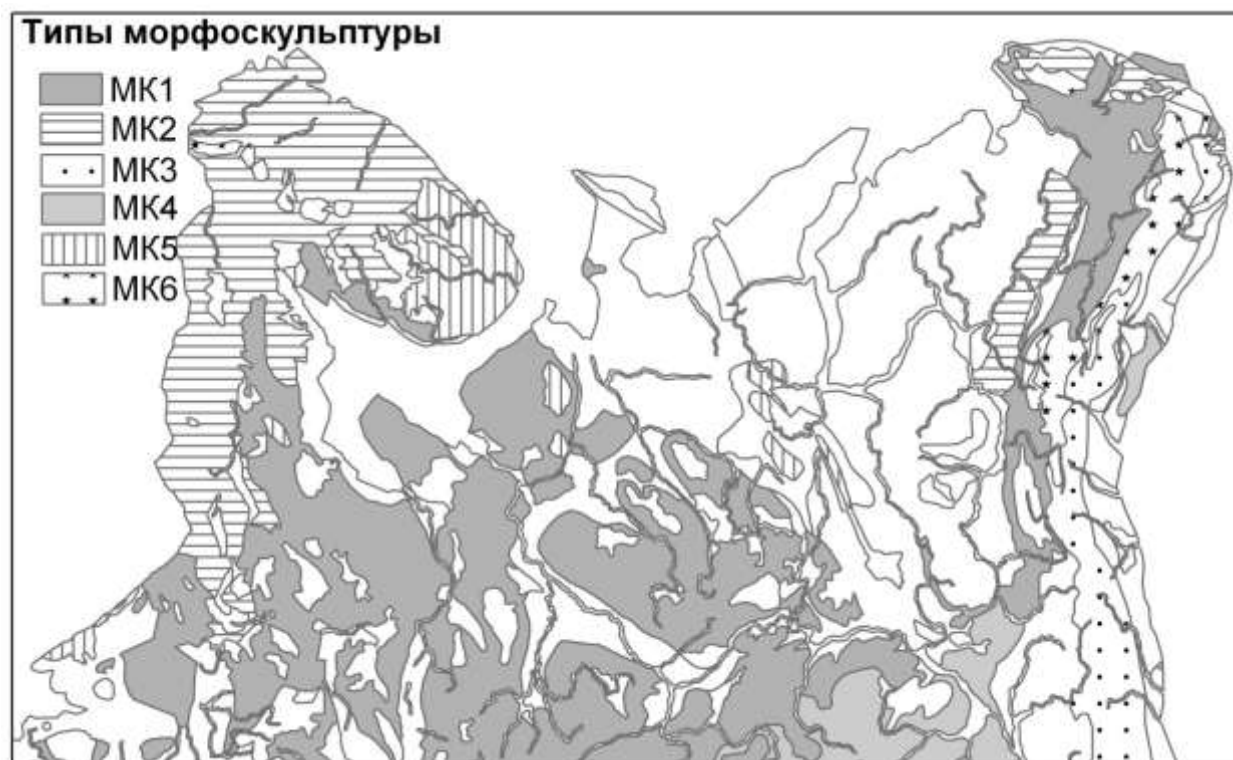


Рис.1. Преобладающие типы морфоскульптуры европейской части российской Арктики по Геоморфологической карте СССР м-ба 1 : 2 500 000. Обозначения в тексте.

Для удобства восприятия заливками серого цвета показан аккумулятивный моренный и флювиогляциальный рельеф, вертикальной и горизонтальной штриховками – экзарационный рельеф, крапом – горный эрозионно-денудационный и нивально-гляциальный рельеф.

В пределах каждого из шести типов случайным образом выбиралось 500 позиций (центроидов участков размерами 10\*10 км), из них отсеивались те позиции, которые находятся на удалении менее 5 км (половина ширины окна) от границы рассматриваемого типа морфоскульптуры и соседствующих с ним. Таким образом, в пределах точности используемой карты нами были получены выборочные данные о спектральных характеристиках рельефа шести различных типов морфоскульптуры. Количество участков по разным типам составило: МК1 – 335, МК2 – 379, МК3 – 344, МК4 – 341, МК5 – 295, МК6 – 274. Общее количество – 1968 участков.

Для входных переменных была проведена процедура предобработки данных – центрирование, шкалирование и преобразование Бокса-Кокса [5]. Модели построены и на исходных, и на преобразованных данных, проведено

сравнение эффективности прогноза. При этом оценена как точность модели в абсолютном выражении, так и сравнение точности ее с точностью случайного угадывания (при наличии шести классов – примерно 1/6). Этот параметр – отношение точности прогноза по модели к точности случайного угадывания – назван нами приведенной точностью. Результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1.

Сравнение эффективности моделей предсказания типа морфоскульптуры

Метод	Без предобработки			С предобработкой		
	Общая точность	Привед. точность	Контроль	Общая точность	Привед. точность	Контроль
ЛДА	0,37	2,24	0,39	0,42	2,52	0,46
КДА	0,39	2,34	0,6	0,44	2,66	0,66
МОВ	0,52	3,11	0,65	0,53	3,16	0,64
ДК	0,5	3,01	0,52	0,5	3,02	0,52
СЛ	1	6	0,98	1	6	0,98

Все использованные методы дали весьма и весьма различающиеся результаты. Наинизшую точность показал параметрический метод ЛДА – 0,37 на данных без предобработки и 0,42 на обработанных данных! Это означает, что линейаризация данных (а линейный дискриминантный анализ требует, по возможности, линейных зависимостей между переменными) дает прирост точности сразу 5%, что, в общем, при минимальных трудозатратах на совершенствование алгоритма – существенный прирост. Интересно также то, что оценка точности на контрольной выборке показала даже лучшие результаты. Это говорит об устойчивости модели, качестве ее работы не только на исходных, но и на новых данных. При этом приведенная точность оказалась 2,52 (для предобработанных данных). Это не очень хороший результат.

Квадратический дискриминантный анализ – обобщение метода ЛДА, позволяющее учитывать нелинейность некоторых связей между переменными и предсказываемым классом объекта. Допустим, для какого-то типа морфоскульптуры характерны и высокие, и низкие значения параметра, а для другого типа морфоскульптуры – средние, КДА способен это учесть. Видим, что при его использовании результаты прогноза немного лучше, чем при использовании ЛДА, но еще более важно – резкое улучшение качества прогноза на контрольной выборке.

Метод машин опорных векторов – непараметрический, это значит, что результаты его применения независимы от характера распределения входных переменных. Подтверждение этому мы видим в табл.1 – линейаризация распределения не дает никакого ощутимого прироста качества прогноза ни на исходных данных, ни на контрольных. Кстати, и при использовании метода опорных векторов, точность на контрольных данных оказалась также существенно выше, чем на исходных.

Два последних метода имеют между собой принципиальное сходство. Дерево классификации – разновидность привычных всем деревьев решений, когда человек, «читающий» это дерево последовательно отвечает на



задаваемые вопросы «да» или «нет» и спускается по его ветвям к окончательному ответу (в нашем случае, типу морфоскульптуры). Принцип построения деревьев классификации заключается в последовательном использовании переменных, позволяющих делать наиболее надежные разбиения объектов в классы. Допустим, если наилучшим образом участки территории разносятся в известные классы параметром амплитуды главной гармоника – то сначала, используется он, затем уже другие параметры, также наилучшим образом (уступая только первому параметру) разносящие объекты в их классы. Этот метод непараметрический, нечувствителен к монотонным преобразованиям распределения морфометрических величин. Грубо говоря, можно вместо самих исходных значений использовать их ранги, и результат останется тот же.

Метод случайного леса (СЛ) – это развитие метода деревьев решений, когда используется огромное количество деревьев, построенных на случайных выборках из исходной общей выборки, а итоговый результат (класс) определяется «голосованием» отдельных деревьев – в большинстве модификаций метода это простое большинство отнесений к классу. Этот метод весьма эффективен и при не лимитированной «высоте» дерева (порядок ветвей) иногда может объяснить чуть ли не все разнообразие переменных. Так было и в нашем случае, когда метод предсказал принадлежность объектов в тренировочной выборке с почти 100% надежностью! Таблица неточностей показана ниже (табл.2). Лишь один участок в пределах области грядово-холмистого экзарационного рельефа (МК2) был идентифицировано ошибочно и отнесен к типу горного эрозионно-денудационного рельефа (МК3)!

Таблица 2

Матрица неточностей прогноза типов морфоскульптуры при применении метода «случайный лес»

		Прогноз					
		МК1	МК2	МК3	МК4	МК5	МК6
Факт	МК1	335	0	0	0	0	0
	МК2	0	378	1	0	0	0
	МК3	0	0	344	0	0	0
	МК4	0	0	0	341	0	0
	МК5	0	0	0	0	295	0
	МК6	0	0	0	0	0	274

Метод СЛ – единственный из использованных, который на контрольных данных дал худшую точность, чем на тренировочной выборке. С одной стороны, лучшую точность он дать уже не мог, но мог дать такой же стопроцентный результат. Тем не менее, полученная оценка точности оказалась в обоих случаях (не обработанные и обработанные данные) – 98 %. Кстати, причина одинакового результата – в нечувствительности метода к характеру распределения, как и у ДК. Ухудшение точности на контрольных данных – это пример так называемого переобучения или overfitting (хотя и не критичный), когда модель идеально учится воспроизводить сама себя, а на

новых данных уже не показывает столь же превосходных результатов. Тем не менее, точность 0,98 – весьма выдающийся результат.

Если ранжировать все использованные методы по эффективности на контрольных данных (у непараметрических методов – по нижней оценке точности, у параметрических – по оценке на предобработанных данных), то они по убыванию эффективности выстроятся следующим образом: СЛ (0,98) – КДА (0,66) – МОВ (0,64) – ДК (0,52) – ЛДА (0,46).

Таким образом, нами построены несколько статистических моделей для предсказания типа морфоскульптуры по спектральным характеристикам рельефа. Установлено, что параметрические методы действительно дают лучший прогноз при применении к данным центрирования, шкалирования и трансформации Бокса-Кокса (частным случаем которого является известное логарифмирование данных). При этом качество прогноза растет на 5-6%, что, в общем, не мало.

Показано, что модели на основе ЛДА и КДА в состоянии обучиться до сопоставимой точности на тренировочных выборках, но при применении моделей на контрольных данных КДА показывает гораздо лучшие результаты, что, видимо, связано с нелинейностью связей между принадлежностью участка к тому или иному типу морфоскульптуры и распределением спектральных морфометрических характеристик.

Метод машин опорных векторов (МОВ) показал близкие значения точности с методом КДА на контрольных данных, к тому же у него были более высокие показатели при тестировании на исходных данных. А вот дерево классификации смогло обучиться распознавать объекты в обучающей выборке, но таким образом, что на контрольных данных дало лишь такую же точность (в противовес методам ЛДА, КДА и МОВ, даже улучшившим свои результаты).

Наилучшие результаты дал метод СЛ. Его недостатки известны – переобучение, трудная интерпретируемость структуры модели. Однако, даже несмотря на это, результаты его применения впечатляют. Думается, следует протестировать этот метод на других морфометрических характеристиках, типах морфоскульптуры, да и вообще геоморфологических объектах другого рода, нежели скульптурные формы, и только после этого возможно будет дать оптимистичное заключение о потенциале этого метода для автоматизации геоморфологического картографирования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ по проекту № 18-05-60200 «Арктика». Разработка номенклатуры использованных спектральных характеристик рельефа и способов их расчета продолжается при поддержке РФФИ по проекту № 17-05-00765 а.*

### **Список литературы**

1. Геоморфологическая карта СССР м-ба 1: 2 500 000 в 16 листах / Под ред. И. П. Герасимова и А. А. Асеева, 1981.
2. Мещеряков Ю.А. Рельеф СССР (Морфоструктура и морфоскульптура) // М.: Мысль, 1972. 520 с.
3. Харченко С.В. К вопросу о применении гармонического анализа при количественной характеристике рельефа // Геоморфология. 2017. № 2. С. 14 – 24.

4. ALOS Global Digital Surface Model "ALOS World 3D - 30m (AW3D30)" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>. Дата обращения: 01.04.2019.
5. Vox G. E. P., Cox D. R. An analysis of transformations // Journal of the Royal Statistical Society, Series B. 1964. No. 26. P. 211–246.
6. Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales // Educational and Psychological Measurement. 1960. No. 20 (1). P.37–46.
7. Cohen J. Weighted kappa: Nominal scale agreement with provision for scaled disagreement or partial credit // Psychological Bulletin. 1968. No. 70 (4). P. 213–220.
8. Pipaud I., Lehmkuhl F. Object-based delineation and classification of alluvial fans by application of mean-shift segmentation and support vector machines // Geomorphology. 2017. Vol. 293. P. 178-200.
9. Powers D.M.W. Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation // Journal of Machine Learning Technologies. 2011. No. 2(1). P. 37–63.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДОВ ПЕКТИНОВ И ИХ КОМБИНАЦИЙ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ ВЯЗКОСТЬ ПЕКТИНОВЫХ РАСТВОРОВ

З.Н. Хатко, Е.М. Колодина, А.А. Ашинова

znkhatko@mail.ru

Майкопский государственный технологический университет,

Россия, г. Майкоп

**Аннотация.** Исследовано влияние видов пектиновых веществ и их комбинаций на динамическую вязкость 4 % растворов. Установлено, что добавление цитрусового пектина к яблочному увеличивает вязкость ЯЦ, а свекловичного – уменьшает вязкость ЯС; добавление цитрусового пектина увеличивает вязкость СЦ. Это создает возможность регулирования реологических свойств пищевых систем, в том числе безглютеновых.

**Ключевые слова.** Пектиновые вещества, комбинации пектинов, вязкость растворов, тиксотропный индекс

Пектиновые вещества – это комплексные высокомолекулярные соединения – полисахариды, структура и химический состав которых определяют форму их молекул и характер взаимодействия с другими соединениями[4]. Доказано, что пектиновые вещества обладают структурой с ограниченной гибкостью, стабилизируемой гидрофобными (между группами) связями. Подобно целлюлозе, пектиновые вещества организованы в жесткие и рыхлые области.

Вязкость является одним из характерных свойств пектиновых веществ, как и других лиофильных коллоидов. Молекулы пектина легко ассоциируются либо друг с другом, либо с крупными молекулами сопутствующих веществ.

Вязкость водных растворов пектинов зависит от различных факторов: концентрации, длины молекулярной цепи, степени этерификации, присутствия электролитов и температуры. С увеличением молекулярной массы при прочих равных условиях вязкость повышается. При одной и той же молекулярной массе вязкость возрастает с увеличением электрического заряда макромолекулы (количества свободных карбоксильных групп).

Цель работы - исследование влияния видов пектинов и их комбинаций на динамическую вязкость пектиновых растворов.

Объектами исследования являются пектиновые растворы (4 %): яблочный (Я), цитрусовый (Ц), свекловичный (С) и их комбинации (ЯЦ, ЯС, ЦС). Характеристика пектинов, используемых в исследовании приведена в таблице 1.

Свекловичный пектин получали типовым способом [4]. Измерение динамической вязкости выполняли аппаратом BROOKFIELDVISCOMETERDV – II + PRO.

Измерение вязкости производилось с применением принципов ротационной вискозиметрии: пересчет крутящего момента вращения шпинделя прибора с постоянной скоростью при погружении его в

исследуемый раствор. При этом выбирались такие шпиндели и скорости вращения, при которых отсчет момента лежит в диапазоне от 10 до 90 % от максимального значения [1].

Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 1.

Характеристика пектиновых веществ

Наименование пектина	Производитель	НД
Яблочный	«Айдиго», Китай	ТУ 9169-007-52303135-2014
Цитрусовый	«Danisko», Чешская Республика	ГОСТ 29186-91
Свекловичный	Экспериментальный	ОСТ 18-62-72

Таблица 2.

Динамическая вязкость (сПз) пектиновых растворов при различных скоростях сдвига

Скорость сдвига, об/мин	Динамическая вязкость пектиновых растворов, сПз					
	Пектин			Комбинация пектинов		
	Я	Ц	С	ЯС	ЯЦ	ЦС
100	409,7	573	404,1	261,4	431,7	708,4
120	378	570	376,1	259,4	425,6	698
140	376	558	352,8	258,9	422,8	670,5
150	374,5	536	315,2	246,6	420	668,4
180	370,6	532,1	310,3	245	418	645,5
200	368	524,8	260,9	244	391,8	622,6

Данные таблицы 2 показывают, что вязкость растворов в комбинациях пектинов ЯЦ (420сПз) и ЯС (244) отличается от Я (368), причем в комбинации ЯЦ вязкость увеличивается, в комбинации ЯС – уменьшается, т.е. добавление Ц увеличивает вязкость ЯЦ, а С – уменьшает ЯС.

Вязкость растворов в комбинациях пектинов ЯС(244сПз) и ЦС (622,6) отличается от С (260,9), причем в комбинации СЦ вязкость увеличивается, в комбинации ЯС – чуть уменьшается, т.е. добавление Ц увеличивает вязкость СЦ, а Я – уменьшает ЯС.

Далее исследовали тиксотропию- способность субстанции уменьшать вязкость (разжижаться) от механического воздействия и увеличивать вязкость (сгущаться) в состоянии покоя [2, 3].

Для этого рассчитывали тиксотропный индекс (отношение вязкостей жидкости, измеренных при двух разных скоростях сдвига (при использовании одного шпинделя)) пектиновых растворов по формуле 1:

$$n = \eta_L / \eta_H, \quad (1)$$

где n – тиксотропный индекс, безразмерная величина;  $\eta_L$  - вязкость при низкой скорости сдвига, сПз;  $\eta_H$  - вязкость при высокой скорости сдвига, сПз.

Полученные данные приведены в таблице 3.

Как показывают данные таблицы 3, тиксотропный индекс пектиновых растворов изменяется от 1,1 (Я) до 1,5 (Ц).

Тиксотропный индекс пектиновых растворов

Показатель	Виды пектиновых веществ и их комбинации					
	Я	Ц	С	ЯС	ЯЦ	ЦС
$\eta_L$ , сПз (100 об/мин.)	409,7	573	404,1	261,4	431,7	708,4
$\eta_H$ , сПз (200 об/мин.)	368	524,8	260,9	244	391,8	622,6
Тиксотропный индекс	1,1	1,5	1,2	1,06	1,02	1,3

Сравнительный анализ тиксотропного индекса во всех вариантах эксперимента показывает, что:

- яблочный пектин самостоятельно и в комбинациях имеет практически одинаковый показатель;
- свекловичный пектин увеличивает (снижает) свой показатель в комбинации с цитрусовым (яблочным);
- цитрусовый пектин снижает свой показатель в комбинациях со свекловичным и яблочным.

Таким образом, полученные результаты вязкости растворов различных видов пектинов и их комбинаций показывают возможность регулирования реологических свойств пищевых систем, в том числе безглютеновых.

#### Список литературы

1. Крупенникова В.Е. Раднаева В.Д. Танганов Б.Б. Определение динамической вязкости на ротационном вискозиметре Brookfield RVDV-II+ Pro. Методическое указание. Улан-Удэ Издательство ВСГТУ 2011г.
2. Овчинников П.Ф., Круглицкий Н.Н., Михайлов Н.В. Реология тиксотропных систем. – Киев: «Наукова думка», 1972.– 120 с.
3. Новый справочник химика и технолога. Электродные процессы. Химическая кинетика и диффузия. Коллоидная химия – СПб.: НПО «Профессионал», 2017. – 838 с.
4. Хатко, З.Н. Свекловичный пектин полифункционального назначения: свойства, технологии, применение / З.Н. Хатко. - Майкоп: изд-во ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2012. – 244 с.

# **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПЛЕНКООБРАЗОВАНИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИННОВАЦИОННЫХ ПЕКТИНОСОДЕРЖАЩИХ ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР**

**З.Н. Хатко, А.А. Ашинова**

*znkhatko@mail.ru*

*Майкопский государственный технологический университет,*

*Россия, г. Майкоп*

Современное развитие страны обуславливает необходимость формирования национальной инновационной системы, заключающейся в расширении ассортимента продуктов с учетом реального спроса потребительского рынка и продвижении новых продуктов. Это вызвано, прежде всего, демографическими изменениями и повсеместным ухудшением экологической обстановки.

Известно, что неблагоприятные факторы внешней среды и условий работы оказывают существенное влияние на организм человека: техногенные факторы воздействуют на ткани и биохимические системы человеческого организма, в результате нарушаются процессы нормальной жизнедеятельности.

В последнее время возрастает потребность в разработке пленочных материалов, способных быть экологически безопасными (биodeградируемым) при использовании. Таким направлением является разработка пленочных материалов из растительных полимеров с заданными свойствами.

Основными этапами физико-химического образования полимерной композиции являются набухание компонентов, образование студня или геля и высыхание (пленкообразование) при определённых температурных условиях [1].

Пектиновые вещества являются полимерами природного происхождения и способны образовывать пленочные структуры [2,3].

Характерными признаками пленкообразования являются физические, химические свойства пектиновых веществ, а так же их способность образовывать пленку с дополнительными рецептурными ингредиентами. Оптимизация этих факторов позволит получить пленочные структуры с высокими характеристиками качества и безопасности.

Цель работы – получение пектиносодержащих пленочных структур, определение их физико-химических характеристик и условий пленкообразования для использования в различных отраслях народного хозяйства.

Пленкообразующие составы готовили следующим образом: пектины смешивали с дистиллированной водой, тщательно перемешивали до однородного состояния, оставляли на 30 мин для набухания пектиновых веществ при комнатной температуре. Пленка образуется путем растекания по форме на подложке и высушивании при температуре от 20...60 °С.

Органолептические и физико-химические показатели разработанных пектиносодержащих пленочных структур представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1.

Органолептические показатели пектиносодержащей пленочной структуры

Наименование показателя	Характеристика пектиносодержащей пленочной структуры
Внешний вид	Однородная плотная пленка, без повреждений
Цвет	Светло-кремового, блестящая
Запах	Не имеет запаха

Таблица 2.

Физико-химические показатели пектиносодержащих пленочных структур

Наименование показателя	Значение показателя
Толщина пленки, мм	0,040
Масса (г) 1 м <sup>2</sup> пленки	70,6
Содержание остаточной влаги, %	7,3
Растворимость пленки в воде, %	99,85
Прозрачность пленки, длина волны 800 нм	49,0

Данные таблицы 2 показывают, что толщина пленки 0,040 мм, при этом ее масса 70,6 г, растворимость пленки в воде свыше 99 %.

Толщина и масса пленки зависят от количества, раствора взятого для пленкообразования.

Выявлено, что скорость высыхания пленки зависит от структуры пленкообразующего раствора и температуры сушки. Время высыхания вязкого раствора меньше. Определено, что при температуре 20 °С полное высыхание пленки происходит за 48 часов, а при температуре 40...60 °С – за 3 часа. Пектиносодержащие пленочные структуры пищевого и медицинского назначения апробированы в промышленных (столовой «555», г. Майкоп, Жуковского, 35) и в клинических условиях (ГБУЗ РА «Адыгейская республиканская клиническая больница», г. Майкоп, ул. Жуковского, 4).

Таким образом, для получения пектиносодержащей пленочной структуры, применяемой в качестве безопасного защитного покрытия применяемого в пищевой и медицинской промышленности следует соблюдать следующие условия: соотношение компонентов, гомогенность раствора (однородная, прозрачная, блестящая), температура высыхания пленки 20...60 °С.

### Список литературы

1. Зуев В.В., Успенская М.В., Олехнович А.О. Физика и химия полимеров: учебное пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. 45 с.
2. Хатко З.Н. Свекловичный пектин полифункционального назначения: свойства, технологии, применение. Майкоп: МГТУ, 2012. 244 с.
3. Хатко З.Н., Ашинова А.А. Полимерные композиции для пленки пищевого назначения // Новые технологии. 2016. Вып. 1. С. 30-34.



## ВЛИЯНИЕ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ВОЗДУХА

<sup>2</sup> Л.В. Хинтуба, <sup>1,2</sup> Я.А. Экба

khintuba.lolita888@gmail.ru, ekba-yan@yandex.ru

<sup>1</sup> Институт экологии Академии наук Абхазии, Абхазия, г. Сухум

<sup>2</sup> Абхазский государственный университет, Абхазия, г. Сухум

**Аннотация.** Многолетние исследования стратосферного аэрозоля показывают, что он оказывает существенное влияние на прозрачность атмосферы, т.е. на поступление солнечной радиации на земную поверхность поскольку распространяется на значительные площади и в течение длительного времени (2-3 года) находится в стратосфере. Парниковые газы антропогенного происхождения в 10-100 раз превышают по объёму выбросы вулканов, поэтому можно полагать, что они оказывают существенное влияние на парниковый эффект. Вулканы приводят к глобальному понижению температуры ПСВ на  $0,5-2^0$  С, в год последующий за извержением, следствием чего может явиться длительное похолодание.

Показано, что воздействие вулканов на температуру ПСВ носит глобальный характер вне зависимости от типа климата региона.

**Ключевые слова.** Прозрачность атмосферы, вулканическая тефра, стратосферный аэрозоль, температура приземного слоя атмосферы.

Тепловой баланс атмосферного воздуха определяется прозрачностью атмосферы для солнечной радиации и поглощением инфракрасного излучения земной поверхности атмосферными газами. Прозрачность атмосферы в значительной степени определяется вулканической деятельностью.

*Вулканическая деятельность* сопровождается поступлением в атмосферу огромного количества разнообразных по размеру и составу веществ. Это могут быть жидкие и твердые аэрозоли, а также газы, из которых впоследствии формируются вторичные частицы. В вулканических ландшафтах идут кислые дожди с рН 2,4-2,5 и минерализацией до 250 мг/л. Выброс вещества из вулкана может быть настолько сильным, что потоки могут достигать стратосферы. Попадая на значительную высоту, выброшенные вулканом частицы, даже крупные, не оседают сразу, а могут переноситься на большие расстояния. Вулканический аэрозоль меняет оптические и радиационные свойства атмосферы. Так, после извержения вулкана Кракатау (1883 г.) более года во многих частях земного шара наблюдались светлые и продолжительные зори. Оптическая толщина атмосферы после извержений вулканов Эль-Чичон (Мексика, 1982) и Пинатубо (Филиппины, 1991) уменьшилась на 50%. Возможно, что столь длительный эффект был вызван вторичными аэрозолями, образовавшимися из продуктов извержения. Поступление вулканического вещества в атмосферу влечет изменение режима химических процессов. Так, например, вслед за мощными извержениями вулканов Эль-Чичон (Мексика, 28.03.- 04.04. 1982 г.) и Пинатубо (Филиппины, 1991 г.) наблюдалось уменьшение общего

содержания озона в атмосфере. Сера вулканического происхождения в составе  $\text{SO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$  - один из источников формирования слоя серных аэрозолей в стратосфере на высотах 20-25 км. [3]

### **Извержение вулкана Пинатубо**



Рис.1.Извержение вулкана Пинатубо (Филипины,1991)

Извержение Пинатубо( Филипины, 1991) стало одним из крупнейших в XX столетии. Ранним утром 15 июня вулкан разразился катастрофическим извержением, во время которого в атмосферу было выброшено более 5 куб. км тефры, а пепельная колонна поднялась на высоту 35 км.

Извержение вулкана с меньшей силой продолжалось до сентября 1991 года. Вулкан привел к изменению климата на всей планете. Почти 20 миллионов тонн двуокиси серы, а также большие объемы пепла и пыли попали в атмосферу и за год распространились по всему миру. Средняя температура в северном полушарии снизилась на 0,5–0,6°C, уровень озона в средних широтах достиг самого низкого уровня за всю историю наблюдений [5].

### **Вулкан Эйяфьятлайёкюдль ( Исландия, 2010)**

Извержение вулкана Эйяфьядлайёкюдль в Исландии началось ночью с 20 на 21 марта 2010 года и проходило в несколько стадий. Главным последствием извержения стал выброс облака вулканического пепла, который нарушил авиасообщение в Северной Европе [2].

*Первое извержение.* С конца 2009 года в Эйяфьядлайёкюдле усилилась сейсмическая активность. До марта 2010 года произошло около тысячи подземных толчков силой в 1-2 балла на глубине 7-10 км под вулканом. В конце февраля 2010 года GPS-замерами, проводимыми Метеорологическим институтом Исландии, в районе ледника было зафиксировано перемещение

земной коры на 3 см в юго-восточном направлении. Сейсмическая активность продолжала увеличиваться и достигла максимума 3-5 марта (по три тысячи подземных толчков в сутки).

Из зоны вокруг вулкана было отселено около 500 местных жителей (так как интенсивное таяние ледника, под которым находился вулкан, могло вызвать подтопление местности). Был закрыт международный аэропорт Кеблавик (город Кеблавик).

19 марта сотрясения начались восточнее северного кратера на глубине 4-7 км. Затем активность начала распространяться к востоку и подниматься к поверхности.

Извержение вулкана началось 20 марта 2010 года между 22:30 и 23:30 GMT. В это время в восточной части ледника образовался разлом длиной 0,5 км (на высоте около 1000 м над уровнем моря, в направлении с северо-востока на юго-запад). Во время извержения больших выбросов пепла не регистрировалось, облако поднималось на высоту около 1 км. 25 марта из-за попавшей в кратер воды от растаявшего ледника произошёл взрыв пара в кратере, после чего извержение перешло в более стабильную фазу. 31 марта около 19 часов (исландское время) открылась новая трещина (длиной 0,3 км) примерно в 200 м к северо-востоку от первой. До 5 апреля лава фонтанировала из обеих трещин. Площадь, покрытая лавой, составила 1,3 км<sup>2</sup>.

*Второе извержение.* 13 апреля 2010 года около 23:00 была зафиксирована сейсмическая активность под центральной частью вулкана, к западу от двух извергавшихся трещин. Примерно час спустя началось новое извержение на южном краю центральной кальдеры. Столб пепла поднимался на 8 км. Образовалась новая трещина длиной около 2 км (в направлении с севера на юг). Воды от активного таяния ледника стекали как на север, так и на юг, в обитаемые районы. Было эвакуировано около 700 человек. В течение дня тальми водами была затоплена автомобильная трасса, возникли разрушения. В южной Исландии зафиксированы осадки вулканического пепла.

15-16 апреля высота столба пепла достигла 13 км. При попадании пепла на высоту выше 11 км над уровнем моря происходит его попадание в стратосферу с возможным переносом на значительные расстояния. Значительному распространению облака пепла в восточном направлении способствовал антициклон над севером Атлантики.

17-18 апреля извержение продолжалось. Высота столба пепла оценивалась в 8—8,5 км, что означает прекращение попадания изверженного материала в стратосферу.

15 апреля 2010 года из-за большой интенсивности извержения и выброса пепла было приостановлено авиасообщение в северной Швеции, Дании, Норвегии и в северных районах Великобритании. Из-за высокой концентрации вулканического пепла в воздухе 15 апреля 2010 года (пепловое облако поднималось на высоту 6 км) с полудня прекратили свою работу все аэропорты Великобритании, с 21:00 по московскому времени были закрыты аэропорты Дании. Всего по Европе 15 апреля 2010 года было отменено от 5 до

6 тысяч рейсов. При этом воздушное пространство самой Исландии и её аэропорты оставались открытыми. Были отложены на неопределённый срок рейсы в Европу (в том числе и в Москву) из стран Америки и Азии (США, Китай, Япония) [7].



Рис. 2. Второе извержение вулкана Эйяфьятлайекюдль (Исландия, 02.04.2010, вид с севера).

### **Стратосферный аэрозоль**

Наиболее существенную роль в аэрозольном наполнении среднеширотной стратосферы играют извержения тропических вулканов, после которых вулканогенный аэрозоль распределяется в тропической стратосфере и затем стягивается в полярные области, накрывая средние широты. В свою очередь извержения северных вулканов представляют собой точечные источники, от которых траектории довольно узких шлейфов могут либо накрыть точку наблюдений, либо пройти мимо. Многолетние исследования стратосферного аэрозоля показывают, что он оказывает существенное влияние на прозрачность атмосферы, т.е. на поступление солнечной радиации на земную поверхность поскольку распространяется на значительные площади и в течение длительного времени ( 2-3 года) находится в стратосфере [6].

Многие специалисты, отрицающие антропогенный фактор изменения климата, утверждают, что климатические сдвиги происходят вследствие выбросов парниковых газов, происходящих в период активности вулканов. Однако, объемы подобной эмиссии не сопоставимы с антропогенной деятельностью. По данным геологической службы США, наземные и подводные вулканы выбрасывают от 0,18 до 0,44 млрд тонн углекислого газа в год. Для сравнения: в 2014 году в результате сжигания ископаемого топлива в атмосферу поступило порядка 40 млрд тонн  $\text{CO}_2$ . Следовательно, можно полагать, что на процесс глобального потепления гораздо сильнее влияют антропогенные выбросы парниковых газов в атмосферу [3].

На рис.3 приведены распределения среднегодовых температур для метеостанции Сухум (Маяк), на которых чётко видны минимумы их значений (13,8°C в 1982 г.) (12,8°C в 1992 г.) и (14,6°C в 2011 г.), приуроченные к извержению вулканов Эль-Чичон (Мексика, 28.03.-04.04. 1982 г.), Пинатубо (Филиппины, 15.06.1991) и Эйяфьятлайокудль (Исландия, 14-19.04.2010) [1].

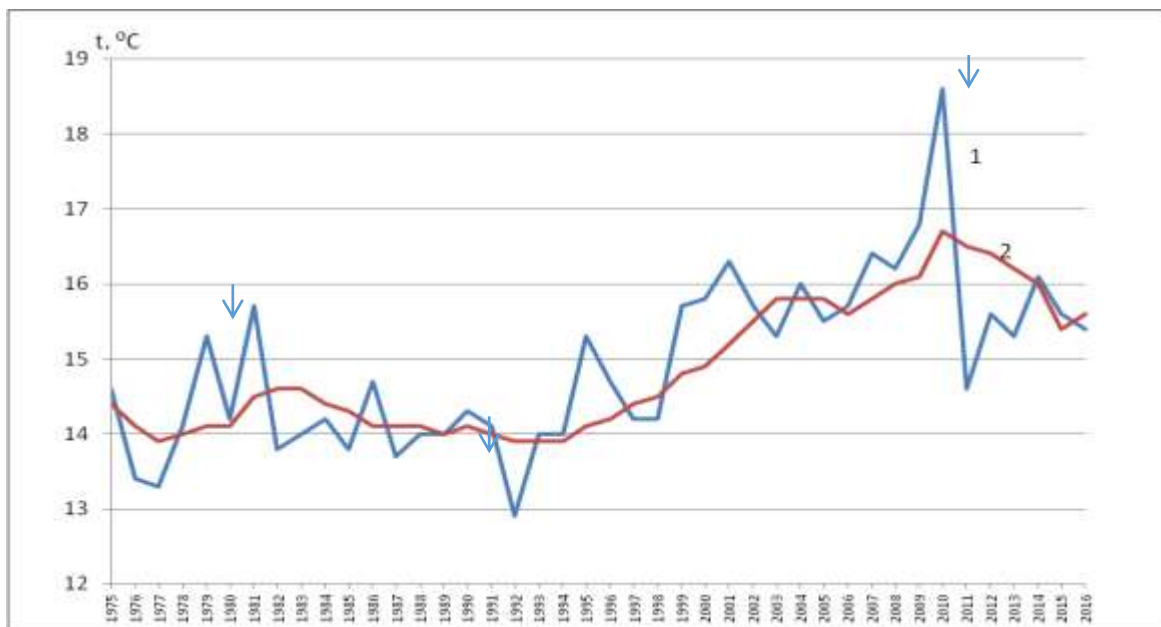


Рис.3. Распределение среднегодовой температуры ПСВ (1) и скользящих пятилетних (2) по метеостанции Сухумский маяк с 1975 по 2016 гг.

Из рисунка следует, что в следующем за извержением вулкана году на территории Абхазии наблюдается резкое понижение температуры приземного слоя воздуха. В случае с вулканом Пинатубо, разница среднегодовых температур с годом извержения составила -1,3°C, а в случае с вулканом Эйяфьятлайокудль (Исландия) эта разница составила порядка - 4°C. Глобальные температуры тоже реагируют на вулканические извержения, понижения температур составили: вулкан Эль-Чичон, 1982г -0,1°C; Пинатубо, 1991г, -0,1°C; Эйяфьятлайокудль, 2010г - 0,2°C. Но поскольку глобальные температуры являются следствием значительных пространственно-временных осреднений, их амплитуда колебаний существенно меньше региональных [1].

Изменение среднегодовых температур ПСВ за последние 40 лет для территории Абхазии (г. Сухум), с влажным субтропическим климатом и г. Ставрополя с резко континентальным климатом происходят синхронно (рис.4). Коэффициент корреляции между среднегодовыми величинами ПСВ составляет более 0,8, что свидетельствует о хорошей связи между величинами. Кроме того, в обоих случаях синхронно наблюдается влияние вулканических извержений Эль-Чичон (Мексика, 1982), Пинатубо (Филиппины, 1991) и Эйяфьятлайокудль (Исландия, 2010) [9].

Нами были рассмотрены отклонения среднегодовых и среднемесячных значений температур в годы соответствующие извержению вулканов и в годы

после извержения для двух различных климатических зон (г. Сухум и г. Ставрополь).

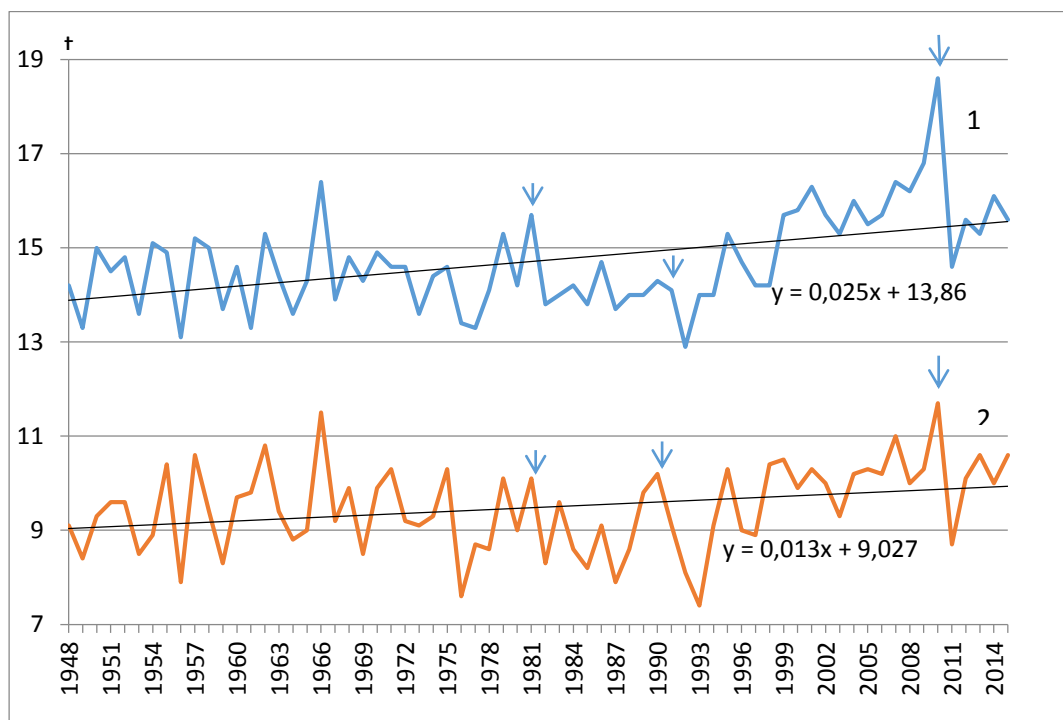


Рис.4. Среднегодовые значения температуры ПСВ: 1- г. Сухум; 2- г. Ставрополь.

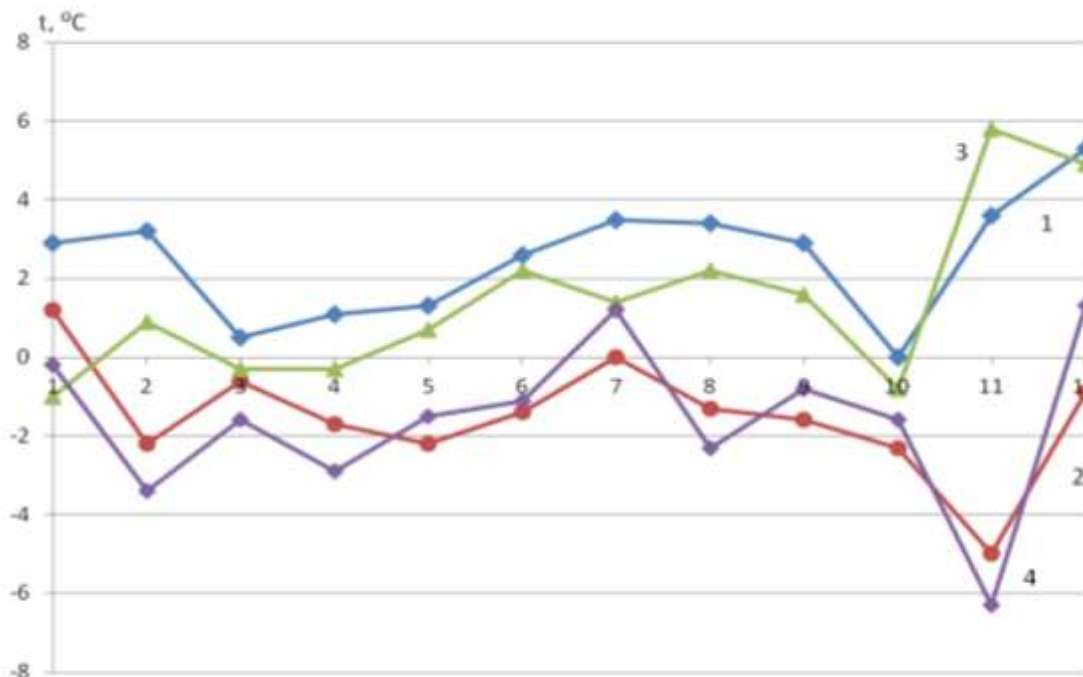


Рис.5. Сезонное распределение отклонений температур ПСВ в Сухуме (1) и Ставрополе (3) в год извержения вулкана Эйяфьятлайокудль (Исландия,14-19.04.2010г) и в следующем 2011 году Сухум (2), Ставрополь (4).

Из анализа рис. 5. следует, что после извержения вулкана в течении нескольких месяцев (до сентября) температура ПСВ повышалась несмотря на значительную запылённость атмосферы. Нужно полагать, что в течении этого времени влияние парниковых вулканических газов было преимущественным

по сравнению с ослаблением солнечной радиации аэрозольным загрязнением тропосферы. По всей видимости, резкое понижение температуры ПСВ в сентябре связано с влиянием стратосферного аэрозоля, который в течение пяти месяцев имел возможность распространиться на значительную часть земной атмосферы и тем самым ослабить солнечную радиацию на значительных площадях земной поверхности. В следующем 2011 году после некоторого зимнего повышения температуры ПСВ в течение всего года находится в пониженном состоянии, что мы связываем с влиянием исключительно стратосферного аэрозоля, который распространился в стратосфере благодаря струйным течениям и развитой турбулентности и остаётся в ней в течение нескольких лет [8].

Химический состав атмосферы и его изменения прямым и косвенным образом влияют на формирование ее термического и циркуляционного режима.

Несмотря на мощность разовых выбросов, вулканические источники аэрозолей локализованы в пространстве и ограничены во времени продолжительностью извержения.

Учитывая, что парниковые газы антропогенного происхождения в 10-100 раз превышают по объёму выбросы вулканов, можно полагать, что вулканическая деятельность не оказывает существенного влияния на парниковый эффект из-за локальности и кратковременности действия.

Однако, вулканическая деятельность несомненно приводит к глобальному понижению температуры ПСВ на  $0,5-2^{\circ}\text{C}$ , в год последующий за извержением, следствием чего может явиться длительное похолодание [3].

### **Выводы**

Стратосферный аэрозоль вулканического происхождения способен оказывать влияние на глобальный климат в течение 2-3 лет.

Учитывая, что парниковые газы антропогенного происхождения в 10-100 раз превышают по объёму выбросы вулканов, можно полагать, что вулканическая деятельность не оказывает существенного влияния на парниковый эффект из-за локальности и кратковременности действия.

Однако, вулканическая деятельность несомненно приводит к глобальному понижению температуры ПСВ на  $0,5-2^{\circ}\text{C}$ , в год последующий за извержением, следствием чего может явиться длительное похолодание.

В год извержения вулкана температура ПСВ начинает снижаться только по прошествии 5-6 месяцев после извержения, что свидетельствует о влиянии именно стратосферного аэрозоля на прозрачность атмосферы, т.к. тропосферный аэрозоль к тому времени полностью вымывается осадками.

Изменение среднегодовых температур ПСВ в городе Сухум и в г. Ставрополь происходят синхронно несмотря на разные климатические зоны, что связано именно со стратосферным аэрозолем.

Глобальное воздействие на температуру ПСВ оказывают только те вулканы, выбросы которых достигают стратосферы и образуют слой сульфатных (вторичных) аэрозолей.

## Список литературы

1. Ахсалба А.К. Эмба Я.А., Индикаторы климатических изменений в приморской зоне Абхазии. // Материалы IV Международной научно-практической конференции, Майкоп, 2017, ч. I, С.82-89.
2. Васюков С.И. «Исландия», К.Вастович «Республика Исландия спящая в вулканах» М. Фаст-Бук 2011. 136 с.
3. Величко А.А., Борисова О.К., Климанов В.А. Пространственная дифференциация в распределении атмосферных осадков при глобальных потеплениях разного масштаба. ДАН, 1998, №5, С. 689-690.
4. Винников К.Я. и др. Изменения средней температуры воздуха Северного полушария за 1841-1985 гг./ Винников К.Я., Гройсман П.Я., Лугина К.М., Голубев А.А.// Метеорология и гидрология. 1987, №1, С 45-55.
5. Гущенко И.И. «Извержение вулканов мира» (каталог) М.Наука 1979г. 475 с.;
6. Зуев В.В., Зуева Н.Е. Вулканогенное возмущение стратосферы- главный регулятор долговременного поведения озоносферы в период 1979-2008гг.// Оптика атмосферы и океана. 2011. Т.24. №01. С.30-34.
7. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. Л., Гидрометеиздат, 1994, 560 с.
8. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Шанталинский К.М., Наумов Э.П., Тудрий В.Д. Современные глобальные и региональные изменения окружающей среды и климата. – Казань: УНИПРЕСС, 1999. – 96 с.
9. Серых И.В., Костяной А.Г., Эмба Я.А., Климатические изменения экстремальных температурных явлений в регионе восточного побережья Черного моря. // Материалы IV Международной научно-практической конференции, Майкоп, 2017, ч. II, С. 125-135.
10. Эмба Я.А., Гварамия А.А., Дбар Р.С., Ахсалба А.К. Повторяемость опасных явлений погоды и их экологические последствия на территории Абхазии. // Материалы III Кавказского экологического форума. Грозный, 2017, С.257-265.



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ РЕЗОНАНСНОЙ РАСКАЧКИ КАПИЛЛЯРНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЛЕЖАЩЕЙ КАПЛИ

<sup>1,2</sup>А.Х. Хоконов, <sup>1</sup>И.Н. Сергеев, <sup>1</sup>З.А. Ахматов

*azkh@mail.ru*

<sup>1</sup>Кабардино-Балкарский государственный университет,

Россия, г. Нальчик

<sup>2</sup>Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Россия, г. Нальчик

**Аннотация.** *Описана экспериментальная установка и методика для определения поверхностного натяжения методом измерения резонансных частот капиллярных колебаний для капли, частично смачивающей горизонтально расположенную подложку. Установлено, что для микролитровых капель с радиусами меньшими капиллярной постоянной имеет место два режима колебаний. Первый случаю соответствует свободному движению контура капли вдоль поверхности подложки переходят в релеевские капиллярные моды. Второй соответствует закрепленному по периметру краю и ведет к геометрической огранке капли на резонансных частотах.*

Теплофизические свойства наночастиц обладают ярко выраженной размерной зависимостью [1-3]. В связи с этим, экспериментальное и теоретическое изучение размерных эффектов представляет собой важную и актуальную задачу [4, 5]. Изучение поверхностных свойств микрокапель жидкости имеет большое значение для решения большого ряда задач геофизики и метеорологии аэрозолей. Целью настоящего исследования является разработка экспериментальной методики определения краевого угла смачивания и поверхностного натяжения как самой микрокапли жидкости, так и ее интерфейсной границы с твердым телом.

Нами разработан динамический метод измерения поверхностного натяжения микролитровых жидких капель, частично смачивающих горизонтальную подложку при ее вертикальных колебаниях. В основе использованного нами метода лежит анализ резонансных мод капиллярных колебаний капли жидкости, лежащей на подложке [7]. Схема экспериментальной установки для изучения капиллярных колебаний показана на рис. 1.

Экспериментальная установка для изучения капиллярных свойств микрокапель жидкостей (1а и 1б) включает систему 3 для нагрева подложки 2 с исследуемой жидкостью, блок регистрации капиллярных колебаний и геометрических параметров микрокапель 4, 5, 6, а также цифровую систему обработки полученных данных 7. В данном исследовании использовались капилляры из нержавеющей стали диаметром от 0,45 до 0,6 мм. В процессе исследований микрокапля размещалась на подложке 2 («лежащая капля»). С целью регистрации геометрических параметров микрокапель, необходимых для расчета поверхностного и межфазного натяжений, а также краевых углов

смачивания, используется второй микроскоп (на схеме не показан) с дополнительным осветителем и цифровой системой регистрации изображения. Оптические оси первого и второго микроскопов пересекаются под прямым углом в центре исследуемой микрокапли.

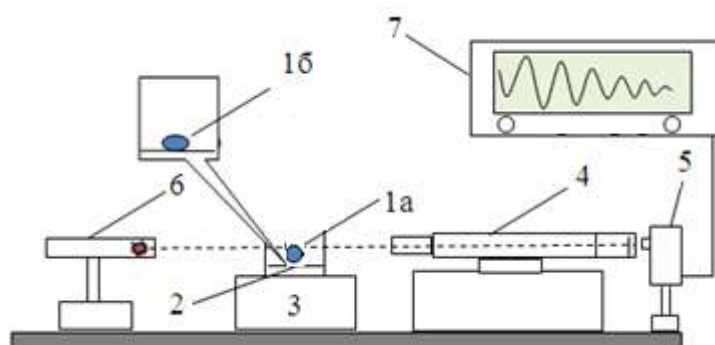


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования капиллярных и реологических свойств микрокапель (вид сбоку): 1а – микрокапля на торце капилляра, 1б – микрокапля на подложке, 2 – подложка, 3 – нагревательный элемент с термопарой для поддержания заданной температуры стеклянной кюветы, 4 - микроскоп, формирующий увеличенное в 100...200 раз изображение контура капли на активной площадке фотодиода, 5 – фотодиод, 6 – светодиод для освещения микрокапли, 7 – цифровой осциллограф для записи капиллярных колебаний микрокапли.

Измерения проводились с полусферической каплей воды, лежащей на вертикально колеблющейся подложке (см. фото на рис. 2). Подложка прикреплялась к динамику, соединенному со звуковым генератором.



Рис. 2. Исходная микрокапля воды в виде лежащей полусферы с диаметром  $d = 1.386$  мм.



Рис. 3. Капиллярные колебания микрокапли воды, соответствующие квадрупольной моде релейевских колебаний (частота колебаний 220 Гц).

На частоте  $\nu = 220$  Гц наблюдается резонансная раскочка квадрупольных колебаний релеевского типа с подвижным контуром смачивания (см. фото на рис. 3).

Пример осциллограммы этих колебаний записанный на цифровой осциллограф и показан на рис. 4.

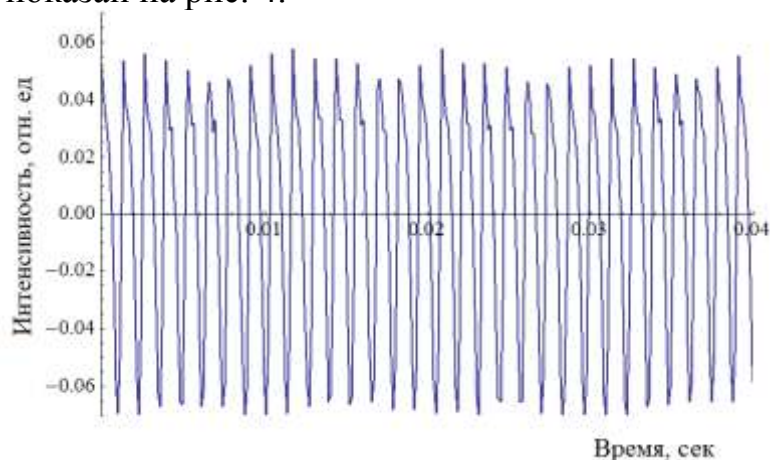


Рис. 4. Осциллограмма релеевских капиллярных колебаний ( $\nu = 220$  Гц) полусферической капли воды на подложке.

Фурье анализ осциллограммы показывает, что в изменение формы капли, помимо основных квадрупольных гармоник, вносят заметный вклад и более высокие гармоники вплоть до  $n = 6$ .

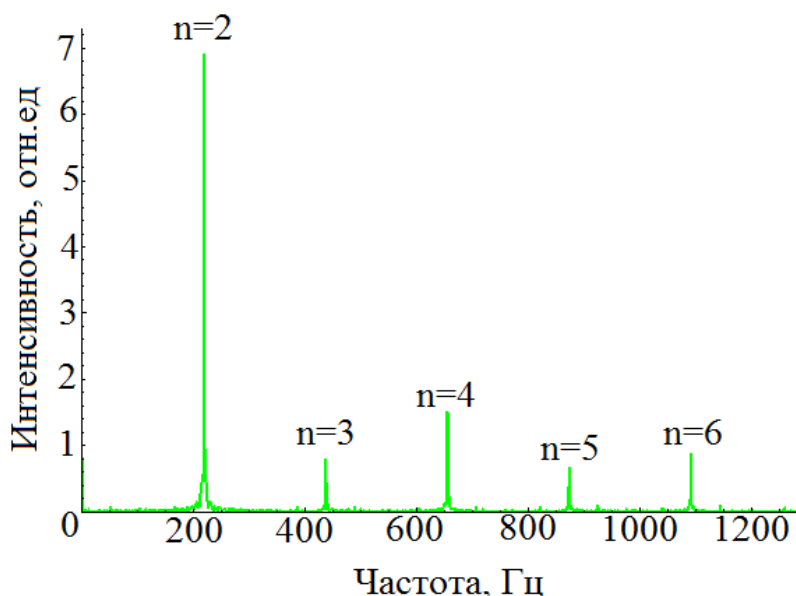


Рис. 5. Фурье моды, соответствующие Релеевским модам капиллярных колебаний микрокапли воды.

Изменение формы капли при капиллярных колебаниях в подходе Релея [8] описываются разложением по полиномам Лежандра  $P_n(\mu)$

$$r(t) = \sum_n a_n(t) P_n(\mu) \quad (1)$$

где  $\mu = \cos(\theta)$ ,  $\theta$  - полярный угол. Коэффициенты  $a_n$  в разложении (1) выполняют роль нормальных координат, частоты которых удовлетворяют известной формуле Релея [8]

$$\omega_n^2 = \frac{\sigma}{\rho a^3} n(n-1)(n+2), \quad (2)$$

где  $a$  – радиус капли,  $\sigma$  – поверхностное натяжение,  $\rho$  – плотность жидкости.

Сравнение экспериментальных частот с формулой Релея приведено в таблице 1.

Таблица 1.

Экспериментальные и теоретические частоты капиллярных колебаний полусферической микрокапли, лежащей на подложке.

$n$	2	3	4	5	6
$\nu_{\text{экс}}, \text{Гц}$	220	418	650	880	1180
$\nu_{\text{теор}}, \text{Гц}$	209.17	405.06	627.52	875.03	1145.69

Совпадение частоты капиллярных колебаний полусферической капли со сферической связано с отсутствием массопереноса жидкости, а соответственно и импульса через плоскость, разделяющую каплю на две половины ( $\theta = 0$ ), а также с симметрией уравнений движения капли относительно замены  $\theta \rightarrow \pi - \theta$ .

Второй тип капиллярных колебаний капли, лежащей на подложке, возникает при фиксированном контуре соприкосновения капли с подложкой. В этом случае частоты колебаний соответствуют стоячим волнам, формирующимся вдоль контура, образованного вертикальным срезом капли. При этом, на фотографиях капли проявляется эффект огранки контура капли на резонансных частотах, как показано на фотографии, приведенной на рисунке 6.



Рис. 6. Капиллярные колебания микрокапли воды с фиксированной границей типа стоячих волн. Огранка капли соответствует пяти стоячим волнам на профиле капли ( $n=10$  в формуле (4)).

Для объяснения этого типа колебаний в ряде работ используется формула для поверхностных стоячих волн [9]

$$\omega^2 = \left( g k + \frac{\sigma k^3}{\rho} \right) \text{th}(k h), \quad (3)$$

где  $\omega$  и  $\mathbf{k} = \frac{2\pi}{\lambda}$  – частота и волновой вектор капиллярной волны длиной  $\lambda$ . В случае когда контур капли не смещается можно считать, что на длине поперечного контура капли  $l$  помещается целое число  $n$  полуволен

$$\frac{n\lambda}{2} = l. \quad (4)$$

В эксперименте, кадр из которого показан на рисунке 6, геометрические параметры капли составляли: максимальный диаметр  $d_1 = 1.4$  мм, диаметр соприкосновения с подложкой  $d_2 = 1.270$  мм и высота  $h = 0.923$  мм. В результате, получен частотный спектр, приведенный на рисунке 7.

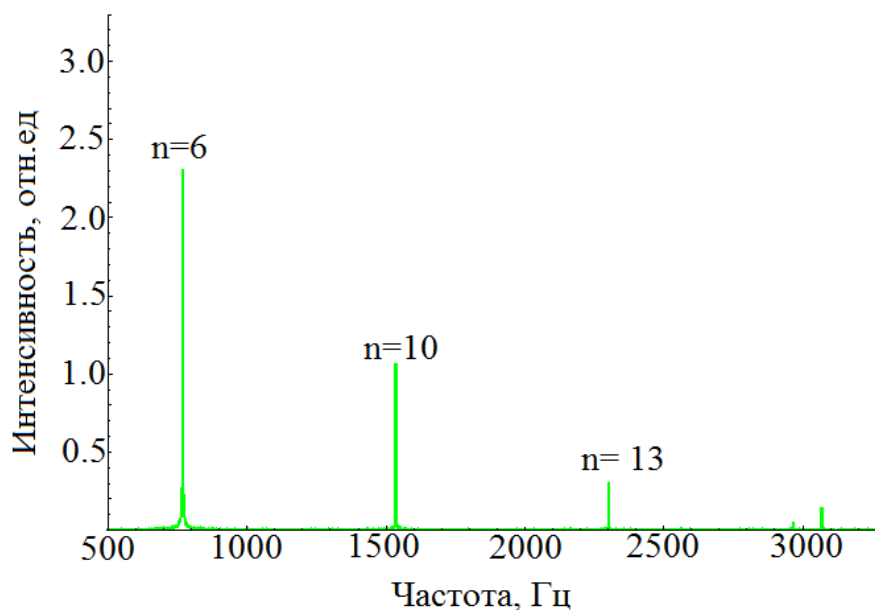


Рис. 7. Фурье моды, соответствующие колебаниям микролитровой капли воды на подложке с фиксированной границей контура соприкосновения между каплей и подложкой (стоячие волны).

В таблице 2 приводятся экспериментальные и теоретические частоты капли воды на подложке при фиксированном контуре соприкосновения.

Таблица 2.

Экспериментальные и теоретические частоты капиллярных колебаний полусферической микрокапли, лежащей на подложке

$n$	6	10	13
$\nu_{\text{эксп}}, \text{Гц}$	780	1525	2300
$\nu_{\text{теор}}, \text{Гц}$	742.69	1596.49	2365.84

Заметим, что в капиллярную динамику капли дают вклад как четные, так и нечетные моды, что находится в противоречии с результатами работы [7], где утверждается, что в формуле (4)  $n$  принимает лишь нечетные значения. Для рассматриваемого нами случая микролитровых капель учет вязкости воды не приводит к сколь-нибудь заметному изменению результата.

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 18-02-01042 А и Фонда содействия инновациям (грант № 0038507).*

### Список литературы

1. Samsonov V.M., Sdobnyakov N.Yu., Bazulev A.N. Size dependence of the surface tension and the problem of Gibbs thermodynamics extension to nanosystems // Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. — 2004. — V. 239. — P. 113-117.
2. Yong-Qiang Xue, Xin-Cheng Yang, Zi-Xiang Cui, and Wei-Peng Lai. The Effect of Microdroplet Size on the Surface Tension and Tolman Length // J. Phys. Chem. B, 2011, 115 (1), pp. 109–112

3. Капиллярные свойства островковых пленок и малых частиц: К 20 монография / Н. Т. Гладких, С. В. Дукаров, А. П. Крышталь, В. И. Ларин, В. Н. Сухов. – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2015. – 212 с.
4. Тегаев Р.И., Хоконов Х.Б., Карамурзов Б.С. и др. // Известия РАН. Серия физическая. – 2008. – Т. 72, № 10. – С. 1439–1442.
5. Z. O. Beslaneeva, T. M. Taova, and Kh. B. Khokonov. Line Tension and Nanometer Drop Wettability on Solid Surfaces // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, 2014, Vol. 78, No. 8, pp. 815–819.
6. Tang SY, Ayan B, Nama N, Bian Y, Lata JP, Guo X, Huang TJ. On-Chip Production of Size-Controllable Liquid Metal Microdroplets Using Acoustic Waves // Small. 2016 Jul;12(28):3861-9.
7. X. Noblin, A. Buguin, and F. Brochard-Wyart. Vibrated sessile drops: Transition between pinned and mobile contact line oscillations. Eur. Phys. J. E. 2004.V.14. P.395-404.
8. Стретт Дж.В.(Лорд Рэлей) Теория звука, т.2, М.:ГИТТЛ, 1955, 475 с.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. - 3-е изд. перераб. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1986. - 736 с. (L.D.Landau, Ye. M. Lifshits, Hydrodynamics. (in Russian), Moscow, Nauka, 1986, 736p.)

# КЛЕТОЧНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗЛОМНОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ НАГРУЖЕНИЯ ОБРАЗЦА

А.С. Черепанцев

s6319a@mail.ru

Южный федеральный университет, Россия, г. Таганрог

Опасность землетрясений для человеческой жизнедеятельности, обуславливает активность ученых в исследовании свойств, поведения, статистики землетрясений и их прогноза. Традиционно объяснение динамики землетрясений основывается на рассмотрении ее как масштабно-инвариантного процесса. На это указывают закон повторяемости землетрясений [1], закон Омори для частот афтершоковой последовательности [2], анализ распределения времени повторения землетрясений, фрактальное распределение эпицентров в пространстве [3]. С другой стороны, теоретически хорошо известная модель Burridge-Кнорфф (БК) медленной подвижки континентальных плит вдоль линий разломов демонстрирует процесс прерывистого скольжения [4]. Вак и др. [5] сформулировали идею самоорганизованной критичности (SOC) и предположили, что явление землетрясений можно рассматривать как процесс SOC, поскольку отсутствует параметр, определяющий генерацию больших пространственно-временных корреляций или масштабную инвариантность. Модель Олами-Федера-Кристенсена (OFC) [6] - модель двумерной решетки связанных блоков основывается на модели БК землетрясения с упругими блоками. Модель привлекает большое внимание не только как неконсервативная система в которой достигается состояние SOC. Было показано что она воспроизводит важнейшее статистическое свойство реальных землетрясений - закон повторяемости, а также близкое к периодическому возникновение крупных землетрясений. Как показано в работе [6], модель прерывистого скольжения (stick-slip) системы блоков с упругой связью, расположенных на основании с трением, при достаточно общих предположениях может быть сведена к OFC модели.

Согласно OFC модели в каждом узле квадратной решетки определяется непрерывная переменная  $f$ , представляющая накопленную локальную силу ячейки-блока. Система управляется глобально и в неактивном состоянии отсутствия сброса (землетрясения), силы во всех ячейках увеличиваются с одинаковой скоростью. Для всех блоков существует пороговое значение  $f_c$ .

В случае если в какой либо ячейке  $f_{i,j} \geq f_c$ , то происходит сброс  $f_{i,j} \rightarrow 0$ , и часть сброшенной силы  $\alpha f_c$  ( $0 < \alpha < 1/4$ ) передается в соседние ячейки. В случае если силы в некоторых соседних ячейках при этом превысили  $f_c$ , они в свою очередь они также сбрасываются, формируя каскад сбросов, распространяющихся в системе и определяющих сброс большого размера - большое землетрясение.

Клеточная модель OFC на основе механической модели упругосвязанных блоков предполагает неизменный характер сплошности

упругой среды при возникновении сброса. В этом случае он не отражает важнейшего свойства геологической среды при возникновении землетрясения- возникновение или наличие разрывов сплошности, определяющих разломную структуру. В ходе лабораторных исследований по нагружению образцов горных пород наблюдаемые последовательности акустических импульсов сопровождаются возникновением микротрещины, а дальнейшее нагружение приводит к возникновению пространственной организации возникающих микроразрывов и формированию на их основе разрыва старшего масштаба [7]. В связи с этим представляется логичным развитие модели OFC с точки зрения определения взаимодействия соседних участков сплошной среды путем влияния возмущения поля напряжений при дислокации в одной из них. Данная модель позволяет сравнить возникающие поля разрыва с наблюдаемыми в ходе лабораторных экспериментов при различных типах нагружения образцов горных пород.

Для построения двумерной модели взаимодействующих дислокаций, рассмотрим упругую среду как систему элементов в каждом из которых возможно возникновение разрыва сплошности при достижении некоторого критического значения. Возникающая сдвиговая или нормальная дислокация формирует возмущение поля напряжений в соседних элементах, что может привести к достижению также критического значения и возникновения новой дислокации и нового поля добавочных напряжений в соседних элементах и т.д. Такой триггерный механизм определяет как взаимодействие отдельных элементов за счет возникновения возмущающего поля, так и формирование разрывных зон, где возникли дислокации [8]. Особенностью модели является возможность получения как дискретных рядов событий-дислокаций в пространственной, временной и амплитудной областях, так и непрерывных временных рядов изменения основных параметров напряженного состояния [8].

В качестве критерия образования разрыва приняты эмпирические критерии, обоснованные большим количеством наблюдений поведения горных пород, как в лабораторных, так и в натуральных условиях [9]. В качестве критерия образования разрывной дислокации принято условие достижения меньшего главного напряжения критической величины:

$$\sigma_2 \leq -T_0.$$

В качестве критерия возникновения сдвигового разрыва рассмотрен критерий Кулона:

$$\sigma_1 \left( \sqrt{k^2 + 1} - k \right) - \sigma_2 \left( \sqrt{k^2 + 1} + k \right) \geq 2\tau_0.$$

Для ограничения неограниченного роста напряжения сжатия в модели определяется условие нормальной дислокации сжатия:

$$\sigma_1 \geq B_0.$$

Диаграмма напряженного состояния, рассмотренная в модели представлена на рис.1.



Модельные расчеты показывают существенную разницу эволюцию системы и получаемой предельной устойчивой структуры разломов при различных соотношениях предельных напряжений Кулона  $\tau_c = |\tau| - k\sigma_n$ , сжатия  $B_0$  и растяжения  $T_0$ .

На рисунке 2А показан временной ход изменения среднего значения плотности упругой энергии в отдельной ячейке

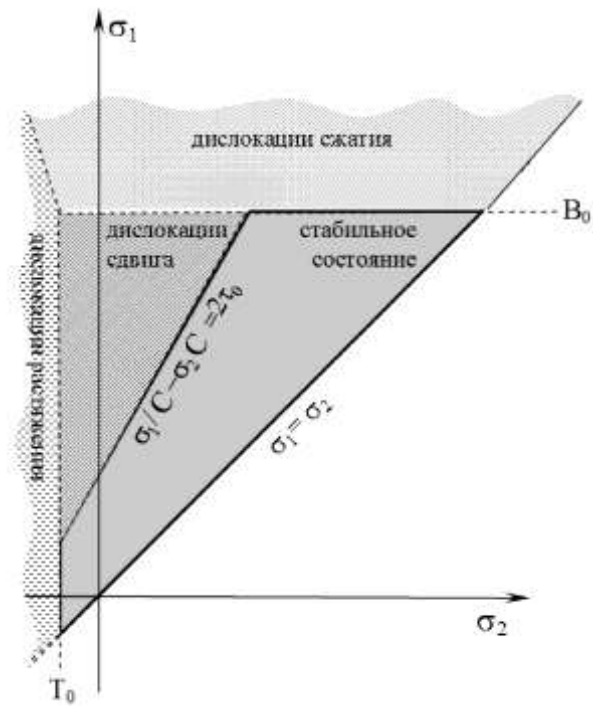


Рис. 1. Диаграмма напряженного состояния

$$\varepsilon = \frac{1}{2E}(\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 - 2\nu\sigma_{xx}\sigma_{yy}) + \frac{1}{2\mu}\sigma_{xy}^2,$$

для набора значений предельных напряжений:

I:  $(\tau_c = 3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2; T_0 = 4 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2; B_0 = 4 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2),$

II:  $(\tau_c = 3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2; T_0 = 4 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2; B_0 = 36 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2).$

Как следует из полученных зависимостей, при увеличении предельного напряжения сжатия, растет как время установления предельного уровня энергии насыщения, амплитуда сбросов упругой энергии, соотношение нормальных дислокаций и дислокаций сдвига. В случае I их число  $N_{\text{норм}}/N_{\text{сдвиг}} \approx 5$ , в случае II-  $N_{\text{норм}}/N_{\text{сдвиг}} \approx 0,02$ .

Различный характер поля дислокаций на сетке  $100 \times 100$  элементов представлен на рис. 2Б.

Одной из особенностей возникновения СОК в модели OFC является ее неконсервативный характер. Параметр диссипации, определяющий величину

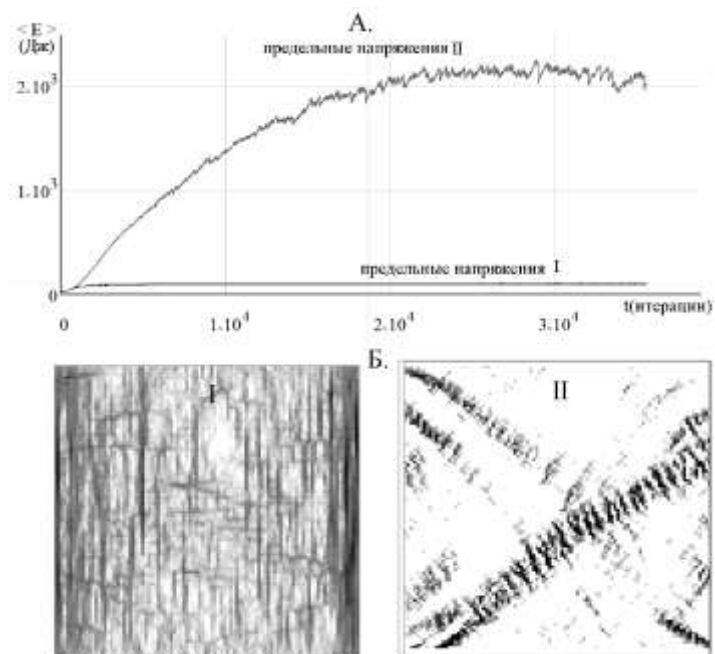


Рис. 2. А. Временной ход упругой энергии; Б. пространственное распределение дислокаций

части сброшенной силы, передаваемой соседним ячейкам, влияет также на структуру и закономерности распределения размеров сброса [10]. В отличие от OFC модели, в рассматриваемой дислокационной модели расчетные соотношения для поля напряжений в упругой среде при наличии разрыва и смещению его границ предполагают обратимость данного процесса и отсутствие диссипации упругой энергии при этом:

$$\Delta W_d + \sum_{i \neq d} \Delta W_i = 0,$$

где:  $\Delta W_d$  - изменение упругой энергии в ячейке дислокации,  $\Delta W_i$  - изменение энергии в остальных ячейках сетки при дислокации в ячейке  $d$ .

Для обоснования введения механизма диссипации в исследуемую модель имеет смысл обратиться к реальному процессу возникновения землетрясения при подвижке границ по разлому. В соответствии с [11] энергетический баланс при сдвиге определяется как:

$$A_p = G_C + E_R + H,$$

где:  $A_p$  - совершаемая работа при формировании и движении границ по разлому,  $G_C$  - энергия формирования разрыва, которая в сейсмологии имеет отличный смысл от аналога в теории механики сплошных сред, где она определяется как энергия образования новой поверхности трещины. В сейсмологии она включает энергию разрушения материала вдоль разлома,  $E_R$  - излучаемая сейсмическая энергия,  $H$  - тепловая энергия, рассеиваемая при движении границ с трением.

Величина потерь энергии, обусловленная каждым из механизмов может быть различна и определяется параметрами разломной структуры. Так излученная сейсмическая энергия не превышает 6% от сброшенной упругой энергии [12] и существенно зависит от скорости движения по разлому.

Будем предполагать при построении модели, что часть сброшенной упругой энергии в ячейке дислокации была затрачена на совершение внутренней работы:  $\Delta W_d = \Delta W'_d + A_d$ . Если определить  $\beta = A_d / W_d$ , то :

$$\Delta W_d = \frac{1}{1 - \beta} \Delta W'_d, \quad \beta < 1.$$

Тогда общее изменение упругой энергии по всей решетке элементов при возникновении дислокации:

$$\Delta W_d + \sum_{i \neq d} \Delta W'_i = \Delta W_d - \Delta W'_d = \beta \Delta W_d = \Delta W_d + \alpha \sum_{i \neq d} \Delta W_i,$$

где:  $\alpha = 1 - \beta$ .

При значении  $\alpha < 1$  и сбросе энергии в ячейке дислокации  $d$  система является диссипативной.

Временной ход достижения предельного состояния системы блоков в напряженном состоянии при действующем одноосном сжатии и различных значениях параметра  $\alpha$  показан на рис.3А. Как следует из приведенных зависимостей, с уменьшением параметра диссипации система достигает предельного состояния за меньшее число итераций. Такое свойство можно

объяснить увеличением пространственного радиуса корреляции и соответственно большим временем, необходимым для формирования устойчивости получаемой увеличенной пространственной структуры. Такой вывод подтверждается анализом устойчивого пространственного распределения дислокаций на решетке блоков  $100 \times 100$ , полученный при различных  $\alpha$  - рис.3Б, 3В. Для модели с  $\alpha=0,95$  характерно объединение отдельных дислокаций в значительные пространственные структуры - макроразрывы. В то время как при  $\alpha=0,4$  группирование отдельных дислокаций выражено более слабо и распределение дислокаций на решетке носит более однородный несвязный характер.

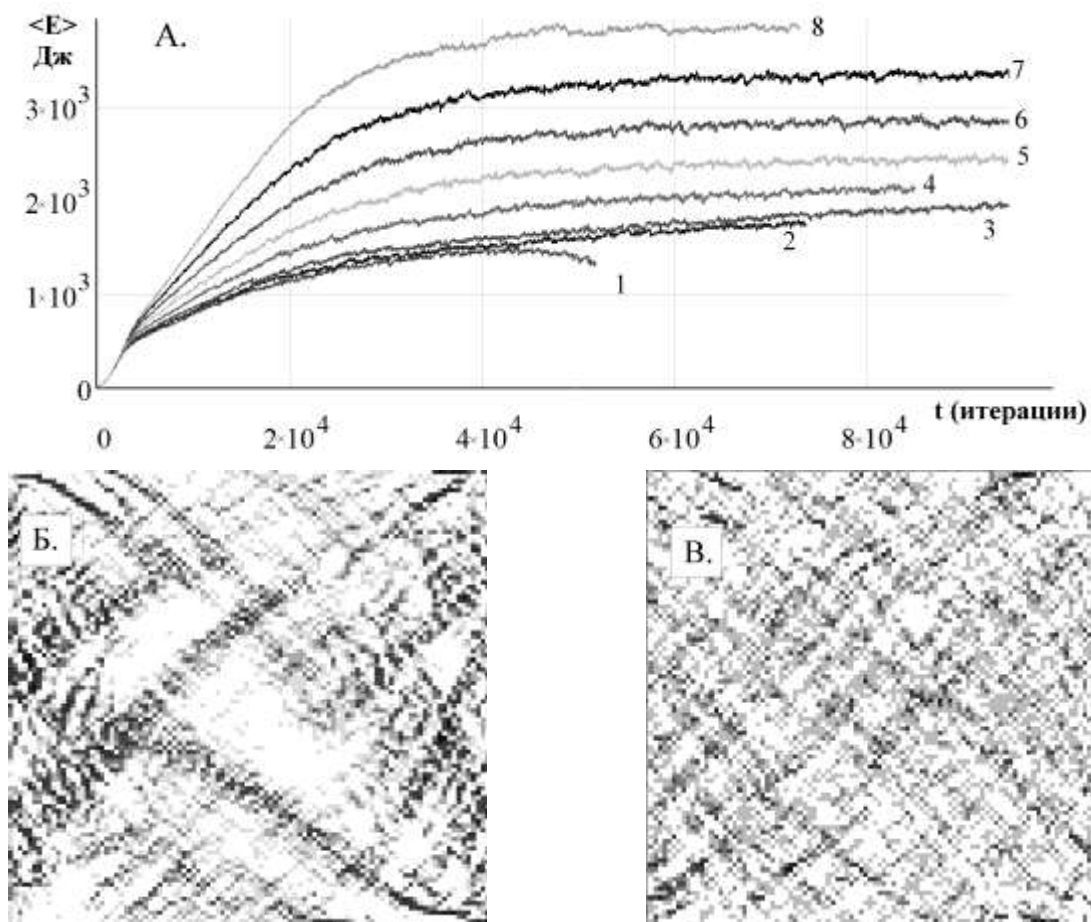


Рис.3. Изменчивость пространственно- временных характеристик в диссипативной модели взаимодействующих дислокаций. А.- временной ход средней упругой энергии отдельного блока при различном значении параметра диссипации  $\alpha$ : 1- $\alpha=1$ ; 2-  $\alpha=0,95$ ; 3-  $\alpha=0,9$ ; 4-  $\alpha=0,8$ ; 5-  $\alpha=0,7$ ; 6-  $\alpha=0,6$ ; 7-  $\alpha=0,5$ ; 8-  $\alpha=0,4$ . Б.- пространственное распределение разрывов при  $\alpha=0,95$ . Б.- пространственное распределение разрывов при  $\alpha=0,4$ .

В качестве одного из параметров, чувствительного к напряженному состоянию реальной геофизической среды в сейсмологии принято рассматривать параметр распределения землетрясений по магнитуде, являющейся его амплитудной характеристикой. В соответствии с законом повторяемости, из общего числа произошедших землетрясений  $N_0$  в

выбранной области и за выбранное время, число землетрясений, имеющих магнитуду не меньшую  $M$  :

$$N(M)/N_0 = 10^{-bM}$$

Степенной показатель  $b$  характеризует наклон распределения и близок к величине 1. В большом количестве работ указывается на чувствительность данного параметра распределения к напряженному состоянию горных пород, изменению соотношения землетрясений различной магнитуды.

Как показано в работе [10], параметр величины наклона распределения сбросов по амплитуде (число связанных ячеек, сброшенных в течении одной временной итерации) в модели OFC зависит от величины параметра диссипации. С уменьшением потерь энергии при сбросе, наклон функции распределения уменьшается, указывая на рост связности процесса отдельных сбросов при формировании макросбросов и соответственно увеличение доли сбросов большой амплитуды.

Для оценки наклона функции распределения для рассматриваемой модели взаимодействующих дислокаций при различных значениях  $\alpha$ , на рис. 4А. представлены функции распределения разломов по размеру. Размер определялся как число соседних блоков, в которых произошел нормальный или сдвиговой разрыв в течение одной итерации за счет взаимодействия возмущения поля напряжения, вызванное соседним разломом.

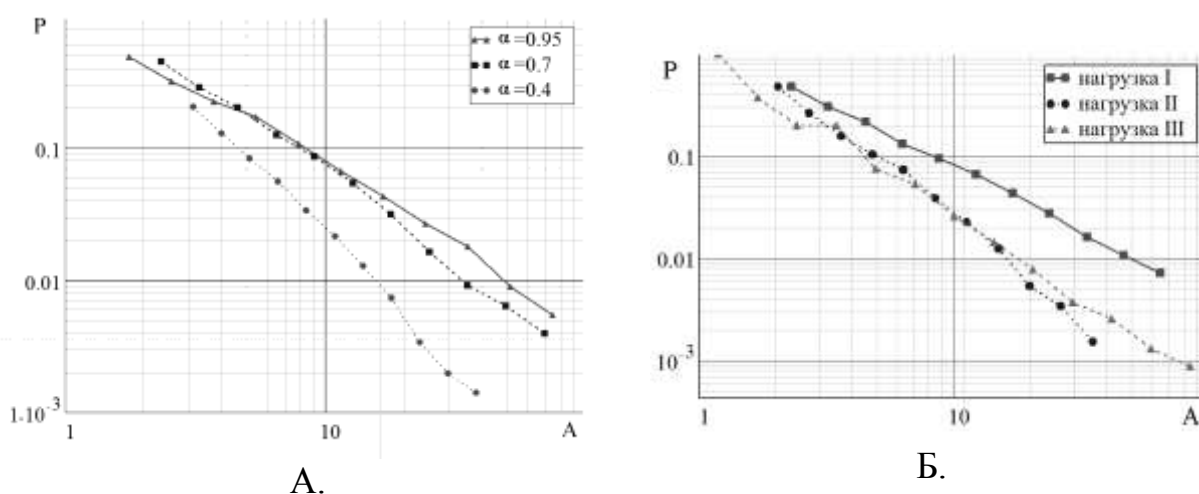


Рис.4. Функция распределения разломов по величине. А. модель одноосного сжатия с различными значениями параметра диссипации  $\alpha$ . Б.- модели с различным видом нагружения. I- одноосное сжатие  $\Delta\sigma_{yy} > 0$ ; II- одноосное сжатие с учетом растяжения в ортогональном направлении  $\Delta\sigma_{yy} > 0$ ,  $\Delta\sigma_{xx} < 0$ ,  $\Delta\sigma_{yy} > 0$ , коэффициент Пуассона-0,4; III- нагрузка чистого сдвига  $\Delta\sigma_{xy} > 0$ .

Проведенные оценки наклона  $\gamma$  методом максимального правдоподобия указывают на уменьшение наклона с уменьшением диссипации:  $\alpha = 0.95$  -  $\gamma = 1.34 \pm 0.07$ ,  $\alpha = 0.7$  -  $\gamma = 1.45 \pm 0.07$ ,  $\alpha = 0.4$  -  $\gamma = 1.76 \pm 0.07$ . Таким образом, подобно системе OFC, состояние рассматриваемой модели чувствительно к параметру диссипации энергии. Данная закономерность отражается в пространственной, временной и энергетической областях.

Еще одним важным рассмотренным параметром состояния системы является вид нагружения системы блоков на каждой временной итерации. Построенная двумерная модель позволяет определить режим нагружения путем задания матрицы приращений нормальных и тангенциальных напряжений:

$$\Delta = \begin{pmatrix} \Delta\sigma_{xx} & \Delta\sigma_{yx} \\ \Delta\sigma_{xy} & \Delta\sigma_{yy} \end{pmatrix}.$$

С помощью выбора соответствующих приращений напряжений удобно моделировать различные виды нагрузок- одноосные сжатия и растяжения, объемные сжатия и растяжения, чистый сдвиг. На рис. 4Б. показана изменчивость функции распределения амплитуд разрывов при различных видах нагружения. Полученные графики степенного распределения позволяют оценить параметр  $\gamma$  наклона закона повторяемости для постоянного значения параметра диссипации  $\alpha = 0.9$ : одноосное сжатие-  $\gamma = 1.35 \pm 0.07$ , одноосное сжатие с растяжением в ортогональном направлении-  $\gamma = 2.10 \pm 0.07$ , чистый сдвиг-  $\gamma = 1.75 \pm 0.07$ . Таким образом различным видам нагрузки соответствует различная энергетическая структура разломов.

Проведенные модельные расчеты системы нелинейно взаимодействующих дислокаций указывают на связь пространственной, временной и энергетической структуры напряженно-деформированного состояния с

- величинами предельных прочностей на сжатие, растяжение, сдвиг и их соотношением,
- величиной диссипации энергии при возникновении дислокации,
- видом нагружения, используемым в модели.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-05-00185-а.*

### **Список литературы**

1. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. О свойствах дискретности геофизической среды и сейсмический процесс. М.:Наука, 1987, 100 с.
2. Omori F. On the after-shocks of earthquake // J. Coll.Sci.Imp. Univ. Tokyo 1894 Vol.7 p.111-200
3. Takayuki H., Takayuki S., Keisuke I. Fractal Structure of Spatial distribution of Microfracturing in Rock. Geoph. J. Res. Astr. Soc. (1987). 90.- P. 369-374.
4. Burridge R., Knopoff L., Model and Theoretical Seismicity, Bull. Seism Soc. Am. 57, 341-371, 1967
5. Bak, P., Tang, C. Earthquakes as a Self-organised critical phenomenon. J. Geophys. Res. (1989), 94, 15635-15637
6. Olami, Z., Feder, H.J.S., Christensen K., Self-Organized Criticality In A Continuous, Nonconservative Cellular Automaton Modeling Earthquakes, Phys.Rev. Lett. 68, 1244-1247. 1992.
7. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М. Наука, 1993. 313 с.
8. Черепанцев А.С. Свойства модифицированной ofc-модели при описании взаимодействия двумерных дислокаций. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2012. № 6 (172). С. 72-76.

9. Scholz C.H. The Mechanics of Earthquakes and Faulting. -, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1990, -471 p.
10. Черепанцев А.С. Характеристики и свойства динамической системы в диссипативной модели землетрясений Олами-Федера-Кристиансена. Физическая мезомеханика, 2015, 18, 6, с.86-97.
11. Kanamori, H., Rivera, L., Energy partitioning during an earthquake. In: Earthquakes: Radiated Energy and the Physics of Faulting. Geophysical Monograph Series. 2006, No.170. American Geophysical Union , Washington, DC, pp. 3-13.
12. McGarr, A, On relating apparent stress to the stress causing earthquake fault slip, J. Geophys. Res., 104, 3003–3010, 1999.

# ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И ПОЛУЧЕНИЯ БИОТОПЛИВА

<sup>1,2</sup> Н.И. Чернова, <sup>1,2</sup> С.В. Киселева, <sup>2</sup> М.С. Власкин, <sup>2</sup> А.В. Григоренко

*k\_sophia\_v@mail.ru*

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Россия, г. Москва

<sup>2</sup>Объединенный институт высоких температур РАН, Россия, г. Москва

**Аннотация.** В настоящее время актуальным является поиск новых видов биомассы и технологий её комплексного использования, в том числе для получения биотоплива. Микроводоросли (МКВ) рассматриваются как нетрадиционный источник биомассы для возобновляемой энергетики. В целях повышения эффективности использования МКВ как энергоносителей изучалась возможность их выращивания на муниципальных сточных водах. Проведен подбор штаммов МКВ и способов культивирования для оптимизации роста микроводорослей и поглощения ими биогенных веществ из сточных вод. Приведены результаты трансформации полученной влажной биомассы МКВ в бионефть технологией гидротермального сжижения (НТЛ).

**Ключевые слова.** Сточные воды, микроводоросли/цианобактерии, культивирование, биомасса, гидротермальное сжижение, биотопливо, бионефть.

## Введение

Рост мирового производства энергии и урбанизация, следствием которых являются высокие темпы образования коммунальных отходов и сточных вод, требует разработки комплексных технологий, позволяющих утилизировать отходы с максимально полным их использованием. Одним из методов, позволяющих решать такого рода комплексные проблемы, является утилизация органических отходов с производством энергии с использованием различных технологий. Сточные воды – органические жидкие отходы с достаточно сложным составом, поэтому оптимальным является использование биологических объектов для заключительной стадии их очистки с дальнейшей утилизацией полученной биомассы.

В представленной работе рассматривается микроводорослевое направление биоэнергетики, которое включает в себя культивирование МКВ с использованием сточных вод и последующее получение энергии из биомассы. МКВ рассматриваются в настоящее время как

перспективное сырье для производства биотоплива (биотопливо третьего поколения), поскольку имеют более высокие темпы роста, чем наземная биомасса, и при этом не конкурируют с производством продуктов питания и кормов. Одним из наиболее известных и культивируемых дешевым открытым способом видов МКВ является *Arthrospira platensis* или по-старому *Spirulina platensis* (сине-зеленые МКВ согласно Международному кодексу номенклатуры водорослей, грибов и растений или цианобактерии по

современной бактериологической классификации). Преимуществами МКВ *A. platensis* (артроспира) являются, во-первых, ее способность расти в открытых культиваторах без контаминации другими микроорганизмами вследствие высокой щелочности питательной среды для ее выращивания (рН=8,5–11,5) и дешевые способы сбора биомассы, во-вторых. В связи с этим биомасса *Arthrospira/Spirulina platensis* выращивается в мире открытым способом в больших масштабах, и применяется как пищевая и кормовая добавка. Кормовая/пищевая ценность ее определяется высоким содержанием легко усвояемого белка, включающего все незаменимые аминокислоты, углеводов, липидов, полиненасыщенных жирных кислот (особенно - большим количеством ценных линолевой и  $\gamma$ - линоленовой кислот), широким спектром витаминов группы В, наличием  $\beta$ -каротина, фикоцианина, хлорофилла  $\alpha$  и т.д. [1,2].

*A. platensis* выращивается в Научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии (НИЛ ВИЭ) географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова открытым способом с 1987 года и служит модельным объектом при апробации различных технологий культивирования. Нами была разработана биотехнология промышленного культивирования артротсперы в лабораторных и натуральных условиях, а также в условиях тепличных комплексов в различных регионах РФ, Украины, Приднестровья, Молдавии и Эстонии [3,4]. Совместно со специалистами Объединенного института высоких температур РАН было также апробировано получение из биомассы микроводоросли *A. platensis* бионефти методом гидротермального сжижения (Hydrothermal liquefaction – HTL). Для удешевления процесса производства биотоплива необходима оптимизация отдельных стадий, в том числе культивирования МКВ. В связи с этим представленная работа посвящена результатам культивирования МКВ на сточных водах, что обеспечивает: 1) минимизацию использования пресной воды; 2) снижение затрат на питательные вещества для получения биомассы; 3) очистку сточных вод от азота и фосфора и др. биогенных элементов, а также от тяжелых металлов; 4) получение более дешевой водорослевой биомассы в качестве сырья для биотоплива и сопутствующих продуктов с высокой добавленной стоимостью. Для достижения последнего необходим скрининг таких видов МКВ, которые устойчивы к условиям роста на сточных водах и синтезируют ценные сопутствующие продукты.

### **1. Использование МКВ для очистки сточных вод: существующие подходы и результаты**

Разработка технологий очистки сточных вод с использованием МКВ является достаточно актуальной задачей [5,6]. В исследованиях различных научных групп рассматриваются реальные или искусственные сточные воды с различными показателями ХПК и БПК, а также концентрацией соединений азота, фосфора, и растворенного углерода, которые являются, с одной стороны, основными загрязнителями водоемов, вызывающими эвтрофикацию, а с другой стороны, питательными элементами для роста МКВ. Следует учитывать, что помимо органических и неорганических химических



веществ, в сточных водах также присутствуют бактерии и простейшие, которые конкурируют за питательные вещества с МКВ и даже поедают их. На сточных водах различного состава проводится культивирование МКВ, эффективность которых оценивается с точки зрения скорости и общего количества, поглощенных из сточных вод азота (в форме  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , общий азот), фосфора ( $\text{PO}_4^{3-}$ , общий фосфор), растворенного и общего углерода и др. Задачей исследований является подбор штаммов МКВ, наиболее устойчивых к воздействию токсичных компонентов сточных вод, демонстрирующих значительную скорость роста и, соответственно, поглощение биогенных элементов. В ряде исследований ставится также задача совершенствования способов культивирования МКВ на сточных водах [7], исследования результативности использования консорциумов микроводорослей и бактериальных организмов [8], анализа возможности культивирования МКВ на сточных водах в открытых культиваторах в широком диапазоне климатических условий [5].

## **2. Технологии получения энергии из МКВ**

Поиски новых видов сырья, в том числе высокоэнергетических видов МКВ, остаются актуальными, поскольку доля моторных топлив в структуре мирового топливно-энергетического баланса остаётся стабильно высокой (порядка 35%), и цена на нефть характеризуется большой волатильностью. Микроводоросли представляют собой достаточно эффективный преобразователь солнечной энергии с хорошо организованными стадиями восстановления  $\text{CO}_2$  до комплекса энергоемких биомолекул, включающих углеводы, белки, липиды. Полученная биомасса может быть подвергнута дальнейшей биотехнологической трансформации в различные целевые продукты, в том числе в широкую линейку биотоплив (биоэтанол, биодизель, бионефть, биоводород и др.). Значительные усилия в настоящее время направлены на достижение максимальной энергоэффективности процесса получения биотоплива из МКВ [9]. Однако, несмотря на многочисленные успехи, достигнутые в течение последних десятилетий, коммерциализация энергетических продуктов из водорослей остается сложной задачей из-за технико-экономических ограничений.

Существует ряд методов переработки МКВ в биотоплива, одним из которых является термохимическая конверсия биомассы путем нагревания и разложения биомассы в присутствии или отсутствии воздуха (кислорода). Виды термохимической конверсии: прямое сжигание (основной продукт - электрическая энергия), газификация (синтез-газ), пиролиз (синтез-газ, бионефть, уголь), и сжижение (бионефть, синтез-газ, уголь). Очевидными недостатками многих методов являются высокие энергетические затраты на отделение биомассы МКВ от культуральной жидкости и сушку, а также использование небезопасных органических растворителей (таких как метанол) на экстракцию липидов из биомассы МКВ. Кроме того, при производстве биодизеля в топливо преобразуется только липидная часть, тогда как оставшаяся (большая часть биомассы МКВ), включающая белки и углеводы, не используется для получения жидкого биотоплива. В связи с этим в

последние годы активно продвигаются технологии пиролиза и гидротермального сжижения биомассы.

Пиролиз - это технология термической конверсии биомассы без участия кислорода при атмосферном давлении и умеренных температурах (300-600°С) с получением твердых, жидких и горючих газообразных продуктов. Желаемый продукт может быть получен путем регулирования рабочих параметров процесса пиролиза. При пиролизе МКВ обычно поддерживается температурный режим между 400 и 600°С, но в некоторых случаях температура может достигать и 800°С. Менее изучен режим пиролиза МКВ, направленный на получение горючих газов с высоким содержанием водорода и метана и высокой теплотворной способностью. Клетки МКВ малы по размеру, сухая биомасса МКВ сыпуча, поэтому не требует дополнительного измельчения, как другие виды биомассы. Однако для эффективного пиролиза биомасса МКВ должна содержать минимальное количество влаги, что значительно повышает стоимость реализации технологии.

Гидротермальное сжижение (НТЛ) представляет собой способ термохимической конверсии влажных МКВ, при котором производят жидкий энергоноситель, называемый "био-нефть" или "biocrude", а также газообразные, водосодержащие (aqua phase) и твердые побочные продукты ("biochar"). В процессе переработки биомассы методом НТЛ не требуется предварительной сушки сырья: МКВ могут подаваться в реактор гидротермального сжижения во влажном состоянии, например, в виде водной суспензии. Кроме того, при получении топлива методом НТЛ вклад в выход бионефти вносят не только липиды, но также углеводы и белки, что повышает суммарный выход продукта.

Получение биомассы микроводорослей выращиванием на муниципальных сточных водах и ее конверсия методом НТЛ является предметом данного исследования.

### **3. Материалы и методы исследований**

Для проведения экспериментов были использованы штаммы микроводорослей с высокой скоростью роста из коллекции НИЛ ВИЭ МГУ. Для скрининга среди них наиболее эффективных штаммов для очистки сточных вод от биогенных питательных веществ проводилось выращивание различных штаммов МКВ на муниципальных сточных водах г.Москвы. Образцы муниципальной сточной воды относятся к хозяйственно-бытовым канализационным стокам; они были отобраны из смотрового колодца г. Москвы 31 октября 2018 г. Из-за осеннего периода с большим уровнем осадков пробы муниципальной сточной воды оказались существенно разбавлены (таблица 1). Количество биогенных элементов (аммоний по азоту, нитраты и ортофосфаты) присутствуют в небольшом количестве – 110, 2,4 и 15 мг/л соответственно. Показатели ХПК (окисляемость бихроматная) = 140 мгО/дм<sup>3</sup> (показатель общего содержания органических веществ в сильно загрязненных стоках) и БПК<sub>5</sub>=85 мгО<sub>2</sub>/дм (показатель концентрации легкоокисляющейся органики в стоках) свидетельствуют о том, что в пробе содержится незначительное количество растворенной органики; по значению водородного

показателя (рН=8,2) сточные воды относятся к щелочным. Количество нефтепродуктов (2,7 мг/дм<sup>3</sup>) и суммарных ароматических веществ (0,668 мг/дм<sup>3</sup>) превышает средние показатели для этого класса сточных вод. Сопоставление состава сточных вод с классическим составом культуральных сред для роста МКВ показывает, что в сточных водах содержатся все необходимые для роста и развития МКВ микроэлементы (В таблице 1 из 59 определенных соединений приведены только биогенные элементы, значимые для культивирования МКВ).

Таблица 1.

Химический состав пробы муниципальной сточной воды из смотрового колодца г. Москвы (отбор 31.10.2018)

Показатель качества, единицы измерения	Результат измерений	Показатель качества, единицы измерения	Результат измерений
Показатели химического состава воды:			
Водородный показатель (рН), ед. рН	8,2	Гидрокарбонаты, мг/дм <sup>3</sup>	820
ХПК (окисляемость бихроматная), мгО/дм <sup>3</sup>	140	Карбонаты, мг/дм <sup>3</sup>	<6
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	85	Аммоний, мг/дм <sup>3</sup>	110
Нитраты, мг/дм <sup>3</sup>	2,4	Фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	15
Калий, мг/дм <sup>3</sup>	20	Магний, мг/дм <sup>3</sup>	14

Культивирование МКВ на сточных водах проводилось в колбах Эрленмейера объемом 250 -500 мл, которые засеивались одинаковым количеством сконцентрированной на ситах (диаметр ячеек 200 мкм) биомассой МКВ. Начальная концентрация МКВ составляла порядка 0,16 г/л по сухому весу. Культивирование проводилось в неразбавленной сточной воде, а также в разбавленной свежeproкипяченной водопроводной водой сточной воде (использованный диапазон разбавления: в 5...50 раз). В ряде экспериментов для интенсификации роста МКВ в сточную воду добавлялись дополнительные питательные элементы в соответствии с составом питательных культуральных сред для конкретных штаммов МКВ (например, при культивировании артрoспирь/спирулины в сточную воду добавлялся в качестве источника углерода NaHCO<sub>3</sub> из расчета 1/2 часть от полной питательной среды Заррука). Каждый эксперимент проводился в трех повторностях. Рост биомассы контролировался колориметрически путем измерения оптической плотности культуры на откалиброванном на сухую биомассу колориметре КФК-2-УХЛ42. Контролем служил рост биомассы МКВ на 1/2 или 1/3 среды Заррука. Колбы помещались на шейкер с вращением 120 об/мин; T=33°C; освещение 30 мкЕ/м<sup>2</sup>/с лампами ДРЛФ-400 круглосуточно. Культивирование МКВ на сточных водах проводилось в течение 10 – 45 суток. Контроль за поглощением биогенных элементов из сточных вод осуществлялся посредством химических анализов основных биогенных элементов в культуральной жидкости на разных этапах выращивания МКВ. В качестве показателей рассматривались ХПК, БПК<sub>5</sub>, нитраты (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), фосфаты (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), аммоний (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Состояние культур МКВ визуально

контролировалось на разных этапах экспериментов путем микроскопирования проб культуральной жидкости (Микроскопы «ЛОМО Микмед-2» и «AxioPlan 2 Imaging» с камерой высокого разрешения «AxioCam MВm» и модульной системой обработки и анализа изображений «AxioVision 3.1.» фирмы Carl Zeiss).

#### 4. Результаты и обсуждение

##### Анализ сточной воды

Для анализа типичности использованной сточной воды нами было проведено сопоставление содержания основных биогенных соединений в сточных водах по литературным данным. При этом были учтены работы, аналогичные по направленности, т.е. посвященные исследованию роста МКВ на сточной воде. В таблице 2 приведены некоторые результаты сопоставления, из которых видно, что основные показатели достаточно близки. Следует подчеркнуть, что в [6] использовались искусственные сточные воды, состав которых был в свою очередь подобран на основе анализа осредненного состава реальных сточных вод. Таким образом, это сопоставление позволяет рассматривать использованные нами сточные воды как типовые, но с заниженным показателем ХПК, и завышенным содержанием аммонийного азота.

Таблица 2.

Содержание соединений основных биогенных веществ в различных сточных водах

Показатель качества, единицы измерения	Сточные воды, Москва	Искусственная сточная вод [6]					Сточная вода [5]	
		749	900	820	798	925	–	–
ХПК (окисляемость бихроматная), мгО/дм <sup>3</sup>	140	749	900	820	798	925	–	–
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	85	–	–	–	–	–	–	–
Фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	15	2,1	8,9	3,9	11,7	17,4	4,5	5,4
Нитраты, мг/дм <sup>3</sup>	2,4	3,5	13,8	8,7	7,4	71,1	0,4	0,4
Аммоний, мг/дм <sup>3</sup>	110	26,9	53,6	85,2	12,0	14,9	42	56

#### Выбор штаммов и степени разбавления сточных вод в экспериментах

В качестве микроводорослей в экспериментах использовались:

а) три альгологически чистые клоновые культуры *A. platensis* из коллекции НИЛ ВИЭ географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова: штамм *rsemsu 1/02* (спиральные трихомы), штамм *rsemsu P* (прямые трихомы), штамм *rsemsu T* (толстые слабоизвитые трихомы) [10] (рис. 1).

б) культура *Arthrospira platensis rsemsu Bios* из плоскостных культиваторов открытого типа объемом 500 л, где артроспира выращивается методом полунепрерывного культивирования более 30 лет.

Выращивание трех клоновых альгологически чистых культур *A. platensis* на слабо разбавленных сточных водах показало отсутствие роста и гибель культуры на 5-7 сутки. По-видимому, это связано с их повышенной чувствительностью к токсичным веществам и недостатком питательных

веществ в сточных водах, т.к. эти культуры постоянно выращиваются на полной питательной среде Заррука, в сильной степени обогащенной биогенами и микроэлементами.

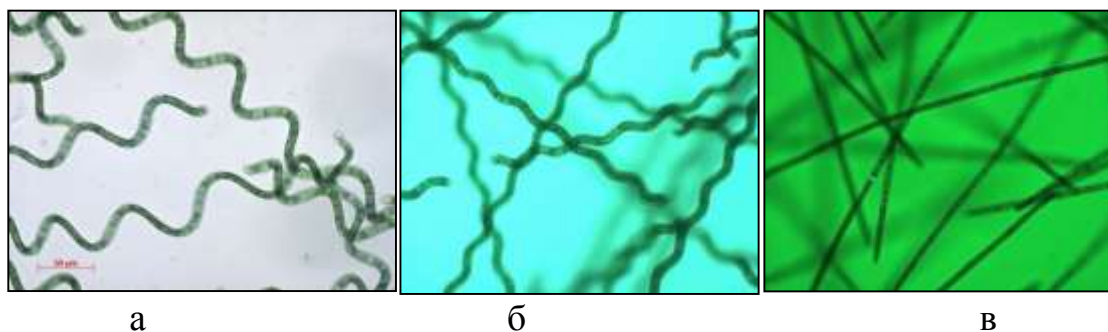


Рис. 1 Альгологические чистые культуры морфологических вариантов *A. platensis*: а – *um. rsemsu 1/02* ; б - *um. rsemsu T*; в - *um. rsemsu P*

Для подбора степени разбавления сточных вод была проведена также серия экспериментов с консорциумом МКВ *Arthrospira platensis rsemsu Bios* с гетеротрофными бактериями-ассоциантами. В опытах на неразбавленной муниципальной сточной воде, но с добавлением в нее 1/2 бикарбоната натрия от состава питательной среды Заррука, обнаружили устойчивый рост артроспиры в течение 12 суток. В дальнейшем накопление биомассы отставало от контроля, а через 25 дней рост клеток артроспиры в сточной воде прекратился. Контроль – рост клеток артроспиры на 1/3 среды Заррука без добавок сточной воды в тех же условиях освещенности, температуры и перемешивания.

Как видно из рис.2, положительная динамика роста биомассы *A. platensis rsemsu Bios* на разбавленных сточных водах наблюдалась при всех выбранных разбавлениях в течение первых 7-9 суток, при этом увеличение биомассы в 2 раза произошло на 5-е сутки опыта, и наиболее оптимальным разбавлением является 5х. При всех разбавлениях сточных вод рост биомассы в них отставал от контроля, в котором МКВ выращивались на 1/3 состава питательной среды Заррука, без сточной воды. По-видимому, сточная вода без разбавления подавляла рост МКВ вследствие значительной концентрации токсичных веществ (нефтепродуктов и ароматических соединений). А при больших разбавлениях рост прекращался после 5-7 суток в связи с полным исчерпанием питательных элементов.

Микроскопический контроль за состоянием артроспиры в контроле и в опытах показал, что МКВ представлены стабильно окрашенными в сине-зеленый цвет прямыми и слегка извитыми трихомами разной длины и множеством коротких гормогониев. В культуральной жидкости в разбавлениях сточной воды в 5 раз в начале эксперимента среди трихомов артроспиры обнаруживались простейшие из класса *Ciliata* или реснитчатых инфузорий (*Paramecium caudatum*, *Paramecium Bursaria*, *Frontonia sp.*) и равноресничных инфузорий (*Holophrya teres*), но к концу опыта в среде остались только единичные инфузории *Paramecium caudatum*. В опытах с большим разбавлением (10х) инфузории наблюдались в единичных

экземплярах, а в контроле простейшие отсутствовали. Это говорит о том, что источником простейших организмов является нестерильная сточная вода, а по мере роста биомассы и резкого увеличения щелочности культуральной жидкости до  $pH=11.5$  происходит вытеснение и исчезновение простейших.

Следует отметить, что в исходном инокуляте присутствовали бактерии-ассоцианты артроспиры, которые были идентифицированы как представители родов *Pseudomonas* и *Bacillus*. Таким образом, в экспериментах на сточной воде выращивались устойчивые консорциумы микроорганизмов, в состав которых входят – помимо микроводорослей – гетеротрофные бактерии-ассоцианты. Последние способны ассимилировать растворенное органическое вещество и токсичные элементы и способствовать лучшей очистке муниципальных сточных вод.

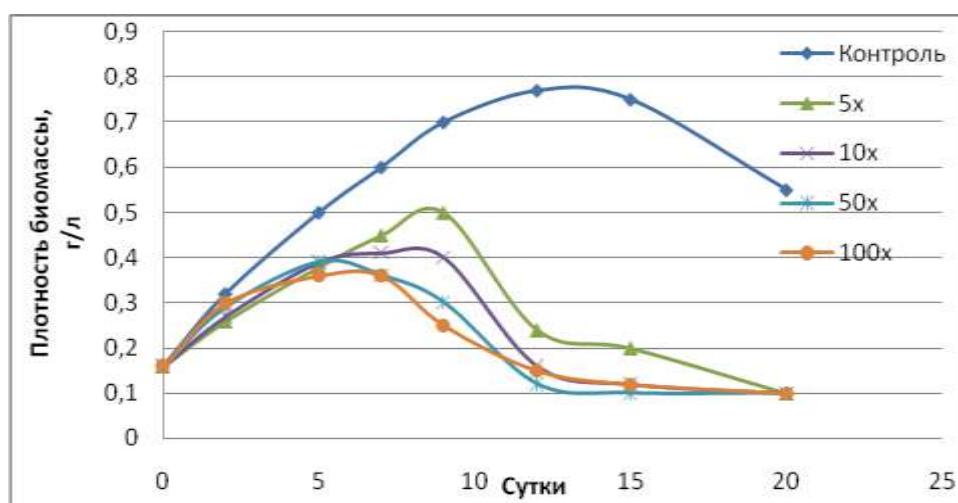


Рис. 2. Динамика плотности биомассы *Arthrospira platensis rsemsu Bios* в сточных водах с различной степенью разбавления

Таким образом, была определена необходимость разбавления сточной воды для устойчивого роста биомассы *A. platensis rsemsu Bios* и найдены границы разбавления. Кроме того, было обнаружено, что для роста и развития клеток артроспиры на сточных водах необходимо обязательное добавление к сточной воде бикарбоната натрия, т.к. артроспира растет только в щелочных водах в присутствии аниона бикарбоната в качестве источника углерода.

### **Выращивание микроводорослей для очистки сточных вод**

На основании полученных выше результатов дальнейшие эксперименты проводились на 2-3-кратно разбавленной сточной воде.

Как видно из рис.3, рост опытных культур не только не отстает от контроля (выращивание этой же культуры на 1/3 среды Заррука), но в период 7 – 12 сутки рост культуры на сточной воде с разбавлением 2x даже опережает накопление биомассы в контроле. После 12 суток эксперимента рост культур замедляется, и все три кривые накопления биомассы выходят на плато. В дальнейшем в эти опытные культуры были добавлены порции сточной воды, равные их объему в начале эксперимента. При этом произошло дополнительное разбавление сточной воды (вместо 2x разбавления получаем 1,3 кратное; вместо 3x – 1,75 кратное). Стартовые значения плотности

опытных культур по сухому весу на новом этапе эксперимента составили 0,50 г/л для разбавления сточной воды в 1,3 раза и 0,55 г/л при разбавлении в 1,75 раз. Результаты дальнейшего выращивания культур в измененных условиях эксперимента представлены на рис. 4.

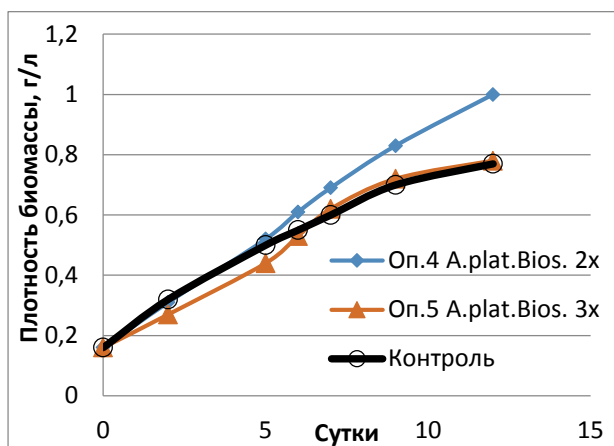


Рис. 3. Динамика плотности биомассы *Arthrospira platensis rsemsu Bios* в сточных водах с 2х и 3х разбавлением

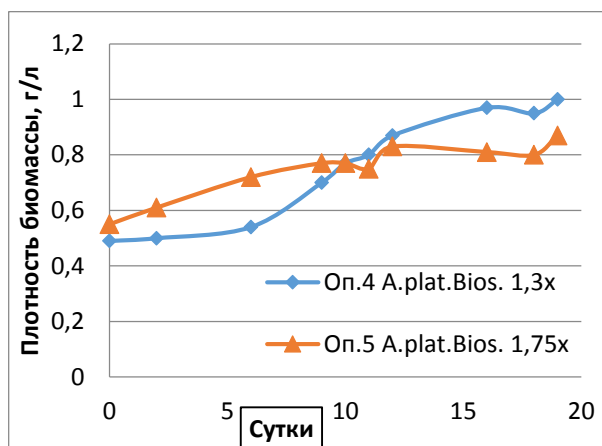


Рис. 4. Продолжение роста биомассы *Arthrospira platensis rsemsu Bios* в сточных водах с добавлением дополнительной порции сточных вод после 12 суток роста (полученное суммарное разбавление составило 1,3х и 1,75х)

Как видно из рис. 4, более значительный объем сточной воды в опыте с разбавлением 1,3х несколько тормозит рост МКВ в первые 6 суток опыта, но затем кривая роста этой культуры идет вверх и опережает рост культуры на сточной воде с разбавлением 1,75х. На 19-е сутки эксперимента плотность культур в обоих вариантах достигла тех же значений, что и в предыдущей стадии эксперимента. В дальнейшем выращивание культуры было продолжено до 45 суток с добавлением таких же порций сточной воды. При этом рост и развитие МКВ происходили примерно с постоянной скоростью.

В дальнейшем рост культуры МКВ *A. platensis rsemsu Bios* замедляется и выходит на плато, причем без отбора выросшей биомассы из культуральной среды значительного прироста в дальнейшем достичь не удастся. По-видимому, при плотности биомассы более 1 г/л культура по сухому веществу МКВ в данных условиях выращивания достигает той максимальной плотности, при которой лимитируются освещенность, питательные элементы, кроме того и экзометаболиты также вносят свой вклад в угнетение роста и развития клеток.

Известно, что неорганический азот и фосфор особенно трудно удалить из сточных вод. Как показывает сравнительный анализ основных химических показателей сточной воды до и после выращивания на ней МКВ (Табл. 3), консорциум *A. platensis rsemsu Bios* способен к эффективному росту на слабо разбавленных сточных водах, но при обязательном условии создания для роста и развития клеток артроспиры щелочных условий в питательной среде добавлением пищевой соды в количестве не менее 6 г/л. МКВ почти полностью использовали для своего роста и развития основные биогенные элементы из

сточной воды: Р в виде ортофосфатов и N в виде аммония и нитратов, концентрация которых снизилась в 4-30 раз, в 58-73 раза и в 24 раза соответственно. После выращивания МКВ на сточной воде значительно уменьшились показатели БПК<sub>5</sub>, что свидетельствует о значительном сокращении количества легкорастворимой органики.

Таблица 3.

Сравнительный анализ основных химических показателей сточной воды до и после выращивания на ней МКВ

Показатель качества, единицы измерения	Результат измерения			НД на методику выполнения измерений
	Исходная сточная вода	<i>A.platensis</i> rsemsu Bios-2x-1,2x	<i>A.platensis</i> rsemsu Bios-3x-1,5x	
ХПК (окисляемость бихроматная), мгО/дм <sup>3</sup>	140	140	120	ПНД Ф 14.1:2:3.100-97
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	85	68	53	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97
Фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	15	<0,5	4	ГОСТ 31867-2012
Нитраты, мг/дм <sup>3</sup>	2,4	<0,5	<0,1	ГОСТ 31867-2012
Аммоний, мг/дм <sup>3</sup>	110	1,9	1,5	ФР.1.31.2013.16570

Из биомассы выращенных микроводорослей получена бионефть с применением технологии гидротермального сжижения. НТЛ было проведено на установке Объединенного института высоких температур РАН при T=270 °C и 300 °C (рис.5).

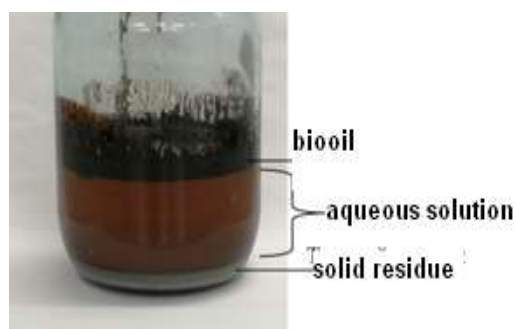


Рис. 5. Экспериментальная установка для гидротермального сжижения микроводорослей и продукты, полученные после НТЛ из МКВ (бионефть, водный раствор и твердый остаток)

Выходы бионефти, газообразных продуктов, твердого остатка и водного раствора составили 34-46%, 12-18%, 12-18% и 10-24 % соответственно. Были определены молекулярные формулы веществ в составе конечных продуктов. Установлено, что в биотопливе из МКВ доминируют соединения, содержащие один и два атома азота, а также присутствуют классы ON<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>. Бионефть из микроводорослей с большим содержанием липидов и углеводов близка к традиционной нефти [11].



## Заключение

На основе проведенных экспериментов была подобрана культура МКВ (*Arthrospira platensis rsemsu Bios*), способная расти на сточных водах разного разбавления. 5-кратное разбавление сточной воды было определено как наибольшее из разбавлений, на котором консорциум МКВ *A. platensis rsemsu Bios* и бактерий-ассоциантов может эффективно расти и ассимилировать биогенные элементы в течение 8 суток. Добавление соды в сточную воду создало более благоприятные условия для роста и развития МКВ артротропиры ( $\text{pH} > 8,5$ ; обеспечение культуры необходимыми для роста анионами  $\text{HCO}_3^-$ ).

При разбавлении сточных водах в 2-1,2 раза и в 3-1,5 раза с добавлением соды эффективный рост данного консорциума МКВ с бактериями-ассоциантами наблюдался в течение 45 суток, в результате чего концентрация ионов азота и фосфора уменьшилась до следовых значений. Кроме того, уменьшилось количество легкорастворимой органики (БПК<sub>5</sub>) с 85 до  $68 \div 53$  мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, что свидетельствует о способности МКВ переходить на миксотрофный рост с потреблением органики. Уменьшение показателей БПК<sub>5</sub>, свидетельствует о значительном сокращении легкорастворимой органики в сточных водах после выращивания МКВ. Выращенная биомасса МКВ была переработана методом НТЛ с выходом бионефти 34-46% от сухого веса биомассы. Бионефть из микроводорослей с большим содержанием липидов и углеводов близка к традиционной нефти.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ - проект № 18-58-45009.*

## Список литературы

1. Коробкова Т.П., Чернова Н.И., Киселева С.В. Артротропира (спирулина) как объект микробиологической промышленности для получения нетрадиционных продуктов природного происхождения // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: Сборник научных трудов, №13. М., 2005. С. 3-26.
2. Чернова Н. И., Киселева С.В., Коробкова Т.П., Зайцев С.И. Микроводоросли в качестве сырья для получения биотоплива// Альтернативная энергетика и экология, 9, 2008. С. 68-74.
3. Лямин М.Я., Киселева С.В., Зайцев С.И., Чернова Н.И., Соловьев А.А., Михайловская Н.Н. Водорослевая гелиоэнергетика // Возобновляемая энергетика. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1999. С. 37–114.
4. Алексеев В.В., Лямин М.Я., Рустамов Н.А., Соловьев А.А., Чернова Н.И. Энергетические плантации / «География, общество, окружающая среда», Том 3: Природные ресурсы, их использование и охрана. М.: Изд. Дом «Городец», 2004. С.578-607.
5. Mikael Jämsä, Fiona Lynch, Anita Santana-Sánchez, Petteri Laaksonen, Gennadi Zaitsev, Alexei Solovchenko, Yagut Allahverdiyeva. Nutrient removal and biodiesel feedstock potential of green alga UHCC00027 grown in municipal wastewater under Nordic conditions//Algal Research 26 (2017) 65–73.
6. Hao Rui, Yu Zhen, Li Jinchun, Gao Min, Ma Weiling, Zhu Yi\* Comparative study on cultivation of microalgae for nutrient removal and lipid production in different artificial wastewaters// Int J Agric & Biol Eng. January, 2017. Vol. 10 No.1. p. 107-113.
7. Han T, Lu H F, Ma S S, Zhang Y H, Liu Z D, Duan N. Progress in microalgae cultivation photobioreactors and applications in wastewater treatment: A review. Int J Agric & Biol Eng, 2017; 10(1): 1–29.
8. Posadas E., C. Alcantara, P.A. Garcı́-Encina et al. Microalgae cultivation in wastewater, chapter 3, P. 67-92 / Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts: From Feedstock

Cultivation to End Products, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-101023-5.00003-0>

9. Chernova N.I., Kiseleva S.V., Popel' O.S. Efficiency of the biodiesel production from microalgae // *Therm.Eng.* 2014. V. 61. No.6. P. 399–405. doi 10.1134/S0040601514060019

10. Чернова Н.И., С.В. Киселева, С.И. Зайцев. Проблемы получения биотоплива третьего поколения: воздействие стрессоров на накопление нейтральных липидов в сине-зеленых водорослях (цианобактериях) // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология»*, 2014. №12. С.70-83.

11. Chernova N I, S V Kiseleva, M S Vlaskin, A V Grigorenko and Y Y Rafikova. Hydrothermal liquefaction of microalgae for biofuel production: the recycling of nutrients from an aqueous solution after HTL// *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. 6 p. (in print).

# СОВРЕМЕННЫЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

**А.Ю. Чернышенко**

*chernishenkoaleksey@gmail.com*

*Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН,  
Россия, г. Москва*

***Аннотация.** В данной работе рассматриваются две актуальные геологические проблемы: моделирование геомиграции радионуклидов и моделирование течений в трещине гидроразрыва пласта. Для этих задач описаны некоторые современные численные методы, используемые при математическом моделировании. Рассмотрены расчетный комплекс трехмерного гидрогеологического моделирования GeRa и используемые в нем методы для численного моделирования геомиграции радионуклидов. Для задачи моделирования течений и переноса в трещинах ГРП представлены новые методы на основе метода следов конечных элементов.*

***Ключевые слова.** Геомиграция радионуклидов, моделирование течений, трещины гидроразрыва пласта, численные методы.*

## **1. Введение**

В настоящее время одной из важных геологических задач является обоснование долговременной безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов. Важным аспектом в ней является численное моделирование геомиграции и геофильтрации радионуклидов. Для проведения такого рода моделирования требуется разработка программных средств, учитывающих множество физических и химических процессов и способных проводить расчеты с достаточной точностью и эффективностью.

Моделирование подземных течений имеет большое значение не только для расчетов безопасного захоронения ядерных отходов и углекислого газа, но и для более широкого круга приложений, таких как производство энергии (добыча нефти и газа, геотермальная энергия), управление водными ресурсами или моделирование течений в трещинах гидроразрыва пласта (ГРП). Технология ГРП широко применяется в мире и в России, в частности, несмотря на потенциальную угрозу ряда экологических проблем, возникающих после применения гидроразрыва. Так, например, химические вещества, используемые при ГРП, могут попасть в окружающие подземные воды и, в последствии, в пищу. Принимая во внимание потенциальные угрозы применяемой технологии, представляется важным развитие точных методов математического моделирования процесса ГРП и возникающих в трещинах течений флюида и переноса веществ. Качественное моделирование течений в трещине ГРП является одной из актуальных гидрогеологических проблем.

Таким образом, в данной работе рассматриваются две актуальные геологические проблемы: моделирование геомиграции и геофильтрации радионуклидов и моделирование течений и переноса вещества в трещине ГРП.

Для указанных задач будут рассмотрены современные численные методы, используемые при моделировании. В рамках задачи моделирования геомиграции и геофильтрации радионуклидов будет рассмотрен программный комплекс GeRa [1], разрабатываемый коллективом ИВМ РАН и ИБРАЭ РАН, в состав которого входит автор работы. Комплекс обеспечивает пользователя инструментами для проведения полного цикла расчетов по оценке безопасности, начиная от построения геологической модели и заканчивая расчетом дозовой нагрузки для человека и объектов окружающей среды. Для задачи моделирования течений жидкости и переноса вещества в трещине будут описаны различные методы, рассматривающие трещину как трехмерную поверхность, а также представлен новый метод, разработанный автором работы.

## **2. Моделирование геомиграции радионуклидов**

Расчетный код GeRa – высокотехнологичный программный комплекс трехмерного гидрогеологического моделирования, разработанный ИБРАЭ РАН и ИВМ РАН для эффективного решения задач геофильтрации и геомиграции загрязнений в подземных водах [2]. GeRa позволяет моделировать следующие процессы:

- стационарная и нестационарная фильтрация в напорной и напорно-безнапорной постановках;
- насыщенно-ненасыщенная фильтрация;
- нестационарный адвективно-дисперсионно-диффузионный перенос с возможностью учета химических взаимодействий в системе вода-порода, радиоактивного распада переносимых нуклидов с учетом цепочек;
- распад первого порядка (радиоактивный распад) компонентов в подземных водах с учетом цепочек распада;
- равновесная сорбция компонентов в подземных водах по изотерме Генри;
- изменение коэффициента межфазного распределения (изотерма Генри) в зависимости от концентрации одной из примесей;
- плотностная конвекция.

Расчетный код GeRa позволяет проводить полный цикл гидродинамического моделирования: построение геологической модели и ее параметризация; наполнение базы данных мониторинга; создание расчетной сетки; непосредственно моделирование; визуализация и верификация результатов моделирования.

GeRa поддерживает интерактивное создание геологической модели с помощью современных методов геостатистического моделирования и интерполяции. При построении геологической модели пользователь может использовать точечные данные и изолинии, либо импортировать уже имеющуюся геологическую модель из других программных продуктов.

В состав расчетного кода входит интегрированная база данных, которая позволяет хранить разнородную информацию о моделируемом объекте. В базу

данных могут быть внесены данные мониторинга моделируемой территории, которые в последующем используются при верификации модели. При дополнении базы новыми данными они автоматически учитываются при расчетах, что позволяет пользователю легко создавать постоянно действующие модели.

Современные требования к точности результатов и скорости расчетов диктуют необходимость использования адаптивных неструктурированных трехмерных расчетных сеток. Геологические среды, в которых проводится моделирование, характеризуются неоднородностью и анизотропией свойств, геометрической анизотропией. Расчетный код позволяет строить неструктурированные адаптивные сетки с заданными пользователем параметрами. В состав GeRa входят два генератора сеток: треугольно-призматический и гексаэдральный со сколотыми ячейками на основе восьмидерева (octree). Оба генератора учитывают особенности геометрии геологической модели и допускают локальную адаптацию расчетной сетки.

Хранение сеточных данных в GeRa осуществляется с помощью программной платформы INMOST [3]. Данная платформа позволяет проводить расчет в параллельном режиме, обеспечивая синхронизацию сеточных данных, сборку и решение линейных систем.

Программный комплекс GeRa поддерживает большое количество моделей различных процессов. Все разработанные модели процессов могут быть включены и отключены непосредственно в пользовательском интерфейсе и не требуют пересоздания модели.

Расчетный код GeRa основан на дискретизации задач методом конечных объемов (МКО) на конформных сетках с многогранными ячейками. Для дискретизации задач фильтрации могут быть использованы: классическая линейная двухточечная схема аппроксимации потоков; более точная, но вычислительно трудоемкая, многоточечная O-схема аппроксимации потоков; нелинейная монотонная схема конечных объемов с двухточечной аппроксимацией потоков. Для моделирования конвективно-диффузионного переноса могут быть использованы следующие численные схемы: явно- неявная схема расщепления по физическим процессам (явная конвекция, неявная диффузия), для адвекции в ней может быть использована низкодиссипативная TVD-схема высокого порядка (MUSCL-типа) с кусочно-линейным восстановлением концентрации на ячейках сетки, либо стандартная схема МКО с кусочно-постоянной аппроксимацией концентрации; полностью неявная схема нелинейного монотонного МКО (с MUSCL-схемой для конвективного члена); полностью неявная схема с кусочно-постоянной аппроксимацией концентрации, использующая один из линейных МКО для дискретизации диффузионного члена.

Средства геологического моделирования GeRa позволяют строить структурные модели объектов и окружающей геологической среды при помощи методов интерполяции (триангуляция, обратные расстояния) и геостатистики (кригинг).

Стоит отметить, что при разработке GeRa максимально использовались существующие открытые библиотеки. Так, графический интерфейс построен на основе библиотеки Qt [4], средства визуализации – на основе библиотеки VTK [5], один из линейных решателей – PETSc [6]. Пример детальной модели и результатов расчетов на комплексе GeRa представлен на рисунке 1.

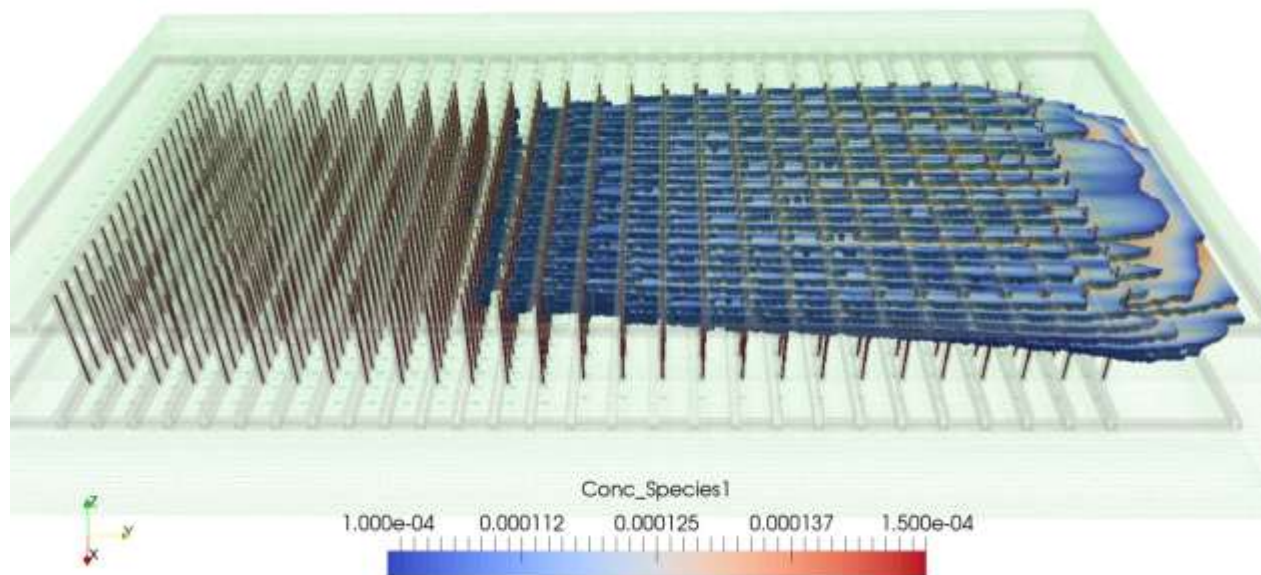


Рис. 1. Пример детальной (несколько сотен элементов) сеточной модели объекта: сетка и результат расчета задачи переноса

### 3. Моделирование течений в трещинах ГРП

Гидроразрыв пласта был впервые проведен в середине 20 века. С тех пор началось исследование этого процесса и разработка математических моделей. Первые математические модели использовали большое количество допущений и упрощений, в частности, двумерность напряженно-деформированного состояния пласта, априорная параметризация трещины.

Более сложными моделями стали псевдо-трехмерные модели, которые лежат в основе большинства промышленных симуляторов дизайн-проектов ГРП. Основу моделей этого класса составляет уравнение течения жидкости внутри трещины. Псевдо-трехмерные модели позволяют учитывать неоднородность фильтрационных свойств пласта, реологические характеристики жидкости разрыва, перенос проппанта и другие эффекты.

Следующее поколение моделей основано на прямом решении уравнений смазочного слоя для жидкости разрыва с учетом изменения геометрии трещины. Точность описания течения жидкости в трещине у таких моделей является вполне достаточной для практических задач, однако учет окружающих подобластей происходит достаточно условно.

Стоит отметить, что пористые среды в целом насыщены трещинами различных масштабов и геометрий. Чаще всего они бывают естественными, а также могут являться результатом проведения специальных технологических процессов, таких как ГРП. Большие трещины и разломы сильно влияют на поток, поскольку они могут действовать как барьеры (в случае непроницаемых

разломов), либо быть основными путями течения (в случае проницаемых разломов). В отличие от мелкомасштабных трещин, которые можно учесть увеличением коэффициента проницаемости пористой среды, крупные трещины должны быть явно включены в модель для воспроизведения их влияния на общий поток.

Сложность геологических структур остается одной из основных проблем крупномасштабного численного моделирования. Действительно, данные для построения модели обычно задаются в виде большого количества пересекающихся поверхностей, которые разделяют геологические слои с различными механическими и гидравлическими свойствами, а также в виде набора поверхностей, представляющих собой разломы и трещины. В этих рамках создание расчетной сетки, учитывающей все вышеперечисленные данные, представляет собой сложную задачу, результатом которой может быть либо слишком измельченная сетка, либо сетка с элементами низкого качества. Поскольку в реалистичных случаях построение высококачественной сетки, которая соблюдает геометрию сотен или тысяч трещин, является сложной задачей, можно позволить трещинам пересекать относительно грубую регулярную сетку произвольным образом и применять метод типа eXtended Finite Element Method (XFEM), cutFEM, Nitsche-FEM или TraceFEM и др.

При моделировании течений в трещинах используются различные подходы. В [7, 8] трещина рассматривается как поверхность разрыва в трехмерном пространстве. Течение флюида вдоль этой поверхности описывается двумерными уравнениями, включающими упрощенное уравнение неразрывности. Фронт трещины рассматривается локально в условиях плоского напряжения. Течением жидкости в параллельном фронту трещины направлении пренебрегается.

В различных работах трещина рассматривается как разрез пласта нулевой толщины, который соответствует срединной поверхности трещины. При этом величину раскрытия трещины (толщину) учитывают при описании течения флюида в ней. Флюид распространяется по трещине с заданной геометрией, стремясь заполнить всю трещину. Таким образом, части трещины, занятой жидкостью, соответствует лишь часть срединной поверхности трещины. В приближении смазочного слоя уравнения течения сжимаемой степенной неньютоновской жидкости, заданные для давления и раскрытия трещины, описаны в [9].

Для описания фильтрации жидкости через стенки трещины (утечки в пласт) чаще всего используется простейшая модель Картера утечки жидкости [10, 11]. Предполагается, что утечка происходит в нормальном направлении к поверхности трещины. Модель может быть расширена для случая многослойной литологии. Стоит отметить, что утечка жидкости может быть более сложным процессом, в частности, она может быть чувствительна к давлению и температуре.

При моделировании переноса пропанта в трещине часто рассматривается двухкомпонентная смесь пропанта и жидкости [11]. В таком

случае, уравнения сохранения масс и момента решаются для смеси, а не для отдельных компонент. Распределение проппанта по трещине находится с помощью объемной концентрации, которая является дополнительной неизвестной. Обычно предполагается, что и жидкость и проппант – несжимаемы, а частички проппанта малы по сравнению с толщиной трещины. Однако, в случае значительной утечки жидкости, относительная концентрация проппанта по отношению к жидкости может вырасти до значительных размеров, тогда эта смесь может вести себя скорее как твердая пористая порода. В этом случае, частички проппанта группируются, и только жидкая фаза может проникать через поры. Кроме этого, на краях трещины толщина трещины может иметь тот же порядок, что и частички проппанта, и в таких местах могут образовываться так называемые «мосты». Такой феномен учитывается ограничением допустимой толщины трещины. При отсутствии гравитации, проппант и флюид имеют одинаковую скорость для заданной точки. В итоге, модель переноса проппанта сводится к закону сохранения массы (уравнению конвекции), связывающему объемную концентрацию проппанта и скорость переноса проппанта флюидом. При численном решении подобных гиперболических уравнений важно минимизировать эффекты численной дисперсии, которые обычно возникают при использовании обычной конвективной противопотоковой аппроксимации.

Используемые численные методы при моделировании течений в средах с трещинами также могут быть различными. Методы могут отличаться в зависимости от того, как восстанавливается поверхность трещины и как она связывается с сеткой в объемной области. В настоящее время широкую популярность получили методы, позволяющие поверхности трещины пересекать грубую объемную сетку произвольным образом. Такие методы, как cutFEM [12], traceFEM [13], Nitsche-XFEM [14] принадлежат к этому классу методов. Однако все известные подобные подходы используют тетраэдральные сетки в качестве трехмерной фоновой сетки, что накладывает определенные сложности при моделировании течений в анизотропных средах с трещинами. Автором работы была разработана численная схема с использованием гексаэдральных сеток типа восьмеричное дерево.

Для описания геометрии трещины используется подход на основе метода поверхностей уровня, т.е. трещина представлена математической поверхностью с краем, которая совпадает со срединной поверхностью реальной трещины.

Для построения расчетных сеток в слоистых областях с трещинами используется генератор многогранных сеток типа восьмеричное дерево со сколотыми ячейками [15]. Генератор позволяет строить конформные многогранные адаптивные сетки в трехмерных геологических областях с учетом сложной конфигурации внешних границ, кровель и подошв геологических пластов, аппроксимировать поверхности трещин треугольными гранями. В результате применения данного генератора для расчетной области с трещиной получается многогранная сетка, состоящая преимущественно из гексаэдров. Поверхность трещины может произвольным



образом пересекать кубические ячейки «фоновой» сетки типа восьмеричное дерево. При пересечении в таких ячейках образуются наборы треугольников, аппроксимирующие поверхность. На рисунке 2, слева, изображен пример сетки типа восьмеричное дерево со сколотыми ячейками и визуализация решения задачи конвекции-диффузии. Справа: пример расчета течений на ветвящейся трещине.

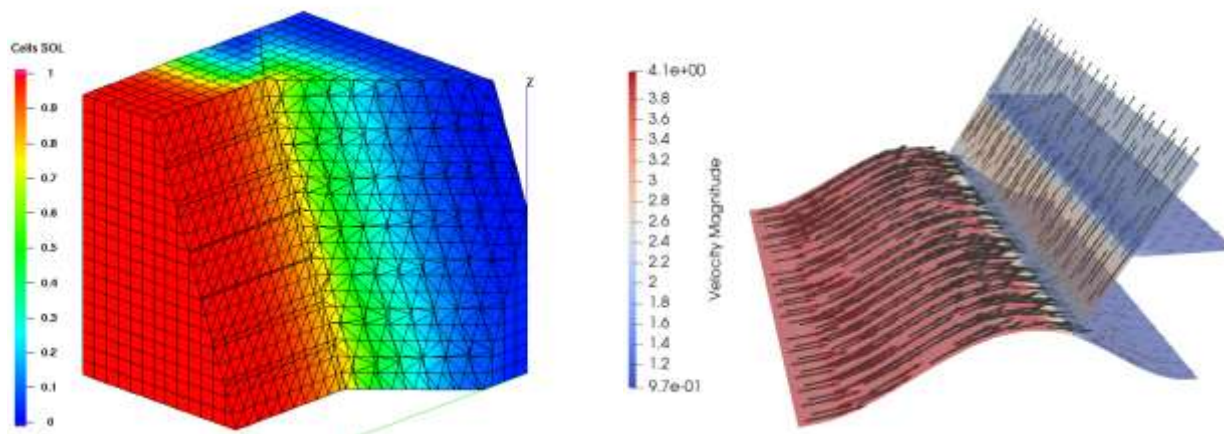


Рис. 2. Слева: пример сетки типа восьмеричное дерево со сколотыми ячейками и визуализация решения задачи конвекции-диффузии. Справа: пример расчета течений на ветвящейся трещине.

В основе разработанной численной схемы моделирования течений жидкости и переноса вещества в трещине ГРП и окружающих породах лежат гибридные методы для численного решения трехмерных систем уравнений в частных производных и систем уравнений, заданных на поверхностях [16]. Для дискретизации диффузионной части уравнений в трехмерном пространстве был использован нелинейный монотонный метод конечных объемов на сетках типа восьмеричное дерево. Метод удовлетворяет дискретному принципу максимума и имеет оптимальный порядок сходимости. Для дискретизации конвективного потока используется метод конечных объемов с линейным восстановлением против потока. Устойчивость схемы поддерживается использованием специального ограничителя наклона. Основную сложность общей схемы составляют численные методы решения уравнений на поверхности и их связка с уравнениями в окружающих трехмерных областях. Для дискретизации уравнений конвекции-диффузии на поверхности трещины был разработан и использован метод следов конечных элементов на сетках типа восьмеричное дерево. Метод допускает наличие полного анизотропного тензора диффузии. Толщина трещины используется в качестве параметра уравнения и может быть непостоянной.

Для дискретизации уравнения Дарси на поверхности трещины был разработан и использован метод следов смешанных конечных элементов на сетках типа восьмеричное дерево. Метод основан на стабилизированной формулировке Hughes-Masud [17] задачи Дарси и методе следов конечных элементов. В зависимости от позиции дискретной поверхности относительно объемной сетки, итоговая матрица может быть плохо обусловлена. Поэтому необходимо использовать стабилизацию. Для учета непрерывности течений в

пересекающихся трещинах были добавлены штрафные члены. Численные эксперименты показали оптимальный порядок сходимости схемы (пример расчета течений изображен на рисунке 2, справа).

### **Заключение**

Численные методы широко применяются в моделировании различных геологических задач. В данной работе были описаны методы моделирования геомиграции радионуклидов и моделирования течений в трещине гидроразрыва пласта. Расчетный код GeRa позволяет проводить полный цикл расчетов по оценке долговременной безопасности пунктов захоронения РАО и других источников загрязнения в геологических средах. Он является полноценным программным продуктом с положительным опытом передачи в сторонние организации. При этом развитие кода продолжается путем добавления учета новых физико-химических процессов, реализации усовершенствованных численных методов, обновления компонентов программы. Функционал расчетного кода позволит использовать его не только в атомной отрасли, но и, например, в задачах безопасности полигонов отходов производства и потребления, защиты и оценки запасов подземных вод. Были описаны методы моделирования развития гидроразрыва пласта и течений в возникающих трещинах. Рассмотрены новые численные методы на основе метода следов конечных элементов для моделирования течений и переноса в трещинах, погруженных в трехмерные области. Общая гибридная схема учитывает течения и утечки между трещиной и окружающими породами, анизотропию окружающей среды посредством полного анизотропного тензора, переменную толщину трещины.

*Работа по моделированию течений в средах с трещинами была поддержана грантом РФФИ № 17-71-10173.*

### **Список литературы**

1. Капырин И.В., Иванов В.А., Копытов Г.В., Уткин С.С. Интегральный код GeRa для обоснования безопасности захоронения РАО // Горный журнал. – 2015. – №10. – С. 44—55.
2. Капырин И. В., Григорьев Ф. В., Расторгуев А. В. “Расчетный код для трехмерного геофильтрационного и геомиграционного моделирования. Учебная версия. GeRa/E1”: Учебное пособие. – М.: ИБРАЭ РАН, 2017, 108 стр.
3. Василевский Ю.В., Коньшин И.Н., Копытов Г.В., Терехов К.М.. "INMOST - программная платформа и графическая среда для разработки параллельных численных моделей на сетках общего вида" – М.: Издательство Московского университета, 2013, 144 с.
4. Официальная страница проекта Qt. URL: [www.qt.io](http://www.qt.io).
5. Официальная страница проекта VTK: [www.vtk.org](http://www.vtk.org).
6. Официальная страница проекта PETSc: [www.mcs.anl.gov/petsc/](http://www.mcs.anl.gov/petsc/).
7. Sousa J.L., Carter B.J., Ingraffea A.R. Numerical simulation of 3D hydraulic fracture using newtonian and power-law fluids // Intern. J. Rock Mech. and Mining Sci. & Geomech. Abstr. 1993. Vol. 30, iss. 7. P. 1265–1271.
8. Rungamornrat J., Wheeler M.F., Mear M.E. A numerical technique for simulating non-planar evolution of hydraulic fractures. Paper SPE. 2005. No. 96968
9. M. Chipot, M. Luskin, . The Compressible Reynolds Lubrication Equation // Antman S.S., Ericksen J.L., Kinderlehrer D., Müller I. (eds) Metastability and Incompletely Posed Problems. The IMA Volumes in Mathematics and Its Applications, V. 3. Springer, 1987

10. R.D Carter , Derivation of the general equation for estimating the extent of the fractured area, Appendix to "Optimum Fluid Characteristics for Fracture Extension", by Howard, G.C. and Fast, C.R., *Drilling and Production Practices*, pp. 261—270, 1957
11. J. Adachi, E. Siebrits, et.al. Computer simulation of hydraulic fractures // *Int. J. Rock Mech.& Min. Sci.*, 44, pp. 739--757. 2007.
12. E. Burman, S. Claus, et al, CutFEM: discretizing geometry and partial differential equations// *Int. J. Numer. Methods Eng.* 104(7) . 2015. pp. 472–501.
13. Olshanskii M.A., Reusken A. (2017) Trace Finite Element Methods for PDEs on Surfaces. In: Bordas S., Burman E., Larson M., Olshanskii M. (eds) *Geometrically Unfitted Finite Element Methods and Applications. Lecture Notes in Computational Science and Engineering*, vol 121. Springer, Cham
14. A. Hansbo and P. Hansbo, An unfitted finite element method, based on Nitsche's method, for elliptic interface problems, *Comp. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 191 (2002), pp. 5537–5552.
15. А.Ю. Чернышенко. «Построение сеток типа восьмеричное дерево со сколотыми ячейками в неоднородных областях» // *Вычислительные методы и программирование*. 2013. Т. 14. С. 229–245
16. A.Y. Chernyshenko, M.A. Olshanskii, Y.V. Vassilevski, A hybrid finite volume – finite element method for bulk–surface coupled problems // *Journal of Computational Physics*, V. 352, pp. 516 – 533
17. A. Masud, T. J.R. Hughes , A stabilized mixed finite element method for Darcy flow // *CMAME*, V. 191, 2002

## БИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА *CEPHALANTHERA LONGIFOLIA* (L.) FRITSCH В ФИТОЦЕНОЗАХ АДЫГЕИ

<sup>1</sup>А.Е. Шадже, <sup>2</sup>А.И. Шадже

*aminetshadge@yandex.ru*

<sup>1</sup>Майкопский государственный технологический университет,  
Россия, г. Майкоп

<sup>2</sup>Адыгейский государственный университет, Россия, г. Майкоп

**Аннотация.** Приведены биоэкологические характеристики, географические координаты местонахождений популяций вида *Cephalanthera longifolia*, выявленных в ходе мониторинга охраняемых видов растений Республики Адыгея.

**Ключевые слова.** Экологическая характеристика, пыльцеголовник, популяция, местонахождения, Республика Адыгея.

**Abstract.** The bioecological characteristics, geographical coordinates of the *Cephalanthera longifolia* species populations locations revealed during the monitoring of protected plant species of the Republic of Adygea are presented.

**Keywords.** Ecological characteristics, *Cephalanthera*, population, location, Republic of Adygea.

Сохранение видового разнообразия биоты – одна из важнейших экологических проблем, т.к. длительное и устойчивое функционирование экосистем и биосферы в целом возможно лишь при их высоком биоразнообразии. Республика Адыгея (РА) отличается географическим положением, обеспечивающим значительное флористическое и фитоценотическое разнообразие, высокий уровень эндемизма флоры и фауны. Несмотря на высокое видовое разнообразие флоры республики (около 2 000 видов), многие виды растений под воздействием различных экологических факторов становятся редкими и исчезающими, нуждаются в охране и заносятся в республиканскую Красную книгу. Среди видов флоры республики следует выделить представителей семейства *Orchidaceae* Juss., из которых 24 вида из 12 родов внесены в Красную книгу РА [1]. Основными причинами сокращения численности многих видов орхидных являются: биологические особенности, декоративность, использование в лечебных целях, разрушение и изменение местообитаний.

В рамках ведения мониторинга видов растений, включенных в Красную книгу РА [1], в 2017-2018 гг. проведены маршрутно-рекогносцировочные исследования на территории республики. Изучены литературные источники, отражающие биоэкологические особенности *Cephalanthera longifolia* и проведен анализ гербарных материалов Кавказского государственного природного биосферного заповедника (КГПБЗ) и Адыгейского государственного университета (АГУ). В ходе полевых работ выявлялись местонахождения вида, их точные географические координаты и высота над ур. м. Изучение популяций основывалось на работах Т.А. Работнова [2], А.А. Уранова [3], Л.В. Денисовой, С.В. Никитиной и Л.Б. Заугольной [4].

Род *Cephalanthera* Rich. включает около 25 видов, большая часть которых произрастает в Европе, Восточной Азии. Некоторые виды встречаются в Западной Азии и в западной части Северной Америки [5]. Во флоре Северо-Западного Кавказа А.С. Зернов [6] выделяет четыре вида рода, из которых на территории Адыгеи произрастает три: *Cephalanthera longifolia*, *C. rubra* (L.) Rich., *C. damasonium* (Mill.) Druce. Все указанные виды занесены в Красную книгу республики [1] с категорией статуса редкости 3 «Редкие».

Общий ареал *Cephalanthera longifolia* охватывает почти всю Европу (за исключением самых северных регионов), значительную часть территории Азии и Северную Африку [7]. В России ареал вида приурочен к Северному Кавказу.

*Cephalanthera longifolia* – короткокорневищное многолетнее травянистое растение с корнями двух видов. Толстые свободные от грибов корни запасают питательные вещества, а тонкие, имеющие микоризу, всасывают питательные вещества из почвы [8]. Соцветие прямое, рыхлое, длиной до 12 см, редкое, из 3 – 8 (до 16) белых крупных вверх направленных цветков (рисунок 1). Плод – веретеновидная коробочка до 1,7 см длиной.



Рис. 1. Цветущее растение *Cephalanthera longifolia*

*Cephalanthera longifolia* – раннецветущее и длительно вегетирующее растение [8]. В России цветение начинается в апреле или мае в зависимости от региона и продолжается до июня, плодоношение происходит в июле-августе [5, 9, 10]. В условиях Адыгеи пыльцеголовник зацветает в зависимости от погодных условий в апреле-мае, а плодоношение наступает в начале июня.

Самоподдержание популяций осуществляется в основном за счет семенного размножения, вегетативное развито слабо и происходит делением корневищ и корневыми отпрысками, особенно при недостатке света. Семенное размножение обильное. До 8 лет проросток ведет подземный образ жизни, зацветает на 10 – 11-й год после прорастания [8]. Иногда над землей появляются сразу два-три надземных побега. При воздействии неблагоприятных факторов, а также после обильного цветения или плодоношения переходит в состояние вторичного покоя, который может длиться несколько лет. Например, усиление затенения в лесу может привести ко вторичному покою или исчезновению растения на определенный период с последующим появлением в «окнах» или на полянах.

Мезофит, гелиосциофит, криптофит. Е.А. Перебора [8] отмечает высокую устойчивость растения к кратковременным понижениям температуры, объясняя это глубоким залеганием (до 40 см) корневищ с покоящимися почками, защищенными многослойными чешуйками, накоплением питательных веществ в корневищах. Вид не требователен к влажности и кислотности почвы, но предпочитает щелочные почвы, растет также на слабокислых – слабощелочных почвах. Предпочитает хорошо аэрируемые почвы с высоким содержанием гумуса благодаря долголетию и развитию мощных корневищ [10]. Может произрастать на бедных и каменистых, иногда на заболоченных торфянистых почвах.

Пыльцеголовник длиннолистный, как и другие виды рода, имеет дневной ритм цветения. Энтомофил. Опылителями цветков являются представители семейства Syrphidae – журчалки (отряд Diptera – двукрылые), пчелы из рода Halictus, осы и шмели. Насекомых привлекают сладкие вещества на выростах нижней губы. У растения своеобразный процесс опыления [5]. Пыльник раскрывается ещё в бутоне, при этом часть пыльцы как бы выталкивается в виде столбиков. По мере созревания рыльце цветка наклоняется вперёд, вытягивая за собой пыльцевые столбики с пыльников. Стоит пчеле задеть головкой цветок, как «столбик» рассыпается, осыпая насекомое облаком пыльцы. Данные о возможности самоопыления противоречивы. Анемохор.

Облигатный микотроф, микосимбионт относится к роду *Rhizoctonia*. С возрастом в корнях растения грибов становится меньше, а иногда корни полностью свободны от них. Для вида характерна слабая конкурентная способность [5, 8].

Вид приурочен к лесам нижнего и среднего горно-лесных поясов: тенистым и светлым сухим лиственным (буковые, дубово-грабовые, дубовые, грабовые) и хвойным лесам, ближе к «окнам» и опушкам, полянам, кустарникам, склонам ущелий, северным и восточным склонам. Оптимальные условия находит в умеренно освещенных буковых лесах. В горы поднимается до 1200 м над ур. м.

*Cephalanthera longifolia* – панбореальный вид [11] с дизъюнктивным ареалом и сокращающейся численностью. Занесен в Красную книгу РФ с категорией статуса редкости 3 «Редкие» [12], Красную книгу Краснодарского

края – с категорией 3 «Уязвимые» [13]. Вид включен в Красные книги Республики Крым, республик и краев Северного Кавказа (Чеченской Республики, Дагестана, Карачаево-Черкесской Республики, Ростовской обл., Ставропольского края, Северной Осетии-Алании) [13]. Согласно критериям Красного списка МСОП региональная популяция отнесена к категории редкости «Находящиеся в состоянии, близком к угрожаемому» – Near Threatened, NT [14]. Вид включен в список СИТЕС [15].

На территории Республики Адыгея для вида известны следующие местообитания: окрестности г. Майкоп, п. Гузерипль, КГПБЗ, водораздел Полковницкая – Семияблонева [14].

Анализ гербарного материала АГУ (МАУ) показал семь находок вида, сделанных в период с 1996 г. по 2016 г., территориально удаленных друг от друга: от окр. г. Майкоп до субальпийских лугов на охраняемых территориях (плато Лагонаки и подножие г. Оштен). База данных гербария КГПБЗ (CSR) включает только одну находку вида 2004 г. на водоразделе рек Полковницкая – Семияблонева. Причем, все указанные местонахождения находятся в пределах ранее известного ареала вида.

Наши исследования позволили подтвердить некоторые известные местонахождения вида на территории республики: хр. Азиш-Тау, окрестности г. Майкоп, зеленая зона, высота 289 м над ур. м., координаты: 44°35'19" с.ш., 40°06'29" в.д.; Майкопский район, КГПБЗ, КПП «Гузерипль», высота 714 м над ур. м., координаты: 43°59'44" с.ш., 40°08'04" в.д. Нами также обнаружены новые местонахождения вида в пределах Майкопского района: хребет Азиш-Тау, окр. пос. Садовый, 312 над ур. м., координаты: 44°33'11" с.ш., 40°06'57" в.д.; хребет Уна-Коз, окрестности пос. Тульский, правый берег реки Белая, высота 266 м над ур. м., координаты: 44°29'21" с.ш., 40°10'52" в.д.; граница Республики Адыгея и Апшеронского района Краснодарского края, высота 425 м над ур. м., координаты: 44°29'17" с.ш., 39°53'16" в.д.

В условиях РА вид отмечен в пойменных, дубово-грабовых, грабово-каштановых, грабинниковых, можжевельниковых, сосновых лесах, пихтарниках нижнего и среднего горного поясов; на осыпях, опушках, лесных полянах, галечниках старых русел рек, в кустарниках (до высоты 1100 м над ур. м.).

Выявленные в ходе наших исследований популяции вида отмечены на высотах от 289 до 714 м над ур. м. в дубово-грабовых и буково-пихтовых лесных фитоценозах, а также на злаково-разнотравных лугах.

Наиболее многочисленная популяция *Cephalanthera longifolia* описана на северо-западном склоне хребта Азиш-Тау в окр. пос. Садовый в дубово-грабовом лесу. В популяции насчитано более 60 случайно размещенных особей, из которых 50% приходится на генеративные растения. Популяция может быть отнесена к нормальной и полночленной, а в её составе обнаружены растения с особым характером расположения листьев – в одной плоскости (рисунок 2).



Рис. 2. *Cephalanthera longifolia* с листьями, расположенными в одной плоскости

Большинство остальных выявленных популяций вида представлено небольшим числом особей. Так, популяция, произрастающая на территории КГПБЗ, занимает площадь около 120 м<sup>2</sup>, насчитывает 15 особей (j1:im2:v4:g8), размещенных под пологом смешанного леса. Распределение особей – случайное, неравномерное. Онтогенетический спектр правосторонний. Несмотря на малочисленность, эту популяцию можно охарактеризовать как нормальную, полночленную, с преобладанием генеративных растений (53,3 %) и способную к самоподдержанию. В остальных местонахождениях вид представлен небольшим числом особей разного онтогенетического возраста рассеянно размещенных под пологом древостоя или на луговом участке (окр. пос. Тульский). Популяция в окрестностях г. Майкоп включает около 20 особей, из них семь – генеративные, а в окр. ст. Тульская – всего две особи, что можно объяснить высокой антропогенной нагрузкой на территории. Зеленая зона города испытывает высокие рекреационные нагрузки, а второе местонахождение подвержено вытаптыванию мелким рогатым скотом.

Во всех обнаруженных, сильно изолированных друг от друга и немногочисленных местонахождениях вида, численность и плотность популяций низкие, что можно объяснить, как биологическими особенностями



(природная редкость, слабая конкурентная способность), так и влиянием разных форм антропогенной деятельности (рекреация, вытаптывание, рубка леса, сбор цветущих растений, выкапывание корневищ, пастьба скота), приводящих к изменению экологических факторов.

Изучение *Cephalanthera longifolia* – высокодекоративного и лекарственного редкого растения со сложной биологией развития, имеет научное и практическое значение. Изменение условий обитания вида под влиянием деятельности человека ставят под угрозу возможность его сохранения на территории республики. Следует продолжить работы по выявлению новых местонахождений вида, проведению мониторинговых и популяционных исследований и контролю за состоянием популяций. Необходима организация микрозаказника в окрестностях пос. Садовый и введение растения в культуру (например, на территории ботанического сада АГУ).

### Список литературы

1. Красная книга Республики Адыгея. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения объекты животного и растительного мира: в 2 ч. Издание второе. Ч. 1. Введение. Растения и грибы / гл. ред. Э.А. Сиротюк (Куваева). Майкоп: Качество, 2012. 340 с.
2. Работнов Т.А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Тр. Бот. ин-та АН СССР. Сер. III (Геоботаника). 1950. Вып. 6. С. 7-204.
3. Уранов А.А. Онтогенез и возрастной состав популяций / Онтогенез и возрастной состав популяций цветковых растений. М.: Наука, 1967. С. 3-8.
4. Денисова Л.В., Никитина С.В., Заугольнова Л.Б. Программа и методика наблюдений за ценопопуляциями видов растений Красной книги СССР. М.: Госагропром, 1986. 34 с.
5. Савчук С.С., Лебедько В.Н. *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch – новый вид для флоры биосферного резервата «Прибужское Полесье» / Охрана и культивирование орхидей: Материалы X международной научно-практической конференции. Минск, 2015. С. 214-217.
6. Зернов А.С. Флора Северо-Западного Кавказа. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2006. 664 с.
7. Вахрамеева М.Г., Варлыгина Т.И., Куликов П.В. Пыльцеголовник длиннолистный // Биол. флора Моск. обл. 1996. Вып. 12. С. 48-59.
8. Перебора Е.А. Экология орхидных Северо-Западного Кавказа: монография. Краснодар: КубГАУ, 2011. 441 с.
9. Невский С.А. Сем. Ятрышниковые – Orchidaceae // Флора СССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1935. Т. 4. С. 589-730.
10. Смольянинова Л.А. Сем. Orchidaceae Juss. // Флора Европейской части СССР. М.; Л., 1976. Т. 2. С. 10-59.
11. Иванов А.Л. Пыльцеголовник длиннолистный – *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch // Красная книга Ставропольского края. Т. 1. Ставрополь: Изд-во «ИП Андреев И.В.», 2013. С. 256.
12. Аверьянов Л.В. Пыльцеголовник длиннолистный – *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch // Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2008. С. 359-360.
13. Литвинская С.А., Перебора Е.А. Пыльцеголовник длиннолистный – *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch // Красная книга Краснодарского края. Растения и грибы. III издание / Отв. ред. С.А. Литвинская. – Краснодар: Адм. Краснодар. края, 2017. С. 496-497.

14. Шадже А.Е. Пыльцеголовник длиннолистный – *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch // Красная книга Республики Адыгея. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения объекты животного и растительного мира: в 2 ч. Издание второе. Ч. 1. Введение. Растения и грибы / гл. ред. Э.А. Сиротюк (Куваева). Майкоп: Качество, 2012. С. 182.

15. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES, Appendix II). 2017. // [www.cites.org/](http://www.cites.org/).

# ОПТИМИЗАЦИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ВЕТРОДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЛЯ ЗАМЕЩЕНИЯ ТОПЛИВА ЭНЕРГИЕЙ ВЕТРА

<sup>1</sup> В.П. Шакун, <sup>1</sup> С.В. Киселева, <sup>2</sup> А.Б. Тарасенко, <sup>1</sup> В.В. Тебуев

*k\_sophia\_v@mail.ru*

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,*

*Россия, г. Москва*

<sup>2</sup> *Объединенный институт высоких температур РАН, Россия, г. Москва*

## **Введение**

### **Зарубежный опыт применения накопителей в ветровой энергетике**

Использование различных типов накопителей в распределенной и возобновляемой энергетике является актуальным направлением исследований. Так, согласно [1], роль накопителей энергии в ветроэнергетических системах, соединенных с сетью, достаточно широка: сглаживание флуктуаций, регулирование частоты и мощности, стабилизация режима работы систем при отказе отдельных узлов или ветроэлектрогенератора в целом. Аккумуляторные батареи и суперконденсаторы (СК) обычно включаются в звено постоянного тока ветроэлектрогенератора параллельно конденсаторной батарее. При использовании аккумуляторных батарей это осуществляется обычно с использованием согласующего DC/DC преобразователя, суперконденсаторы подключаются к звену постоянного тока напрямую. СК используются также для питания механизмов управления параметрами установки (управление углом атаки лопастей).

В [2] рассмотрены ниши накопителей в современных крупных ветроэнергетических станциях (например, в Европейском Союзе), для которых ужесточаются требования со стороны сетевых компаний при подключении новых ветровых электростанций к сетям. Увеличение присоединенных мощностей ветроэлектрогенераторов в странах ЕС уже приводит к нестабильной работе сетей и авариям. В качестве мер по нивелированию этих ситуаций называются повышение быстродействия силовой и управляющей электроники для снижения влияния инерции ветроколеса, а также создание резерва активной мощности, что приводит к потере до 10% доступной для продажи энергии. Эти требования со стороны сетевых операторов позволяют выработать критерии оценки экономической эффективности применения накопителей энергии, а также получить исходные данные для проектирования таких накопителей.

Важным вопросом является выбор методов реагирования на введение требований к операторам ветропарков сохранять рабочие параметры станции во время сбоя в сети (короткие замыкания, набросы мощности) в целях скорейшего восстановления [3]. Большинство существующих стратегий работы ветропарков во время сбоя связано с их отключением от сети на время сбоя. В то же время при большой доле ветровой генерации в энергетической системе такой подход приводит к лавинообразному развитию аварийной

ситуации – отключение от сети ближайших к месту аварии ветропарков по резкому изменению частоты или напряжения в сети приводит к срабатыванию защитных устройств на других объектах ветровой генерации. Альтернативные подходы подразумевают:

- частичное или полное переключение ветроэлектродгенераторов на нагрузочный балластный резистор [4];
- использование сетевого инвертора, изменяющего отбираемую от ветропарка мощность при изменениях частоты сети [5].

Другим традиционным методом управления мощностью является изменение угла атаки лопастей ветроэлектродгенератора.

Опасность таких подходов заключается в том, что вбрасываемая ветроэлектродгенератором в аварийную сеть мощность может не позволить контрольным приборам обнаружить раннюю стадию развития аварии или вовсе не обнаружить событий с малой амплитудой. Также следует иметь в виду, что ветроэлектродгенератор является источником сильно переменной мощности, и большое количество таких источников при одновременном изменении мощности само может стать источником флуктуаций, влияющих на стабильную работу сети.

В [3] предложен алгоритм, позволяющий эффективно использовать суперконденсаторную батарею в таких случаях. При выходе частоты и/или напряжения сети за установленные местными нормами границы система контроля и управления отключает ветроэлектродгенератор от сети. Наличие суперконденсаторного накопителя позволяет не останавливать ветроэлектродгенератор и не изменять его рабочих параметров, а после восстановления сети использовать запасенную в нем энергию для сглаживания флуктуаций. В этой связи следует отметить, что для российских сетей характерное время восстановления после сбоя (например, падение воспламеняемых предметов на провода воздушной линии с последующим ее выгоранием) составляет 5-10 секунд – это время между срабатыванием аварийной коммутирующей аппаратуры и ее последующим повторным подключением.

В [6] предложено применение индукционных генераторов с двойным питанием вместе с СК и системой динамического восстановления напряжения в автономных ветроэнергетических системах. Данный тип генераторов весьма популярен при комплектовании ветроустановок различной мощности и назначения, прежде всего, из-за возможности работы с переменной скоростью вращения ветроколеса, что обеспечивает контроль частоты и напряжения в системе независимо от оборотов вала. В то же время контроллеры таких генераторов малоустойчивы к токам короткого замыкания и просадкам напряжения в системе со стороны нагрузки. Наличие накопителя в виде суперконденсаторной батареи позволяет защитить контроллер и генератор от токов короткого замыкания и обеспечить более стабильную работу всей изолированной энергосистемы.

Широкое использование ветроэлектродгенераторов в европейских энергетических сетях обнаруживает также проблему реактивной мощности. С

одной стороны, индукционные генераторы с переменной скоростью вращения, обеспечивающие более широкие возможности по управлению мощностью и использованию энергии ветра, находят все большее применение в ветроэлектростанциях, с другой, для возбуждения обмоток им требуется реактивная мощность, которую также необходимо компенсировать. В [7] предложено использовать дополнительно к традиционным статическими компенсаторами, широко применяемым для компенсации реактивной мощности, СК. Результаты физического и математического моделирования показали, что суперконденсатор существенно повышает возможности статического компенсатора как по сглаживанию активной мощности, так и обеспечению реактивной составляющей для возбуждения обмоток асинхронного генератора.

### **Обоснование оптимального состава и основных параметров гибридного накопителя в составе автономной ветроэнергетической установки**

Для России, в связи с малыми масштабами сетевой ветроэнергетики, на сегодняшний день более актуальным является задача оптимизации использования накопителей в автономных энергоустановках и системах. Нами была поставлена задача разработки алгоритма обоснования оптимального состава и основных параметров (энергоёмкость, напряжение) гибридного накопителя электрической энергии в составе ветроэнергетической системы. Гибридный накопитель электрической энергии призван компенсировать разницу между выработкой ветроэлектродвигателя и нагрузкой потребителя. Поэтому на первом шаге обоснования оптимального состава накопителя следует определить эту разницу в каждый момент времени за весь период расчета в единицах мощности:  $P_{st}(t) = P_w(t) - P_l(t)$ , где  $P_w(t)$  – рассчитанная на основе данных о ветровом режиме местности и технических характеристик ВЭУ текущая мощность ветроэлектродвигателя,  $P_l(t)$  – текущая мощность потребителя. Стабильная работа системы энергоснабжения возможна при условии равенства нулю этой разницы. Поэтому необходимо проанализировать отклонения  $P_{st}(t)$  от нуля, как в положительную, так и отрицательную сторону. В результате формируется массив данных из трех величин: пиковой мощности отклонения, ее длительности и содержащейся в каждом отклонении мощности энергии. Далее определяется повторяемость отклонений мощности и их длительности за период расчета.

Выполненные нами ранее исследования показали, что применение СК при текущих ценах на компоненты целесообразно при длительности его использования как источника энергии до 1 минуты [8]. Следовательно, из всех обнаруженных отклонений мощности ветрогенератора от мощности нагрузки необходимо выбрать длящиеся до 1 минуты. Среди них определить мощность с наибольшей повторяемостью. Тогда состав и параметры суперконденсаторной батареи выбираются в соответствии со следующими принципами:

– Напряжение батареи должно допускать ее прямой заряд от ветроэлектродвигателя без дополнительных преобразователей (возможно – с

ограничением тока), чтобы снизить капитальные затраты на создание гибридного накопителя. То есть напряжение заряда последовательно соединенных СК должно быть не менее максимально возможного напряжения на выходе ветроэлектродгенератора.

– Энергоемкость параллельно соединенных суперконденсаторов должна обеспечивать покрытие наиболее характерного пика разности мощностей нагрузки и ветроэлектродгенератора. При этом следует иметь в виду, что оптимальная энергоотдача СК обеспечивается в диапазоне напряжений от  $U_{\max}$  до  $U_{\max}/2$  (максимальное напряжение суперконденсатора).

– Энергоемкость параллельно соединенных СК должна обеспечивать принятие (отдачу) максимального тока, соответствующего пику разности мощностей нагрузки и ветроэлектродгенератора.

После определения состава и характеристик батареи суперконденсаторов в составе гибридного накопителя выбирается отклонение между выработкой ветроэлектродгенератора и нагрузкой потребителя с максимальной повторяемостью и длительностью от 1 мин. до 8 часов. Такие отклонения целесообразно компенсировать аккумуляторной батареей. Для защиты аккумуляторной батареи от глубокого разряда и перезаряда используется согласующий преобразователь. Поэтому важно выбирать напряжение аккумуляторной батареи максимально близким к выходному напряжению ветроэлектродгенератора. В этом случае КПД преобразования будет максимальным, а повышение напряжения батареи будет способствовать снижению потерь при передаче энергии и стоимости соединительных шин. Состав и параметры аккумуляторной батареи выбираются в соответствии со следующими принципами:

– Напряжение батареи должно соответствовать требованиям к этому параметру со стороны низкого напряжения преобразователя.

– Мощность преобразователя должна обеспечивать трансляцию максимальной мощности в рассматриваемом пике.

– Энергоемкость параллельно соединенных аккумуляторов должна обеспечивать покрытие наиболее характерного пика разности мощностей нагрузки и ветроэлектродгенератора. При этом следует иметь в виду, что номинальная емкость параллельно соединенных аккумуляторов должна выбираться с учетом рекомендованной производителем глубины их разряда.

– Энергоемкость параллельно соединенных аккумуляторов должна обеспечивать принятие (отдачу) максимального тока, соответствующего пику разности мощностей нагрузки и ветроэлектродгенератора. При этом следует руководствоваться рекомендациями производителя аккумуляторов в части предельного тока заряда и разряда, обычно выраженного в единицах емкости (то есть для свинцово-кислотного аккумулятора энергоемкостью 70 Ач рекомендованный ток разряда может быть не более 0,1 С то есть не более 7 А).

– Если требуется увеличение энергоемкости аккумуляторной батареи из-за невозможности удовлетворить требованию по предельным токам, то разницу по мощности между величиной пика и величиной, безопасно покрываемой аккумуляторной батареей с ее предельными токами,

целесообразно компенсировать увеличением энергоемкости суперконденсаторной батареи.

Таким образом, ключевыми факторами выбора состава гибридного накопителя для автономной ветровой станции являются режим ветра и график нагрузки потребителя, определяющие повторяемость и длительность отклонений потребляемой мощности от мощности ветроэлектрогенератора. Состав и характеристики батареи накопителей и согласующих преобразователей определяются также: 1) соотношением рабочего напряжения ветрогенератора, накопителей и нагрузки; 2) допустимой глубиной разряда аккумуляторной батареи; 3) энергоемкостью накопителей и допустимыми токами заряда-разряда.

На основе предложенного алгоритма были проведены укрупненные технико-экономические оценки использования накопителей электрической энергии в составе ветродизельных комплексов. Ветродизельные комплексы рассматриваются как в России, так и за рубежом, как эффективное средство энергоснабжения удаленных территорий с высоким ветровым потенциалом и затрудненной доставкой органического топлива. Для ветроэлектрогенератора, как первичного источника энергии в таком комплексе, характерны резкие изменения мощности, соответствующие изменениям скорости ветра. В этом случае для обеспечения бесперебойного энергопитания потребителя возникает необходимость наличия в системе буферного накопителя, способного обеспечить выдачу энергии в период выхода дизельгенератора на режим. Мощность потребителя в данном расчете взята равной 50 кВт, а время запуска и выхода дизель-генератора на режим представляет собой переменную величину, в диапазоне от 15 до 180 сек., так как данный параметр существенно зависит от типа двигателя и особенностей его системы управления. Первый случай соответствует современным установкам систем бесперебойного питания, второй – тепловозным дизелям устаревших конструкций. Требуемая энергоемкость накопителя ( $W_{cap}$ ) рассчитывалась для каждого значения времени запуска, исходя из мощности потребителя в 50 кВт, напряжение в звене постоянного тока принято равным 750 В, характерным для крупных ветроэлектрогенераторов. Далее расчет параметров накопителя (количество параллельно и последовательно соединенных элементов) велся с учетом того, что для ветродизельного комплекса характерны более частые срабатывания накопителя в силу стохастического изменения скорости ветра во времени. Поэтому срок службы накопителя определялся через предполагаемое количество его срабатываний за год (что определяется ветровым режимом территории). Полученная зависимость стоимости владения накопителями различного типа от характерного времени переходного процесса в дизель-генераторе представлена на рисунке 1.

Технико-экономические параметры рассмотренных аккумуляторов и СК представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Некоторые параметры накопителей электрической энергии, рассматриваемых в качестве комплектующих ветродизельных комплексов

Наименование и марка	Технология	Емкость ед. элемента, Ач	Рабочее напряжение, В	Предельный рабочий ток, С	Стоимость в РФ с доставкой, руб.	Удельная стоимость, долл./Втч	Допустимая глубина разряда	Срок службы, лет	Циклический ресурс при допустимой глубине разряда, циклов	Источник данных, дата
Sinopoly SP LFP 40-AHA	LFP, литий-железофосфатный	40	3,2	3	15489	0,93 (0,49 – за рубежом)	80	8	2000	28.07.2016, Alexpress (цена), Sinopoly.ru
EnerSys VRLA 40 Ah	AGM, свинцово-кислотный	40	12	10		0,3	50	3	500	10.07.2016, переговоры с ЗАО «БПЦ»
Kokam 70 Ah	LCO, литий-кобальтатный	70	3,7	5	54867	3,3	80	10	4000	28.07.2016 ООО «Альфа-Плюс»
XALT Energy HP 40	NMC, литированные смешанные оксиды	40	3,7	17,6		3,5	80	10	8000	28.07.2016 г. XaltEnergy (официальный сайт)
TEEMP 3000 F	SC, отечественный суперконденсатор с органическим электролитом	1,1	2,7	680		25	100	10	100000	Собственные оценки ООО «ГЭЭМП»
KGL 160P,	NiCd, никель-кадмий	160	1,2	6	4500	0,36	100	3	600?	ЗАИГ-СПб
Tiankang	LTO, Литированный нанотитанат	16	2,4	5		4,5	90	12	10000	25.06.2013 ООО «Альфа-Плюс»
LSMtron 16 V 500 F	Суперконденсатор с органическим электролитом	1,3	12	1692	37500	45,4	100	10	1000000	Фактическая закупка модуля у российского дистрибьютора



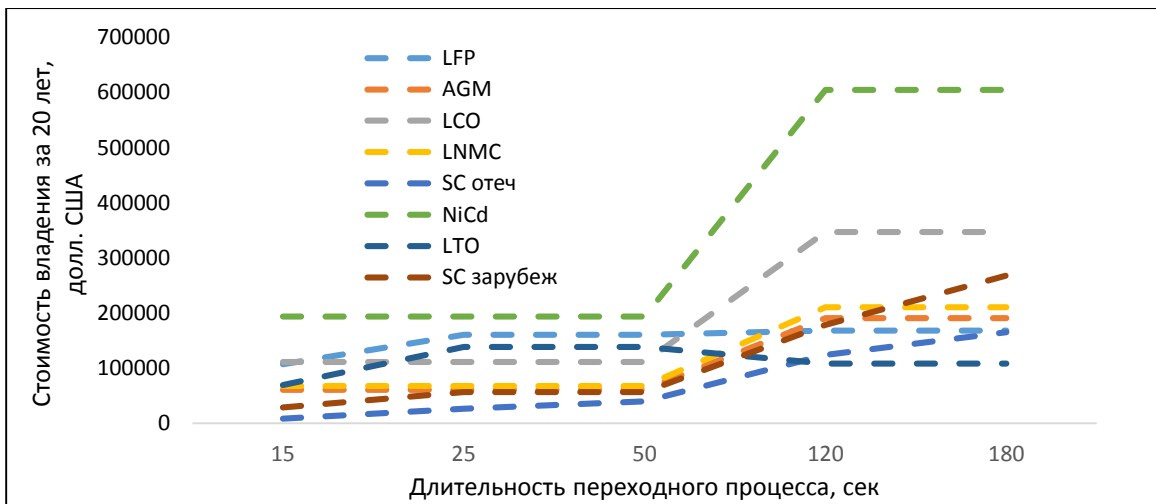


Рис. 1. Расчетная зависимость стоимости владения накопителем от характерного времени переходного процесса в дизель-генераторе для поддерживаемой мощности 50 кВт и 150 циклах использования накопителя в год

Видно, что суперконденсаторный накопитель конкурентоспособен только при малых длительностях переходного процесса (примерно до 20-60 сек.), и единственным используемым преимуществом СК-накопителя является способность выдерживать большие токи при ограниченной емкости. Другим достоинством суперконденсаторного накопителя является высокий циклический ресурс.

Вариации количества срабатываний для накопителей на основе СК и свинцово-кислотных аккумуляторов (как основного конкурента с точки зрения технико-экономических характеристик) показали, что рост числа циклов снижает конкурентоспособность накопителя на основе свинцово-кислотных аккумуляторов даже при большой длительности переходного процесса, в то время как для СК стоимость владения при этом изменяется незначительно за счет более высоких ресурсных характеристик.

### Заключение

Таким образом, проеденный укрупненный технико-экономический анализ различных накопителей (аккумуляторы различных типов, в том числе, свинцово-кислотные, и суперконденсатор) в составе буферного накопителя ветро-дизельного комплекса, способного обеспечить выдачу энергии в период остановки ветрогенератора и выхода дизель-генератора на режим показал, что в данной нише применения СК уступают только свинцово-кислотным аккумуляторам. По сравнению со свинцово-кислотными аккумуляторами в качестве буферного накопителя в составе ветро-дизельных установок суперконденсаторный накопитель конкурентоспособен только при малых длительностях переходного процесса (примерно до 20-60сек.). Единственным используемым преимуществом суперконденсаторного накопителя является способность выдерживать большие токи при ограниченной емкости.

### Список литературы

1. O.P. Mahela, A.G. Shaik Comprehensive overview of grid interfaced wind energy generation systems// Renewable and Sustainable Energy Reviews 2016. Vol. 57. p. 260–281.

2. F. Díaz-González et al. Coordinated operation of wind turbines and fly wheel storage for primary frequency controls up port // *Electrical Power and Energy Systems*. 2015. Vol. 68. p. 313–326.
3. S.I. Gkavanoudis, Ch.S. Demoulias A combined fault ride-through and power smoothing control method for full-converter wind turbines employing Supercapacitor Energy Storage System// *Electric Power Systems Research*. 2014. Vol. 106. p. 62–72.
4. A. Mullane, G. Lightbody, R. Yacamini Wind-turbine fault ride-through enhancement [Текст]// *IEEE Transactions on Power Systems*. 2005. Vol. 20. № 4. p. 1929–1937.
5. S.M. Mueeen et al. A variable speed wind turbine control strategy to meet wind farm grid code requirements//*IEEE Transactions on Power Systems*. 2010. Vol. 25. p. 331–340.
6. S.I. Gkavanoudis, Ch.S. Demoulias Fault ride-through capability of a DFIG in isolated grids employing DVR and supercapacitor energy storage// *Electrical Power and Energy Systems*. 2015. Vol. 68. p. 356–363.
7. F. Bensmaine et al. LMI approach of state-feedback controller design for a STATCOM-supercapacitors energy storage system associated with a wind generation// *Energy Conversion and Management*. 2015. Vol. 96. p. 463–472.
8. С.В. Киселева, А.Б. Тарасенко О некоторых нишевых применениях суперконденсаторов в распределенной и возобновляемой энергетике// *Альтернативная энергетика и экология*. 2017. № 7. С. 90-104.

# АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВЕННОГО РЕЖИМА КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ

<sup>1</sup> О.П. Шевякова, <sup>1,2</sup> С.А. Лебедев

*schev-olga@yandex.ru, sergey\_a\_lebedev@mail.ru*

<sup>1</sup> *Майкопский государственный технологический университет,*

*Россия, г. Майкоп*

<sup>2</sup> *Геофизический центр РАН, Россия, г. Москва*

**Аннотация.** Краснодарское водохранилище является крупнейшим на Северном Кавказе водохозяйственным объектом комплексного назначения. Одним из вопросов его безопасности является анализ уровня режима для контроля его нормального подпорного уровня и уровня мёртвого объёма. Для исследования уровня режима водохранилища использовались данные альтиметрических измерений спутников Jason-1/2/3, обработка которых проводилась по алгоритму регионального адаптивного ретрекинга. Расчеты показали, что межгодовая изменчивость уровня водохранилища за период с 2002 по 2018 гг. составили  $+1,5 \pm 0,02$  мм/г, а разница между максимальным и минимальным значением составила 6,41 м. Оба показателя соответствуют режиму безопасной эксплуатации водохранилища.

**Ключевые слова.** Спутниковая альтиметрия, Краснодарское водохранилище, региональный адаптивный ретрекинг.

## Введение

Спутниковая альтиметрия – один из важнейших активных методов мониторинга уровня Мирового океана, позволяющий также проводить оценку ряда сопутствующих гидрометеорологических параметров пограничных слоев атмосферы и океана: высоты поверхностных волн, скорости приводного ветра, отражающих свойств прилегающей поверхности и т.п. Метод спутниковой альтиметрии изначально разрабатывался применительно к условиям открытого моря на расстояниях от берегов не менее 20 км [1–5], где он обеспечивает заявленную точность измерений.

В последние годы данные спутниковой альтиметрии стали активно использовать для мониторинга прибрежной зоны, внутренних водоемов (озер, рек, водохранилищ) и поверхности суши [6–9].

В настоящее время имеется опыт успешного применения таких измерений для определения топографии ледового щита Гренландии и Антарктиды, шероховатости и толщины снежного покрова [10, 11], а также предлагаются различные методы мониторинга внутренних водоемов: крупных озер, водохранилищ, затопленных территорий, крупных рек [12–15]. Как показали исследования последних лет, спутниковая альтиметрия дает измерение высоты водной поверхности с точностью до нескольких десятков сантиметров не только для озер, но также и для больших рек типа Амазонки [16, 17] и других рек Южной Америки: Парана, Парагвай и Уругвай [18, 19], а также рек Сибири [20]. Также были проведены исследования гидрологического

режима в низовьях Волги в период с января 1992 г. по декабрь 2003 г. с использованием спутниковой альтиметрии, которые показали хорошее согласие с данными наблюдений на гидропостах [21].

Краснодарское водохранилище – крупнейшее на Северном Кавказе, построено в 1973 году и является водохозяйственным объектом федеральной собственности комплексного назначения (противоаводковое, питьевое, рекреационное, для улучшения судоходства и опреснение лиманов, рыбозаведения, орошения). За время существования водохранилище предотвратило более 10 крупнейших наводнений, защитив от затопления более 600 тыс. га земель с проживающим в этом регионе полумиллионным населением. Однако длительная эксплуатация Краснодарского водохранилища негативно отразилась на прилегающих к нему землях Республики Адыгея.

Для независимого мониторинга уровня режима Краснодарского водохранилища целесообразно использовать данные дистанционного зондирования – в частности данные спутниковой альтиметрии. Измерения высоты водной поверхности спутниковым альтиметром производятся относительно центра масс Земли, что позволяет исключить вертикальное движение земной коры из межгодового хода изменения уровня. Они не зависят от погоды и проводятся по акватории всего моря. Пространственно-временные масштабы данных спутниковой альтиметрии позволяют исследовать сезонную и многолетнюю изменчивость уровня Краснодарского водохранилища с высокой точностью.

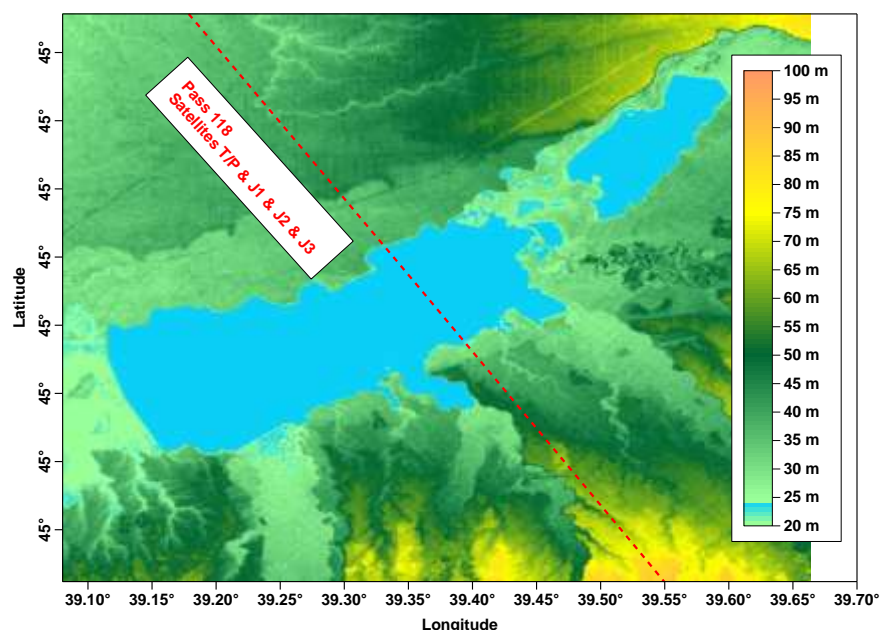


Рис. 1. Цифровая модель рельефа территорий, прилегающих к Краснодарскому водохранилищу. Положение 118 трека спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1/2/3 выделено красной пунктирной линией.

Для исследования изменчивости уровня Краснодарского водохранилища подходят только данные альтиметрических измерений вдоль 118 трека спутников и Jason-1/2/3 (рис. 1).

### **Цифровая модель территории, прилегающей к Краснодарскому водохранилищу**

Для построения кусочно-постоянной модели подстилающей поверхности, которая необходима для обработки данных спутниковой

альтиметрией алгоритмом регионального адаптивного ретрекинга, требуются данные о положении береговой линии (горизонтальная составляющая часть модели) и высоте берегов (вертикальная составляющая часть модели). Для этого необходима цифровая модель рельефа (ЦМР), территорий, прилегающих к Краснодарскому водохранилищу.

Для формирования таковой модели ЦМР был выбран квадрант по долготе  $39^{\circ}04'49'' - 39^{\circ}39'48''$  с.ш. и по широте  $44^{\circ}48'43'' - 45^{\circ}13'42''$  в.д. В качестве исходной цифровой модели рельефа использовались данные, полученные в результате радарной топографической съемки SRTM (Shuttle radar topographic mission) с детальностью до 30 м (Рис. 1). В исходных данных зеркало водохранилища представлено высотой 24 м.

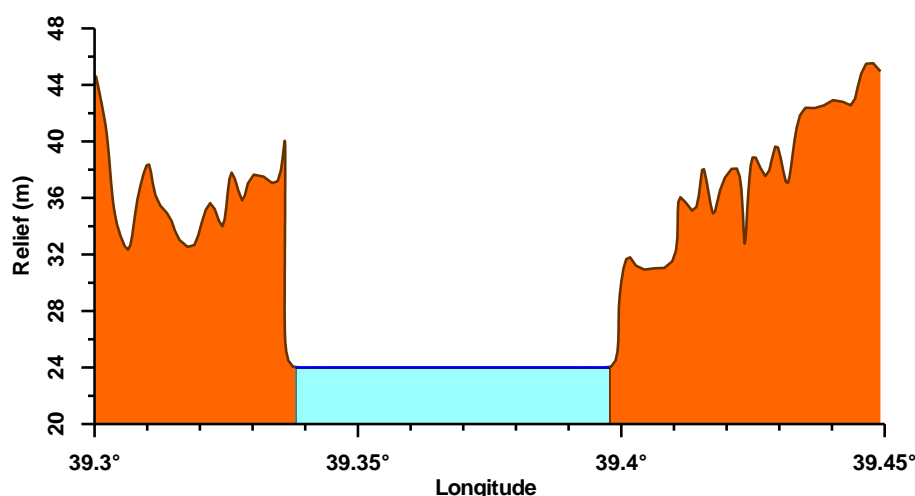


Рис. 2.  
Цифровая модель рельефа вдоль 118 трека спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1/2/3. Положение зеркала Краснодарского водохранилища (24 м) выделено синей линией.

Изменчивость рельефа вдоль 118 трека спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1/2/3 представлена на рисунке 2. Высота береговой линии западной части побережья составляет 37,6 м, а восточной – 30,7 м. Расстояние между берегами составило 6060 м.

### **Кусочно-постоянная модель подстилающей поверхности для Краснодарского водохранилища и его окрестностей**

Первым шагом при создании алгоритма ретрекинга является создание упрощенной кусочно-постоянной модели подстилающей поверхности, на основе которой будут производиться расчет теоретических форм, отраженных от нее импульсов.

Горизонтальная составляющая часть модели подстилающей поверхности представлена на рисунках 3а–3б, а вертикальная – на рисунке 3в, где различной заливкой выделены вода и суша.

### **Метод регионального адаптивного ретрекинга**

В данной работе используется алгоритм регионального адаптивного ретрекинга [22, 23], основанный на построении теоретической модели, описывающей формирование телеметрического импульса за счет отражения от кусочно-постоянной модельной поверхности (рис. 3), отражающей географические особенности рассматриваемого региона. На ее основе формулируются критерии отбора телеметрических импульсов и обосновывается применимость порогового и улучшенного порогового

алгоритмов ретрекинга для определения параметров подстилающей поверхности во внутреннем водоеме.

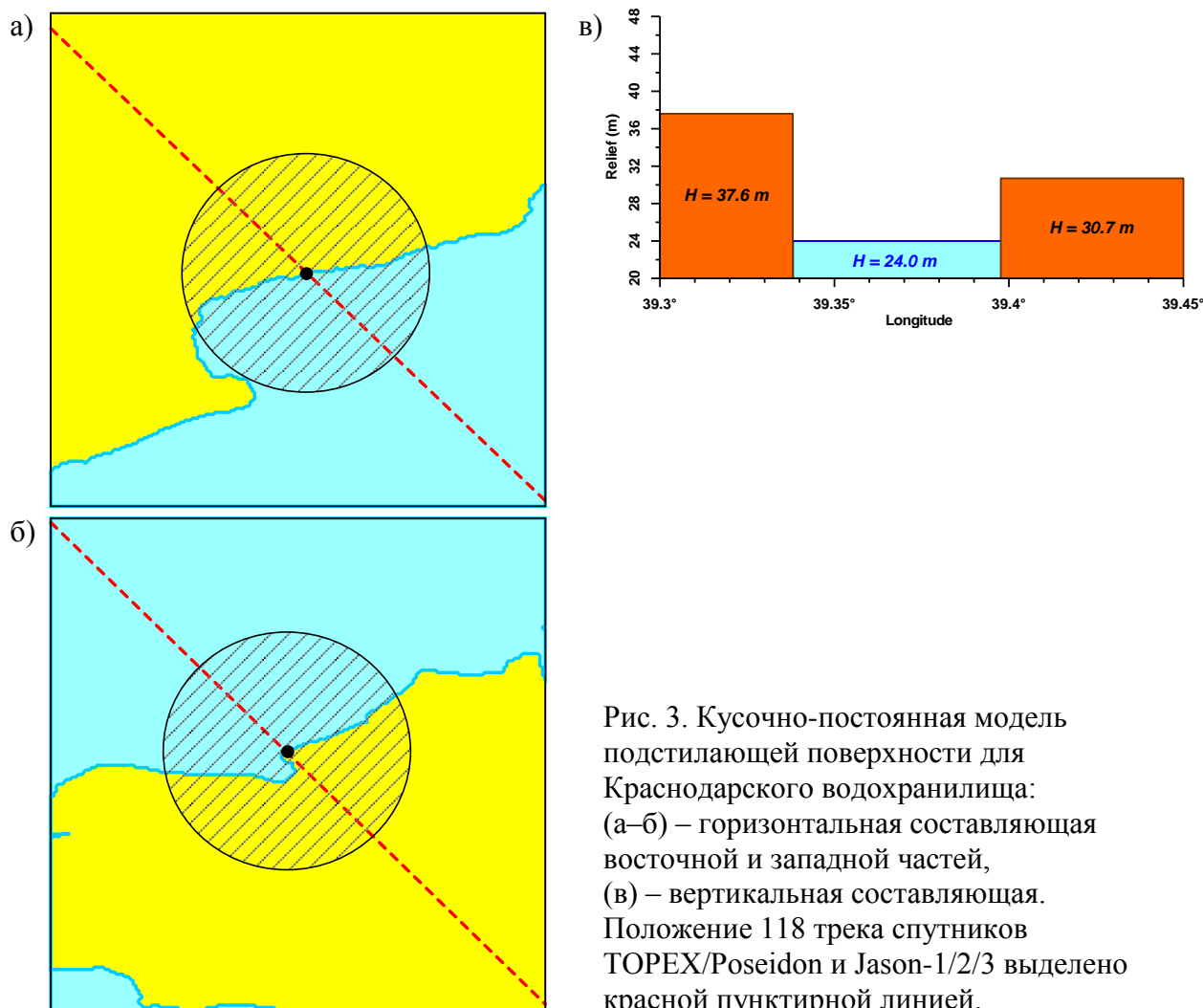


Рис. 3. Кусочно-постоянная модель подстилающей поверхности для Краснодарского водохранилища: (а–б) – горизонтальная составляющая восточной и западной частей, (в) – вертикальная составляющая. Положение 118 трека спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1/2/3 выделено красной пунктирной линией.

Пусть засвеченная (отражающая) поверхность представляет собой совокупность нескольких различных по высоте и отражающим свойствам частей (например, вода, болото, суша и т. п.) – они обозначены различной заливкой на рисунке 3а–3б. Предположим, что ось антенны альтиметра направлена строго в надир ( $\xi = 0$ ). В рамках принятых модельных выражений для параметров поверхности и антенны и после перехода при интегрировании по засвеченной поверхности к полярным координатам форма отраженного импульса принимает вид:

$$P_i(\tau) = \frac{P_0}{\sqrt{2\pi h^4}} \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} \frac{\sigma^{(0)}(\rho, \varphi)}{s(\rho, \varphi)} e^{-\left(\frac{4}{\gamma} + \alpha(\rho, \varphi)\right) \frac{\rho^2}{h^2}} \times \exp\left\{-\frac{(c\tau - 2H(\rho, \varphi) - \rho^2/h)^2}{8s^2(\rho, \varphi)}\right\} \rho d\rho d\varphi.$$

В случае неоднородной поверхности параметры в этой формуле являются функциями координат. Однако для кусочно-постоянной модели (изображенной на рис. 3) эти параметры постоянны в пределах каждой части поверхности, и интегрирование по каждой отдельной части дает

$$P_k(\tau) = \frac{P_0 \sigma_k^{(0)}}{4\pi h^4} e^{-\left(\frac{4}{\gamma} + \alpha_k\right) \frac{(c\tau - 2H_k)}{h}} \left( 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{(c\tau - 2H_k)}{2\sqrt{2}\sqrt{s_k^2 + c^2\tau_i^2}} \right) \right) \times \Delta\varphi_k \left( x_N, y_N, \sqrt{h(c\tau - 2H_k)} \right),$$

где параметры подробно описаны в работе [22].

Отраженная мощность, принимаемая антенной альтиметра, представляет собой сумму вкладов в отражение от воды и суши, описываемых формулой:

$$P(\tau) = P_{water}(\tau) + P_{land}(\tau)$$

Анализ теоретической формы отраженных импульсов позволил нам сформулировать критерии отбора: для определения уровня воды следует брать импульсы из части Краснодарского водохранилища, соответствующей 39,34–39,39° в. д., поскольку только в этой области можно надежно выделить сигнал, отраженный от воды. Кроме того, многолетние наблюдения на гидропостах Государственной сети измерений для Краснодарского водохранилища позволяют заключить, что отклонения уровня воды в нижнем бьефе в срок наблюдений от среднего, выходящие за пределы 0,76–6 м относительно нуля поста, следует считать ошибкой.

После определения критериев отбора импульсов предлагается проводить двухшаговую процедуру ретрекинга. На первом шаге (пороговый ре-трекинг) грубо определяется точка прихода импульса  $t_0$  по превышению определенного порога  $q_0=29$  Вт (рис. 4), затем, на втором шаге (улучшенный пороговый ретрекинг), 4 точки вблизи порога аппроксимируются функцией

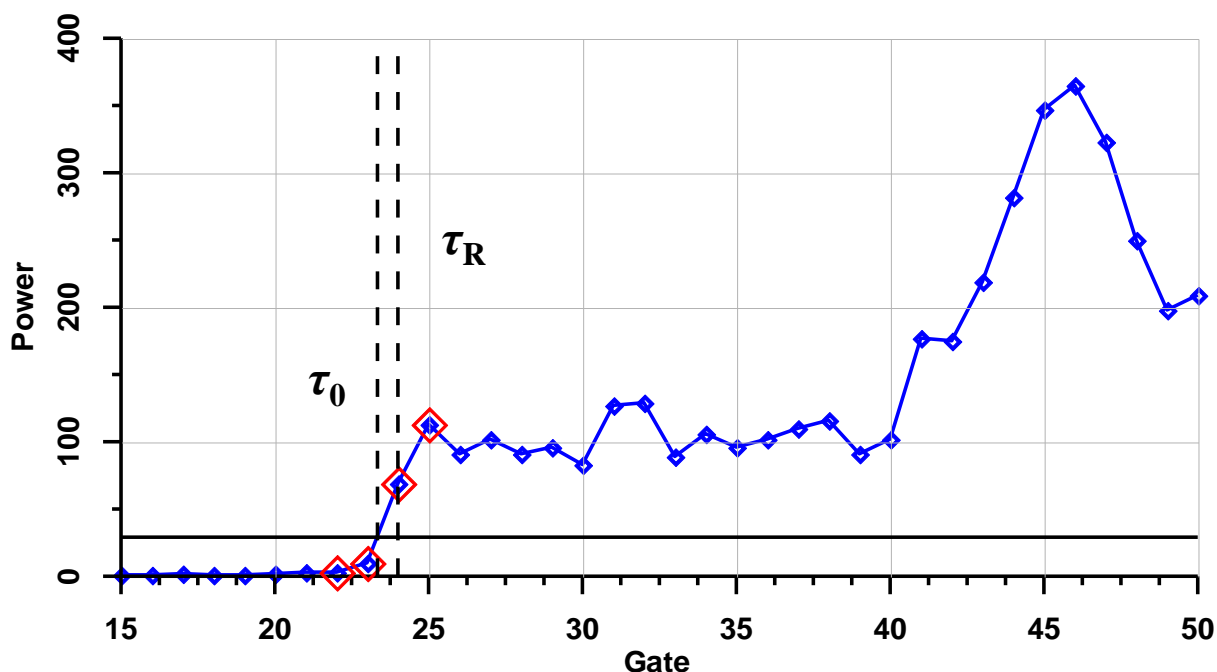


Рис. 4. Пример формы отраженного импульса спутника Jason-1 (цикл 017, трек 118, 27 июня 2002 г.), на рабочей частоте  $Ku$  (сплошная прямая – пороговое значение мощности,  $\tau_0$  – пороговый ретрекинг,  $\tau_R$  – улучшенный пороговый ретрекинг).

ошибок  $A \left( 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{\tau - \tau_R}{S} \right) \right)$ , где параметры  $A$ ,  $\tau_R$ ,  $S$  определяются из алгоритма оптимизации (минимизируются среднеквадратичные отклонения). Возможность аппроксимации переднего фронта части импульса, отраженной от поверхности водоема, функцией ошибок доказана в рамках теоретической модели [23]. Улучшенный ретрекинг дает более точное значение для трековой точки (середины переднего фронта импульса, отраженного водой). Трудности применения данного метода связаны лишь с выбором адекватной процедуры оптимизации. Заметим, что при определении момента прихода импульса с помощью стандартного алгоритма полученная трековая точка помещается в 32-й гейт графика (см. рис. 4), что приводит к ошибке во времени прихода в 5 гейтов и ошибке в уровне воды в 3,5 метра!

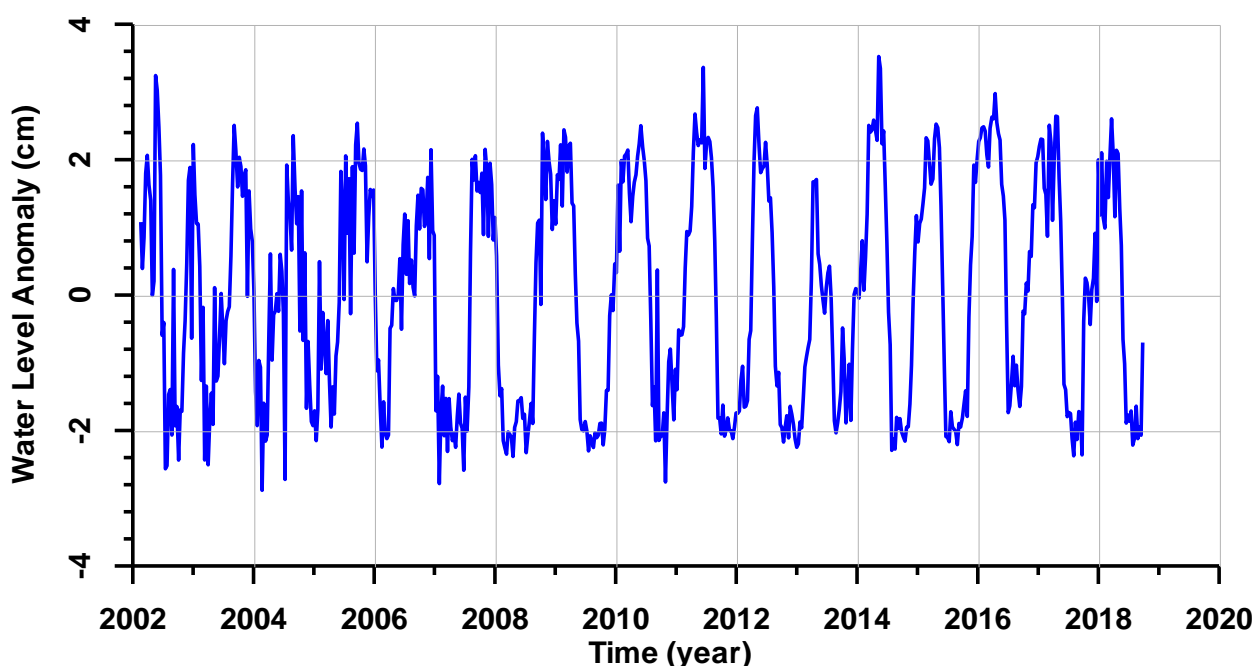


Рис. 4. Изменчивость аномалий уровня Краснодарского водохранилища по данным альтиметрических измерений спутников Jason-1/2/3, обработанных алгоритмом адаптивного регионального ретрекинга.

Результаты изменчивости аномалий уровня Краснодарского водохранилища представлены на рисунке 5.

#### **Анализ полученных результатов**

Результаты расчетов показывают, что межгодовая изменчивость уровня водохранилища за период с 2002 по 2018 гг. составили  $+1,5 \pm 0,02$  мм/г, а разница между максимальным и минимальным значением составила 6,41 м. Оба показателя соответствуют режиму безопасной эксплуатации водохранилища.

Исследования проведены в рамках гос. задания № 5.9533.2017/БЧ и гранта РФФИ № 17-05-41117\_РГО\_а «Оценка современного гидрологического состояния крупных озер и водохранилищ Восточно-Европейской равнины на основе численного моделирования и новых алгоритмов обработки данных спутникового микроволнового зондирования».



## Список литературы

1. Brown, G. The average impulse response of a rough surface and its applications // *Antennas and Propagation, IEEE Trans.* 1977. V. 25. P. 67–74.
2. Barrick, D., Lipa B. Analysis and interpretation of altimeter sea echo // *Adv. Geophys.* 1985. V. 27. P. 61–100.
3. Chelton D.B., Ries J.C., Haines B.J., Fu L.-L., Callahan P.S. *Satellite Altimetry // Satellite Altimetry and the Earth Sciences: A Handbook of Techniques and Applications / L.-L. Fu. & A. Cazenave (Eds.) // San Diego CA: Academic Press, 2001. P. 1–131.*
4. AVISO/Altimetry. User Handbook. Merged TOPEX/POSEIDON Products. AVI-NT-02-101-CN. Edition 3.0. Toulouse: AVISO, 1996. – 201 p.
5. Picot N., Case K., Desai S., Vincent P. AVISO and PODAAC User Handbook. IGDR and GDR Jason Products. // SMM- MU- M5- OP- 13184- CN (AVISO). JPL D- 21352. Edition 4.1. 2008. – 130 p.
6. Anzenhofer M., Shum C.K., Rentsh M. Coastal Altimetry and Applications // *Tech. Rep. № 464, Geodetic Science and Surveying. The Ohio State University Columbus, USA. 1999. – 40 p.*
7. Deng X., Featherstone W.E. A coastal retracking system for satellite radar altimeter waveforms: Application to ERS-2 around Australia // *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111. 16 p.
8. Papa F., Legresy B., Remy F. Use of the Topex-Poseidon dualfrequency radar altimeter over land surfaces // *Remote Sensing of Environment.* 2003. V. 87. P. 136–147.
9. Legresy B., Papa F., Remy F., Vinay G., van den Bosch M., Zanife O.-Z. ENVISAT radar altimeter measurements over continental surfaces and ice caps using the ICE-2 retracking algorithm // *Remote Sensing of Environment.* 2005. V. 95. P. 150–163.
10. Remy F., Legresy B., Bleuzen S., Vincent P., Minster J.F. Dual-frequency Topex altimeter observation of Greenland // *Journal of Electron Waves and Appliance.* 1996. V. 10. P. 1505–1523.
11. Remy F., Schaeffer P., Legresy B. Ice flow physical processes derived from ERS-1 high resolution map of the Antarctica and the Greenland ice sheets // *International Journal of Geophysics.* 1999. V. 139. P. 645– 649.
12. Koblinsky C.J., Clarke R.T., Brenner A.C., Frey H. Measurement of river level variations with satellite altimetry // *Water Resources Research.* 1993. V. 29, № 6. P. 1839–1848.
13. Alsdorf D., Birkett C., Dunne T., Melack J., Hess L. Water level changes in Large Amazon Lake measured with spaceborn radar interferometry and altimetry // *Geophys. Res. Lett.* 2001. V. 28, № 14. P. 2671– 2674.
14. Cretaux J.-F., Calmant S., Abarca del Rio R., Kouraev A., Bergé-Nguyen M. Lakes studies from satellite altimetry // *Coastal Altimetry / S. Vignudelli, A. Kostianoy, P. Cipollini, J. Benveniste. (Eds.) // Berlin ; Heidelberg ; New York : Springer Verlag, 2010.*
15. Kostyanoy A.G., Zavialov P.O., Lebedev S.A. What do we know about dead dying and endangered lakes and sea? // *Dying and Dead Seas. Climatic versus Anthropic Causes.* Dordrecht. : Kluwer Acad. Publ., 2004. – P. 1–48.
16. Campos I.O., Mercier F., Maheu C., Cochenneau G., Kosuth P., Blitzkow D., Cazenave A. Temporal variations of river basin waters from Topex/Poseidon satellite altimetry. Application to the Amazon basin. // *Earth and Planetary Sciences.* 2001. V. 333, № 10. P. 633–643.
17. Birkett C.M., Mertes L.A.K., Dunne T., Costa M.H., Jasinski M.J. Surface water dynamics in the Amazon Basin: Application of satellite radar altimetry // *J. Geophys. Res.* 2002. V. 107, № D 20. 22 p.
18. Birkett C.M. Contribution of the Topex NASA radar altimeter to the global monitoring of large rivers and wetlands // *Water Resour. Res.* 1998. V. 34, № 5. P. 1223–1239.
19. Maheu C.R., Cazenave A., Mechoso C.R. Water level fluctuations in the Plata Basin (South America) from Topex/Poseidon Satellite Altimetry // *Geophys. Res. Letters.* 2003. V. 30, № 3. P. 1143–1146.

20. Kouraev A.V., Zakharova E.A., Samain O., Mognard N.M., Cazenave A. Ob' river discharge from TOPEX/Poseidon satellite altimetry (1992-2002) // Remote Sensing of Environment. 2004. V. 93. P. 238–245.

21. Лебедев С.А., Костяной А.Г. Спутниковая альтиметрия Каспийского моря – М. : Изд. центр. «МОРЕ» Межд. Института океана, 2005. – 366 с.

22. Троицкая Ю.И., Рыбушкина Г.В., Соустова И.А., Баландина Г.Н., Лебедев С.А., Костяной А.Г., Панютин А.А., Филина Л.В. Спутниковая альтиметрия внутренних водоемов // Водные ресурсы. – 2012. – Т. 39. – №. 2. – С. 169-185.

23. Лебедев С.А. Спутниковая альтиметрия в науках о Земле // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2013. – Т. 10. – №. 3. – С. 33-49.

# ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ

Ю.А. Штабкин, К.Б. Моисеенко, А.И. Скороход, Е.В. Березина  
*yuryshtabkin@gmail.com*

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

***Аннотация.** Проведены подробные количественные оценки влияния отдельных факторов, определяющих сезонные вариации приземного содержания озона в Центральной Сибири. Количественная оценка антропогенного и биогенного сигналов в измеренных концентрациях  $O_3$  проведена с использованием глобальной химико-транспортной модели GEOS-Chem с учётом всех основных источников и стоков данного соединения. Пространственная локализация наиболее значимых для района станции эмиссий выполнена на основе ансамблевой траекторной модели.*

***Ключевые слова.** Тропосферный озон, численное моделирование, загрязнение атмосферы, дальний перенос, модель GEOS-Chem.*

## 1. Введение

Обширные данные наблюдений и результаты численного моделирования показывают, что воздействие атмосферных выбросов фотохимически активных соединений на состав воздуха в высокоиндустриальных регионах имеет существенно нелокальный характер и во многих случаях прослеживается на региональном и трансконтинентальном масштабах [1]. Характерными примерами такого влияния являются крупномасштабные шлейфы загрязненного воздуха от индустриальных районов Юго-Восточной Азии, Северной Америки и Европы, устанавливаемые по данным спутникового мониторинга, самолетных наблюдений трассерных (долгоживущих) соединений ( $CO$ ,  $NO_x$ , ряда органических соединений) в ходе измерительных кампаний и результатам численного моделирования. Для многих районов Северной Евразии значительный интерес с точки зрения влияния на фоновую (антропогенно невозмущенную) тропосферную ФХС, представляют индустриальные регионы Западной Европы, Европейской территории России (ЕТР) и юга Сибири и связанный с ними шлейф загрязненного воздуха, прослеживаемый в приземных полях  $CO$  и  $O_3$  в средних широтах вплоть до  $\sim 120^\circ$  в.д. [2,3]. Влияние «наветренных» индустриальных регионов на химический состав воздуха в удаленных районах Сибири отчетливо проявляется, например, в данных наблюдений на фоновой наблюдательной станции ЗОТТО ( $60.8^\circ$  с.ш.,  $89.4^\circ$  в.д.) в виде сезонного колебания содержания  $CO$  (с максимумом  $\sim 200$  ppbv в конце зимы и минимумом  $\sim 90$  ppbv в середине лета), а также кратковременных эпизодов повышенных концентраций  $CO$ ,  $O_3$  и  $NO_x$  при адвекции антропогенно загрязненного воздуха от источников на юге Сибири [1,2].

Количественные оценки вклада региональных и удаленных источников атмосферного загрязнения в региональный баланс приземного озона могут быть выполнены с привлечением транспортно-химических моделей (ТХМ) при задании реалистичных полей эмиссий. Несмотря на очевидную актуальность подобных исследований, надежные количественные оценки роли регионального и дальнего переноса в балансе приземного озона в регионах России, характеризующихся повышенной антропогенной нагрузкой, в настоящее время практически отсутствуют.

## **2. Наблюдения состава приземного воздуха на высотной мачте ZOTTO**

Высотная мачта ZOTTO (60.80 с.ш., 89.35 в.д., 300 м н.у.м.) расположена на восточной окраине Западно-Сибирской равнины в 30 км к западу от реки Енисей в зоне бореальных лесов в 450 км к северу от Красноярска. В холодный период года станция оказывается примерно на климатологической границе полярного фронта, которая в теплый период года проходит значительно севернее. Эта особенность важна с точки зрения дальнего переноса, поскольку район станции, в зависимости от конкретного режима атмосферной циркуляции, может находиться как под влиянием воздушных масс из северной Атлантики, проходящих над Европейским континентом и Западной Сибирью, так и арктических воздушных масс, приходящих из районов Арктики и северо-востока Сибири [2].

Интерес к данным ZOTTO, при исследованиях состава приземного воздуха обусловлен климатологическими особенностями района расположения станции. Тропосферная фотохимическая система в регионе имеет отчетливо выраженный континентальный характер [1], что позволяет, с известной осторожностью, обобщать результаты на континентальные районы Сибири в целом.

Для измерения концентрации озона в составе комплекса применен газоанализатор DASIBI-1008. Принцип действия этого прибора основан на измерении ослабления ультрафиолетового (УФ) излучения на длине волны 253 нм при прохождении последнего через кювету с пробой исследуемого воздуха. Для повышения точности измерений в приборе применен метод сравнения, для чего измерительная кювета последовательно заполняется пробой анализируемого воздуха, и пробой воздуха, прошедшего через т.н. нулевой фильтр, полностью разрушающий весь содержащийся в пробе озон. Измеренные значения ослабления УФ излучения анализируются микропроцессором прибора, в результате чего по известному уравнению Бэра вычисляется концентрация озона с учетом поправок на температуру и давление воздуха, также измеряемые имеющимися в приборе датчиками.

Результаты измерений приземного содержания озона на высоте 5 м в 2007 – 2012 годах представлены на рис. 1.

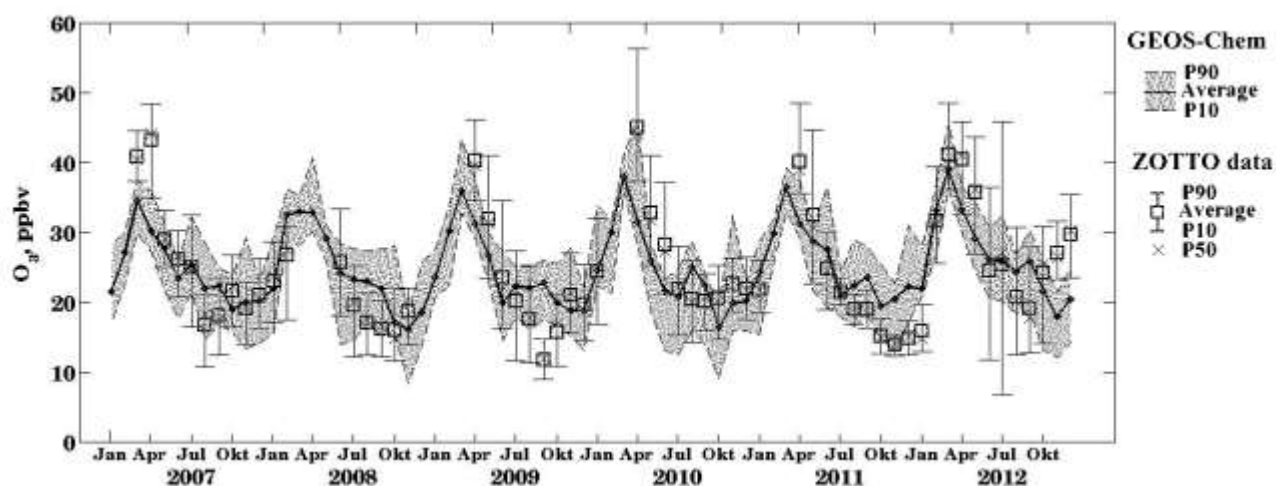


Рис. 1. Среднесуточные концентрации  $O_3$  на высоте 5 м над землей по данным наблюдений на высотной мачте ZOTTO в 2007–2012 гг. Приведены статистики по месяцам: P<sub>10,50,90</sub> – перцентили, □ – среднее. Сплошная линия – расчет по модели GEOS-Chem (среднемесячные концентрации, вывод на первом модельном уровне, ~60 м над землей).

### 3. Влияние региональных антропогенных эмиссий $NO_x$ и биогенных ЛОС на режимы генерации озона в ZOTTO

Для многих районов Северной Евразии большой интерес с точки зрения влияния на тропосферную фотохимическую систему, включая фотохимическую генерацию озона в нижней тропосфере, представляют индустриальные регионы Западной Европы, ЕТР и юга Сибири, и связанный с ними шлейф загрязненного воздуха, прослеживаемый в приземном поле монооксида углерода. Влияние «наветренных» регионов на химический состав воздуха в удаленных районах Сибири отчетливо прослеживается в данных наблюдений на фоновой наблюдательной станции ZOTTO в виде сезонного колебания содержания CO (с максимумом ~200 ppbv в конце зимы) и эпизодов повышенных концентраций CO,  $O_3$  и  $NO_x$  [1].

Влияние шлейфа загрязненного воздуха может проявляться не только в увеличении концентрации антропогенных загрязнителей, но и в образовании вторичных загрязняющих веществ, наиболее важным из которых является приземный (тропосферный) озон [4]. Основными источниками приземного озона являются его перенос из стратосферы и фотохимическое образование при взаимодействии с окислами азота ( $NO_x$ ) в присутствии CO и летучих органических соединений (ЛОС) [3, 5], причем окислы азота имеют в основном антропогенное происхождение. Проведенные модельные расчеты показали, что вклад антропогенных эмиссий CO в приземное содержание озона мал [3], поэтому в качестве основных факторов, оказывающих влияние на приземное содержание озона в Центральной Сибири, в дальнейшем будут рассматриваться антропогенные эмиссии  $NO_x$  и выбросы биогенных ЛОС.

*Сценарии модельных расчетов.* Количественные оценки чувствительности приземного озона к биогенным эмиссиям ЛОС и антропогенным  $NO_x$  были выполнены для трех макрорегионов: Западной Европы, Европейской территории России и Сибири (Рис.2), рассмотренных ранее в [1, 2] при исследовании вклада природных и антропогенных

источников эмиссий в наблюдаемую сезонную изменчивость  $\text{CO}$ . Антропогенные эмиссии в указанных регионах определяют условия фотохимической генерации озона на большей части Северной Евразии, включая удаленные районы западной и центральной Сибири. Преобладание зонального переноса определяет последовательное возрастание его роли на фоне климатически значимых региональных источников загрязнений для рассматриваемых «подветренных» регионов – ЕТР и Сибири.

Для проведения модельного эксперимента был выбран 2007 год. Для всех обозначенных регионов он характеризуется как теплый с нормальным количеством осадков. На средних широтах Евразии зональный перенос был интенсивнее обычного, а меридиональный ослаблен (по данным Гидрометеоцентра, <http://meteoinfo.ru>). Была проведена серия расчетов, в ходе которых эмиссии  $\text{NO}_x$  и ЛОС в обозначенном макрорегионе последовательно уменьшались на 50 и 100%. В данной работе рассматриваются только ЛОС биогенного происхождения, результаты проведенных ранее расчетов показали, что вклад антропогенных ЛОС на фоне эмиссий  $\text{NO}_x$  пренебрежимо мал.

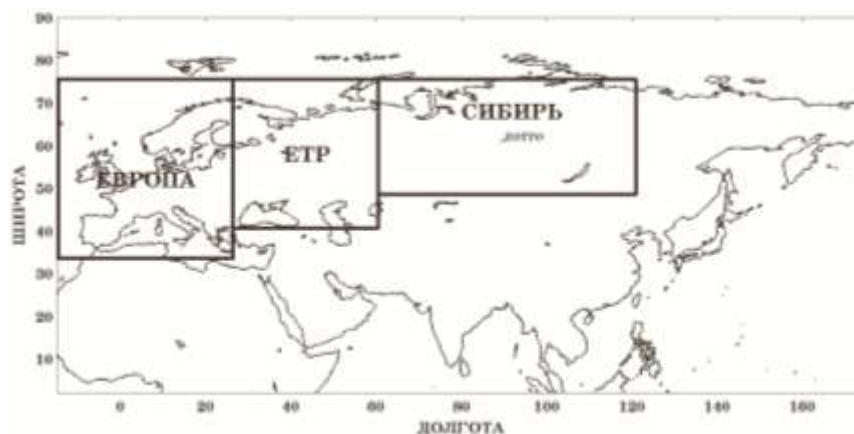


Рис. 2. Географические районы, выбранные для расчетов: Европа (35–75 N, 15–27E), Европейская территория России – ЕТР (41–75 N, 27–60 E) и Сибирь (49–75 N, 60–120 E).

Значения атмосферного отклика ( $\text{AO}_C$ , ppbv) рассчитывались как разность между концентрацией  $\chi(\text{O}_3)_0$  (ppbv), полученной из базового модельного расчёта, в котором учитываются полные эмиссии, и концентрацией, рассчитанной моделью при изменении эмиссий в соответствии с используемым сценарием,  $\chi(\text{O}_3)_C$ :

$$\text{AO}_C = \chi(\text{O}_3)_0 - \chi(\text{O}_3)_C \quad (1)$$

При проведении количественных оценок в данной работе используются максимальные дневные значения  $\text{O}_3$  с целью акцентировать внимание на фотохимические процессы образования и разрушения озона.

*Анализ результатов.* В данной работе использован ряд измерений концентраций озона на станции ZOTTO на высоте 5 м над землёй за период с 03.2007 г. по 12.2012 г. (Рис. 1). Годовой ход озона на станции, представленный на Рис.3, типичен для фоновых континентальных условий средних широт северного полушария [5] Максимум приземного содержания  $\text{O}_3$  (40 – 45 ppbv) достигается в апреле в связи с увеличением потока солнечной радиации и

сходом снежного покрова, вследствие чего в атмосферу начинают поступать в больших количествах озonoобразующие вещества и растительные углеводороды (изопрен, терпены), что способствует активной генерации озона [3], а также в связи с активизацией страто-тропосферного обмена и зонального переноса. К осени интенсивность химической генерации и атмосферного переноса ослабевает, и среднегодовой минимум приземного содержания озона (15 – 25 ppbv) приходится на сентябрь – октябрь. Выпадение снега и низкие температуры существенно замедляет процессы естественного стока вследствие сухого осаждения и химического разрушения и поэтому в зимний период концентрация озона снова начинает расти.

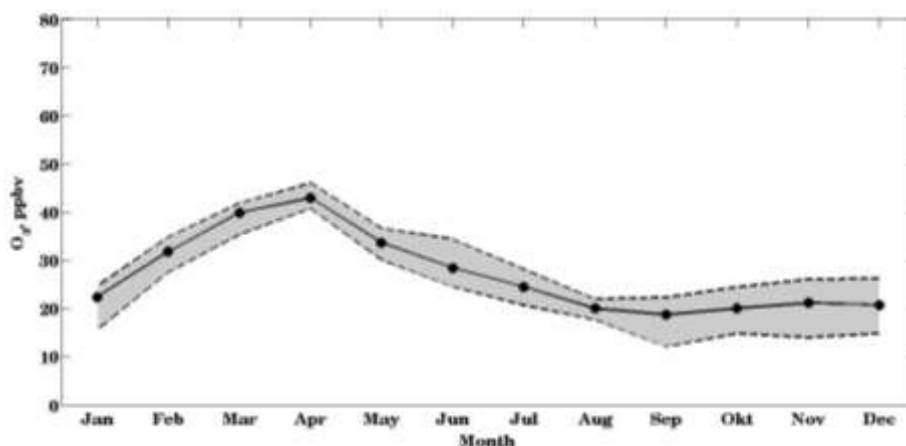


Рис. 3. Годовой ход озона на станции ZOTTO в 2007-2012 гг. Пунктиром отмечены границы 95% доверительных интервалов.

В целом, основываясь на среднемесячных данных, результаты расчетов для ZOTTO неплохо согласуются с данными наблюдений (Рис. 1), учитывая ограниченное пространственное разрешение модели. В качестве критериев согласованности использовались среднее смещение  $\delta = \bar{O} - \bar{C}$ , среднеквадратическая ошибка  $RMSE = \left( \overline{(O - C)^2} \right)^{1/2}$  и коэффициент корреляции  $COR = \overline{(O - \bar{O})(C - \bar{C})} / (\sigma_o \sigma_c)$ , где  $O$  и  $C$  – наблюдаемые и рассчитанные по модели среднемесячные концентрации  $O_3$ ,  $\sigma_o$ ,  $\sigma_c$  – соответствующие стандартные отклонения, а верхняя черта означает усреднение по всем значениям (всего 31 точка). Было получено:  $\delta = -3.5$  (-4.8 – -2.2) ppbv,  $RMSE = 6.2$  (5.3–7.2) ppbv и  $COR = 0.79$  (0.67–0.87), где в скобках указаны границы 95% доверительного интервала.

*Факторы сезонной изменчивости приземного содержания озона.* Для сезонного хода озона фаза и амплитуда обусловлены общепланетарными атмосферными процессами и сезонной динамикой атмосферной фотохимической системы в средних широтах, связанной с годовым ходом солнечной радиации. Указанное обстоятельство отчетливо проявляется в данных наблюдений (Рис. 1, статистики по месяцам). Как видно из рисунка, амплитуда сезонного хода (~20–25 ppbv, основываясь на разности между средними значениями в разные сезоны) существенно превышает короткопериодные вариации на протяжении холодного и большей части

тёплого сезонов. Характерная величина последних, взятая как разность  $P_{90}-P_{10}$ , обычно не превышает 15 ppbv.

Станция ZOTTO находится на таком расстоянии от антропогенных источников загрязнения, на котором шлейф из эмиссий почти полностью деградирован. Тем не менее, антропогенные эмиссии  $NO_x$  оказывает ощутимое влияние на фотохимическую наработку озона в районе станции. В целом же, ход озона на станции определяется в первую очередь крупномасштабными атмосферными циркуляционными процессами и глобальной среднеширотной фотохимией, однако при смещении ближе к источникам выбросов эффект наработки озона в присутствии  $NO_x$  возрастает в 2 – 3 раза [3]. Среднесезонные величины  $AO_C$  для ZOTTO за рассматриваемый период приведены в таблице 1 и построенной на её основе сводной диаграмме на Рис. 4. Максимальные значения  $AO_C$  отмечаются в летний период для всех сценариев со 100% уменьшением антропогенных эмиссий  $NO_x$ : 5.0 ppbv при 100% и 50% выбросов биогенных ЛОС, 5.8 ppbv при полностью выключенных эмиссиях. При полных антропогенных и выключенных биогенных эмиссиях значение отклика не превышает 2.2 ppbv. Зимой влияние антропогенного фактора также заметно: при полных выбросах  $NO_x$  для всех сценариев максимальные величины  $AO_C$  близки к нулю, но при уменьшении антропогенных эмиссий на 50% и 100% наблюдаются отрицательные значения отклика до -2.3 ppbv и -4.5 ppbv, соответственно. Отрицательные величины  $AO_C$  объясняются существенным замедлением процессов образования озона в холодный период.

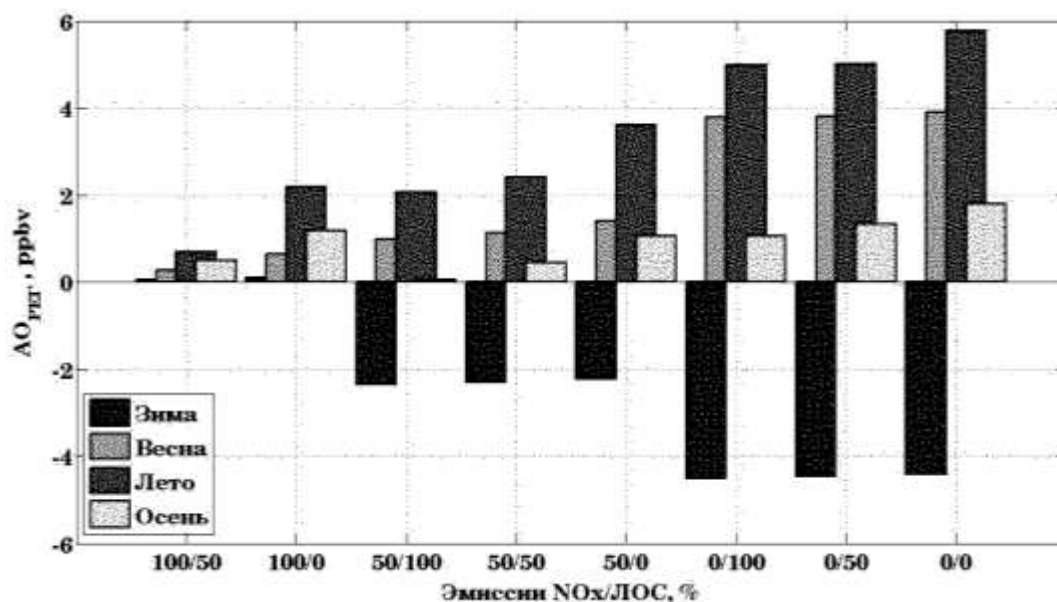


Рис. 4. Сводная диаграмма величин  $AO_{O_3}$  для станции ZOTTO при разных значениях величин эмиссий биогенных ЛОС и  $NO_x$  в Сибири, на ЕТР и в Европе (рис. 2). Приведены средние значения для всех сезонов 2007 года.

Основываясь на результатах, представленных в таблице 1, можно утверждать, что в теплый период (весна – лето – осень) в районе станции реализуется  $NO_x$ -чувствительный режим генерации озона, при котором



величина отклика в поле озона определяется региональными эмиссиями  $\text{NO}_x$ , контролирующими интенсивность реакций окисления предшественников озона. В зимний период доминирует  $\text{NO}_x$ -чувствительный режим генерации, при котором интенсивные выбросы окислов азота приводят к разрушению озона в реакции титрования с  $\text{NO}$ , на долю которого приходится основной объем антропогенных эмиссий  $\text{NO}_x$ .

Таблица 1.

Среднесезонные максимальные дневные значения приземной концентрации озона в районе наблюдательной станции ZOTTO. Среднесезонные максимальные дневные значения атмосферного отклика на разного рода эмиссии при разных сценариях. Все данные приведены для 2007 года.

Сезон	Оз, ppbv	0% уменьшение $\text{NO}_x$		50% уменьшение $\text{NO}_x$			100% уменьшение $\text{NO}_x$		
		Уменьшение БЛОС		Уменьшение БЛОС			Уменьшение БЛОС		
		50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%
Зима	26.0	0.05	0.11	-2.35	-2.30	-2.24	-4.52	-4.47	-4.42
Весна	37.4	0.26	0.64	0.98	1.13	1.40	3.77	3.80	3.90
Лето	37.2	0.68	2.19	2.05	2.41	3.60	4.99	5.00	5.76
Осень	28.9	0.50	1.19	0.05	0.45	1.05	1.05	1.32	1.80

#### 4. Заключение

Результаты модельных расчетов свидетельствуют о заметной роли дальнего переноса от климатически значимых источников атмосферного загрязнения в Европе, на ЕТР и юге Сибири, как важного фактора сезонной и межгодовой изменчивости приземного содержания озона в Северной Евразии. Однако, несмотря на то, что наблюдаемый нелокальный эффект антропогенных эмиссий играет заметную роль, его вклад нельзя считать определяющим. Наблюдаемый сезонный ход озона на станции обусловлен в первую очередь крупномасштабными транспортно-химическими процессами в Северном полушарии, такими как стратосферно-тропосферный обмен, особенности атмосферной циркуляции во внетропических широтах и глобальное распределение климатически значимых природных и антропогенных источников эмиссий предшественников озона. По современным представлениям [3, 4] подобная картина соответствует фоновому режиму фотохимической системы в умеренных широтах в регионах с незначительной антропогенной нагрузкой.

*Работа выполнена при финансовой поддержке по гранту РФФИ 18-35-20031.*

#### Список литературы

1. Vasileva A.V., Moiseenko K.B., Mayer J.-C., Jurgens N., Panov A., Heimann M., Andreae M.O. Assessment of the regional atmospheric impact of wildfire emissions based on CO observations at the ZOTTO tall tower station in central Siberia // J.Geophys. Res. 2011. V. 116. № D07301. doi:10.1029/2010JD014571.
2. Штабкин Ю.А., Моисеенко К.Б., Скороход А.И., Васильева А.В., Хайманн М. Источники и вариации тропосферного CO в Центральной Сибири: численные эксперименты и наблюдения на высотной мачте ZOTTO // Изв. РАН. Физика Атмосферы и океана. 2016. Т. 52. № 1. С. 1–13.

3. Моисеенко К.Б., Штабкин Ю.А., Березина Е.В., Скороход А.И. Региональные фотохимические источники приземного озона в Европе и западной Сибири // Известия РАН. Физика Атмосферы и Океана. 2018. Т. 54. № 6. С. 645–658.

4. Crutzen P. J., Mark G. L., Poschl U. On the background photochemistry of tropospheric ozone // Tellus. 1999. № 51A-B. P. 123–146.

5. Monks P. S., Archibald A. T, Colette A. et al. Tropospheric ozone and its precursors from the urban to the global scale from air quality to short-lived climate forcer // Atmos. Chem. Phys., 15, 8889–8973, 2015. doi:10.5194/acp-15-8889-2015