

Научный журнал

Основан в 2006 г.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
(Свидетельство ПИ № ФС 77-61774 от 7 мая 2015 г.)

Учредитель

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Редакционная коллегия серии:

Доктор физ.-мат. наук, профессор **А.В. Белоцерковский** (главный редактор);
доктор. геогр. наук, профессор **О.А. Тихомиров**; чл.-кор. РАН, доктор геогр. наук
К.Н. Дьяконов; доктор геогр. наук, профессор **А.В. Евсеев**; доктор геогр. наук,
профессор **А.И. Алексеев**; доктор геогр. наук, профессор **Л.П. Богданова**;
доктор геогр. наук, профессор **А.А. Ткаченко**; канд. геогр. наук, доцент
Е.Р. Хохлова; доктор эконом. наук, профессор **С.И. Яковлева**

Адрес редакции:

Россия, 170021, Тверь, ул. Прошина, д.3, к. 2, комн. 102

Тел.: (4822) 77-84-17

*Все права защищены. Никакая часть этого издания не может быть
репродуцирована без письменного разрешения издателя.*

© Тверской государственный университет, 2018

VESTNIK TVGU

Series: GEOGRAPHY AND GEOECOLOGY No. 3, 2018

Scientific Journal

Founded in 2006

Registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom,
Information Technologies and Mass Communications
PI № ФC 77-61774 from May 7, 2015.

Translated Title

HERALD OF TVER STATE UNIVERSITY. SERIES: GEOGRAPHY AND
GEOECOLOGY

Founder

FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL INSTITUTION
OF HIGHER EDUCATION «TVER STATE UNIVERSITY»

Editorial Board of the Series:

Doctor of Physical and Mathematical Sciences Prof. A.V. Belotserkovskiy (*Editor-in-chief*);
Dr. of geography, Prof., O.A. Tikhomirov; Prof. cor. RAS Dr. of geography
K.N. Dyakonov; Dr. of geography, Prof. A.V. Evseev; Dr. of geography, Prof. A.I.
Alekshev; Dr. of geography, Prof. L.P. Bogdanova; Dr. of geography, Prof. A.A. Tkachenko;
Candidate of geography E.R. Hohlova, Dr. of economics, Prof. S.I. Yakovleva

Editorial Office:

Russia, 170021, Tver, 3 Proshina Street, k. 2, office 102
Phone: (4822) 77-84-17

*All rights reserved. No part of this publication may be
reproduced without the written permission of the publisher.*

© Tver State University, 2018

Содержание

Дистанционное зондирование Земли

Лаврова О.Ю., Строчков А.Я.

Международная школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» 8

*Беданок М.К., Берзегова Р.Б., Кожевников В.Н., Экба Я. А.,
Шевякова О.П.*

Обзор работ, посвященных моделированию явлений обтекания
неровностей поверхности земли и катастрофических ветров
типа боры 15

Бочка Л.А., Кашицкий А.В.

Макет потоковой обработки данных Sentinel-2 40

Гинзбург А.И., Костяной А.Г.

Межгодовая изменчивость температуры поверхности Каспийского моря
в современный период (2003–2017 гг.) 57

Клюев П.В., Лебедев С.А.

Исследование ледового покрова Рыбинского водохранилища 66

Костяная Е.А., Серых И.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Ахсалба А.К.

Климатические изменения модуля скорости ветра в регионе восточного
побережья Чёрного моря 79

Купенова Э. М., Кашицкий А. В.

Метод случайных лесов в задачах классификации спутниковых
снимков 99

Лаврова О.Ю., Краюшкин Е.В., Назирова К.Р. и Строчков А.Я.

Возможность получения динамических и пространственных
характеристик процессов и явлений в прибрежной зоне на
основе комплексного использования квазисинхронных
спутниковых данных..... 108

Митягина М.И.

Распространение пленок естественных нефтепроявлений на морской
поверхности юго-восточной части Чёрного моря по данным многолетних
спутниковых наблюдений 125

Мухамеджанов И.Д., Лупян Е.А., Уваров И.А.

Особенности спутникового мониторинга гидросооружений Вахшского каскада на примере Нурекского водохранилища137

Серых И.В., Костяной А.Г., Экба Я.А.

Сравнение климатических изменений экстремальных температурных явлений в регионе восточного побережья Чёрного моря по данным различных ре-анализов152

Шелопут Т.О., Лёзина Н.Р.

Совместная реализация методов ассимиляции данных на «жидкой» границе и разделения области в акватории Балтийского моря168

Щеголихина М.С., Лаврова О.Ю.

Мониторинг выносов речных и лагунных вод в Азовское и Балтийское моря на основе спутниковых данных видимого диапазона180

История тверской географии

Хохлова Е.Р., Яковлева С.И.

История развития тверской географии192

Физическая география Тверской области

Дорофеев А.А.

Особенности географического положения Тверской области и их отражение в главных свойствах её природы211

Социально-экономическая география

Щукина А.С., Пономарев Д.В.

Пространственные аспекты функционирования системы среднего профессионального образования Тверской области218

Преображенский Ю.В.

Размерность экуменического пространства на примере выявления внутригородских ячеек234

Яковлева С.И.

История малой деревни246

Туризм: междисциплинарные исследования

Дорофеев А.А., Хохлова Е.Р.

Природоохранная функция и состояние экологического
туризма в Тверской области..... 261

CONTENT

Remote sensing of the Earth

Lavrova O.Yu., Storchkov A.Ya.

International school-seminar «Satellite methods and systems
of the Earth research»..... 8

*Bedanokov M.K., Berzegova R.B., Kozhevnikov V.N., Ekba Y. A.,
Shevyakova O.P.*

Review of works dedicated to the simulation of the phenomena of the flow of
the northern surface of the earth and the catastrophic winds of the type
of bory 15

Bochka1 L.A., Kashnitsky A.V.

The layout of the stream data processing Sentinel-2 40

Ginzburg A.I., Kostianoy A.G.

Interannual variability of the Caspian Sea surface temperature in the current
period (2003–2017) 57

Klyuyev P.V., Lebedev S.A.

Investigation of the ice cover of the Rybinsk reservoir 66

Kostianaia E.A., Serykh I.V., Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Akhsalba A.K.

Climate changes of the wind speed module in the region of the eastern coast of
the Black Sea..... 79

Kupenova E.M., Kashnitskiy A.V. The method of random forests in

the classification tasks of satellite images..... 99

Lavrova O.Yu., Krayushkin E.V., Nazirova K.R., Storchkov A.Ya.

The possibility of receiving dynamic and spatial characteristics of processes
and phenomena in a coastal zone based on integrated use of quasi-synchronous
satellite data..... 108

Mityagina M.I.

Distribution of natural oil films on the surface of the south-eastern Black Sea revealed by the multi-year satellite observations125

Mukhamedjanov I.D., Loupian E.A., Uvarov I.A.

The peculiarities of satellite monitoring of Vakhsh cascade by the example of Nurek reservoir137

Serykh I.V., Kostianoy A.G., Ekba Ya.A.

Comparison of climate changes of extreme temperature events in the region of the eastern coast of the Black Sea by data of different re-analysis.....152

Sheloput T.O., Lezina N.R.

Joint realization of the methods of data assimilation on «liquid» boundaries and domain decomposition in the Baltic Sea168

Shchegolikhina M. S., Lavrova O.U.

Monitoring of river and bay discharges with the help of satellite images of visible range180

History of geography in the tver region

Khokhlova E.R., Yakovleva. S.I.

History of geography in the tver region192

Physical geography of the Tver region

Dorofeev A.A.

Peculiarities of geographic position of Tver region and their reflection in main features of its nature211

Socio-economic geography

Shchukina A. S., Ponomarev D.V.

Spatial aspects of the functioning of the system of secondary vocational education218

Preobrazhenskiy Yu.V.,

The ecumenical dimension of space on the example of identify urban space cell.....234

Yakovleva S.I.

History of a small village 246

Tourism: interdisciplinary research

Dorofeev A.A., Khokhlova E.R.

Nature protection function and status of ecological tourism in
Tver region 26

Дистанционное зондирование Земли

УДК 37.25.03

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-8-14>

МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКОЛА-СЕМИНАР «СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ»

О.Ю. Лаврова, А.Я. Строчков

Институт космических исследований РАН

В статье представлена информация о международной школе-семинаре «Спутниковые методы и системы исследования Земли», которая ежегодно проводится в г. Тарусе, начиная с 2010 г. Организатором и вдохновителем Школы-семинара являются сотрудники Института космических исследований, Института океанологии им. П.П. Ширшова и Геофизического центра Российской академии наук. Статья посвящена обзору основных целей и задач Школы-семинара, а также основных тем, которые на ней обсуждаются.

Ключевые слова: *школа-семинар, лекция, мастер-класс, дистанционное зондирование, исследование океана и атмосферы, экологический мониторинг, методы обработки данных.*

Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования земли» ежегодно проводится в г. Таруса на базе представительства «Интеркосмос». Семинар с таким названием был организован в Институте космических исследований РАН (ИКИ РАН) в 2002 г. членом-корреспондентом РАН Г.М. Чернявским и заместителем директора ИКИ РАН, доктором технических наук Е.А. Лупяном. Заседания семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли» были посвящены обсуждению научных проблем, связанных с созданием и развитием методов и систем дистанционного исследования природных и антропогенных объектов. Но уже в 2003 г. данный семинар «перерос» во Всероссийскую открытую конференцию «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», которая ежегодно в ноябре месяце проводится в ИКИ РАН и в настоящее время является крупнейшей в России научной конференцией, посвященной широкому кругу проблем дистанционного исследования Земли [1–3].

В 2010 г. было решено продолжить работу семинара, но уже в новом формате. Было организована Школа-семинар, которая с 2012 г. стала международной. В настоящее время Школа-семинар проводится в

соответствии с планами международных, всероссийских и региональных научных и научно-технических совещаний, конференций, симпозиумов, съездов, семинаров и школ в области естественных и общественных наук Российской академии наук.

Основная цель организации Школы-семинара – привлечение студентов, аспирантов и молодых специалистов к работам, связанным с исследованием Земли дистанционными методами. Перед организаторами Школы-семинара стояли три основные задачи:

- предоставление будущим ученым и молодым специалистам интегрированной информации об актуальных проблемах данного научного направления;
- повышение уровня работ молодых ученых;
- стимулирование работ, выполняемых молодыми специалистами.

Поскольку организаторами Школы-семинара являлись сотрудники Института космических исследований, Института океанологии им. П.П. Ширшова и Геофизического центра Российской академии наук, занимающиеся проблемами исследованиями океана и атмосферы, основными участниками являются специалисты, специализирующие в данной области.

Для решения этих задач были выбраны следующие основные подходы в организации школы:

- чтение обзорных лекций ведущими российскими и зарубежными учеными (рис. 1) по актуальным проблемам дистанционного зондирования Земли, в первую очередь океана и атмосферы, современным методам обработки спутниковых данных, использованию технологий спутникового мониторинга Земли для решения фундаментальных и прикладных задач;



Р и с. 1. Молодые ученые и студенты внимательно слушают лекции.

- предоставление молодым участникам Школы-семинара возможности выступления с устными докладами, посвященными их научным исследованиям;

- проведение мастер-классов по ознакомлению с современными возможностями и технологиями дистанционного зондирования Земли.

Школа-семинар проводится в течение пяти дней, во время которых, как правило, прочитывается 8–10 лекций и заслушивается 10–16 докладов молодых участников. Наибольшее преимущество данной Школы-семинара состоит в неформальной, практически домашней обстановке. Молодые ученые не только получают новые знания от специалистов в конкретных областях, но и учатся выступать с научными докладами, четко формулировать свои мысли и доказывать в дискуссиях свои утверждения, что является обязательным в научной деятельности. Те, кто не решается еще выступить с докладом, активно участвуют в обсуждениях. После вечернего заседания проводятся мастер-классы или обсуждения в личной беседе между лекторами и молодыми учеными. В 2018 г. мастер-классы проводились по работе с альтиметрическими данными и данными новейшего сенсора OLCI спутника Sentinel-3.

В работе Школы-семинара принимают участие в общей сложности 25–30 человек. Количество участников ограничивается только возможностями размещения в гостинице «Интеркосмос».

Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» получила статус международной, поскольку в ней регулярно принимают участие лекторы и молодые ученые из разных стран (рис. 2). В разные годы лекции читали ученые из Германии, США и Абхазии, с докладами выступали студенты и аспиранты из Azerbaijan, Узбекистана, Казахстана и Украины. Наибольшее количество молодых ученых представляли Московский и Санкт-Петербургский государственные университеты, Российский государственный гидрометеорологический университет (С.-Петербург), а также академические институты ИКИ РАН, ИО РАН им. П.П. Ширшова, ИПФ РАН (Нижний Новгород), Геофизический центр РАН, Институт физики атмосферы им. Обухова РАН. Особо хочется отметить большую активность зав. отд. Морского гидрофизического института РАН (Севастополь), к.ф.-м.н. С.В. Станичного, который каждый год направляет 3 – 4 молодых ученых для участия в Школе-семинаре. В последние два года к работе Школы-семинара подключились преподаватели и студенты Тверского государственного университета (ТвГУ). В 2018 г. Школа-семинар проходила при информационном обеспечении ТвГУ.

Тематика лекций и докладов не ограничивается дистанционным исследованием морей и атмосферы. Подробно с информацией о Школе-семинаре можно ознакомиться на сайте <http://iki.rssi.ru/earth/index.htm>, где представлены аннотации и презентации лекций и докладов.



Р и с. 2. Зарубежный коллега из Германии д-р Мартин Гаде читает лекцию в рамках Третьей международной Школы-семинаре в 2012 г.

Школа-семинар помимо научной программы обязательно представляет и культурную. Таруса – старинный город с большими культурными традициями. В разные годы в нем жили и работали такие известные писатели, как Паустовский, Цветаева, Ахмадулина, Заболоцкий и многие другие. На другом берегу реки Оки находится усадьба великого русского художника Поленова. Участники школы находят время посетить литературные и художественные музеи. В 2012 г. для участников Школы-семинара, среди которых были и коллеги из Германии, была организована большая и очень интересная экскурсия в г. Серпухов, славящийся своей многовековой историей.

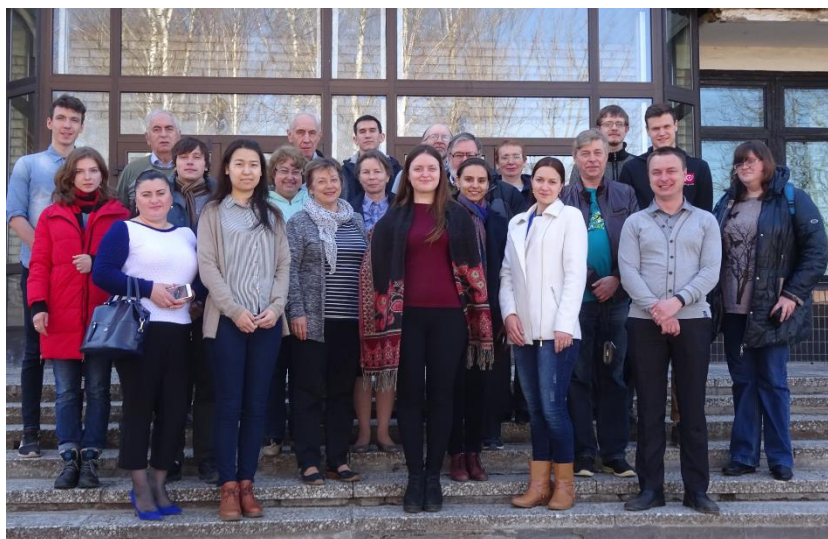
Рядом с представительством «Интеркосмос», где проходит Школа-семинар, расположено Специальное конструкторское бюро космического приборостроения ИКИ РАН. Участники Школы-семинара познакомились с его специалистами, которые рассказывали о своих разработках (рис. 3), в частности о создании микроспутника «Чибис-М», который был запущен с Международной космической станции и исследовал новые физические явления при грозовых разрядах.

В заключение следует отметить, что Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» проводится при финансовой поддержке ИКИ РАН в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

Хочется выразить благодарность всем участникам Школы-семинара и особенно постоянным лекторам: докторам физико-математических наук Копелевичу Олегу Викторовичу, Костяному Андрею Геннадьевичу, Лебедеву Сергею Анатольевичу, Репиной Ирине Анатольевне, кандидатам физико-математических наук Гинзбург Анне Ивановне и Митягиной Марине Ивановне.



Р и с. 3. Участники Школы-семинара на экскурсии в СКБ ИКИ РАН
в 2014 г.



Р и с. 4. Участники Школы-семинара 2018 г.



Р и с. 5. Руководитель Школы-семинара Лаврова О.Ю.
вручает сертификат участника

Организаторы Школы-конференции хотят поблагодарить сотрудников Тверского государственного университета и лично Кравченко Павла Николаевича за предоставленную возможность опубликовать статьи по материалам докладов 2018 г. в данном номере журнала Вестник ТвГУ, серия «География и экология».

Список литературы

1. Лаврова О. Ю., Лупян Е. А. Десять лет Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: история развития и перспективы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 7–18.

2. Лаврова О.Ю., Митягина М.И. Юбилейная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» // Земля и Вселенная. 2013. № 5. С. 66–75.
3. Лаврова О.Ю., Лупян Е.А. Двойной юбилей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 5–8.

**INTERNATIONAL SCHOOL-SEMINAR
«SATELLITE METHODS AND SYSTEMS OF THE EARTH
RESEARCH»**

O.Yu. Lavrova, A.Ya. Strochkov

Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences

The article presents information about the International School-Seminar "Satellite methods and Systems of the Earth research", which is held annually in Tarusa since 2010. The Organizers and inspirers of the school-seminar are the staff of the Space Research Institute, the P.P. Shirshov Institute of Oceanology and Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences. The article is devoted to the review of the main goals and objectives of the School-Seminar, as well as the main topics discussed at it.

Keywords: *workshop, master class, remote sensing, studying of the ocean and atmosphere, environmental monitoring, data processing methods.*

Об авторах:

ЛАВРОВА Ольга Юрьевна – к.ф-м.н., в.н.с. ИКИ РАН, e-mail: olga-yu-lavrova@mail.ru

СТРОЧКОВ Алексей Яковлевич – к.б.н., н.с. ИКИ РАН, e-mail: astroch@mail.ru

УДК 551.515.6

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-15-39>

ОБЗОР РАБОТ, ПОСВЯЩЕННЫХ МОДЕЛИРОВАНИЮ ЯВЛЕНИЙ ОБТЕКАНИЯ НЕРОВНОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ И КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ВЕТРОВ ТИПА БОРЫ

**М.К. Беданок¹, Р.Б. Берзегова¹, В.Н. Кожевников²,
Я. А. Экба³, О.П. Шевякова¹**

¹Майкопский государственный технологический университет, Майкоп,

²МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва,

³Институт экологии Академии наук Абхазии, Республика Абхазия, Сухум

В работе рассматриваются двумерные задачи обтекания неровностей поверхности земли следующих видов: нелинейные и линеаризованные, многослойные и однослойные, ограниченные и неограниченные. Обсуждаются три основных механизма возникновения боры, в рамках которых рассматриваются исследования боры: а) на основе аналитических нелинейных моделей, б) на основе применения различных численных моделей.

Ключевые слова: физика атмосферы, гидродинамика, обтекание, орографические возмущения, орографические волны, подветренный склон, масштаб Лира, гидравлический скачок, обрушение волн, бора, Новороссийская бора, модель WRF-ARV.

В настоящее время становится все более актуальным необходимым знание особенностей влияния горных систем на атмосферные потоки, т.к. значительная часть мезомасштабных (местных) циркуляций возникает в результате взаимодействия крупномасштабного атмосферного потока с орографическими неоднородностями подстилающей поверхности. Это важно для исследования природы катастрофических ветров типа боры и их прогноза, разработки методов локального прогноза погоды, искусственного воздействия на погоду и климат, определения степени опасности полетов авиации в горных районах.

Исследования орографических возмущений, возникающих в атмосфере при обтекании гор, ведутся давно. Наиболее успешно это делается на основе гидротермодинамического моделирования. Решения данной проблемы начались с создания самых простых моделей, в которых:

1) использовалось предположение о малости адвективных слагаемых уравнений движения; в дальнейшем такие модели стали называть линейными;

2) предполагалось, что на достаточном расстоянии перед горами движущаяся атмосфера невозмущена, т.е. имеет характер равномерного стационарного потока, характеристики которого известны и зависят лишь от высоты; впоследствии это состояние атмосферы стали называть натекающим потоком и исходным состоянием задачи;

3) рассматривалось среднемасштабное приближение и на этом основании действие сил Кориолиса не учитывалось;

4) изначально рассматривались только двумерные горы, поэтому орографические возмущения считались двумерными и изучались только в вертикальной плоскости, направленной по направлению натекающего потока, что дало этим моделям название двумерных;

5) использовалось стационарное приближение, которое позволяет исследовать только установившиеся возмущения (не зависящие от времени).

Наиболее полное представление о переваливании воздушного потока через достаточно длинный хребет цилиндрической формы дают стационарные двумерные задачи. Решение строится в плоскости, перпендикулярной к образующей хребта, а от координаты, направленной вдоль образующих, ничего не зависит. Большинство авторов исходят из адиабатичности движений, пренебрегают вязкостью, теплопроводностью и влажностью воздуха. За основное состояние принимается состояние натекающего потока, который вдали перед неровностью земли движется над плоской землей, стационарен и невозмущен. Здесь он горизонтален и все его параметры зависят лишь от одной вертикальной координаты. Вдоль вертикали выполняется условие гидростатического равновесия, так что распределение плотности, давления и температуры в основном состоянии определяется заданием какой-либо одной величины – остальные находят за счет использования дополнительно к условию равновесия уравнения состояния. Зачастую задаются ходом температуры, реже – плотности. Также натекающий поток характеризуется величиной скорости. Свойства натекающего потока во всех работах практически учитываются одинаково через параметр:

$$k^2 = \frac{1}{\bar{u}^2} \left[g \frac{\gamma_a - \gamma}{\bar{T}_1} \right], \quad (1)$$

где $\bar{u}$ - скорость натекающего потока, g - ускорение силы тяжести, γ_a и γ - сухоадиабатический и обычный градиенты температуры, $\bar{T}_1$ - среднее

значение температуры в тропосфере. Сомножитель в квадратных скобках называется частотой Брента-Вайсяла и определяет частоту собственных колебаний ν_c частицы воздуха при смещении ее с исходного уровня. Величина k определяет длину волны траектории этой частицы [61,62,67]:

$$\lambda_c = \frac{2\pi}{k} = 2\pi \frac{\bar{u}}{\nu_c}, \quad (2)$$

которую называют собственной длиной волны натекающего потока или масштабом Лира. В [62] было показано, что длина орографических волн коррелирует с λ_c , а конкретные расчеты траекторий движения выявили, что возмущения при увеличении высоты изменяются почти периодически и практически с тем же периодом λ_c . Было продемонстрировано, что возмущения зависят от формы гор, а вертикальные смещения достаточно существенны.

Задачи по данной проблеме принято делить на линейные и нелинейные, причем первых подавляющее число. Решение в линейных моделях ищется с использованием гипотезы о малости адвективных слагаемых уравнений движения [4, 6, 25, 33, 37, 38, 45, 67, 71, 76]. В нелинейных моделях с помощью некоторого преобразования, справедливого для частного случая, исходные уравнения преобразуются к одному линейному уравнению без использования каких либо предположений о малости возмущений. В последнее время многие ученые стали отказываться от линейных моделей, т.к. в результате расчетов проявляется некорректность, состоящая в том, что получаемые здесь возмущения оказываются не малыми. Это привело к необходимости создания нелинейных моделей.

Первая нелинейная модель была создана Лонгом [61]. Он показал, что основные свойства возмущений можно представить на плоскости изменения параметров (h, F) , где h - безразмерная максимальная высота горы в долях толщины канала H . Здесь показано, что свойства возмущений в первую очередь зависят от того какой из вариантов имеет место:

$$F > \frac{1}{\pi} \quad \text{или} \quad F < \frac{1}{\pi}, \quad (3)$$

или при использовании масштаба Лира

$$\frac{\lambda_c}{2} < H \quad \text{или} \quad \frac{\lambda_c}{2} > H. \quad (4)$$

В области $F < \frac{1}{\pi}$ начинает проявлять себя настоящий резонанс возмущений, а не резонанс в смысле «отклика». В указанной плоскости параметров задачи по мере уменьшения числа Фруда по оси $h=0$ расположены особые точки, в которых

$$F = \frac{1}{n\pi}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

На любом отрезке значений $\frac{1}{(n+1)\pi} < F < \frac{1}{n\pi}$ возмущения от параметров h , F зависят качественно одинаково. При малых значениях $h > 0$ возмущения имеют вид не очень развитых волн, но по мере увеличения этой высоты их амплитуда быстро возрастает и при некотором значении h_{rn} возмущения становятся роторными, точнее по определению Лонга в зоне возмущений появляются точки, в которых частицы воздуха перемещаются вертикально. Величина h_{rn} зависит от F ; эта зависимость плавная и имеет один максимум на рассматриваемом отрезке. Индекс r здесь вводится для того, чтобы напомнить, что речь идет о появлении ротора, а индекс n - для того, чтобы показать зависимость этой функции от номера рассматриваемого диапазона. Во всех точках функции $h_{rn}(F)$ число Ричардсона принимает нулевое значение:

$$R_i = -\frac{\partial \rho}{\rho \partial z} / \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 = 0. \quad (6)$$

Точки со значениями $R_i = 1$ при любых F соответствуют значениям высот, которые чуть меньше значений h_{rn} . Это позволяет утверждать, что на любом рассматриваемом отрезке увеличение величины h сопровождается постепенным увеличением амплитуд волн и при этом в начале возмущения ламинарны, затем становятся турбулентными. Лонг утверждает, что при условии (6) скорее всего режим становится турбулентным. Однако его лабораторные эксперименты показывают, что роторное течение может оставаться ламинарным. Это доказывает, что в расслоенной жидкости устойчивость возмущений выше, чем в однородной. Далее Лонг показывает, что значения функции $h_{rn}(F)$ при приближении ситуации к условиям (5) плавно стремятся к нулю. Кроме того он показывает, что одновременно с этим $R_i \rightarrow -\infty$. Это означает, что при выполнении условий (5) решение имеет особенность, т.е. в практическом плане не существует. Полезно

этот результат выразить так: при выполнении условия (5) даже бесконечно невысокая гора приводит к турбулизации возмущений. Для полного разъяснения этой ситуации преобразуем условие (5) к виду:

$$H = \frac{n\lambda_c}{2}, n = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

Ясно, что в точках F , удовлетворяющих условиям (5, 7), имеет место резонанс – внутренняя энергия волн полностью отражается от верхней жесткой границы потока жидкости.

Важно отметить, что внутри рассматриваемого диапазона значений чисел Фруда величина h_{rn} уменьшается при удалении от координаты максимума F_n как в направлении уменьшения значений чисел Фруда, так и увеличения. Значит, интенсивность возмущений может возрастать как при уменьшении скорости U , так и при ее увеличении (аналогичную зависимость можно увидеть и для величины $\frac{1}{N}$). Это совершенно новый результат.

При переходе от одного рассматриваемого диапазона значений F к следующему диапазону, с большим значением числа n , значения величин h_{rn} резко уменьшаются (такой переход означает переход к новому диапазону значений U , или N). Особенно важно, что изменения диапазона величин $h_{r(n+1)}$ при таком переходе существенно больше, чем вариации параметров h_{rn} . Получается, что при переходе к диапазонам с большими значениями числа n интенсивность возмущений особенно резко возрастает.

Работа [61] дала ясно понять, что принципиальное значение имеет вопрос о том, как в модели учитывается вертикальная неограниченность атмосферы. В связи с этим возникла необходимость разделять модели на закрытые и открытые. В первых рассматривается движение атмосферы в канале с горизонтальной жесткой границей. Как было показано в [61], в таких моделях необходимо учитывать резонансные эффекты, связанные с возможностью существенного отражения волновой энергии возмущений от верхней границы. В открытых моделях учитывается вертикальная неограниченность атмосферы, тем самым допускается возможность ухода энергии по высоте на бесконечность.

Полученные Лонгом результаты теоретически и экспериментально качественно подтверждены исследованиями Дэвиса [39]. При этом были рассмотрены неровности конкретной формы – в виде бесконечно тонкой стенки и в виде треугольника. Кроме того, установлено, что возмущения могут серьезно зависеть от формы неровности. Еще важнее, что экспериментально было установлено, при

каких условиях ламинарный характер возмущений становится невозможным и переходит в турбулентный. Выяснилось, что в случае стенки, модель теряет адекватность уже в диапазоне со значением $n = 2$, а в случае треугольной горы – со значением $n = 3$.

Важно отметить вывод о необходимости учитывать реальные характеристики обтекаемой неровности и в первую очередь ее высоту. Именно поэтому линеаризованные модели стали считать не корректными и начали искать решения проблемы без использования предположения о малости возмущений. Такие модели как говорилось выше получили название нелинейных.

В результате многочисленных экспериментальных наблюдений установлено, что атмосфера имеет расслоенную структуру и термодинамические параметры атмосферы заметно меняются с высотой. Потому учет стратификации атмосферы в рассматриваемых задачах дает возможность точнее и глубже понять реальную природу данного явления. Наиболее полно эта проблема рассматривалась для линеаризованных моделей [6, 25]. Однако в силу некорректности линейных задач, намного важнее рассмотреть проблему учета неоднородности атмосферы по вертикали в рамках нелинейных моделей.

Нелинейная трехслойная модель для изучения обтекания гор была применена в работе [72] одной из первых. У авторов была цель изучить взаимодействие течения с приземным ротором, но не изучение влияния расслоения. В работе нет четко сформулированных условий, при которых возникает такая структура течения. Данное исследование мало прояснило рассматриваемую проблему. В работе [56] исследуется обтекание стабильно стратифицированной несжимаемой жидкостью горных хребтов различной формы и высоты для случая, когда горизонтальный масштаб больше вертикальной длины волны. Рассматривается решение уравнения Лонга для двумерного течения стратифицированной жидкости [61]. Одним из препятствий для более широкого применения анализа Лонга авторы считают трудность получения решений, которые соответствовали бы правильным нелинейным нижним граничным условиям. Выходом из этой ситуации представляется формирование линейного решения, которое бы им соответствовало. Для верхней границы задано условие излучения, которое допускает только восходящее распространение энергии волн. Это условие применяется к нелинейным волнам с некоторой неопределенностью, поскольку может происходить частичное отражение за счет взаимодействия и выхода вверх распространяющихся волн. В работе применяется условие излучения с использованием обобщения метода, предложенного для линейных волн [42].

Рассматриваются три профиля рельефа: синусоидальный, колоколообразный и асимметричный. Используются нелинейные нижние и верхние (излучающие) граничные условия, они оказываются

сильно влияющими на структуру волн при больших амплитудах. Анализ результатов для симметричных и асимметричных профилей горных хребтов показывают, что амплитуда волны и волновое сопротивление значительно увеличиваются для гор с пологими наветренными частями и крутыми склонами подветренной стороны. Качественный характер течения, и особенно его асимметрии, зависит главным образом от удовлетворения нелинейного нижнего граничного условия, а использование условия линеаризованного излучения позволяет определить решения, сохраняющие правильные качественные свойства.

Нелинейная аналитическая трехслойная модель сформулирована в работе [68], а в последующем частично повторенная в [18, 19]. Моделирование процесса обтекания гор осуществлялось на основе решения уравнения Гельмгольца для возмущений функции тока [16, 18 – 20]:

$$\nabla^2 \psi' + K^2 \psi' = 0, \quad \psi' = \psi - \psi_0, \quad \psi_0 = -Uz, \quad K = \frac{N}{U} = 2\pi\lambda_c^{-1},$$
$$N^2 = \frac{g}{\Theta} \frac{d\bar{\Theta}}{dz} = \frac{g(\gamma_a - \gamma)}{T_1}, \quad \gamma = -\frac{d\bar{T}}{dz}, \quad \lambda_c = 2\pi \frac{U}{N}, \quad \Theta = T \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}},$$
$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2},$$

где ψ - функция тока, ψ' - ее возмущения, ψ_0 - ее значения в невозмущенном натекающем потоке перед горами, где заданы скорость U и градиент γ . Кроме того, здесь: x, z - горизонтальная и вертикальная координаты в рассматриваемой вертикальной плоскости, N - частота Брента-Вяйсяля в натекающем потоке перед горами, λ_c - волновой масштаб Лира [62] (в зарубежных публикациях его называют параметром Скорера, хотя у последнего он введен был позже, в иной форме и без анализа физического смысла), Θ - потенциальная температура, γ_a - сухоадиабатический градиент температуры, T - температура, T_1 - характерная (средняя) температура слоя, g - ускорение силы тяжести, k - отношение удельных теплоемкостей. Величины, характеризующие значения параметров в натекающем потоке, выделяются чертой сверху.

Модель позволяет в значительной части пространства над горами правильно оценивать фазы и амплитуды волновых возмущений. Проведенные расчеты позволили получить данные о влиянии устойчивого слоя над горами на силу приземного ветра. Было показано, что наличие такого слоя может в определенных случаях уменьшать ветер вдоль подветренных склонов горы. Расчеты также свидетельствуют, что высокоустойчивый слой над тропопаузой при малых значениях

характерного волнового масштаба λ_c может не учитываться при моделировании, тогда как при больших значениях λ_c его учитывать вероятнее необходимо – особенно когда изучаются возмущения в стратосфере. По данной модели было проведено исследование орографических возмущений и степень опасности полетов авиации в горах Республики Адыгея [34]. Были рассчитаны показатели безопасности полетов над горами Республики Адыгея для двух типов самолетов (легкомоторных и скоростных). Определено расположение в пространстве над горами областей повышенной опасности и как они зависят от свойств натекающего потока. Показано, что в определенных частях пространства эта опасность может быть критической.

В последние годы многослойные модели используют численное решение исходных уравнений задачи. Большой интерес вызывают работы [43, 44]. В частности, нужно отметить следующее: 1) подчеркивается, что усиление приземных скоростей может происходить и без наличия инверсионного слоя в средней тропосфере над поверхностью горы, однако при этом линии тока в этой части течения достаточно сильно прижимаются к земле из-за появления выше них роторных областей; 2) делается вывод, что сильные приземные скорости в большей степени определяются тем, что в многослойной модели учитывается наличие высокоустойчивой стратосферы; 3) изучена возможность проявления резонансных эффектов в трехслойной модели, когда значения масштаба λ_c в нижнем слое соответствуют условию резонансного отражения энергии от нижней поверхности раздела. Однако, как признают и сами авторы, интерпретация результатов применяемого метода численного моделирования не всегда остается ясной.

В работах [57, 58, 70, 79] обсуждаются режимы двумерного потока для непрерывно стратифицированного течения над двумерной горой с помощью нелинейных численных моделей, а также механизмы генерации сильных ветров у подветренного склона и обрушения волн. Авторы находят состояние течения на двух стадиях движения процесса к стационару. Однако даже в гидростатическом варианте стационар не достигнут. Изменение картины во времени имеет непосредственное отношение к технике расчетов, и сомнительно, что его можно прямо соотносить к развитию природного процесса во времени. Напряжение Рейнольдса определяется с большими ошибками. Также можно увидеть, что в трех случаях, т.е. при числе Фруда $F < 1.3$, появляются замкнутые роторы. Блокировки натекающего потока нет, есть появление области турбулентности в приземном и над приземным слоем. Авторы утверждают, что область разрыва волнового поля в атмосфере действует как внутренняя граница, которая отражает вертикальный поток волновой

энергии назад к земле и создает состояние с высоким сопротивлением за счет частичного резонанса. Однако отражение может определяться только специальными исследованиями, а без этого это очень приблизительные и качественные рассуждения. Остается непонятным тот факт, что при анализе результатов нелинейной теории используется понятие критического уровня, полученного из линейной теории.

Одной из основных климатических характеристик районов, в которых присутствуют горные склоны являются подветренные бури. Термин «подветренные бури» (или ветры подветренных склонов) – дословный перевод с английского «downslope windstorms» [43]. Эти ветра возникают на подветренных склонах при переваливании воздушными потоками горных препятствий. В одних случаях они приносят повышение температуры (фены), в других – похолодание (ветра типа боры).

Бора (греч. Bóreas – северный ветер) – название сильного холодного и порывистого ветра, дующего с низких горных хребтов в сторону теплого моря. Классическая бора связана с переваливанием холодной воздушной массы через горный хребет, когда с наветренной стороны происходят подъем воздуха, конденсация водяного пара, образование облачности, а с подветренной стороны интенсивный нисходящий поток воздуха, достигающий ураганной силы [3, 26, 29]. Считается, что вертикальный масштаб боры достигает 200–400 м, а горизонтальный – всего несколько километров от берега [3]. Наблюдается бора в холодное полугодие, в период с октября по апрель.

Природа подветренных бурь изучена достаточно подробно, но единого мнения о главенстве того или иного фактора при ее формировании не достигнуто. При этом главным признаком, по которому проводится разделение орографических ветров на типы является механизм формирования. На сегодняшний день исследование механизма возникновения боры сводится к сравнению данных наблюдений либо с волновой теорией (то есть моделирование подветренных волн с помощью линейной и нелинейной теорий с использованием профилей скорости и устойчивости, полученных из данных зондирования или других данных) [20, 56, 67], либо с теорией обрушения волн (то есть моделирование с помощью нелинейных уравнений, с учетом различных нелинейных эффектов и трехмерной структуры боры – струи, области застоя воздуха, роторы и др.) [14, 58, 66], либо с теорией гидравлического скачка [54, 60, 78]. Также не исключается взаимодействие всех трех механизмов, поскольку считается, что сильные подветренные бури, связанные с волновым обрушением, схожи с реакцией гидравлического подветренного потока, усиленного слоем тонкой инверсии.

Выше был дан обзор работ, посвященных волновому подходу при исследовании подветренных бурь в рамках нелинейной теории. Отметим,

что основным нелинейным эффектом, способствующим усилению ветра на подветренном склоне, является обрушение внутренних гравитационных волн, которые возбуждаются внутри непрерывно стратифицированной среды. Причинами могут быть уменьшение плотности воздуха с высотой или на критических уровнях. Последнее для орографических волн соответствует высоте, на которой компонента скорости потока, перпендикулярная хребту, равна нулю [20, 63].

Теория гидравлического скачка основана на решении задачи обтекания с помощью уравнений мелкой воды. Увеличение скорости ветра в подветренной части склона объясняется переходом натекающего потока из субкритического (медленный и глубокий поток) к свехкритическому (быстрый и мелкий поток) состоянию с образованием аналога гидравлического скачка в атмосфере за подветренным склоном [60]. Наиболее серьезным допущением является несжимаемость потока, когда динамический эффект температурной стратификации атмосферы учитывается посредством введения искусственного скачка плотности на свободной поверхности раздела, отделяющей нижний слой от вышележащей неограниченной по высоте области невозмущенного потока. Многочисленные исследования [43, 44, 78] подтвердили правомочность использования гидравлического подхода для объяснения условий возникновения подветренных бурь, а также при анализе структуры потока за подветренным склоном.

Первые теоретические попытки исследования боры были сделаны на Адриатике [64]. Причем в аналитических моделях бору рассматривали как кататический ветер, т.е. гравитационных течений холодного приповерхностного воздуха, стекающего с прибрежных гор в теплую атмосферу над морем [52, 80]. В результате данных исследований пришли к выводу, что усиление ветра при этом процессе достаточно мало и не соответствует наблюдаемому [47]. Дальнейшие теоретические исследования боры связаны с применением упрощенных моделей динамического взаимодействия натекающего потока с неровностями земли [20, 36, 46, 51, 54, 74].

Как известно, подветренные возмущения непосредственно связаны с крупномасштабной структурой метеорологических полей. Пользуясь этим создаются синоптические модели подветренных бурь, учитывающие скорость и направление ветра в нижней или средней тропосфере, сдвиг ветра с высотой, вертикальный градиент температуры и т.д. [12, 59]. Подобные модели носят практический интерес именно для прогноза боры.

В последнее время для исследования и прогноза подветренных бурь широко используется численное мезомасштабное моделирование. Подобные модели могут использоваться в режиме идеализированного и реального моделирования. Подавляющее число идеализированных моделей используют системы двумерных несжимаемых нелинейных уравнений гидротермодинамики. При этом рельеф задается в

идеализированном виде, а граничными условиями служат данные наветренного радиозондирования [41, 43, 69]. Среди идеализированных моделей можно встретить модели, в которых натекающий поток задается искусственно, где частота Брента-Вяйсяля и скорость натекающего потока задаются постоянными по высоте [76, 77].

С помощью модели ECMWF в [55] проводилось численное моделирование адриатической боры при переменной высоте и форме рельефа. Показано, что возникновение ветра типа боры происходит только в случаях с реальным рельефом, причем на достаточно низких высотах хребта усиления ветра с подветренной стороны не фиксировалось, а для больших высот – натекающий поток полностью блокировался с наветренной стороны.

В работе [46] применялась полная гидродинамическая модель атмосферы с определенными упрощениями для рассмотрения влияния различных факторов на динамику ветров при адриатической боре. Используется мезомасштабная модель RAMS при отсутствии трения на нижней границе. При наличии трения с подветренной стороны хребта возникает разрыв пограничного слоя, а у земли заметен слабый ветер. При отсутствии трения возникает обрушение внутренних гравитационных волн и струя достаточно сильного ветра опускается по подветренному склону к поверхности земли, что указывает на сильное влияние трения на поведение потока в подветренной части.

Большое количество работ посвящено также моделированию реальных эпизодов боры. Например, в работе [36] проводилось исследование порывистости адриатической боры с использованием модели COAMPS с разрешением 300 м. Было показано, что порывы у земли наблюдались при наличии низкоуровневого обрушения волн, а также скачка. При этом отсутствие порывов сопровождалось наличием подветренных волн и ротора, а обрушение отмечалось лишь в районе тропопаузы. Другая модель MEOM06 была использована тоже для исследования порывистости адриатической боры [35]. Однако модель достаточно грубо учитывает максимальные скорости ветра, но хорошо воспроизводит общий временной ход скорости ветра при боре.

Для моделирования боры в Корее была использована модель WRF [50], которая позволила сделать выводы о физическом механизме возникновения явления. Авторы полагают, что основным условием формирования боры является существование критического уровня на высотах 8-9 км, от которого происходит отражение волн и возникает резонанс.

Следует упомянуть такие крупные проекты по исследованию боры как ALPEx [40, 46], MAP [32, 48], T-REX [32, 49], в рамках которых проходят комплексные синхронные наблюдения отдельных эпизодов подветренных бурь. В основном, сделанные в ходе работы выводы о структуре потока, согласуются с результатами моделирования.

Недостатком этих проектов является небольшая длительность и малый пространственный охват измерений.

Помимо боры проводятся исследования и фёна. В работе [46] рассматриваются фёны в Альпах на основе результатов модели COAMPS с разрешением 1 км, которые сравниваются со спутниковыми данными, наземными измерениями, с данными лидарного зондирования. Были проанализированы траектории частиц и блокирование потока. По вертикальному профилю потока импульса, связанного с внутренними гравитационными волнами установлено, что в нижней тропосфере и стратосфере происходит обрушение волн, причем в тропосфере сопровождается гидравлическим скачком.

В России наиболее известна Новороссийская бора, под которой понимают появление катастрофически сильного ветра в городе и в Цемесской бухте, когда с северо-востока, перевалив через горы, в район приходит холодная воздушная масса. Впервые причины возникновения новороссийской боры были исследованы русским географом Ф.Ф.Врангелем [22], другое крупное исследование этого явления — работа [13]. В ней на основании десятилетних наблюдений на станции Новороссийск изучена изменчивость основных метеорологических характеристик во время боры, повторяемость по месяцам и ее продолжительность. Первое подробное описание новороссийской боры было дано в лоции Черного моря, изданной в 1947 г. Следующим важным шагом на пути исследования боры стала работа А.М. Гусева, до сих пор считающаяся классической [23]. В ней, в частности, показано, что условия образования боры существенным образом зависят, с одной стороны, от соотношения высоты горного хребта и мощностью натекающего слоя воздуха, а с другой от величины температурных контрастов в атмосфере. В работе [7] новороссийская бора исследовалась с помощью аналитической модели, основанной на уравнениях теории «мелкой воды». Авторами было указано на существование докритических и критических решений, а также и на возможность появления скачков давления, с помощью которых можно попытаться объяснить некоторые особенности движения воздуха в горах, и в частности такое явление, как бора. В работах [21, 24] рассматриваются вопросы прогноза боры и его синоптические аспекты.

В работах [8, 9, 27, 28] бора в Новороссийске исследовалась с целью решения проблемы прогнозирования этого опасного явления с помощью численной мезомасштабной негидростатической модели WRF-ARW. Данная модель учитывает много больше физических факторов явления, чем аналитические модели, однако, как обычно, это делается посредством использования методов параметризации.

Работа [27] посвящена исследованию возможности численного моделирования прогноза боры, причем рассматривается конкретный случай боры. Показано, что две главные черты боры численным методом

воспроизводятся: а) орографическая асимметрия возмущений, б) количественные характеристики различий по потоку. Отмечено, что требуются дальнейшие исследования по части параметров модели, в частности в отношении размеров шага дискретизации, параметров параметризации важных физических факторов атмосферных процессов в приземном слое и т.д. Общие закономерности явления не исследуются. Сообщается, что кроме численных подходов к исследованиям проблемы используются модели двух типов – гидравлическая и волновая. Модельное поле скоростей качественно подтверждает, что гребни главных волновых возмущений параллельны горам. Значит, картина возмущений близка к двумерной, причем возмущения максимальны у подножия Маркотхского (подветренного) хребта гор и они позволяют предполагать, что в реальности порывы должны были достигать значений в 30 м/с, т.е. превышать прогнозируемые в 1.5 раза. Прогноз заставляет обратить внимание на изменения процесса во времени и главным образом на то, что дескритизация данных по времени должна быть порядка десятка минут. Авторы, рассматривая возможное использование волновой и стоковой моделей, отдают предпочтение первой из них.

В работе [8, 9] проводится численное моделирование сильной бory 7 – 8 февраля 2012 года. Сравнение данных об изменениях во времени скорости на высоте 10 м и температуры на высоте 2 м проведено по данным измерений и численного расчета в районе Новороссийска. Авторы полагают, что следует различать три стадии изменений явления во времени: начальную, кульминационную и завершающую. Нет пояснений о том, где и как проводились измерения. Численные расчеты проводились не непрерывно, а для дискретных начальных данных. Данные расчетов полей скорости и потенциальной температуры в вертикальной плоскости, направленной по меридиану, проведенные для трех моментов времени в диапазоне высот до 3 км показали следующее: а) поскольку направление меридиана не совпадает с перпендикуляром к горам представленные разрезы говорят о наличии определенной двумерности возмущений; б) возмущения резко меняют свой характер во времени и поэтому их анализировать следует отдельно для разных промежутков по времени (выше даны авторами названия для этих периодов). Показано, что бору следует рассматривать как нестационарный процесс вторжения масс холодного воздуха с севера через горы на юг, вытесняющего массу теплого воздуха. Также показано, что возмущения при боре существенно изменяются по вертикали. Данные расчетов о деталях изменений по вертикали следует считать довольно приближенными, особенно насчет приподнятых струй. Во-первых, нет измерений. Во-вторых, вероятно параметризация разных процессов не идеальна, особенно турбулентности вблизи земли, если вообще она возможна. Ничего не сказано о возможных зависимостях

параметризаций от сезона, месяца, типа воздушной массы и т.д. Показано, что форма неровностей рельефа оказывает на возмущения определяющую роль. При этом изменения по горизонтали имеют явную двумерную составляющую (гребни волн параллельны линии гор) и одновременно в области бухты заметны существенные отклонения от двумерности (влияние полуостровов по ее краям). Вывод о временных стадиях явления является достаточно важным и убедительным. На наш взгляд следовало для кульминационной стадии провести расчеты еще для одного срока, например, для 0 часов 8 февраля. Тогда стало бы понятнее, какие характеристики имеет бора, как квазистационарный процесс переваливания холодного воздуха через горы.

Исследованию настройки численной модели прогноза Новороссийской боры при использовании результатов измерений возмущений атмосферы – на стандартных станциях метеослужбы, а так же в приземном слое у гор и в подветренной области посвящена работа [28]. Подтверждено, что самое существенное влияние на результаты прогноза оказывает учет в модели свойств приземного слоя и характеристик турбулентности. Прогноз по модели дает удовлетворительные результаты (в рамках принятых стандартов) в отношении характерных величин. Однако потребителей волнует в первую очередь прогноз максимальных значений скорости, а эта сторона проблемы остается пока совершенно не оцененной. Кроме того: а) рассматривается один конкретный случай боры, а именно 26-28 января 2012, б) не исследуются общие закономерности этого явления, – в частности зависимость от замеченных периодических изменений натекающего потока; в) размер разрешения по горизонтали используется недостаточно малый (порядка 2 км), чтобы исследовать зависимость явления от важных факторов боры. Делается вывод, что результат моделирования существенно зависит от параметризации процессов в пограничном слое и турбулентности. Не ясно, что имеется в виду. Результаты измерений и моделирования показывают, что изменения скорости во времени настолько велики, что необходимо переходит к учету изменений скорости с периодом менее 20 минут. Кстати, следует отметить, что не указывается, как меняется в экспериментах натекающий поток со временем и насколько он не стационарен.

В работе [5] проводится анализ того, насколько хорошо можно прогнозировать возмущения атмосферы в конкретный период времени, включающий две боры у северо-восточного побережья Черного моря (январь-февраль 2012 года), в том числе особенно сильную бору 7-8 февраля в районе Новороссийска. В первую очередь использовалась численная модель WRF-ARW. Полученные при этом данные о временных изменениях ветра и температуры сравнивались со стандартными метеорологическими измерениями в 5 прибрежных точках, в том числе в г. Новороссийске. Особое внимание следует

обратить на то, что авторы делают вывод, что результаты моделирования наиболее существенно зависят от того, как осуществляется параметризация процессов конвекции и турбулентности в приземном слое толщиной 1.5 км. Авторы обращают внимание на то, что в период наибольшего развития боры в Новороссийске направление ветра действительно свидетельствует о том, что бора определяется переваливанием масс воздуха поперек горных хребтов и что именно в этот период снижается температура воздуха у земли. Кроме того в работе используется анализ результатов наблюдений из Космоса и в первую очередь радиолокационных наблюдений. Анализ позволяет обратить внимание на три аспекта возмущений. Первый – наличие орографического исчезновения облачности над морем вдоль всего побережья протяженностью порядка 300 км. Второй – интенсификация волнения на поверхности моря явно связана с потоками воздуха, переваливающими через прибрежные горы. Третий – влияние боры над морем продолжается до 400 км удаления от побережья. Все три аспекта свидетельствуют, что речь идет именно о боре. Работа не направлена на вскрытие физических факторов боры, авторы признают что при таких исследованиях следует серьезно уменьшать шаги дискретизации. Измерения, численные расчеты и снимки из Космоса показали, что исследовалась именно бора и что ее масштабы вдоль побережья и по удалению от гор по потоку покрывают область около 300 на 300 км. Результаты расчетов сильнее всего зависят от качества параметризации процессов в нижнем слое атмосферы толщиной около 1.5 км. Полосы на радиолокационных снимках, совпадающие по направлению с направлением основного потока атмосферы неубедительно объясняются образованием ветровых струй. Снимки в оптическом диапазоне показывают, как выглядело поле облачности во время боры. Оно обращает внимание на две его особенности – на безоблачную полосу, параллельную линии берега (и одновременно линии прибрежных горных хребтов), - и на облачные улицы конвективных облаков, ориентированные по направлению основного потока, т.е. поперек линии гор. Картина облачности свидетельствует, что полосы на радиолокационных снимках указывают не на характеристики поля ветра, а на характеристики поля влажности, которые определяются процессами конвекции и образования облаков.

Работа [30] посвящена исследованию аспектов гидродинамики Новороссийской боры. Используются имеющиеся данные измерений характеристик атмосферы в течении пяти периодов времени. Особенно подробно разбираются два периода, один из которых включает сильную бору и другой – слабую. Важно, что эти периоды характеризуют разные стадии изменений возмущений атмосферы – предначальную, кульминационную и заключительную. Используются также данные обширных численных экспериментов. В итоге выявлено много важных

характеристик этого явления и сделан важный вывод о том, что волновая гидродинамическая модель, видимо, более подходит для описания боры, нежели стоковая модель. Данные измерений скорости ветра, несмотря на их недостатки в отношении их разделения по признаку расположения относительно хребтов (наветренные -1, на подветренном склоне -2, у подошвы подветренного склона -3, на удалении от 3 по потоку), свидетельствуют о следующем: а) возмущения имеют квазидвумерный характер, поскольку главные качественные изменения можно описывать в вертикальных сечениях, перпендикулярных к средней линии ориентации гор (практически по направлению фонового потока).; б) возмущения зависят от того, где вертикальное сечение пересекает горы (район Новороссийска или Геленджика, например); в) возмущения сильно зависят от времени. Это означает, что следует каждую конкретную бору характеризовать в тесной связке со временем. Авторы не отмечают признаков двумерности, хотя признают, что во всех рассмотренных вариантах у подножия подветренного хребта скорость ветра выше, чем перед горами и в подветренной части на удалении от них. Как и ранее было сказано, авторы, очевидно, дают предпочтение волновой теории по сравнению со стоковой [43, 56]. Они напоминают высказывания предыдущих исследователей о двух возможных вариантах развития боры при обтекания гор. Первый - когда после переваливания гор поток воздуха резко ускоряется у подветренного склона гор и вдоль земли ниже по потоку. Второй - когда вдоль земли ниже по потоку за горами ветер ослабляется или даже направлен навстречу основному потоку вследствие возникновения здесь локального вихря с горизонтальной осью (ротора), вращение частиц воздуха в котором и обеспечивает указанное направление ветра у земли. Первый вариант авторы объясняют по разному. Во-первых, они ссылаются на исследование подобной ситуации у берегов Адриатического моря, когда переваливший через горы поток встречал острова в море. Во-вторых, они полагают, что подобную островам роль могут сыграть резкие усиления орографических волн над морем ниже по потоку от гор. Последнее предположение результатами работы подтверждается. Вывод авторов о том, что сильная бора прямо связана с сильными ветрами в натекающем потоке, представляется требующим более детального исследования. Также по этой модели отмечалось наличие гидравлического скачка над подветренным склоном, подветренных волн, обрушения гравитационных волн и сильной приземной инверсии температуры на подветренной стороне [5, 9, 31]. В течение одного эпизода боры режим обтекания меняется от докритического к сверхкритическому и наоборот. В работах получены оценки толщины слоя северо-восточных ветров с наветренной и подветренной стороны, высоты низкотропосферного струйного течения на наветренной стороне, высоты максимальных скоростей ветра на подветренной стороне,

горизонтального масштаба явления и т.д., также делаются попытки объяснить преобладание того или иного механизма формирования боры. Аналогичные результаты получены с помощью мезомасштабной модели COSMO [2].

В работе [1] проведено исследование орографических возмущений в районе Новороссийска. Применяется нелинейная, стационарная, двумерная, аналитическая модель [Кож, 1999]. Вертикальная неограниченность атмосферы учитывается путем представления ее в виде трех слоев с разной гидростатической устойчивостью. Свойства невозмущенного натекающего потока учитываются во всем реальном диапазоне его изменений. Изучаются характеристики потока воздуха у подветренного склона обтекаемого рельефа. Высказывается гипотеза о том, что интенсивность боры можно оценивать по величине скорости у подветренного склона гор.

Менее изученной является ялтинская (крымская) бора. Одними из первых работ были [15, 17, 19] в которых проводилось моделирование обтекания Крымского хребта в районе Ялты на основе теории гидротермодинамики. В основу исследований были положены результаты экспедиций. В результате указано на возможность существования в поле возмущений над горами Крыма роторных образований с горизонтальной осью, достаточно стабильных во времени и протяженных в пространстве. Исследование также показало насколько необходимо при моделировании учитывать в должной мере форму рельефа. Отдельные эпизоды крымской боры рассмотрены в работах [8, 11] с помощью мезомасштабной модели WRF-ARW с максимальным разрешением вложенной сетки 0.3 км. Описанный эпизод боры в [8] указывает на то, что натекающий поток находится в докритическом состоянии, над подветренным склоном зафиксировано обрушение гравитационных волн, при этом струя не отрывается от поверхности. В работе [11] описывается иной эпизод боры, когда моделирование показало отрыв пограничного слоя с подветренной стороны Крымских гор и образование интенсивных подветренных волн, причем вертикальный масштаб – вся тропосфера. На основании расчетов числа Фруда было показано, что возникает блокирование нижних слоев потока, а остальная часть потока находится в сверхкритическом состоянии.

Следует упомянуть и новоземельскую бору, изученность, которой намного меньше. В частности, можно указать работу [65], в которой проводится анализ воспроизведения поля ветра в районе Новой Земли по данным реанализа ASR. Новоземельская бора упоминается в работе [53], посвященной статистическому анализу экстремальных скоростей ветра в Арктике. В работе [30] данная бора исследуется с помощью данных наблюдений и реанализа MERRA. Для рассмотренных 12 эпизодов новоземельской боры, выявлено наличие слоя приподнятой инверсии, низкотропосферного струйного течения на высотах, близких к высоте

хребта, обращения ветра с высотой. В моменты максимального развития боры происходит уменьшение частичного блокирования потока горами. Показано, что скорость ветра при боре контролируется в первую очередь мезомасштабным барическим градиентом, который может возникать в результате распространения гравитационных волн над хребтом (волновое сопротивление). Также показано, что новозмельская бора в значительной мере схожа с новороссийской борой, а также с другими ветрами такого типа.

В результате проведенного обзора работ, посвященных проблеме обтекания горных систем и исследованию боры, отметим некоторые моменты. Благодаря работам большого числа исследователей многие конкретные свойства подветренного потока уже выяснены. Бора должна рассматриваться как процесс развития во времени. Причем на первых шагах следует выделять начальную, кульминационную и заключительную стадии ее развития. Форма обтекаемых гор порождает наличие двумерной составляющей в пространственных изменениях возмущений. Во всех случаях боры наибольшего усиления ветра следует ожидать у подветренного склона обтекаемых гор.

Однако мы считаем, что:

1. необходимо продолжить изучение орографических возмущений над горами, когда предположение о верхней границе не используется (неограниченная задача);

2. необходимо детальное исследование влияния размеров гор, их формы на особенности картины обтекания;

3. необходимо дальнейшее уточнение роли устойчивости натекающего потока вообще и изменения ее в отдельных слоях в частности;

4. качество, получаемых результатов с помощью численного мезомасштабного моделирования в указанных выше работах проверяется путем сопоставления их с данными отдельных измерений у земли. Этого явно недостаточно. Для настоящей оценки качества численной модели необходимо проводить оценку надежности применяемых методов параметризации сложных физических процессов именно для изучаемого явления. Для получения такой оценки следует проводить сопоставление результатов расчета с измерениями в достаточно многих точках у земли, а еще важнее – с измерениями на многих уровнях. Наши предыдущие исследования [17] показали, что при использовании в модели послойного учета изменений градиента температуры приходится пока рассматривать слои с заметной вертикальной толщиной. Учет такого слоя в средней части тропосферы, показал, что его влияние на возмущения не так заметно, и важнее применять такие построения для учета влияния эффектов отражения волновой энергии на тропопаузе. Такой подход применяется в наших работах. Обширный опыт наших модельных расчетов с использованием данных радиозондирования показал

следующее: а) радиозондирование обычно проводится не там и не в нужное время; б) получаемые при этом данные характеризуют положение на редком числе уровней высоты, что приводит к недопустимо большой потере точности определения вертикального градиента температуры. Поэтому в наших модельных исследованиях мы пришли к выводу, использовать послойное задание свойств натекающего потока, но в широком диапазоне их изменений. Положение могла бы исправить хорошая статистика, но тогда потребовалось бы проводить запуск радиозондов намного чаще.

В проводимых нами исследованиях применяется аналитическая нелинейная, двумерная, стационарная, открытая модель, рассматривающая явление в рамках среднего масштаба [20], когда силы Кориолиса не учитываются и протяженность обтекаемых гор не превышает 40 км. В модели также приняты во внимание результаты [16], которые показали, что необходимо учитывать реальную форму гор и их большую горизонтальную протяженность. Вертикальная неограниченность атмосферы в модели, как и в [18, 19] учитывается по-новому, а именно путем представления ее в виде трех слоев.

Список литературы

1. Беданов М.К., Берзегова Р.Б., Кожевников В.Н. Численное моделирование новороссийской бора //Геопойск-2017: Материалы II Всероссийского конгресса молодых ученых-географов, Тверь, 23-27 октября 2017 г. / Тверской государственный университет. – Тверь: Изд-во ТвГУ, 2017. – С. 322–332.
2. Блинов Д. В., Перов В.Л., Песков Б.Е., Ривин Г.С. Экстремальная бора 7-8 февраля 2012 г. в районе г. Новороссийск и ее прогноз по модели COSMO-Ru // Вестник Московского университета. Сер. 5, География, 2013, № 4. С. 36–43.
3. Бурман Э.А. Местные ветры/ Л.: Гидрометеиздат, 1969. –341 с.
4. Габов С.А., Свешников А.Г. Задачи динамики стратифицированных жидкостей. М.: Изд-во «Наука», 1986.
5. Гавриков А.В., Иванов А.Ю. Аномально сильная бора на Черном море: наблюдение из космоса и численное моделирование. // Изв. РАН, ФАО. 2015. т.51. № 3. С. 1–12.
6. Госсард Э.Э., Хук У.Х. Волны в атмосфере. М.: Изд. Мир, 1978.
7. Гутман Л.Н., Франкль Ф.И. Гидродинамическая модель бора // ДАН СССР, 1960, Т. 30, № 5.
8. Ефимов В. В., Барабанов В. С. Моделирование черноморской бора //Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2013, Т.49, №. 6. – С. 688–698.
9. Ефимов В.В., Барабанов В.С. Моделирование Новороссийской бора. //Метеорология и гидрология. 2013. т.38. № 3. – С. 171–176.

10. Ефимов В. В., Барабанов В. С. Порывистость новороссийской боры // Метеорология и гидрология, 2013, № 12. С. 68–75.
11. Ефимов В.В., Комаровская О.И. Пространственно-временная структура ялтинской боры // Морской гидрофизический журнал, 2015, № 3. С.3–14.
12. Зимич П. И. Певекский южак / под ред. А.А.Дмитриева, Л.: Гидрометеиздат, 1991. –120 с.
13. Коростолев Н.А. Новороссийская бора // Записки Импер. Акад. Наук, 1904, Т. 15, № 2.
14. Кожевников В.Н. Орографические возмущения в двумерной стационарной задаче. // Изв. АН СССР. 1968. т.4. №.1. С. 33–52.
15. Кожевников В.Н., Козодеров В.В. Теоретическая картина обтекания Крымского хребта в районе Ялты // Изв. АН СССР, ФАО, 1970, т.6, № 10.
16. Кожевников В.Н., Лосев А.С. О построении модели обтекания при точном выполнении граничного условия на цилиндрическом профиле // Вест. МГУ. Сер. 3. Физика Астрономия. 1985. Т. 23. №. 5. С. 43–50.
17. Кожевников В.Н., Бибикина Т.Н., Журба Е.В. Орографические волны, облака и ротаторы с горизонтальной осью над горами Крыма // Изв. АН СССР, ФАО, 1986, т.22, № 7.
18. Кожевников В.Н., Беданов М.К. Нелинейная многослойная модель обтекания произвольного профиля // Изв. РАН, ФАО. 1993. Т. 29. № 6. С. 780–792.
19. Кожевников В.Н., Беданов М.К. Волновые возмущения над горами Крыма. Теория и наблюдения // Изв. РАН, ФАО, 1998, № 4.
20. Кожевников В.Н. Возмущения атмосферы при обтекании гор. М. Научный мир, 1999. 160 с.
21. Мастерских М.А., Бельская Н.Н., Минеева М.Н. Прогноз фронтальной боры в Новороссийске и других сходных физико-географических районах (методические указания) / М.Гидрометиздат, 1973, 20 с.
22. Новороссийская бора и ее теория / [Соч.] Кап.-лейт. бар. Ф. Врангеля. - Николаев: Тип. Ю. Г. Рено, 1876. - [2], 17 с.
23. Новороссийская бора. Под ред. А. М. Гусева / Труды МГИ АН СССР, 1959, Т. 14. – 355 с.
24. Семенов Е.К., Соколихина Н.Н., Соколихина Е.В. Синоптические условия формирования и развития новороссийской боры // Метеорология и гидрология, 2013, № 10, с. 16–28.
25. Скорер Р.С. Аэродинамика окружающей среды. М., Мир, 1980, 549 с.
26. Стехновский Д.И., Зубков А.Е., Петровский Ю.С. Навигационная метеорология. М.: Транспорт, 1971. – 278 с.
27. Торопов П.А., Мысленков С.А., Самсонов Т.Е. Численное моделирование Новороссийской боры и связанного с ней ветрового

- волнения. //Вестник Московского университета. 2013. Серия 5: География. № 2. С. 38–46.
28. Торопов П.А., Шестакова А.А. Тестирование мезомасштабной модели (WRF) для задачи прогноза Новороссийской боры. Вестн. Моск. Ун-та, Серия 3, География. 2014, № 3.
29. Шелковников М.С. Мезометеорологические процессы в горных районах и их влияние на полеты воздушных судов. Л.: Гидрометеиздат, 1985.
30. Шестакова А.А., Моисеенко К.Б., Торопов П.А. Гидродинамические аспекты эпизодов Новороссийской боры 2012-2013 гг.// Изв. РАН, ФАО. 2015. т.51. № 4. С. 1–13.
31. Шокуров М. В. Численное моделирование катастрофических погодных явлений в Черноморском регионе //Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу, 2012. С.301–320.
32. Armi L., Mayr G. J. The descending stratified flow and internal hydraulic jump in the lee of the Sierras //Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2011, Vol. 50, №. 10, pp. 1995–2011.
33. Atkinson B.W. Meso-scale atmospheric circulations. - London-New York-Toronto- Sydney- San Francisco: Acad.Press,1981, 482p.
34. Bedanokov M.K., Berzegova R.B., Kuizheva S.K. Atmospheric Disturbances in the Airflow around Mountains and the Problem of Flight Safety in the Mountains of the Republic of Adygeya // Ecologica Montenegrina. 2017. T. 14. p. 136–142.
35. Belušić D., Klaić Z. B. Estimation of bora wind gusts using a limited area model //TellusA, 2004, Vol. 56, №. 4, pp. 296–307.
36. Belušić D., Žagar M., Grisogono B. Numerical simulation of pulsations in the bora wind //Q. J. R. Meteorol. Soc., 2007, Vol. 133, №. 627, pp. 1371–1388.
37. Berkshire F.H. Two-dimensional linear lee wave modes for models including a stratosphere. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 1975, v. 101, p.p. 259–266.
38. Crook N.A. Trapping of low-level internal gravity waves. J. Atmos. Sci., 1988, v.45, № 10, p.p. 1533–1541.
39. Davis R.E. The two-dimensional flow of a stratified fluid over an obstacle. J. FluidMech., v. 36, № 1, 1959.
40. Davies H.C., Pichler H. Mountain meteorology and ALPEX// Meteor. Atmos. Phys., 1990, Vol. 43, pp. 3–4.
41. Doyle J. D., Reynolds C. A. Implications of regime transitions for mountain-wave-breaking predictability //Mon. Wea. Rev., 2008, Vol. 136, №. 12, pp. 5211–5223.
42. Drazin P.G. and C.H.Su A note on long-wave theory of airflow over a mountain. J. Atmos. Sci., 1975, v. 32, p. p. 437–439.

43. Durran D.R. Another look at downslope windstorms. Part I: The development of analogs to supercritical flow in an infinitely deep, continuously stratified fluid. *J. Atmos. Sci.*, 1986, v. 43, p. p. 2527–2543.
44. Durran D.R. and Klemp J.B. Another look at downslope windstorms. Part I: Nonlinear amplification beneath wave-overtaking layers. *J. Atmos. Sci.*, 1987, v. 44, p. p. 3402–3412.
45. Eliassen A., Palm E. On the transfer of energy in stationary mountain waves // *Geofysiske Publikasjoner*, 1961, Vol. 22, pp. 1–23.
46. Gohm A. and Mayor G. J. Numerical and observational case-study of a deep Adriatic bora// *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 2005, Vol. 131, pp. 1363–1392.
47. Grisogono B. and Belusic D. A review of recent advances in understanding the meso- and microscale properties of the severe Bora winds// *Tellus*, 2009, Vol. 61A, No. 1, pp. 1–16.
48. Grubisic V. Bora-driven potential vorticity banners over the Adriatic// *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 2004, Vol. 130, pp. 2571–2603.
49. Grubišić V., Doyle J.D., Kuettner J. et al. The terrain-induced rotor experiment: a field campaign overview including observational highlights// *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 2008, Vol. 89, pp. 1513–1533.
50. Jang W., Chun H. Y. A numerical study on severe downslope windstorms occurred on 5 April 2005 at Gangneung and Yangyang, Korea // *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 2010, Vol. 46, №. 2, pp. 155–172.
51. Jiang Q., Doyle J. D. Wave breaking induced surface wakes and jets observed during a bora event// *Geophysical Research Letters*, 2005, Vol.32, Issue 17, pp.1–5.
52. Jurcec, V. On mesoscale characteristics of Bora conditions in Yugoslavia. *Pure Appl. Geophys.* 119, 1981, p.640–657.
53. Kislov A., Matveeva T. An extreme value analysis of windspeed over the European and Siberian parts of Arctic region// *Atmospheric and Climate Sciences*, 2016, Vol.6, pp. 205–223.
54. Klemp J.B. and Durran D.R. Numerical modeling of bora winds // *Meteorol. Atmos. Phys.*, 1987, Vol.36, pp.215–227.
55. Lazic L., Tosic I. A real data simulation of the adriatic bora and the impact of mountain height on trajectories// *Meteorol. Atmos. Phys.*, 1998, Vol.66, pp.143–155.
56. Lilly D.K. and Klemp J.B. Comments on «The evolution and stability of finite amplitude mountain waves». Part II: Surface wave drag and severe downslope winds. *J. Atmos. Sci.*, 1980, v. 37, p. p. 2119–2121.
57. Lin Y. L. Mesoscale dynamics. Cambridge University Press, 2007, p.646.
58. Lin Y. L. and Wang T. A. Flow regimes and transient dynamics of two-dimensional stratified flow over an isolated mountain ridge // *J. Atmos. Sci.*, 1996, Vol. 53, №. 1, pp. 139–158.

59. Lindsey D. T. A High Wind Statistical Prediction Model for the Northern Front Range of Colorado //National Weather Association, Electronic Journal of Operational Meteorology, 2011.
60. Long R.R. Some aspects of the flow of stratified fluids: II. Experiments with a two-fluid system // Tellus, 1954, Vol. 6, pp. 97–115.
61. Long R. R. Some aspects of the flow of stratified fluids. III. Continuous density gradients. Tellus, 1955, v.7, No.3.
62. Lyra G. Theorie der stationaren Leewellenstromung in freien Atmosphere // Z. Angew. Math.Und Mech. 1943, V.23, №.1, P. 1–28.
63. Markowski, P., Y. Richardson, Mesoscale Meteorology in Midlatitudes / Royal Meteorological Society, 2010, 327 p.
64. Mohorovicic, A. 1889. Interesting cloud pictures over the Bay of Buccari(with a comment from the editor J. Hann) (Interessante Wolkenbildung ber der Bucht von Buccari).Meteorol. Z. 24, 56–58.
65. Moore, G. W. K. The Novaya Zemlya Bora and its impact on Barents Sea air-sea interaction// Geophys. Res. Lett., 2013, Vol. 40, pp. 3462–3467.
66. Peltier W.R. and Clark T. L. The evolution and stability of finite-amplitude mountain waves. Part II: Surface wave drag and severe downslope winds. J. Atmos. Sci., 1979, v. 36, p. 1498–1529.
67. Queney et al. The airflow over mountains. World Meteorol. Organiz., Technical note, № 43, 1960 (Ed. M.A. Alaka).
68. Rontu L.A. A finite-amplitude mountain wave model.// Department of Meteorol. University of Helsinki, 1986, Report № 26, p. 41.
69. Saito K., Ikawa M. A Numerical Study of the Local Downslope Wind "Yamaji-kaze" in Japan //Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, 1991, Vol. 69, №. 1, pp. 31–56.
70. Scinocca J. F., Peltier W. R. The instability of Long's stationary solution and the evolution toward severe downslope windstorm flow. Part I: Nested grid numerical simulations //J. Atmos. Sci., 1993, Vol. 50, №. 14, pp. 2245–2263.
71. Smith R. B. The influence of mountains on the atmosphere //Advances in geophysics, 1979, Vol. 21, pp. 87–230.
72. Smith R.B. Aerial observations of Yugoslavian bora// J. Atmos. Sci., 1987, Vol.44, Issue 2, pp. 269–297.
73. Smith R.B., Doyle J.D., Jiang Q.F., Smith S.A. Alpine gravity waves: lessons from MAP regarding mountain wave generation and breaking// Q.J.R.Meteorol.Soc., 2007, Vol. 133, pp. 917–36.
74. Smith C. M. and Skillingstad E. D. Investigation of upstream boundary layer influence on mountain wave breaking and lee wave rotors using a large eddy simulation// J. Atmos. Sci., 2009, Vol. 66, pp. 3147–3164.
75. Smith C. M., Skillingstad E. D. Effects of inversion height and surface heat flux on downslope windstorms //Mon. Wea. Rev., 2011, Vol. 139, №. 12, pp. 3750–3764.

76. Scorer R.S. Theory of waves in the lee of mountains. // Quart. J. Roy Meteorol. Soc., 1949, v.75, № 323, p. 41–56.
77. Scorer R.S. and Klieforth H. Theory of mountain waves of large amplitude. Quart.J. Meteorol. Soc., v. 85, № 364, 1959.
78. Vucetic V. Severe bora on the mid-Adriatic //HrvatskiMeteoroloskicasopis, 1993, Vol.28, pp.19–36.
79. Wang T. A., Lin Y. L. Wave ducting in a stratified shear flow over a two-dimensional mountain. Part II: Implications for the development of high-drag states for severe downslope windstorms // J. Atmos. Sci., 1999, Vol. 56, № 3, pp. 437–452.
80. Yoshino, M. M. (ed.) *Local Wind Bora*. University of Tokyo Press, Tokyo, 1976, 289 pp.

REVIEW OF WORKS DEDICATED TO THE SIMULATION OF THE PHENOMENA OF THE FLOW OF THE NORTHERN SURFACE OF THE EARTH AND THE CATASTROPHIC WINDS OF THE TYPE OF BORY

**M.K. Bedanokov¹, R.B. Berzegova¹, V.N. Kozhevnikov², Y. A. Ekba³,
O.P. Shevyakova¹**

¹Maikop State Technological University, Maikop,

²Moscow State University named after M.V.Lomonosov, Moscow,

³Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia, Republic of Abkhazia, Sukhum

The paper deals with two-dimensional problems of flow of ground surface irregularities of the following types: nonlinear and linearized, multilayered and single-layer, limited and unlimited. Three basic mechanisms of boron formation are discussed, within which boron studies are considered: a) on the basis of analytical nonlinear models, b) on the basis of the application of various numerical models.

Keywords: *atmospheric physics, hydrodynamics, flow, orographic disturbances, orographic waves. leeward slope, Lyra scale, hydraulic surge, wave collapse, boron, Novorossiysk bora, model WRF-ARV.*

Об авторах:

БЕДАНОКОВ Мурат Капланович – доктор экономических наук, декан инженерно-экономического факультета Майкопского государственного технологического университета, ведущий научный сотрудник Лаборатории геоэкологии, геоинформатики и рационального природопользования Майкопского государственного технологического университета, профессор кафедры высшей математики и системного анализа Майкопского государственного технологического университета.

БЕРЗЕГОВА Роза Батырбиевна – старший преподаватель кафедры высшей математики и системного анализа Майкопского государственного технологического университета, младший научный сотрудник Лаборатории геоэкологии, геоинформатики и рационального природопользования Майкопского государственного технологического университета.

КОЖЕВНИКОВ Валентин Николаевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник кафедры физики атмосферы физического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, профессор кафедры физики атмосферы физического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова.

ЭКБА Январби Алиевич – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой прикладной экологии Абхазского государственного университета, профессор кафедры прикладной экологии Абхазского государственного университета, ведущий специалист Академии Наук Абхазии.

ШЕВЯКОВА Ольга Петровна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Лаборатории геоэкологии, геоинформатики и рационального природопользования Майкопского государственного технологического университета, доцент кафедры высшей математики и системного анализа Майкопского государственного технологического университета.

УДК 528.83

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-40-56>

МАКЕТ ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ SENTINEL-2

Л.А. Бочка¹, А.В. Кашницкий²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

²Институт космических исследований РАН, Москва

В данной работе проведен анализ продуктов Sentinel-2 различных уровней. Европейское космическое агентство предоставляет программное обеспечение для создания по распространяемым данным продуктов уровня L1C продукты L2A - Sen2Cor. В работе рассмотрена структура плагина, какие являются входными данными, какие данные на выходе. Результатом работы является программно-аппаратный комплекс потоковой обработки данных со спутников Sentinel-2, который позволяет в автоматическом режиме создавать информационные продукты уровня обработки L2A и внедрять данный продукт в действующие геоинформационные системы.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, данные Sentinel-2, обработка спутниковых данных, технологии работы с данными, атмосферная коррекция.

Мониторинг окружающей среды является важной составляющей современного мира. Он обеспечивает безопасное и комфортное проживание людей, позволяет понять климатические изменения и какие факторы им способствовали.

В рамках европейской программы глобального мониторинга окружающей среды и безопасности были разработаны спутники Sentinel-2, которые обеспечивают оптическими снимками высокого разрешения (10 – 20 м).

Миссия Sentinel-2 предлагает комбинацию следующих возможностей:

- 1) Систематический глобальный охват земной поверхности: от 56 южной широты и 84 северной широты, прибрежные воды и Средиземное море
- 2) Высокая частота: каждые 5 дней на экваторе и каждые 2-3 дня в средних широтах
- 3) Высокое пространственное разрешение: 10 м, 20 м и 60 м
- 4) Мультиспектральная информация с 13-ю каналами в видимой, ближней инфракрасной и коротковолновой инфракрасной части спектра

5) Широкий угол обзора: 290 км

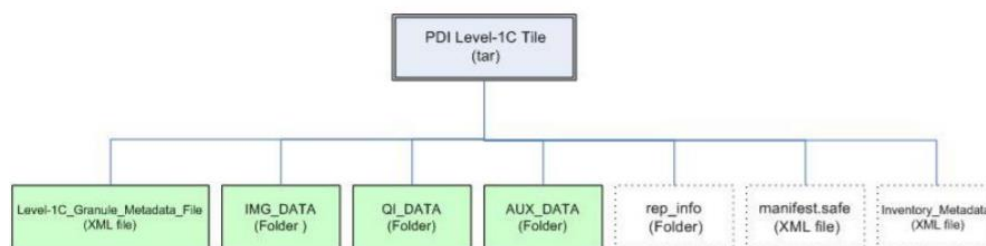
Оператором Sentinel-2 является Европейское космическое агентство (ESA), которое предоставляет данные по съемкам в открытом доступе для любого пользователя. Продукты Sentinel-2 предоставляются в виде гранул фиксированного размера. Размер гранул зависит от уровня обработки. Европейское космическое агентство обеспечивает различными уровнями. В данной работе будут рассмотрены уровни L1C и L2A. Уровень L1C – орто-трансформированный продукт, т.е. проекция изображения получается с помощью системы DEM для исправления геометрических искажений, включает географические и радиометрические коэффициенты калибровки, а также привязку по времени и дополнительной информацией. Уровень обработки L2A – включает в себя атмосферную коррекцию, классификацию сцен и получение коэффициентов с нижних границ атмосферы. Дальше в работе будут подробнее освещены все типы продуктов.

На данный момент в действующих геоинформационных системах России в открытом доступе открыто распространяются данные по любой территории Северной Евразии и отдельные регионы мира информационные продукты уровня обработки, в то время, как ESA предоставляет в открытом доступе программное обеспечение для создания по распространяемым данным L1C продуктов уровня обработки L2A.

Цель работы – создание макета потоковой обработки спутниковых данных Sentinel-2. Все данные получаемые аппаратурой MSI систематически обрабатываются к уровню 1C центром по обработке получаемых данных (PDGS). Пользователям выпускаются только продукты уровня 1C и уровня 2A. Продукты уровня 2A генерируются либо PDGS с помощью плагина Sen2Cor, либо на стороне пользователя через Sentinel-2 Toolbox. [2]

Продукт Level-1C состоит из плиток 100x100 км² (орто-изображений в проекции UTM/WGS84). Продукт Level-1C является результатом использования цифровой модели рельефа (ЦМР) для проецирования изображения в картографической геометрии. Продукты Level-1C пересчитаны с постоянным земным расстоянием замера (GSD) 10, 20 и 60 м в зависимости от родного разрешения различных спектральных диапазонов. Продукты Level-1C включают данные с коэффициентами отражения на верхней границе атмосферы в 13 каналах для разного разрешения, а также дополнительно включают маски суши и воды, облачные маски и данные ECMWF (общий столбец озона, общий столбец водяного пара и среднее давление на уровне моря) [4]

Структура продукта отражена на рис. 1.



Р и с. 1. Структура L1C продукта [2]

PDI плитка уровня 1C содержит следующую информацию:

1. Level-1C_Tile_Metadata_File: файл метаданных XML, содержащий запрошенный уровень информации и ссылающийся на все элементы продукта, составляющие плитку;
2. IMG_DATA: папка, содержащая файлы данных изображений, сжатые с помощью алгоритма JPEG2000, по одному файлу на канал;
3. QI_DATA: папка, содержащая отчеты XML, включая проверки качества, файлы маски GML и файл JP2 PCI;
4. AUX_DATA: папка с ECMWF данные пересчитаны в проекции utm;
5. Inventory_Metadata.xml: файл, содержащий метаданные, необходимые для инвентаризации PDI;
6. manifest.safe: XML - безопасный файл содержащий метаданные
7. rep_info: папка, содержащая доступную схему XSD, которая проверяет компоненты PDI

Продукты уровня 1C регулярно геометрически уточняются. Однако они могут быть обработаны без уточнения, т.е. "по мере необходимости". Эти продукты можно определить по наличию выделенного флага в метаданных. Как правило, продукт этого уровня, включая все каналы составляет файл размером около 500 Мб. Sentinel-2 Level-2A обработка предоставляет продукты (отражение на нижней границе атмосферы) полученные на основе продуктов уровня 1C (отражение на верхней границе атмосферы). Каждый продукт Level-2A составлен плиток 100x100 km² в картографической геометрии (проекции UTM/WGS84). Продукция уровня 2A систематически генерируется в наземном сегменте по всей Европе, но производство будет расширено до глобального уровня к концу 2018 года. Поэтому для доступа к данным других регионов можно генерировать продукты через Sentinel-2 Toolbox, используя в качестве входных данных соответствующий продукт Level-1C (рис. 2).

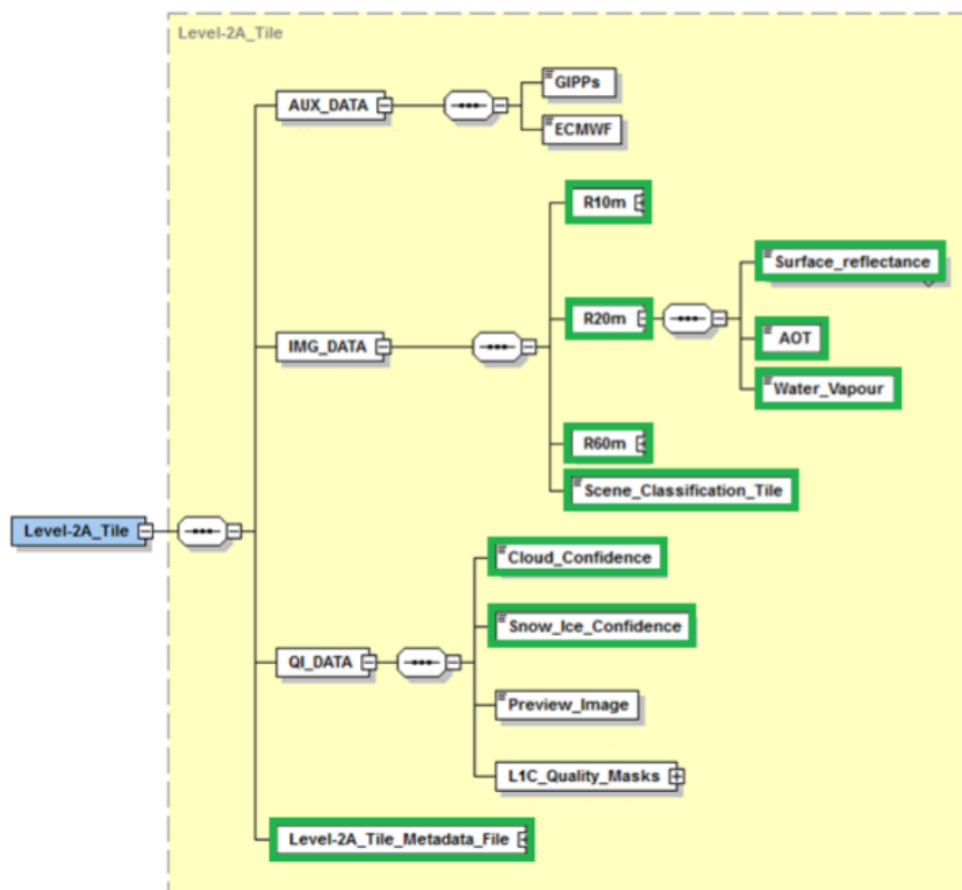


Р и с. 2: слева – уровень обработки 1С и справа – полученное изображение уровня 2А на основе 1С.

Продукты второго уровня представляют собой набор следующих данных для разного разрешения:

- синтез в естественных цветах;
- коэффициенты отражения на нижней границе атмосферы;
- карта аэрозольной оптической толщины;
- карта водяного пара;
- результат классификации (12 классов);
- показатели вероятности снега/льда;
- показатели вероятности облаков.

Структура продукта L2A строго основана на структуре продукта L1C с некоторыми различиями, которые выделены зеленым цветом на рис. 2. Основное отличие состоит в том, что папка IMG_DATA содержит три каталога: по одному для каждого разрешения на 60 м, 20 м и 10 м. Плитка классификация сцены доступна в корне папки IMAGE_DATA на 20 м или 60 м в зависимости от типа обработки, которая была выбрана.

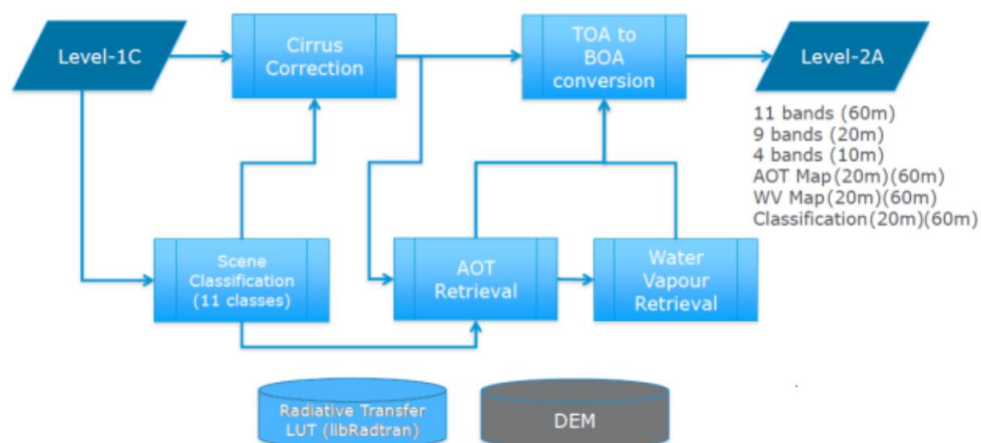


Р и с. 3. Структура продукта L2A

PDI плитка уровня 2A содержит следующую информацию:

1. Level-2A_Tile_Metadata_File: файл метаданных XML, содержащий информацию и ссылающийся на все элементы продукта, составляющие Tile;
2. IMG_DATA: папка, содержащая файлы данных изображений, сжатые с использованием алгоритма JPEG2000;
3. QI_DATA: папка, содержащая отчеты XML, включая проверки качества, файлы маски GML и файл PVI JP2;
4. AUX_DATA: папка, содержащая данные ECMWF, повторно сэмплированные в проекции UTM;
5. Inventory_Metadata.xml: файл, содержащий метаданные, необходимые для инвентаризации PDI.

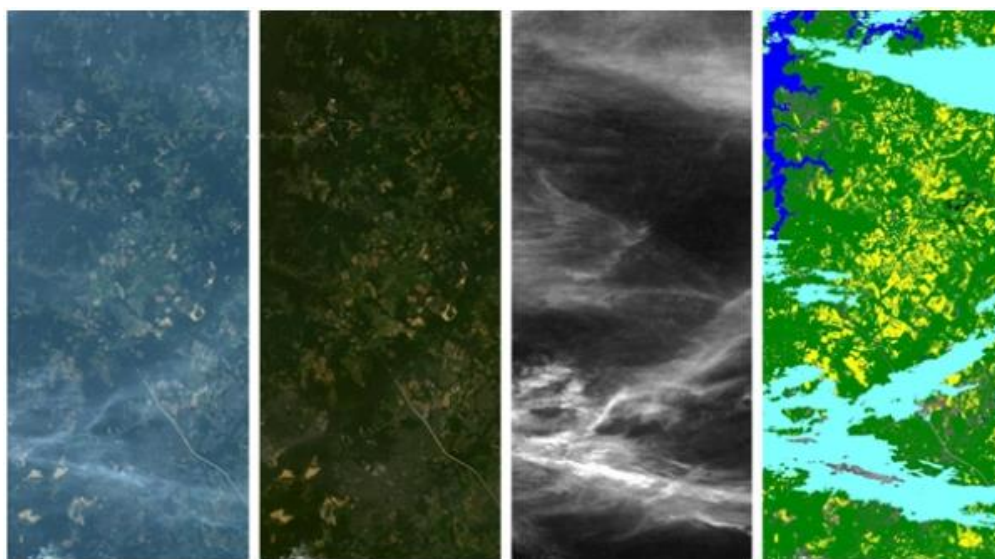
Обработка Level-2A применяется для гранул верхнего уровня атмосферы (TOA) - продуктов отражения ортоизображения уровня 1C.



Р и с. 4. Блок-схема алгоритма преобразования продуктов из одного уровня в другой

Обработка уровня 2А включает классификацию сцен и атмосферную коррекцию, применяемую к продуктам ортоизображения верхнего уровня атмосферы (TOA). На выходе получаем ортофотоплан отражения на нижней части атмосферы с примененными исправлениями продукта. Дополнительно на выходе карта аэрозольной оптической толщины (AOT), карта водяного пара (WV) и карта классификации сцены (SCM) вместе с индикаторами качества (QI) для вероятностей облака и снега на разрешении 60 м. Выходные изображения L2А будут пересчитаны и сгенерированы с одинаковым пространственным разрешением для всех каналов на основе запрошенного разрешения (10 м, 20 м или 60 м). В 10 м разрешении продукт содержит следующие спектральные каналы 2, 3, 4 и 8 и AOT карта. В 20 м продукт содержит 2 - 7, 8А, 11 и 12 каналы, а также AOT и WV карты. Продукт разрешением 60 м содержит все компоненты продукта разрешения 20 м и дополнительно в 1-м и 9-ом каналах. Алгоритм представляет собой комбинацию современных методов выполнения атмосферных коррекций (включая коррекцию перистых облаков [5]), которые были адаптированы к среде SENTINEL-2 вместе с модулем классификации сцен, описанным в [4]. Алгоритм классификации сцен позволяет обнаруживать облака, снег и тени облаков и генерировать классификационную карту, которая состоит из четырех различных классов для облаков (включая перистые), а также шести различных классификаций для теней, теней облаков, растительности, почв / пустынь, воды и снега. Алгоритм основан на серии пороговых тестов, которые используют в качестве входного коэффициента отражение TOA в качестве входного сигнала из спектральных полос SENTINEL-2. Тип аэрозоля и видимость или оптическая толщина атмосферы получены с использованием алгоритма плотной темной

растительности (DDV) [2]. Этот алгоритм требует, чтобы сцена содержала опорные области известного поведения отражения, предпочтительно DDV и водные объекты.



Р и с. 5: слева направо: (1) моделируемый уровень-1С toa reflectance input Image, (2) cirrus и атмосферно скорректированный уровень-2А BOA reflectance image, (3) The cirrus band B10, (4) классификация сцены входного изображения Level-1С (данные AVIRIS, предоставленные НАСА) [10]

Для получения продуктов второго уровня Европейское космическое агентство использует разработанный плагин – Sen2Cor. Sen2Cor использует 2 главных вспомогательных источника данных: радиационные таблицы и цифровая модель высоты (DEM), которая не встроена в сам программный продукт, но может быть обеспечена пользователем в формате DTED. Пользователь может также положиться на DEM - значения по умолчанию.

Плагин Sen2Cor содержит высокоуровневую архитектуру и состоит из 10 основных модулей. На рисунке 9 приведено графическое представление выполнения модуля L2A_Process, начиная с чтения конфигурационных данных и до получения продукта второго уровня.

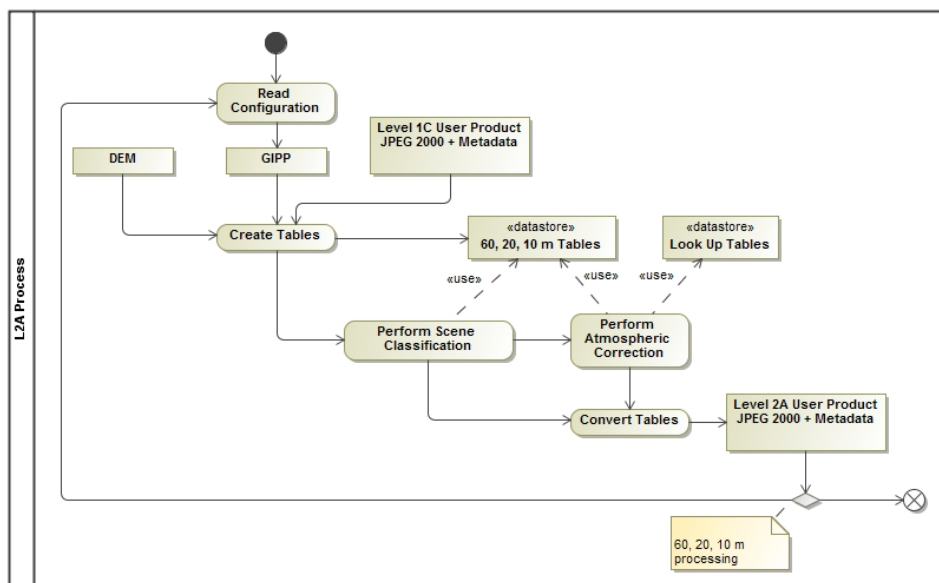
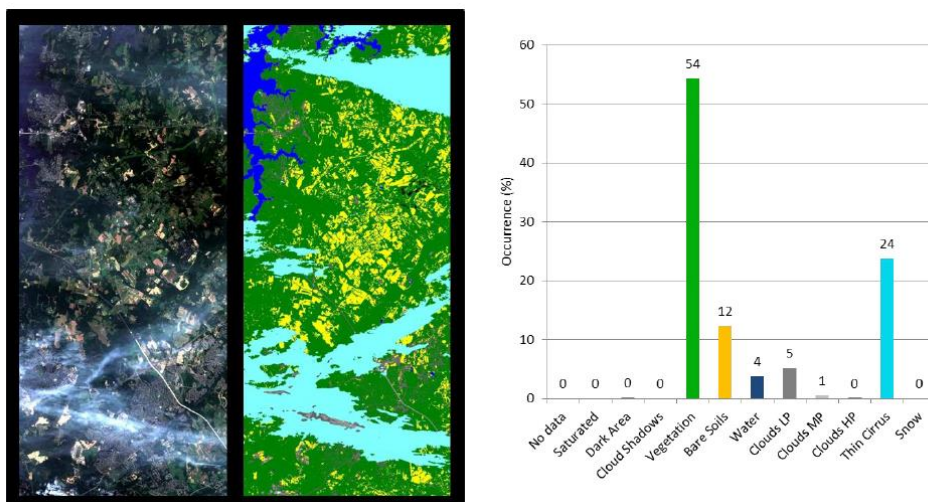


Рис. 9. Общее представление работы плагина Sen2Cor [3]

Алгоритм модуля классификации сцен позволяет обнаруживать облака, снег и тени облаков и генерировать классификационную карту, которая состоит из 4 различных классов для облаков (включая перистые), вместе с шестью различными классификациями для теней, теней облаков, растительности, почв / пустынь, воды и снега. Алгоритм основан на серии пороговых тестов, использующих в качестве входных данных отражение верхней части атмосферы от спектральных полос Sentinel-2. На рис. 10 ниже показаны результаты работы классификации сцен (правая сторона) на основе измененных тестовых данных (левая сторона). Представлено двенадцать различных классов.



Р и с.10. Классификация сцен [3]

Список генерируемых классов можно видеть в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

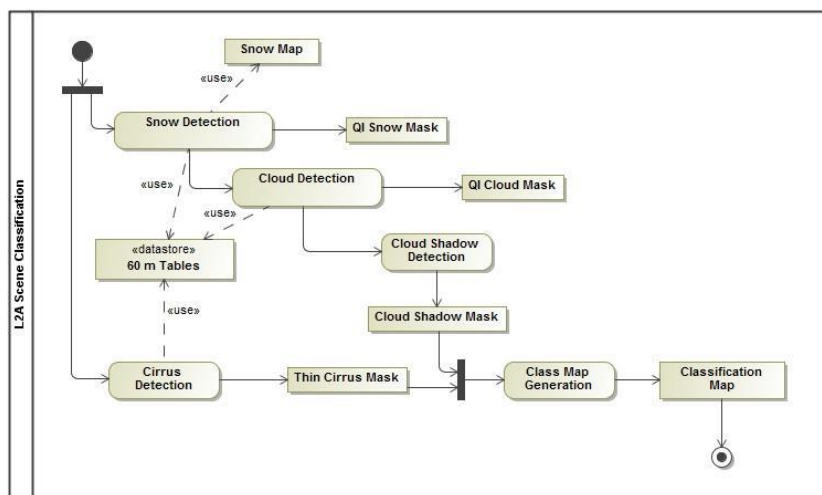
Список сцен для классифицированного изображения

Label	Classification
0	NO_DATA
1	SATURATED_OR_DEFECTIVE
2	DARK_AREA_PIXELS
3	CLOUD_SHADOWS
4	VEGETATION
5	BARE_SOILS
6	WATER
7	CLOUD_LOW_PROBABILITY
8	CLOUD_MEDIUM_PROBABILITY
9	CLOUD_HIGH_PROBABILITY
10	THIN_CIRRUS
11	SNOW

На основе полученных результатов генерируются соответствующие показатели качества вероятности снега и облака. Эти качественные показатели рассчитывают вероятность (0-100%) того, что поверхность земли будет перекрыта облаками или оптически толстым аэрозолем (льдом или снегом).

Обработка SC состоит из шести различных этапов (рис. 11):

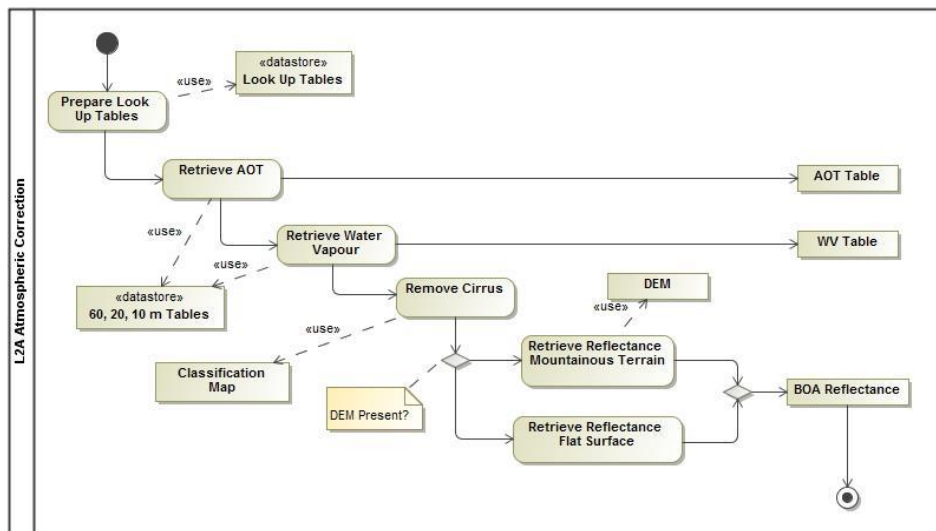
1. Обнаружение снега;
2. Обнаружение облака;
3. Обнаружение теней в облаке;
4. Обнаружение перистых облаков;
5. Генерация карты классификации.



Р и с. 11. Блок-схема классификации сцен [3]

Детальное описание алгоритма классификации описано в [7] и [6].

Модуль атмосферной коррекции состоит из набора из четырех различных подзадач (AOT, WV и terrain retrieval (опция с коррекцией terrain и cirrus, с тремя различными пользовательскими продуктами в качестве выходных данных: AOT и WV таблицы на уровне пикселей и БОА исправленные изображения для всех измеренных диапазонов. На рис. 11 ниже показан блок-схема для модуля атмосферной коррекции.



Р и с. 11. Блок-схема модуля атмосферной коррекции [3]

Атмосферическая модель Sen2Cor (L2A_AtmCorr) зависит от расчета радиационных передаточных функций для различных сенсорных и солнечных геометрий, высот земли и атмосферных параметров. В следующей таблице представлено 6-мерное пространство параметров и интервал сетки для каждого параметра. Процессор считывает параметр в виде таблиц подстановки (LUTs), относящихся к этому пространству параметров, и при необходимости интерполирует его. LUTs были созданы с помощью libRadtran, библиотеки для расчета солнечного и теплового излучения в атмосфере Земли. [1]

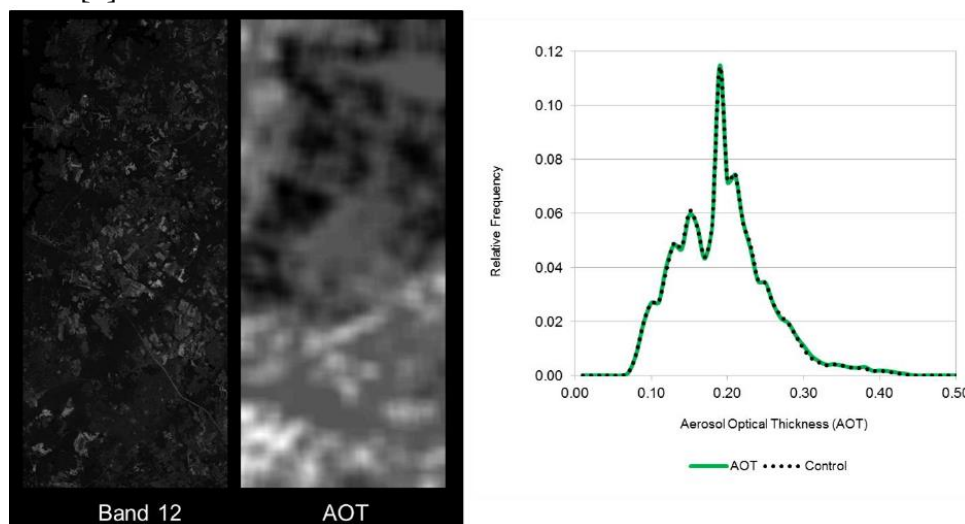
Т а б л и ц а 2

Пространство параметров для атмосферной коррекции

Parameter	Range	Increment / grid points
Solar zenith angle	0 -70°	10°
Sensor view angle	0 -10°	10°
Relative azimuth angle	0 -180°	30°(180°= backscatter)
Ground elevation	0 -2.5 km	0.5 km
Visibility	5 -120 km	5, 7, 10, 15, 23, 40, 80, 120 km
Water vapour, summer	0.4 -5.5 cm	0.4, 1.0, 2.0, 2.9, 4.0, 5.0 cm
Water vapour, winter	0.2 -1.5 cm	0.2, 0.4, 0.8, 1.1 cm

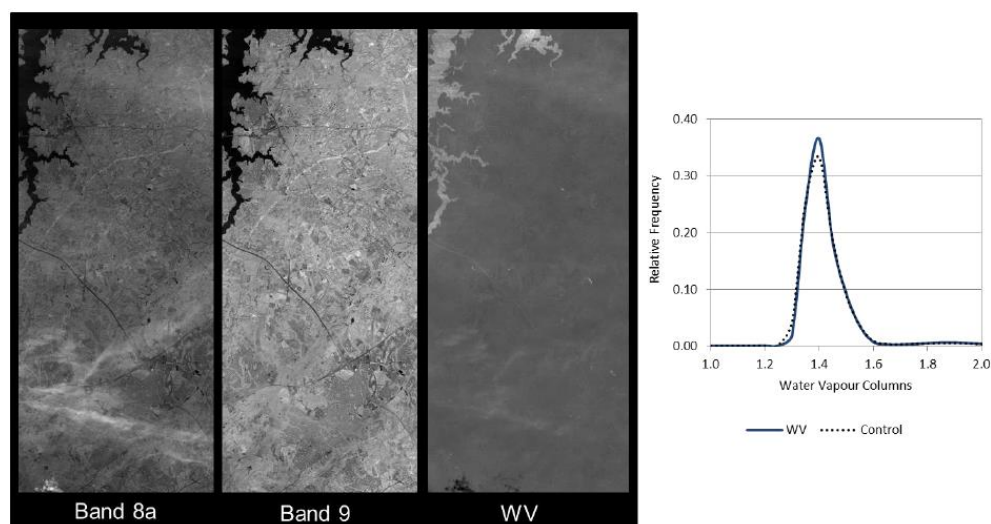
Извлечение атмосферной оптической толщины (AOT) обеспечивает измерение для визуально транспарант атмосферы. Он получен с использованием алгоритма DDV (густая Темная растительность) [5], используя коротковолновую инфракрасную (SWIR) полосу 12 и коррелирует ее отражение с полосами 4 (красный) и 2 (синий). Алгоритм требует, чтобы сцена содержала опорные области известного поведения отражения, предпочтительно темной густой растительности (DDV) и / или темной почвы и водных объектов.

Алгоритм предоставляет карту AOT, как показано на рисунке 12 ниже. [8]



Р и с. 12. Карта оптической толщины [3]

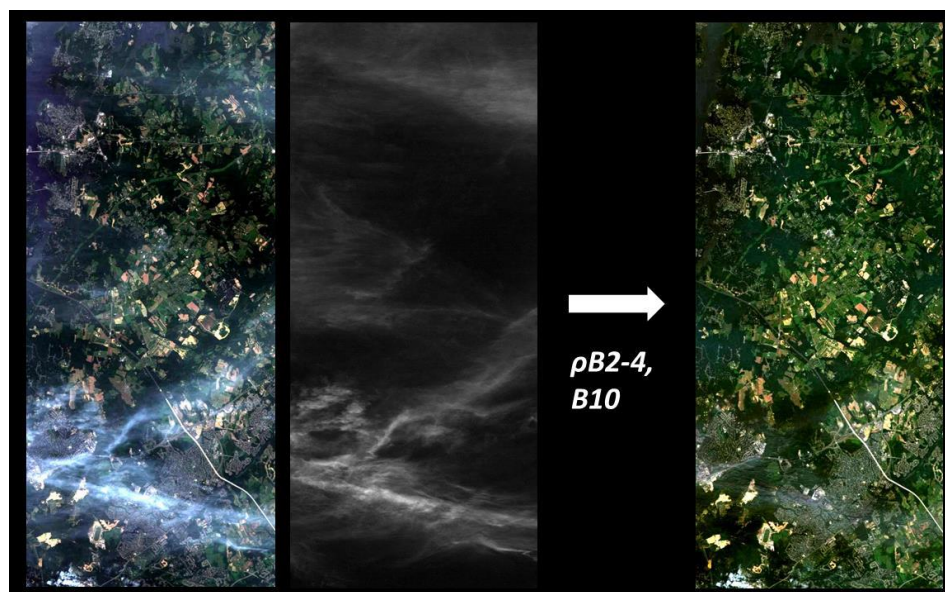
Извлечение Водяного Пара (WV) по суше осуществляется с помощью предварительно скорректированного алгоритма дифференциального поглощения атмосферы (APDA, [6]), который применяется к двум диапазонам Sentinel-2 B8A и B9 (Рис. 13). Диапазон 8A является опорным каналом в области атмосферного окна. Диапазон B9 канал измерения в зоне поглощения. Глубина поглощения оценивается путем вычисления яркости для атмосферы без WV, при условии, что коэффициент отражения поверхности для измерительного канала такой же, как и для опорного канала. Глубина поглощения затем является мерой содержания столбца WV.



Р и с. 13. Карта водяного пара [3]

Алгоритм коррекции перистых облаков использует канал B10. Тонкие перистые облака влияют на видимую, ближнюю и коротковолновую инфракрасную области спектра. Они частично прозрачны и поэтому их трудно обнаружить с помощью широкополосных мультиспектральных датчиков, особенно на пространственно-неоднородных участках суши. Водяной пар, напротив, доминирует в нижней тропосфере 0-5 км. Узкая спектральная полоса в спектральной области очень сильного поглощения WV (полоса 10), таким образом, будет поглощать наземный отраженный сигнал, но будет получать рассеянный сигнал перистых облаков.

Таким образом, отражательная способность перистых облаков диапазона 10 может быть коррелирована с другими полосами в области VNIR и SWIR, и таким образом вклад облаков может быть удален из сигнала сияния для получения сцены с исправлением. Это показано на рис. 14 ниже в качестве качественного результата.



Р и с. 14. Пример коррекции облаков [9]

Для каждого последовательного спектрального диапазона В1 – В12 выполняется поиск отражения поверхности на нижней границе атмосферы. На рисунке 15 ниже показаны входные данные уровня 1 С и соответствующие Выходные данные уровня 2А после атмосферной коррекции со сцены Ла-паса, полученные 28.03.2016.



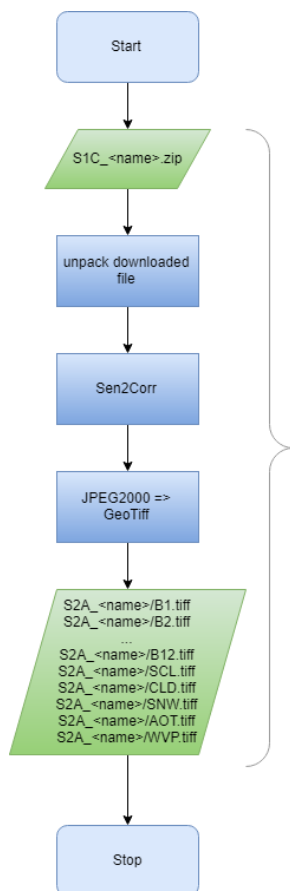
Р и с. 15. Слева – входной продукт L1C в видимом диапазоне; справа – выходной продукт – композиция 2-4 каналов, RGB.

Плагин Sen2Cor можно использовать двумя способами:

1. При помощи пакета Sentinel-2 Toolbox (SNAP)
2. Как утилита в командной строке

Возможность вызова плагина через командную строку – стала основой для разработки макета потоковой обработки данных Sentinel-2 из уровня 1С в 2А.

Плагин Sen2Cor был разработан на языке Python, по этой причине для разработки макета был выбран данный язык программирования. Концептуальная схема работы макета показана ниже.



Входными данными для разработанного программного продукта является набор заархивированных продуктов первого уровня, которые расположены в рабочей директории. После обнаружения архивов, программа распаковывает пакеты и после этого отправляет полученные пакеты на обработку Sen2Cor с теми аргументами, которые пользователю необходимы. После обработку плагина, из полученных данных второго уровня вытягиваются изображения в формате JPEG2000 и при помощи утилиты `gdal_translate` преобразуются к формату GeoTiff. В результате работы макета из первоначальных архивов данных с продуктами уровня 1C мы получаем наборы данных второго уровня в формате GeoTiff. Разработка макета велась в операционной среде Linux. Полученный макет был добавлен в файл `cron`, для систематической проверки каждый час на наличие архивов с данными для обработки.

Р и с. 16. Блок-схема разработанного макета.

Обработка атмосферной коррекции для разрешений 10 м использует огромное количество памяти из-за 10.000 x 10.000 пикселей для каждого изображения. Несколько изображений должны храниться через определенные промежутки времени полностью в памяти для выполнения корреляции. Таким образом, для каждой обработки с разрешением 10 м, как правило, должен быть доступен ресурс 8 ГБ памяти на процесс. Таким образом, если у вас нет машины с достаточным объемом памяти во время обработки возникнут ошибки переполнения памяти.

На тестируемой машине со следующими характеристиками: Linux, 16 ГБ оперативной памяти, 2.10 ГГц, Intel i7, обработка плитки для изображения с разными разрешениями, была успешно выполнена во время тестов.

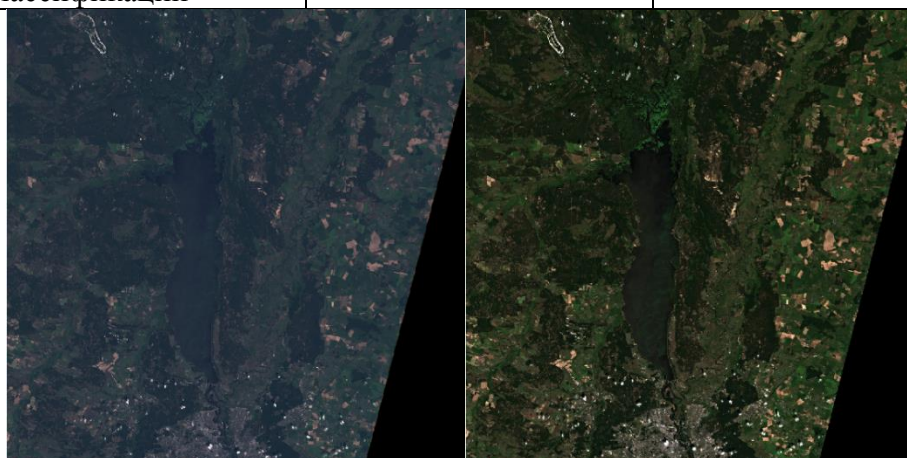
Согласно документации, оценка качества полученных продуктов в формате изображений можно отразить в табл.3.

Т а б л и ц а 3

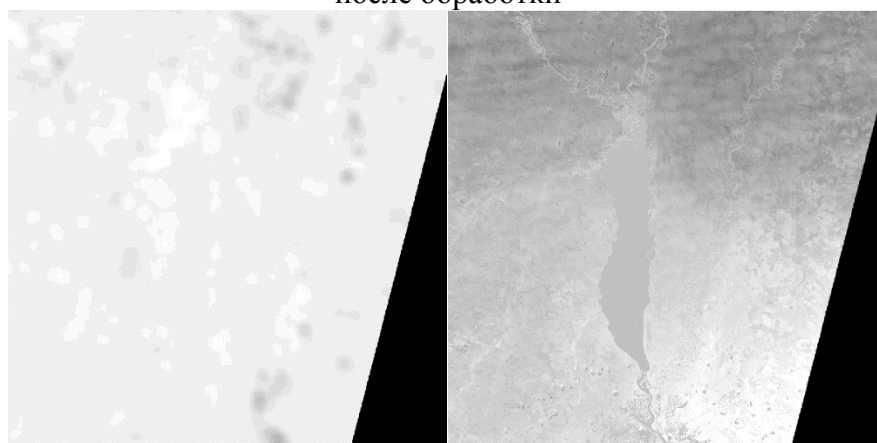
Таблица продуктов и оценке точности, заявленной ESA [9–10]

В ходе тестов были получены следующие продукты:

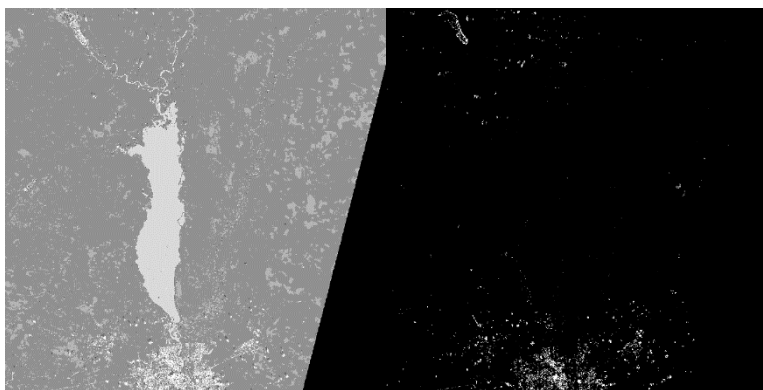
Наименование продукта	Алгоритм получения	Точность
Коэффициенты отражения на нижней границе атмосферы	L2A_AtmosCorr	5 %
Карта аэрозольной оптической толщины	L2A_AtmosCorr	5 – 10 %
Карта водяного пара	L2A_AtmosCorr	5 – 10 %
Результат классификации	L2A_SceneClass	(80 ± 5) %



Р и с. 17. Синтез в естественных цветах. Слева до обработки, справа после обработки



Р и с. 18. Слева карта аэрозольной оптической толщины, справа – карта водяного пара



Р и с. 19. Слева результат классификации, справа - карта вероятности облаков

В ходе работы также составлены таблицы с расширенной информацией по продуктам, получаемых после проведения атмосферной коррекции и классификации сцен.

В рамках данной работы были получены следующие результаты:

1. Проанализированы продукты и способы получения Sentinel-2 уровня обработки 1С
2. Проанализированы продукты Sentinel-2 уровня обработки 2В
3. Изучена архитектура плагина Sen2Cor для проведения атмосферной коррекции и получения продуктов из уровня 1С в уровень 2В.
4. Спроектирована архитектура макета для дальнейшей разработки
5. Реализован макет потоковой обработки данных
6. Протестирован макет на разных сценах

Реализованный макет потоковой обработки данных Sentinel-2 может быть внедрен в геоинформационную систему для получения продуктов из уровня обработки L1C.

Список литературы

1. Kaufman, Y., et al. (1997). The MODIS 2.1 μm channel – correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol. *IEEE TGRS*, **35**, 1286 –1298.
2. Kaufman, Y., Sendra, C. Algorithm for automatic atmospheric corrections to visible and near-IR satellite imagery, *International Journal of Remote Sensing*, Volume 9, Issue 8, 1357-1381 (1988).
3. Louis J., Debaecker V., Pflug B., Magdalena Main-Knorn, Bieniarz J., Uwe Mueller-Wilm, Cadau E., Ferran Gascon - SENTINEL-2 SEN2COR: L2A PROCESSOR FOR USERS.
4. Louis J., A. Charantonis & B. Berthelot, "Cloud Detection for Sentinel-2", *Proceedings of ESA Living Planet Symposium* (2010).

5. Richter R., Wang, X., Bachmann, M., and Schlaepfer, D., "Correction of cirrus effects in Sentinel-2 type of imagery", *Int. J. Remote Sensing*, Vol.32, 2931-2941 (2011).
6. Schläpfer, D. et al., "Atmospheric precorrected differential absorption technique to retrieve columnar water vapour", *Remote Sens. Environ.*, Vol. 65, 353366 (1998).
7. Salomonson V.V., I. Appel I. (2004). Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. *Remote Sensing of Environment* 89, 351–360.
8. Vane G., Green R., Chrien T., Enmark H., Hansen E., and Porter W. (1993). The airborne visible / infrared imaging spectrometer (AVIRIS). *Remote Sens. Environ.* 44, 127–143.
9. Sentinel Toolboxes. ESA - [Электронный ресурс]: URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/toolboxes> (дата обращения 20.05.2017)
10. Level-1C. ESA – [Электронный ресурс]: URL: <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types/level-1c> (дата обращения 20.05.2017)

THE LAYOUT OF THE STREAM DATA PROCESSING SENTINEL-2

L.A Bochka¹, A.V. Kashnitsky²

¹Lomonosov Moscow state University, Moscow

²Institute of space research RAS, Moscow

In this paper, the analysis of Sentinel-2 products of different levels. The European space Agency provides the software to create a distributed data products level products L1C L2A - Sen2Cor. The structure of the plug-in, which are the input data, which data is the output. The result of the work is a hardware-software system of streaming data processing from Sentinel-2 satellites, which allows to automatically create information products of L2A processing level and implement this product into the existing geographic information systems.

Keywords: *remote sensing of the Earth, Sentinel-2 data, satellite data processing, data processing technology, atmospheric correction.*

Об авторах:

БОЧКА Любовь Андреевна – студент 1-го курса магистратуры факультета космических исследований МГУ имени М.В.Ломоносова, e-mail: persifik@mail.ru

КАШНИЦКИЙ Александр Витальевич – кандидат технических наук, научных сотрудник отдела «Технологии спутникового мониторинга» Института космических исследований Российской Академии Наук, e-mail: kashnizky@gmail.com.

УДК 551.465

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-57-65>

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД (2003–2017)*

А.И. Гинзбург¹, А.Г. Костяной^{1, 2}

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

² Московский Университет им. С.Ю. Витте, г. Москва, Россия

Представлены результаты исследования межгодовой изменчивости температуры поверхности (ТПМ) трех районов Каспийского моря (Северного, Среднего и Южного) и залива Кара-Богаз-Гол (КБГ) в период 2003–2017 гг. с использованием среднемесячных данных он-лайн системы NASA Giovanni. Установлено, что потепление Каспия в условиях продолжающегося глобального потепления продолжается, причем с большими темпами, чем в период 1982–2009 гг. Тренды ТПМ в рассматриваемый 15-летний период составили 0.050, 0.067, 0.087 и 0.106°С/год в Северном, Среднем и Южном Каспии и КБГ соответственно. Отмечены годы с наиболее суровыми и мягкими зимними сезонами.

Ключевые слова: Каспийское море, температура поверхности моря, межгодовая изменчивость, тренд температуры, суровость зим, глобальное потепление

Введение

Каспийское море – самый крупный замкнутый бассейн в мире. Его температурный режим определяется глобальными и региональными климатическими факторами и характеризуется заметной межгодовой изменчивостью, которая влияет на экологическое состояние моря, его водный баланс (испарение с поверхности), судоходство в зимний период в частично замерзающей северной части. Это диктует необходимость мониторинга температуры поверхности Каспийского моря (ТПМ). В условиях резкого сокращения in-situ измерений ТПМ (поверхностного слоя) и количества гидрометеорологических станций на побережье

* Работа выполнена при финансовой поддержке темы Госбюджета N 149-2018-0003 «Механизмы формирования циркуляционных структур Мирового океана: ключевые процессы в пограничных слоях и их роль в динамике океана на основе экспедиционных исследований, дистанционного зондирования, численного и лабораторного моделирования»

Каспия с начала 1990-х годов основным источником информации об изменчивости ТПМ Каспийского моря является регулярная, доступная через Интернет спутниковая информация с хорошим пространственным и временным разрешением.

Сезонная и межгодовая изменчивость ТПМ в трех регионах Каспия (Северном, Среднем и Южном) в периоды 1982–2000 и 1982–2009 гг. прослеживалась в ряде работ авторов с использованием данных NASA JPL PO.DAAC AVHRR MCSST и проекта NASA IPL PO.DAAC AVHRR-Pathfinder [2, 10, 3, 7, 6]. В работах [2, 10] рассмотрена также изменчивость ТПМ примыкающего с востока к Среднему Каспию залива Кара-Богаз-Гол (1994–2000 гг.).

Использованные данные

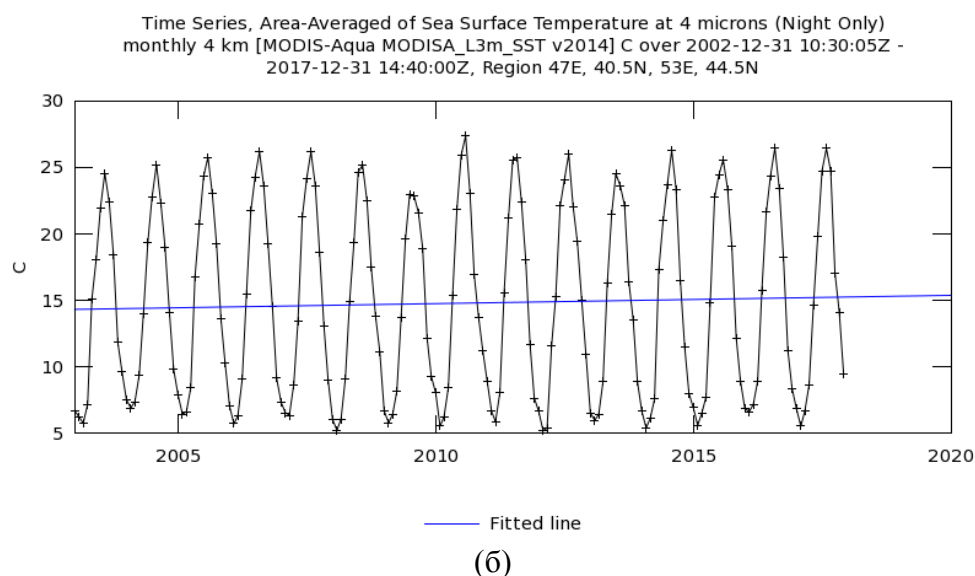
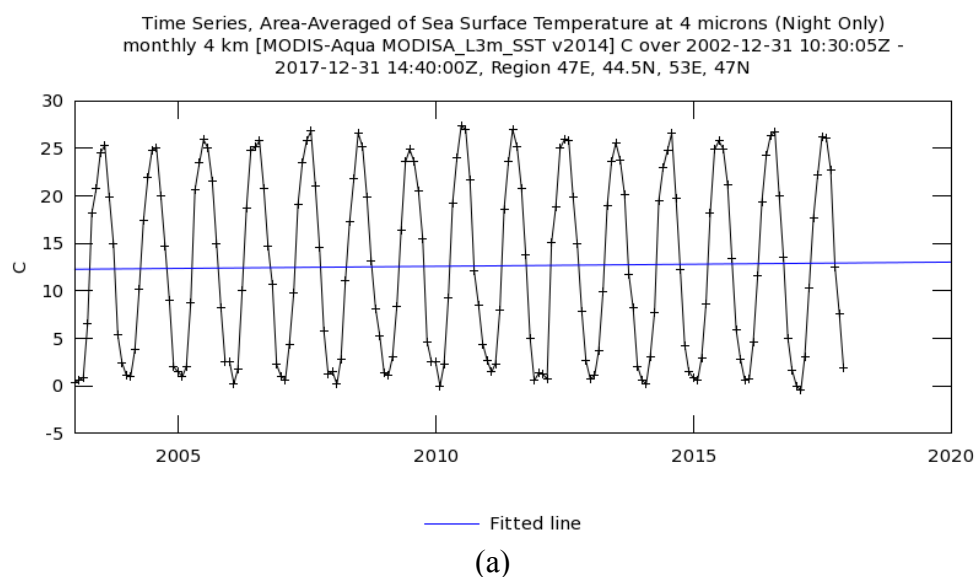
С целью продления периода мониторинга ТПМ трех районах Каспия и залива Кара-Богаз-Гол (КБГ) в данной работе использовались временные последовательности ежемесячных данных о температуре онлайн системы NASA Giovanni, основанных на измерениях радиометра MODIS/Aqua за 15-летний период (с 31.12.2002 по 31.12.2017 гг.). Эти временные последовательности ТПМ, средней для каждого из четырех районов, представлены на рис. 1. Как и в работе [2], для удобства осреднения в качестве границы между Северным и Южным Каспием принималась широта $44^{\circ}30'$ с.ш., между Средним и Южным Каспием – $40^{\circ}30'$ с.ш. Заметим, что минимальные зимние значения ТПМ в Северном Каспии, значительная часть которого в холодные зимы покрыта льдом, соответствуют в используемом массиве данных, по-видимому, осреднению только по свободной ото льда акватории.

Межгодовая изменчивость ТПМ

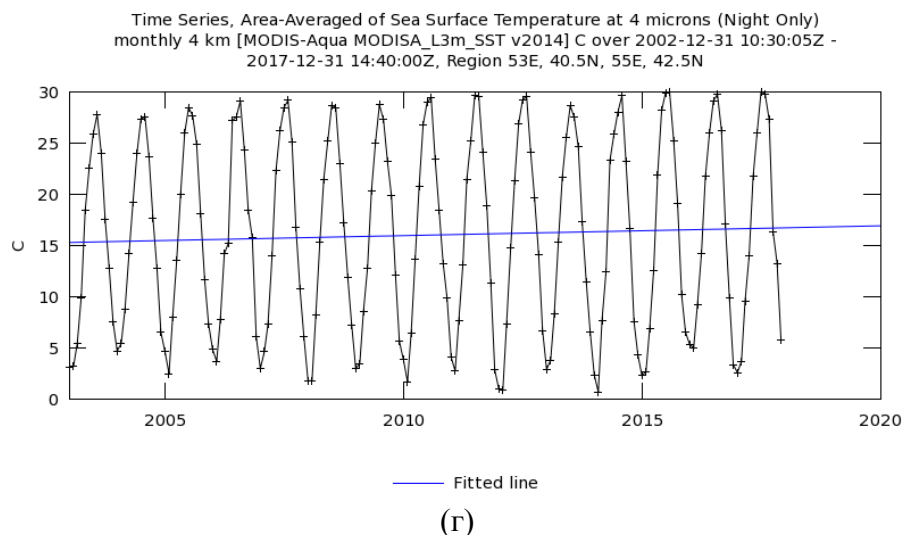
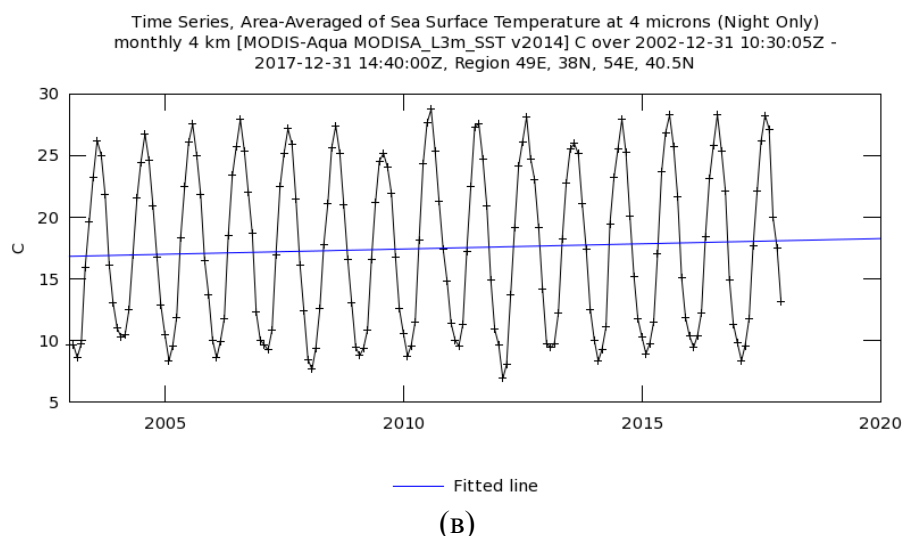
Как следует из рис. 1, температура каспийских вод и вод КБГ в рассматриваемый период в среднем увеличивалась. Положительные тренды ТПМ составили 0.050, 0.067, 0.087 и $0.106^{\circ}\text{C}/\text{год}$ в Северном, Среднем и Южном Каспии и КБГ соответственно. При таких трендах ТПМ этих четырех районов за 15 лет увеличилась соответственно на 0.80, 1.01, 1.31 и 1.59°C . Тренд роста средней для всего Каспийского моря ТПМ за этот период (рисунок не показан) оказался равным $0.059^{\circ}\text{C}/\text{год}$ (увеличение средней температуры – 0.88°C).

Заметим, что положительный тренд ТПМ Каспия отмечался и в предшествующие годы. По данным береговых гидрометеорологических станций Северного Каспия, за 24 года с 1960 по 1983 гг. ТПМ увеличилась на $0.2\text{--}0.4^{\circ}\text{C}$ [8], т. е. тренд составил примерно 0.01°C ; такой же тренд ТПМ зарегистрирован в Баку в период 1900 по 1970 гг. (см. [2]). Тренды ТПМ в Среднем и Южном Каспии в 1982–2000 гг., оцененные по спутниковым данным методом линейной регрессии, оказались равными 0.05 и $0.10^{\circ}\text{C}/\text{год}$ соответственно [2], а в период 1982–2009 гг. – 0.06 и $0.05^{\circ}\text{C}/\text{год}$

[3, 7]. Таким образом, увеличение температуры вод Каспия (в среднем), наблюдающееся с начала XX века, продолжается, причем в период глобального потепления (с конца 1970-ых гг. [11]) тренд ТПМ в несколько раз превысил таковой в предшествующий период, а в 15-летний период XXI века он оказался большим, чем в 1982–2009 гг.



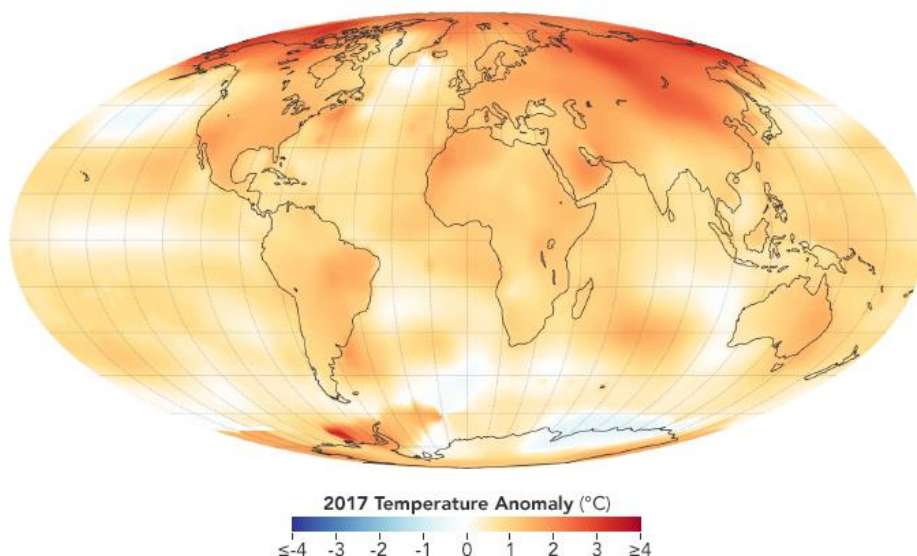
Р и с. 1 (а, б). Сезонная и межгодовая изменчивость ТПМ (среднемесячные значения), средней для Северного (а), Среднего (б) и Южного (в) Каспия и КБГ (г) (2003–2017 гг.). Прямые линии на рисунках – линейные тренды ТПМ в рассматриваемый период.



Р и с. 1 (в, г). Сезонная и межгодовая изменчивость ТПМ (среднемесечные значения), средней для Северного (а), Среднего (б) и Южного (в) Каспия и КБГ (г) (2003–2017 гг.). Прямые линии на рисунках – линейные тренды ТПМ в рассматриваемый период.

Данный результат согласуется с выводами ученых NASA и NOAA о том, что все 5 самых теплых лет на Земле имели место в период с 2010 г. (<https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=91604>). Рис. 2 показывает, что к концу 2017 г. температура Каспийского моря увеличилась примерно на 2°C по сравнению со средней для периода 1951–1980 гг. (т.е. до глобального потепления). Примерно ту же оценку потепления Каспия за 36 лет спутниковых наблюдений (1982–2017 гг.)

можно получить, приняв тренд ТПМ моря в целом за этот период равным $0.06^{\circ}\text{C}/\text{год}$ (см. выше).

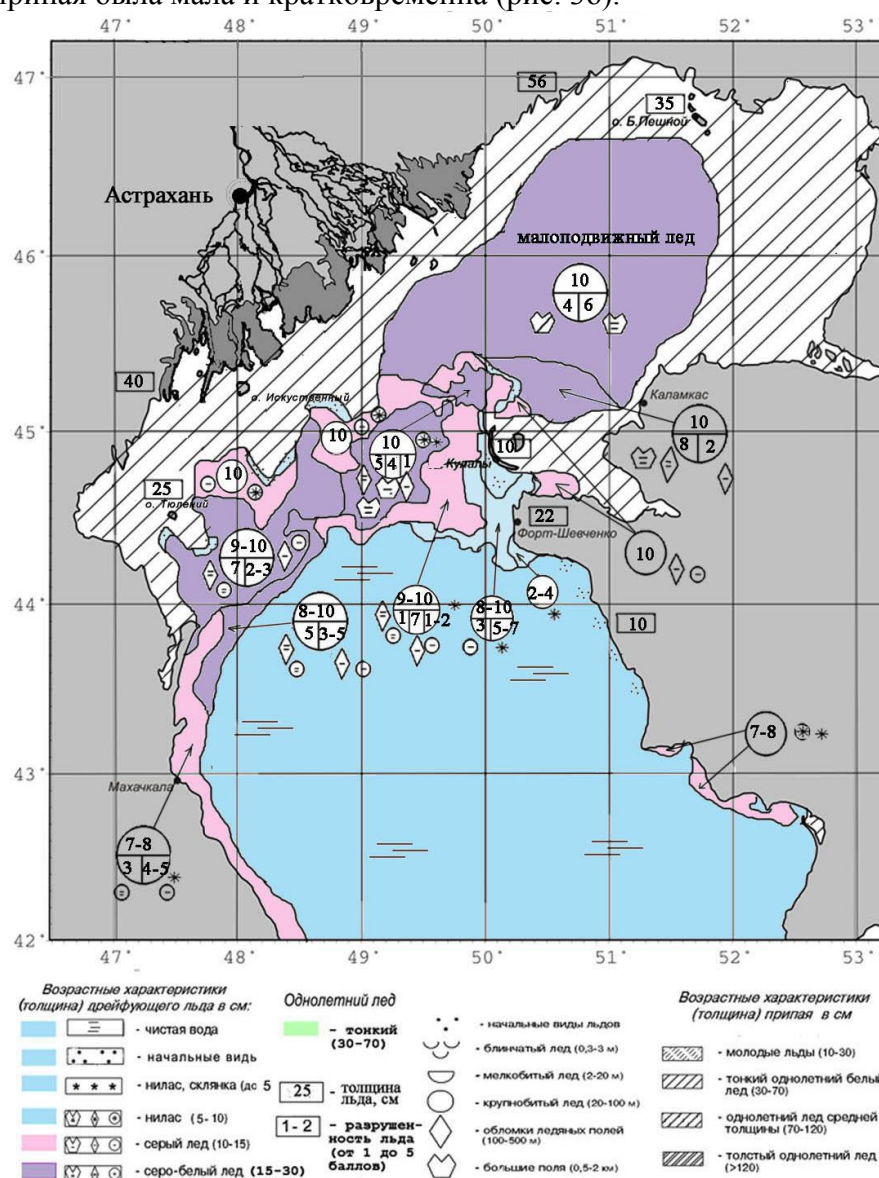


Р и с. 2. Карта глобальных аномалий температуры ($^{\circ}\text{C}$) в 2017 г. относительно средней за 1951–1980 гг. (данные NASA, <https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=91604>).

Характер межгодовой изменчивости ТПМ в трех районах Каспия в общих чертах одинаков (рис. 1). Значения максимальных летних ТПМ, начиная с 2010 г., больше, чем в период с 2003 по 2009 гг. Самая высокая за 2003–2017 гг. летняя температура наблюдалась в 2010 г., когда аномальная жара стояла на всей европейской территории России [9]; минимальная летняя ТПМ за этот период соответствовала 2009 г. Понижению максимальных летних ТПМ в 2006–2009 гг. на рис. 1а-в соответствовало падение среднесезонных (летних) и среднегодовых температур в Среднем и Южном Каспии, отмечавшееся в работе [3].

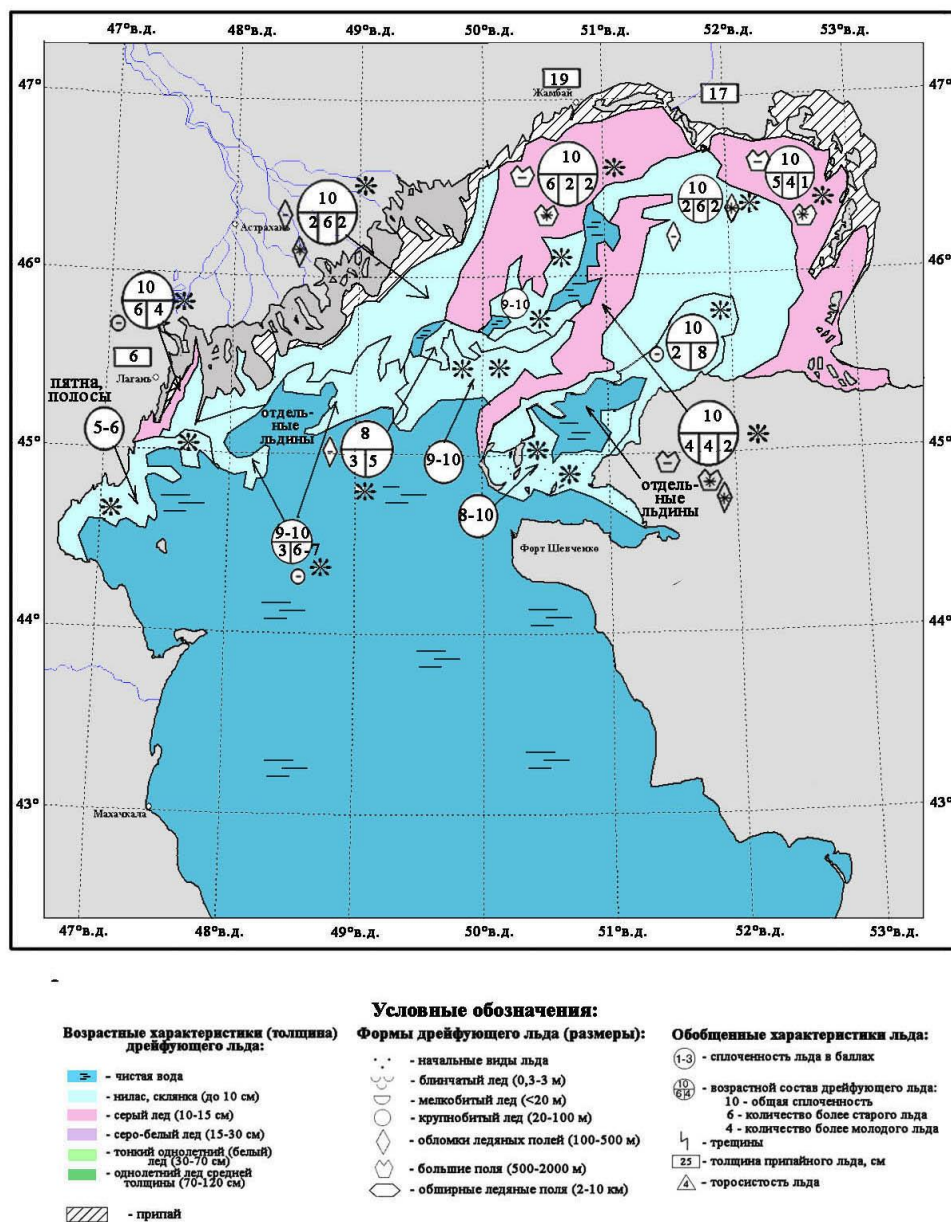
Распределение зимних ТПМ на рис. 1б и 1в соответствует известной классификации суровости зим по сумме A градусо-дней мороза (сумме отрицательных температур воздуха) (см. [4, 5]). К очень суровым зимам относят зимы с A более 900, к суровым – с A от 900 до 700, к умеренным – с A от 700 до 400 и к мягким – с A от 400 до 100°C . В соответствии с оценкой A по данным метеостанции Пешной в Северном Каспии [4, 5], в период 2003–2016 гг. наблюдались: одна очень суровая зима 2011/2012 гг., две суровых (2002/2003 и 2007/2008 гг.), три мягких (2003/2004, 2006/2007 и 2015/2016 гг.), остальные – умеренные. В работе [5] отмечается, что в последние десятилетия в Северном Каспии наблюдаются уменьшение повторяемости очень суровых и суровых зим и, напротив, увеличение повторяемости умеренных и мягких зим.

Иллюстрацией различных ледовых условий в Северном Каспии в очень суровую и мягкую зимы могут быть еженедельные карты ЕСИМО (Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане, http://193.7.160.230/web/esimo/casp/ice/ice_casp.php). В очень суровую зиму 2011/2012 гг. (рис. 3а) припай занимал довольно большую часть Северного Каспия, а в Среднем Каспии язык плавучего льда спускался до Апшеронского п-ова; виден он и вдоль северного побережья Казахского залива. В мягкую зиму 2015/2016 гг. площадь припая была мала и кратковременна (рис. 3б).



(а)

Р и с. 3а. Ледовая обстановка в Северном Каспии 14.02.2012 Данные ЕСИМО (http://193.7.160.230/web/esimo/casp/ice/ice_casp.php).



(б)

Р и с. 36. Ледовая обстановка в Северном Каспии 02.02.2016 (б). Данные ЕСИМО (http://193.7.160.230/web/esimo/casp/ice/ice_casp.php).

Информация о суровости зим до 2016 г. [5] и рис. 1 позволяют сравнить реальную картину с прогнозом зим холоднее нормы в северо-каспийском районе после 2007 г. в работе [1], сделанном исходя из прогноза солнечной активности на 24-й цикл (с середины 2007 до середины 2017 гг.). Согласно этому прогнозу, холоднее нормы ожидалось зимние сезоны в 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011, 2012/2013,

2013/2014 и 2015/2016 гг. При этом особенно суровые зимние условия ожидалось в 2008/2009, 2012/2013, 2013/2014 и 2015/2016 гг. Очевидно, что этот прогноз не оправдался: самыми холодными были зимы 2007/2008 и 2011/2012 гг., а предсказываемая как холодная зима 2015/2016 гг. оказалась мягкой

Заключение

В заключение отметим, что при продолжающемся глобальном потеплении температура поверхности Каспийского моря продолжает расти (в среднем, при заметной межгодовой изменчивости), причем в последнее десятилетие с ускорением. За 36-летний период спутниковых наблюдений (с 1982 г.) она увеличилась примерно на 2°C. Мониторинг ТПМ Каспия на основе регулярной спутниковой информации с хорошим пространственным и временным разрешением необходимо продолжать.

Список литературы

1. Бухарицин П.И., Андреев А.Н. Ритмы солнечной активности и ожидаемые экстремальные климатические события в Северо-Каспийском регионе на период 2007–2017 гг. // Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе. Труды международной конференции. Москва, 19–20 октября 2006 г. С. 137–143.
2. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Сезонная и межгодовая изменчивость температуры поверхности Каспийского моря // Океанология. 2004. Т. 44. № 5. С. 645–659.
3. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Долговременная изменчивость температуры поверхности Каспийского моря (1982–2009 гг., спутниковая информация) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 209–218.
4. Ивкина Н., Наурызбаева Ж. Изменение характеристик ледового режима казахстанской части Каспийского моря, в связи с изменением климата // Гидрометеорология и экология. 2015. № 2. С. 28–35.
5. Ивкина Н., Наурызбаева Ж., Клове Б. Влияние изменения климатических условий на ледовый режим Каспийского моря // Центральноазиатский журнал исследований воды. 2017. Т. 3. № 2. С. 15–29.
6. Костяной А.Г., Гинзбург А.И., Лебедев С.А., Шеремет Н.А. Южные моря России // В кн.: Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Федеральная служба по Гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). (Ред.) В.М. Катцов,

- С.М. Семенов. М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2014. С. 644–683.
7. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шерemet Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 471 с.
 8. Терзиев Ф.С. (Отв. ред.). Проект «Моря». Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 358 с.
 9. Arpe K., Leroy S.A.G., Lahijani H., Khan V. Impact of the European Russia drought in 2010 on the Caspian Sea level // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2012. V. 16. P. 19–27. DOI 10.5194/hess-16-19-2012.
 10. Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Sheremet N.A. Sea Surface Temperature Variability. In: *The Caspian Sea Environment*. (Eds. A.G. Kostianoy, A.N. Kosarev). Series: Hdb. Env. Chemistry. 2005. V. 5P. P. 59–81. Springer-Verlag GmbH. DOI 10.1007/698 5 004.
 11. Levitus S., Antonov J.I., Boyer T.P., Stephens C. Warming of the World Ocean // *Science*. 2000. V. 287. № 5461. P. 2225–2229.

INTERANNUAL VARIABILITY OF THE CASPIAN SEA SURFACE TEMPERATURE IN THE CURRENT PERIOD (2003–2017)

A.I. Ginzburg¹, A.G. Kostianoy^{1, 2}

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

² S.Yu.Witte Moscow University, Moscow, Russia

The results of the study of interannual variability of sea surface temperature (SST) of three regions of the Caspian Sea (Northern, Middle and Southern) and Kara-Bogaz-Gol Bay (KBG) during 2003–2017 are presented, using the monthly mean data of the online system NASA Giovanni. It is established that the warming of the Caspian Sea in the conditions of continuing global warming continues, and at a greater rate than in the period 1982–2009. Trends of SST in the considered 15-year period amounted to 0.050, 0.067, 0.087 and 0.106 °C/year in the Northern, Middle and Southern Caspian and KBG, respectively. Years with the harshest and warmest winter seasons are marked.

Об авторах:

ГИНЗБУРГ Анна Ивановна – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: ginzburg@ocean.ru.

КОСТЯНОЙ Андрей Геннадьевич – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: kostianoy@gmail.com.

УДК 551.50+556+528.8

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-66-78>

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА*

П.В. Ключев¹, С.А. Лебедев^{2,3}

¹Тверской государственный университет, Тверь

²Геофизический центра РАН, Москва

³Майкопский государственный технологический институт, Майкоп

В работе представлены результаты анализа процесса замерзания и вскрытия Рыбинского водохранилища в короткий период ледостава зимой 2013–2014 и длинного периода ледостава зимой 2016–2017 годов по данным метеостанций вокруг Рыбинского водохранилища и дистанционного зондирования – спектрорадиометра MODIS спутников Terra и Aqua.

Ключевые слова: *Рыбинское водохранилище, ледостав, типы ледообразования, схема ледообразования, данные метеостанций, данные дистанционного зондирования.*

Введение

По сравнению с водохранилищами бассейна Верхней Волги (Верхневолжское, Ивановское, Угличское, Шекснинское и Горьковское водохранилища) ледовый режим Рыбинского водохранилища наиболее детально исследован. Исследование ледового режима проводится как с помощью активных и пассивных методов дистанционного зондирования, авиационной разведки, так и посредством многолетних наблюдений в полевых условиях (на постах и рейдовых вертикалях, ледово-термические разрезы и съемки, специальные наблюдения за нарастанием и таянием льда и т.д.) при Рыбинской гидрометеорологической обсерватории, действующей под управлением Ярославской Центральной гидрометеорологической службы. Ледовый режим объекта исследования не постоянен и находится под действием изменения климатических факторов – температурного режима и атмосферной циркуляции (ветровой

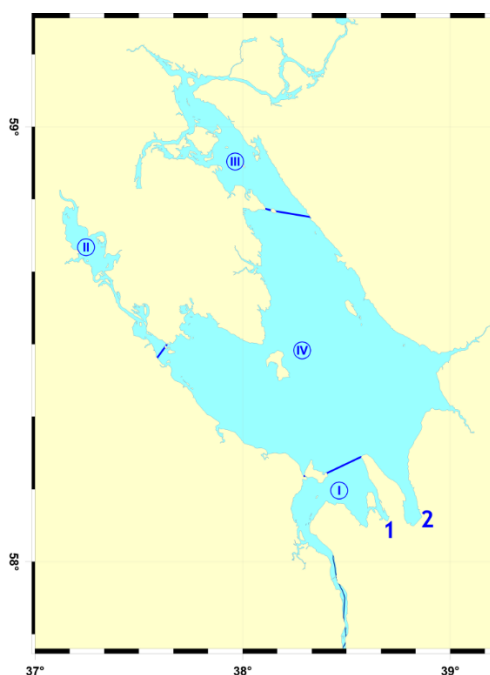
* Работа выполнена в рамках государственного задания ГЦ РАН, утвержденного ФАНО России (тема № 0145-2016-0005) (подготовка данных) при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-05-41117_РГО_а «Оценка современного гидрологического состояния крупных озер и водохранилищ Восточно-Европейской равнины на основе численного моделирования и новых алгоритмов обработки данных спутникового микроволнового зондирования» (интерпретация и анализ полученных результатов).

режим). Это проявляется в изменении времени начала, конца и продолжительности ледостава. На смену традиционным наблюдениям в настоящее время пришло дистанционное зондирование Земли из космоса, которое хорошо зарекомендовало себя при исследовании ледовой обстановки на акваториях Северного Ледовитого и Южного океанов, а также внутренних морей и крупных водных объектов.

Рыбинское водохранилище представляет из себя водоём озёровидной формы, которая определяется долинами рек Волги и Мологи, а также междуречьем Волги и Шексны. Данное водохранилище протянулось от Череповца до Рыбинска – в субмеридианальном направлении (с северо-запада на юго-восток). В своём строении Рыбинское водохранилище представляется четырьмя большими частями или плёсами: центральный, шекснинский, волжский и моложский (рис. 1).

Во время многолетних наблюдений (1947–1972) было замечено, что для Рыбинского водохранилища наиболее характерны два типа начала ледостава. Согласно первому типу ледообразования, становление ледостава на озёрах и водохранилищах будет происходить при следующих благоприятных условиях:

- тихая погода;
- участки рек с малой скоростью течения;
- условие, при котором не наблюдается ветровое волнение;
- переохлаждение воды в поверхностном слое при температуре воздуха ниже 0°C .



Р и с. 1. Схема строения Рыбинского водохранилища. Цифрами обозначены следующие плёсы:

- I – волжский,
- II – моложский,
- III – шекснинский,
- IV – центральный;
- 1 – Переборский залив,
- 2 – Шекснинская горловина

Можно также выделить следующие следствия, сопутствующие первому типу ледообразования:

- возникновение первичных иглообразных кристаллов;
- образование тонкого начального льда;
- нарастание мощности ледового покрова вследствие кристаллизации воды с нижней поверхности льда.

Первый тип замерзания наблюдался на Рыбинском водохранилище в 1948, 1955–1957, 1965, 1969–1970 и 1972 гг. [1].

Согласно второму типу становления ледостава, ледовый покров образуется на озёрах и водохранилищах при следующих благоприятных условиях:

- ветреная погода;
- участки рек с быстрым течением;
- сильное турбулентное перемешивание;
- переохлаждение воды при температуре воздуха ниже 0°C.

Просматриваются следующие последствия, которые характерны для второго типа ледообразования. Внутриводный лёд в форме кристаллов, которые взвешены в водном потоке или примерзают к предметам, находящимся в воде или под водой, а также ко дну (донный лёд). Образование шуги – скопления внутриводного льда при увеличении его концентрации. Увеличение мощности льда вследствие подныривания внутриводного льда под кромку ледового покрова и его откладывание под нижней поверхностью льда.

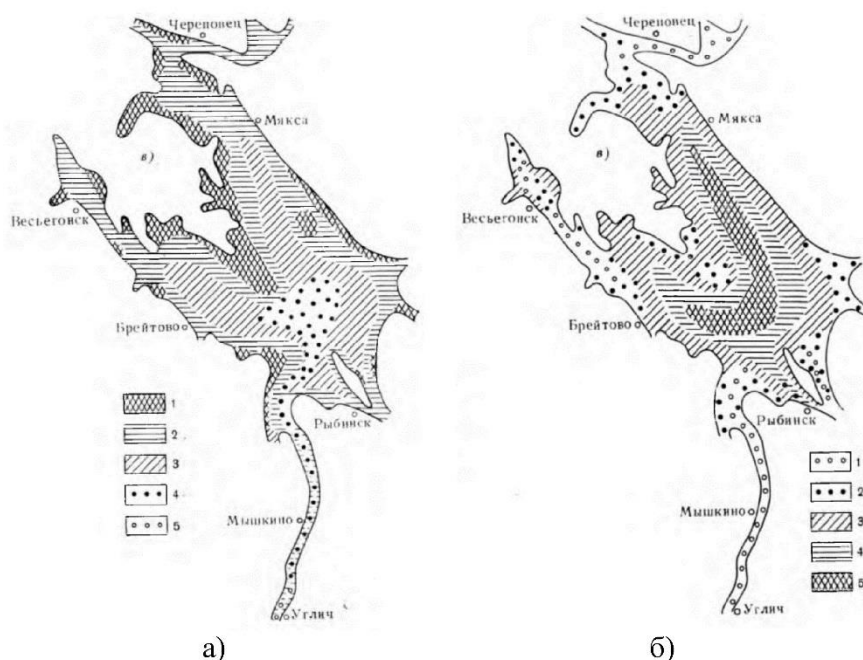
Таяние льда на водоёме обычно начинается с разрушения снега на ледовом покрове, по обыкновению, как на озёрах и водохранилищах. Чем больше проникает солнечной радиации в лёд, тем больше скорость его разрушения. После того, как снег полностью разрушится, солнечная радиация всё больше проникает через весь лёд и это уже влияет на прогрев воды, а вследствие и на таяние ледовой поверхности внизу. Затем появляются крупные и небольшие промоины, а сама ледовый покров начинает приобретать столбчатое строение. В конце на темпы таяния льда также начинают оказывать большое влияние действие ветра, а также увеличение уровня водохранилища с уровня мёртвого объёма (96.91 м) до нормального подпорного уровня (101.81 м). Естественно, что уровень мёртвого объёма (характерно для зимней межени) меньше, чем нормальный подпорный уровень.

Разрушение ледового покрова на Рыбинском водохранилище, в начале, происходит на участках рек с образования небольших водных пространств между берегом и льдом водохранилища, проталин, промоин, трещин и просветов между движущимися ледяными полями, затем идёт разрушение льда в остальных частях водоёма [3]. Периоды очищения ото льда водохранилища весной имеют зависимость от того, насколько сурова зима, которая влияет на мощность ледового покрова, и даты

перехода температуры воздуха через 0°C к значениям больше нуля. Но помимо естественных факторов, оказывают влияние на разрушение льда и антропогенные факторы, а именно работа ледоколов и проходящих транзитом через водохранилище речных судов, а также при сбросах воды из водохранилища, лежащего выше по течению реки Волги (Угличского водохранилища).

Второй тип замерзания имел место в 1942–1947, 1949–1954, 1958–1964, 1966–1968 и 1971 гг. [1].

Появление льда на Рыбинском водохранилище происходит прежде всего в прибрежных районах моложского и шекснинского плесов и устьев небольших рек и ручьев в первой пятидневке ноября. Затем 8–10/XI лед появляется в центральном плесе и Переборском заливе и, наконец, во второй половине ноября в волжском плесе (рис. 2а). Более позднее замерзание волжского плеса объясняется значительными глубинами этого плеса (10–13 м), резкими изменениями сбросов через Угличскую ГЭС, а также поступлением более теплой



Р и с. 2. Карта-схема замерзания (а) и вскрытия (б) Рыбинского водохранилища (по материалам авиаразведки и наблюдений на постах с 1946 по 1969 гг.):

а – последовательность замерзания:

1 – 1–6/XI, 2 – 7–15/XI, 3 – 16–20/XI, 4 – 21–25/XI, 5 – позже 25/XI.

б – последовательность вскрытия и очищения ото льда:

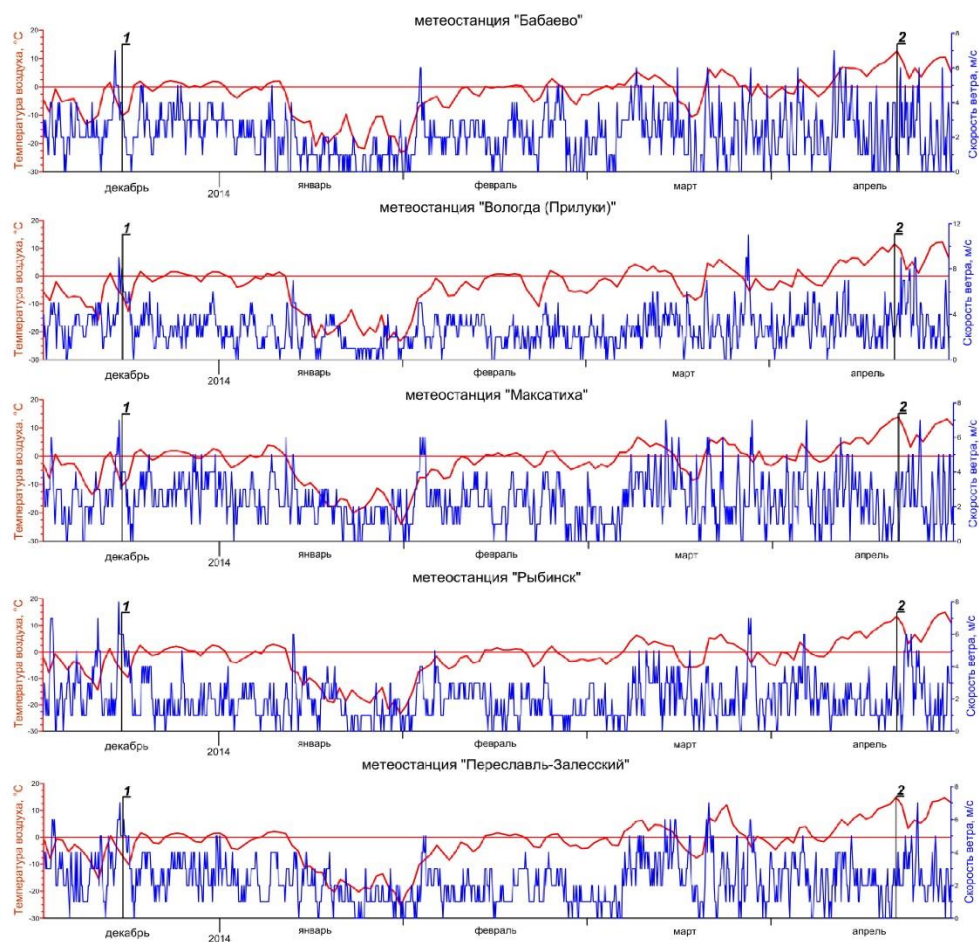
1 – 15–20/IV, 2 – 21–25/IV, 3 – 26–30/IV, 4 – 1–5/V, 5 – позже 5/V [1].

воды из Угличского водохранилища. Появление льда в прибрежных районах ежегодно отмечается непосредственно после перехода температуры воздуха к отрицательным значениям.

В нижнем бьефе Угличской ГЭС полынья простирается обычно на 0.7–0.8 км. При оттепелях и в периоды работы гидроэлектростанции на полную мощность протяженность ее увеличивается до 4 км.

В шекснинской горловине Рыбинского водохранилища размеры полыньи в зимний период малы. Весной она увеличивается, занимая иногда всю горловину.

Вскрытие на речных участках происходит обычно во второй половине апреля и начинается с образования закраин, промоин, появления полыней, трещин и разводий. В конце апреля начинается вскрытие остальных районов.



Р и с. 3. Метеорологические данные с метеостанций, расположенных близ Рыбинского водохранилища для периода декабрь 2013 г. – май 2014 г.: 1 – начало ледостава, 2 – конец ледостава.

Очищение ото льда речных зон происходит в конце апреля, через 8–10 дней в мае очищаются остальные районы водохранилища (рис. 2б).

Сроки ледовых явлений весной зависят от суровости зимы (которая определяет толщину льда) и времени перехода среднесуточной температуры воздуха через нуль к положительным значениям. При теплой весне период от вскрытия до очищения сокращается. Если весной наблюдаются возвраты холода, процесс очищения растягивается на 15–20 дней (1949, 1954, 1956, 1958 гг.).

На разрушение ледяного покрова в некоторой степени оказывают влияние факторы, связанные с эксплуатацией водохранилища. Так, на волжском плесе более интенсивное разрушение льда наблюдается при максимальных сбросах воды из Угличского водохранилища (около 7000–8000 м³/с). В Переборском заливе и на судоходных трассах разрушению ледяного покрова способствует взламывание льда ледоколами.

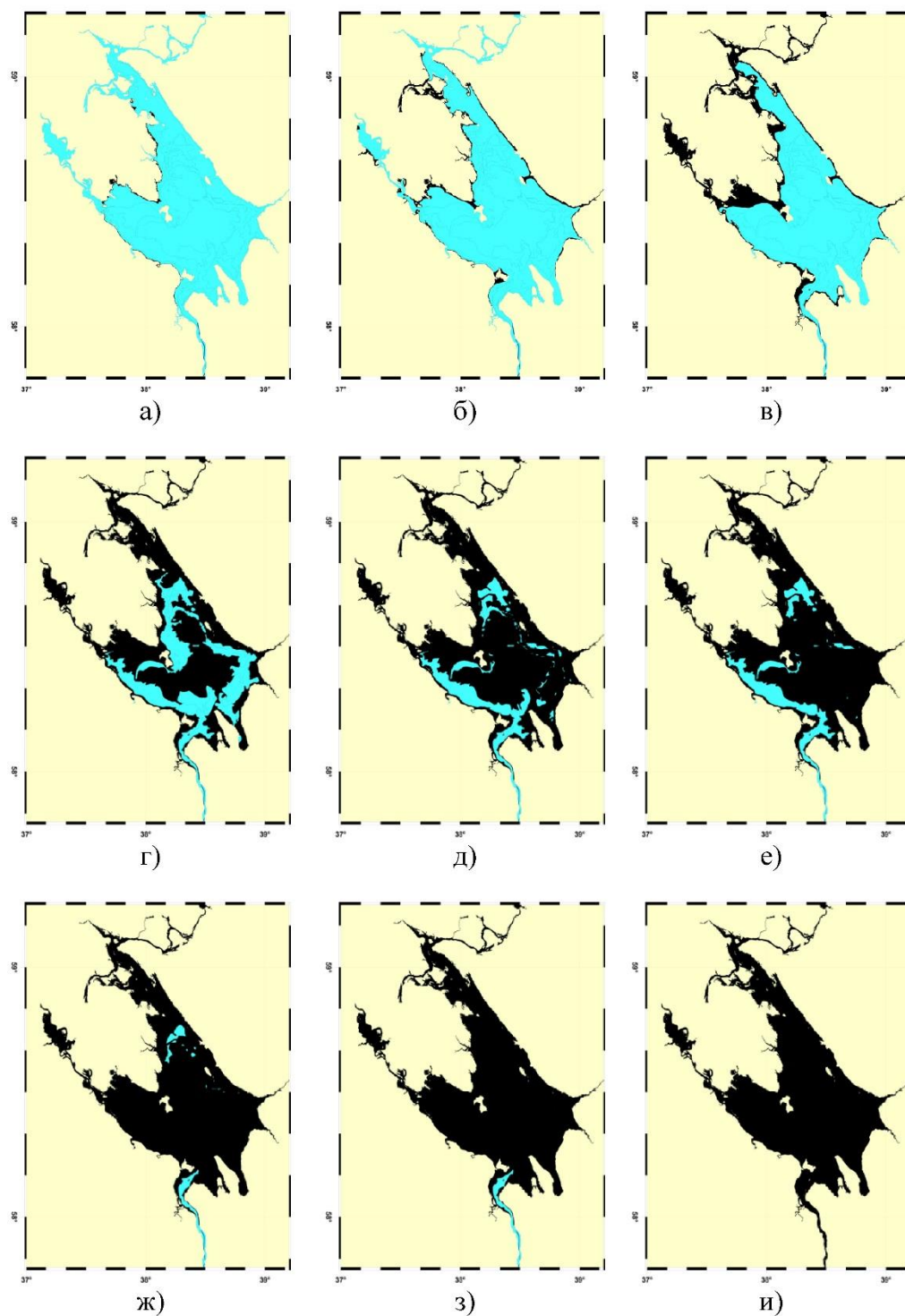
На волжском плесе весной наблюдается ледоход речного типа, сопровождающийся иногда заторами льда у п. Мышкино и с. Коприно. Ледоход наблюдается также на моложском плесе в районе г. Весьегонска. Сброс льда через плотину в Горьковское водохранилище не производится.

Ледовый режим Рыбинского водохранилища

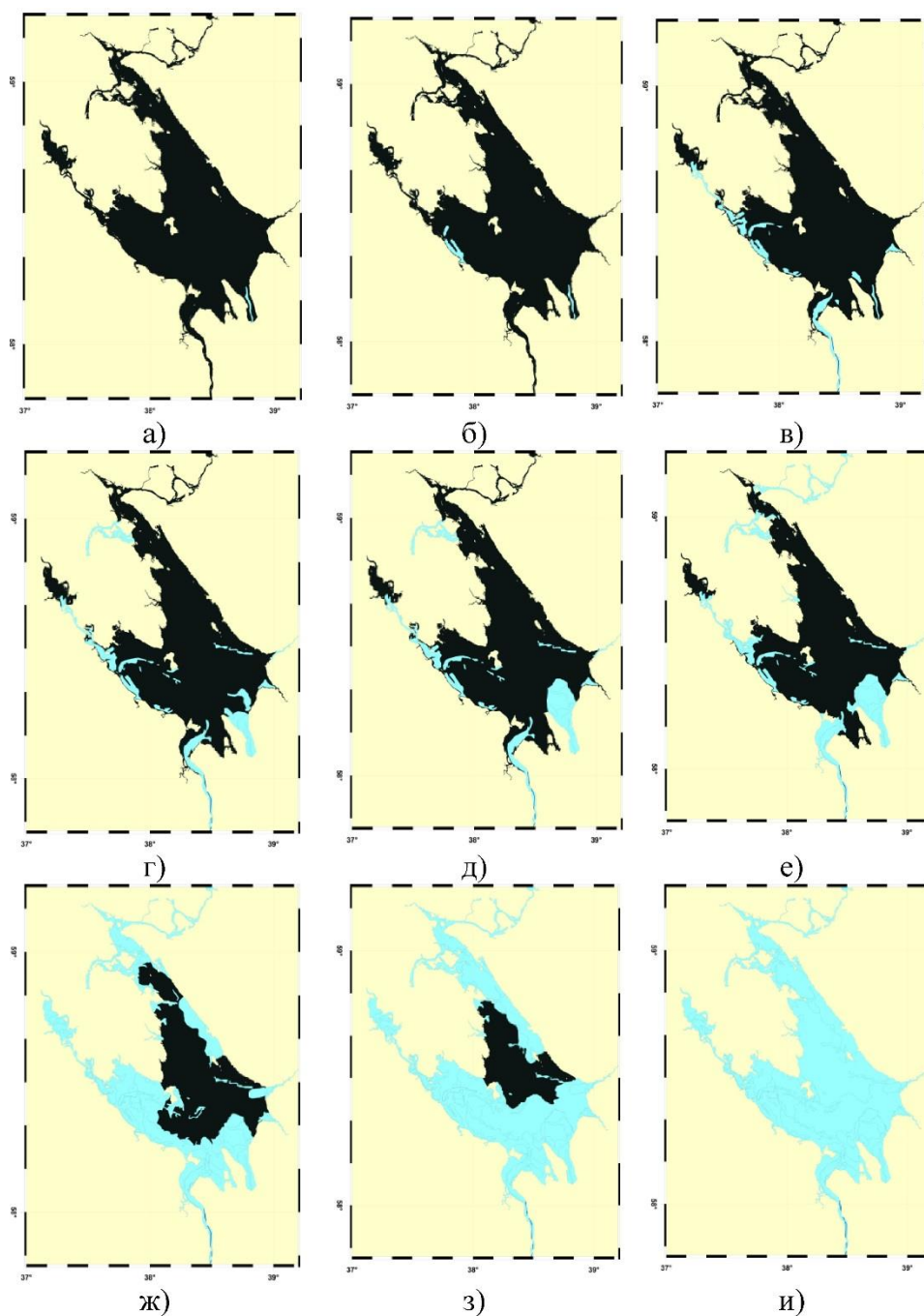
В данной работе для исследования типов ледообразования были взяты два периода: зима 2013–2014 (18 ноября – 24 апреля: 157 дней) и 2016–2017 (1 ноября – 1 мая: 181 день) годов, как один из самых коротких и продолжительных периодов ледостава соответственно [3].

Анализ ледообразования проводился по данным спектрорадиометра MODIS спутников Terra и Aqua с пространственным разрешением 250 м. Для зимы 2013–2014 из 392 спутниковых изображений только 48 изображений были с облачностью менее 10%. Для зимы 2016–2017 из 392 спутниковых изображений только 32 изображения были с облачностью менее 10%. Анализ метеорологических условий начала замерзания и вскрытия водохранилища проводился по данным с метеостанций (Бабаево, Вологда, Максатиха, Рыбинск и Переславль-Залесский), расположенных вокруг Рыбинского водохранилища.

Первый рассматриваемый период замерзания зимы 2013–2014 характеризуется скоростью ветра 4–5 м/с и температурой воздуха в пределах от -5°C до -10°C (рис. 3). Данные условия характерны для второго типа ледообразования, т.к., согласно градации шкалы Бофорта, при слабом ветре (3.3–5.4 м/с) наблюдаются волны высотой до 0.9 м, что достаточно для турбулентного перемешивания и образования в водной толще внутриводного льда в виде кристаллов, а вследствие и шуги.



Р и с. 4. Процесс ледообразования в один из коротких периодов ледостава зимы 2013–2014 годов: а) – 18/XI, б) – 30/XI, в) – 1/XII, г) – 4/XII, д) – 9/XII, е) – 10/XII, ж) – 14/XII, з) – 15/XII, и) – 27/XII.



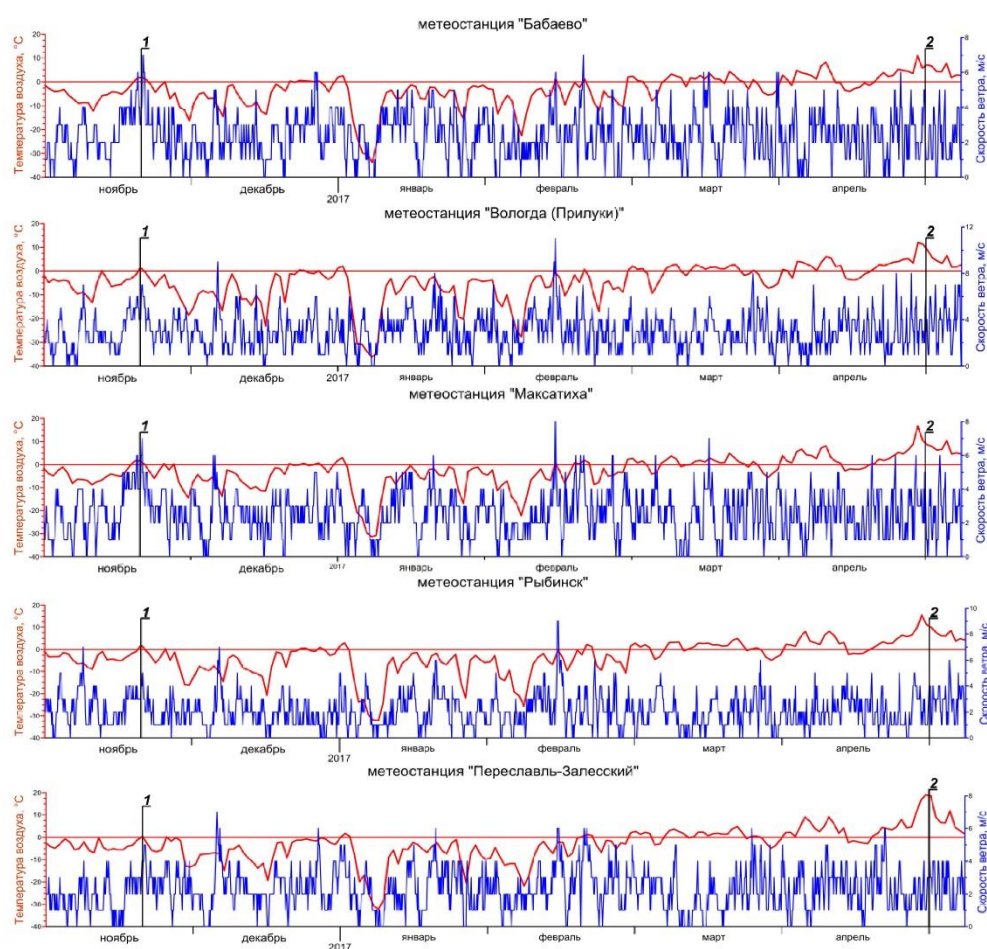
Р и с. 5. Процесс таяния ледяного покрова в один из коротких периодов ледостава зимы 2013–2014 годов:

а) – 24/II, б) – 26/II, в) – 9/III, г) – 29/III, д) – 1/IV,
е) – 15/IV, ж) – 21/IV, з) – 22/IV, и) – 24/IV.

Зимой 2013–2014 годов появление льда начиналось в прибрежных районах моложской и шекснинской части Рыбинского водохранилища и

местах впадения небольших водотоков (реки, ручьи) (рис. 4а–4в). После этого ледообразование охватывает центральную часть водохранилища (рис. 4г–4е). Процесс ледообразования заканчивается в Переборском заливе и волжской части водохранилища (рис. 4ж–4и). Рассматривая общую тенденцию замерзания водохранилища зимой 2013–2014 можно констатировать, что образование льда идёт с северо-востока на юго-запад водоёма.

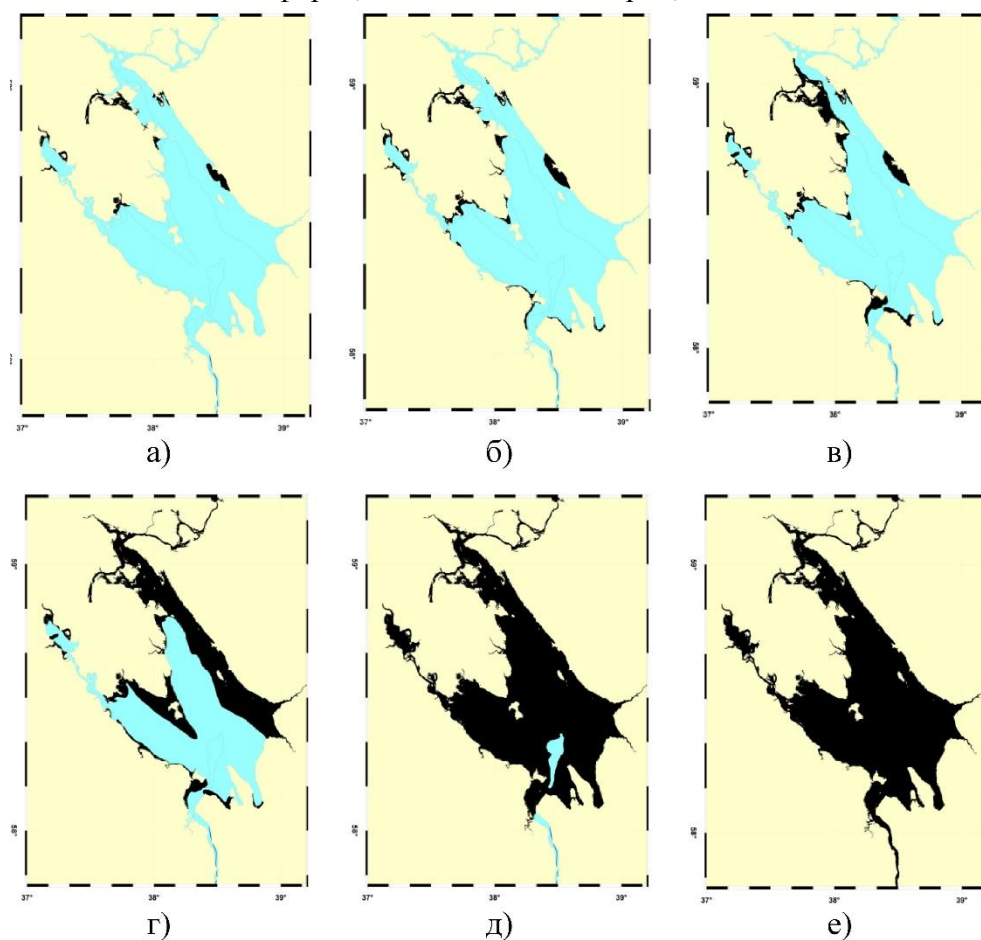
В период 2013–2014 годов таяние льда начинается в заливе, являющимся затопленным руслом реки Шексны (город Рыбинск) (рис. 5а–5б). Затем очищаются от льда волжская часть и Переборский залив (рис. 5в–5г), после этого моложская и шекснинская части (рис. 5д–5е), а в конце разрушение ледового покрова затрагивает центральную часть Рыбинского водохранилища (рис. 5ж–5и).



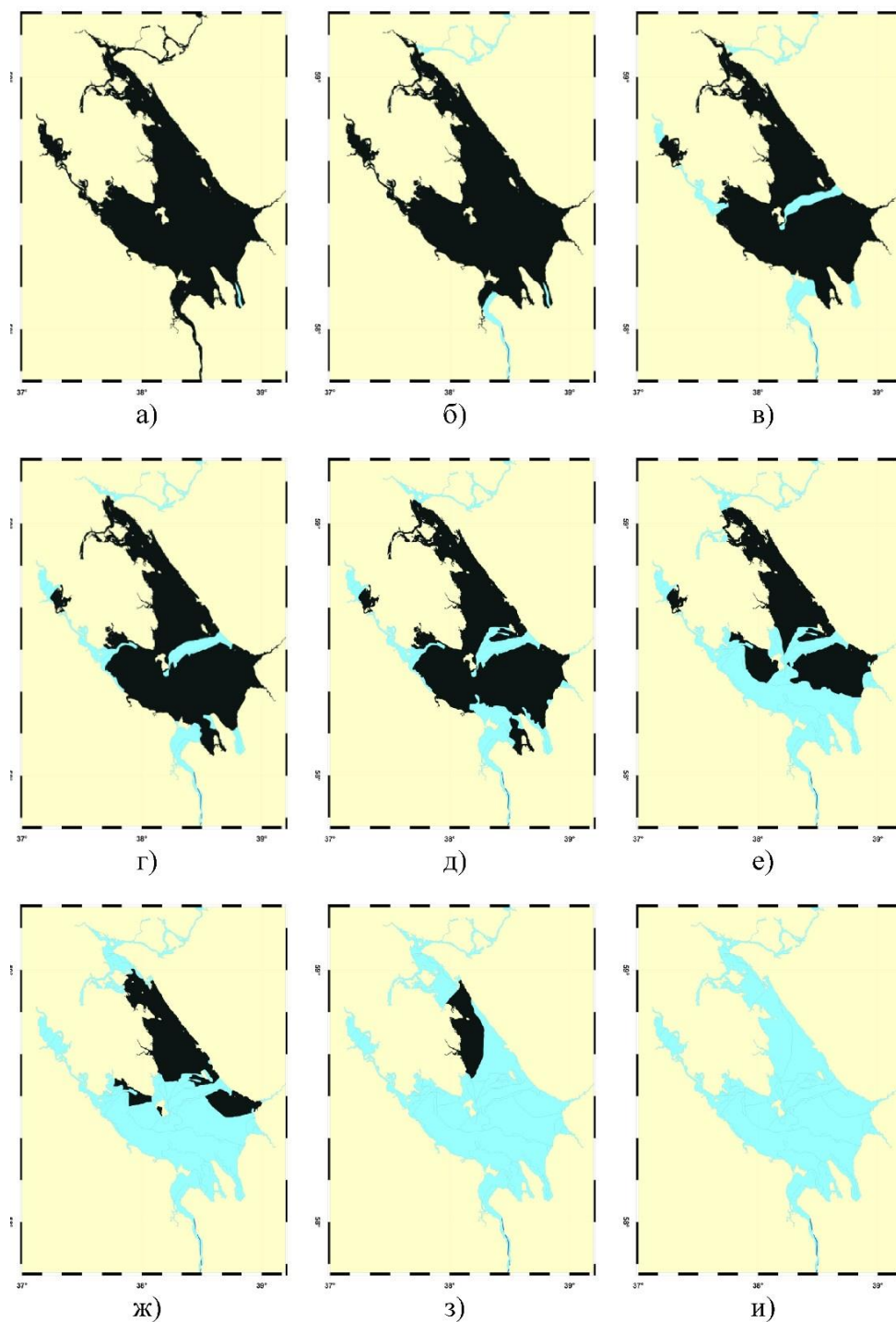
Р и с. 6. Метеорологические данные с метеостанций, расположенных близ Рыбинского водохранилища для периода ледостава 2016 – 2017 годов: 1 – начало ледостава, 2 – конец ледостава.

Рассматривая общую тенденцию можно заметить, что вскрытие водохранилища идёт от периферии к центру, но большое влияние в этом процессе оказывает река Волга, поэтому если судить по схеме, то последняя стадия чуть сдвинута от ядра центрального плёса Рыбинского водохранилища на север, ближе к шекснинскому плёсу.

Второй самый продолжительный период ледостава 2016–2017 годов за время исследования (2002–2017) характеризовался скоростью ветра 3–4 м/с и температурой воздуха от 0°C до +2°C (на протяжении 4–5 дней около точки начала ледостава) (рис. 6). Хотя на протяжении 15–17 суток наблюдались отрицательные температуры воздуха и относительно небольшая скорость ветра (волны на водной глади, согласно шкале Бофорта, достигали 0.3 метров, чего недостаточно для



Р и с. 7. Процесс ледообразования в самый продолжительный период ледостава зимы 2016–2017 годов: а) – 1/XI, б) – 2/XI, в) – 5/XI, г) – 6/XI, д) – 12/XI, е) – 20/XI.



Р и с. 8. Процесс таяния ледяного покрова в самом длинном периоде ледостава зимы 2016–2017 годы: а) – 28/II, б) – 9/IV, в) – 18/IV, г) – 20/IV, д) – 21/IV, е) – 25/IV, ж) – 28/IV, з) – 30/IV, и) – 1/V.

турбулентного перемешивания и образования внутриводного льда). Поэтому шло образование тонкого начального льда на поверхностном слое водной толщи. Таким образом, для периода ледостава за 2016–2017 года характерен первый тип лёдообразования.

Процесс образования ледового покрова в ноябре 2016 года начинался с прибрежных районов моложского и шекснинского плёсов (рис. 7а–7в), далее этот процесс охватывал центральный плёс (рис. 7г–7д), а закончилось лёдообразование волжской частью Рыбинского водохранилища (рис. 7е). При рассмотрении процесса образования льда, можно заметить некоторую закономерность – наползание льда идёт с северо-востока на юго-запад, как и для первого описываемого периода ледостава за 2013–2014 года.

Процесс вскрытия водохранилища весной 2017 года начинается с залива, являющимся затопленным руслом реки Шексны (рис. 8а). Следующим очищается ото льда волжский и моложский плёсы и русло реки Шексны до города Череповец (рис. 8б–8д). Затем лёд сходит в центральной части Рыбинского водохранилища и северо-западной части шекснинского плёса (рис. 8е–8ж). Заканчивается процесс очищения ото льда водоёма в районе стыка шекснинской и центральной части водохранилища (рис. 8з–8и). Рассмотрев процесс таяния ледового покрова, можно отметить, что разрушение льда шло с юго-запада на северо-восток до границы двух районов водохранилища (шекснинского и центрального).

Заключение

На основе рассмотренных метеорологических данных за 2002–2017 годы и идентификации ледового покрова на акватории Рыбинского водохранилища в работе [3] были выделены два периода по продолжительности ледостава, для которых характерны два типа лёдообразования. Короткий период ледостава характеризуется вторым типом, а наиболее продолжительный период – первым типом лёдообразования, при этом процесс образования льда осенью 2016 года был интенсивнее, чем осенью 2013 года. Что касается процесса разрушения льда, то у двух выделенных периодов относительно похожие тенденции – разрушение льда идёт с юго-запада на северо-восток до границы двух районов Рыбинского водохранилища – шекснинского и центрального плесов.

Список литературы

1. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги. / Под ред. З.А. Викулиной, В.А. Знаменского. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 291 с.

2. Донченко Р.В. Ледовый режим рек СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 248 с.
3. Лебедев С.А. Ключев П.В., Идентификация ледяного покрова Рыбинского водохранилища и исследование его межгодовой изменчивости по данным спутниковой альтиметрии и радиометрии // Вестник ТвГУ. Серия «География и Геоэкология». – 2018. – №1. – С. 20–36.

INVESTIGATION OF THE ICE COVER OF THE RYBINSK RESERVOIR

P.V. Klyuyev ¹, S.A. Lebedev ^{2,3}

¹ Tver State University, Tver

² Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Moscow

³ Maykop State Technological University, Maykop

The paper presents the results of the analysis of the process of freezing and opening of the Rybinsk Reservoir in a short period of freezing in the winter of 2013-2014 and a long period of freezing in the winter of 2016-2017 according to the weather stations around the Rybinsk Reservoir and remote sensing - the MODIS spectrometer of the Terra and Aqua satellites.

Keywords: *Rybinsk reservoir, ice cover, ice formation types, ice formation scheme, weather station data, remote sensing data..*

Об авторах:

КЛЮЕВ Павел Валерьевич – студента 4 курса Тверского государственного университета по направлению 05.03.06 «Экология и природопользование», e-mail: pasha.kliuev2015@yandex.ru.

ЛЕБЕДЕВ Сергей Анатольевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Геофизического центра РАН, заведующий Лабораторией геоэкологии, геоинформатики и рационального природопользования Майкопского государственного университета, почетный профессор Тверского государственного университета, e-mail: lebedev@wdcb.ru

УДК 551.465

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-79-98>

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МОДУЛЯ СКОРОСТИ ВЕТРА В РЕГИОНЕ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЁРНОГО МОРЯ *

**Е.А. Костяная¹, И.В. Серых¹, А.Г. Костяной^{1,2}, С.А. Лебедев³,
А.К. Ахсалба⁴**

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

² Московский Университет им. С.Ю. Витте, г. Москва, Россия

³ Геофизический центр РАН, г. Москва, Россия

⁴ Институт экологии Академии наук Абхазии, г. Сухум, Республика Абхазия

В работе проведён анализ сезонной и межгодовой изменчивости скорости ветра в восточной части Чёрного моря за период с 1980 по 2013 г. Кроме того, проведён подробный анализ экстремальных ветровых явлений для прибрежных районов Краснодарского края и Абхазии. Исследована межгодовая изменчивость амплитуды, частоты и продолжительности экстремальных метеорологических явлений, обусловленных ветром, по ежедневным данным реанализа NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2).

Ключевые слова: Чёрное море, реанализ, скорость ветра, региональное изменение климата, экстремальные ветровые явления, Краснодарский край, Абхазия

Введение

Аномальные природные явления, обусловленные климатическим фактором, участились в начале XXI века в восточной части Чёрного моря. Так, в 2016 году, по данным Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, в регионе Западного Кавказа и прилегающих территорий, включая прилегающую акваторию Чёрного моря, наблюдались следующие экстремальные гидрометеорологические явления [1]:

В первые дни января сильные снегопады (20–22 мм) на Северном Кавказе вызвали массовый сход снежных лавин. В горах в районе Большого Сочи лавины сходили в течение всего месяца. В Сочи сильное налипание мокрого снега наблюдалось 20 января (80–100 мм) и 22–23 января (80–97 мм), под тяжестью которого ломались деревья, отмечались отключения электроэнергии.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-55-40015_Абх_а «Климатические изменения интенсивности и повторяемости экстремальных гидрологических и метеорологических явлений в прибрежной зоне Краснодарского края и Абхазии»

В первые дни февраля на Северном Кавказе вновь прошли сильные снегопады, причём особенно сильными они были в районе Туапсе (50 мм) и Сочи (35 мм). 2 января наблюдалось налипание мокрого снега в Белореченске (52 мм), Сочи (90 мм), Адыгее (50 мм). В горных районах снегопады вызвали сход снежных лавин (так, в районе Красной Поляны сошло 5 лавин).

В марте сохранялась лавиноопасная обстановка в горах Северного Кавказа, хотя лавины сходили гораздо реже. Сильный ветер беспокоил регион гораздо чаще. 18–19 марта сильный вытер (20–30 м/с) наблюдался в Ростовской области, Ставропольском крае и республиках Северного Кавказа. Заморозки отмечались 13–16 марта в Ставропольском и Краснодарском краях, Адыгее, Дагестане.

Апрель начался на Северном Кавказе с заморозков, которые наблюдались практически повсеместно 3–4 апреля. Лавиноопасная обстановка в горных районах сохранялась до конца месяца. Так, в районе Большого Сочи 9–13 апреля сошло 12 снежных лавин, 25–26 апреля – 10. По югу Ставропольского края в начале второй декады прошли уже настоящие летние ливни, 11 апреля в Кисловодске за 55 минут выпало 34 мм осадков.

В мае в Ставропольском крае крупным градом диаметром 30–50 мм 14–15 мая повреждены более 6000 га сельскохозяйственных культур.

Июнь начался с проливных дождей на Северном Кавказе. В Краснодаре 1–2 июня за 11 часов 10 минут выпало 96 мм, причём большая часть – 82 мм – пролилась за первые 2 часа. Сильные дожди в Лазаревском районе 4–5 июня (105 мм за 12 часов) вызвали подъем уровня воды в р. Цусхвадж на 160 см, что привело к повреждению мостов, водопровода, участка дороги Джугба-Сочи. В Ставропольском крае крупным градом (25 мм) практически уничтожены посевы сельскохозяйственных культур на 387 га. Сильные дожди на Северном Кавказе прошли также 16–17, 23–24 и 28–30 июня.

И в первый день июля на Северном Кавказе шли ливневые дожди, местами очень сильные: в Геленджике за 3 часа 40 минут выпало 102 мм осадков. На р. Белой после сильных дождей прошли паводки на реках: 2–3 июля – на р. Белой уровень воды поднимался до 407 см (ОЯ 320 см). Инфраструктуре прилегающих районов был нанесён существенный ущерб паводками. Сильная жара отмечалась 16–18 июля в Южном федеральном округе (40–41°C). 19 июля жаркая погода в Ростовской области и Краснодарском крае отступила с сильными грозовыми дождями (62–78 мм), местами с градом.

В разных районах страны в течение августа прошли сильные дожди. Так, сильный ливневый дождь прошёл 5 августа в станице Каневской Краснодарского края (72 мм за 1 ч.57 м); 8 августа в посёлке Гузерипль в Адыгее (63 мм за 3 ч 55м). 11 августа шквалистый ветер (28–

32 м/с) был отмечен в Кореновском районе Краснодарского края: повреждены кровли и стекла зданий, ЛЭП, повалены деревья.

Сильные дожди обрушились на Черноморское побережье Кавказа 18-19 сентября. Так, в Анапе за 11 ч 50 мм выпало 89 мм. 21 сентября сильные дожди отмечались в Краснодарском крае.

В Новороссийске и Геленджике 25 октября наблюдался ураганный ветер (35–38 м/с) – знаменитая Новороссийская бора. Высота волн составила от 1,5 до 2,5 м. Стихия сносила не только людей, но и с корнем вырывала деревья.

29–30 ноября было отмечено сильное налипание мокрого снега (50–76 мм) в Краснодарском крае, что привело к аварийным отключениям электроэнергии.

В горах Северного Кавказа в начале декабря прошли сильные снегопады (20–51 мм), которые обострили лавиноопасную обстановку. Налипание мокрого снега до 65 мм наблюдалось в Адыгее. В отдельных районах Краснодарского края 9 декабря скорость ветра достигала 28 м/с, в результате чего были повреждены крыши, ЛЭП, трубопроводы, поломаны деревья.

Скорость ветра является одним из основных климатических параметров. Ветер оказывает существенное влияние на обмен импульсом, теплом, влагой и следовых частиц между атмосферой и подстилающим океаном и сушей. Он вызывает волнение в океанах и морях, штормовые нагоны и оказывает огромное воздействие на морской лёд. Он играет ключевую роль в циркуляции океана, которая отвечает за глобальный перенос значительного объёма тепла и углерода. Скорость ветра является чувствительным показателем состояния глобальной климатической системы. Понимание этого необходимо для изучения климатической изменчивости и изменения климата, а также для оценки климатических моделей. Данные о приземном ветре получают непосредственное применение в таких отраслях, как транспорт, строительство, производство энергии, сельское хозяйство, здоровье человека, безопасность на море и управление чрезвычайными ситуациями. Они также используются в показателях, характеризующих силу тропических циклонов [2].

В данной работе проведён анализ сезонной и межгодовой изменчивости скорости ветра в восточной части Чёрного моря за период с 1980 по 2013 г. Кроме того, проведён подробный анализ экстремальных ветровых явлений для прибрежных районов Краснодарского края и Абхазии, исследована межгодовая изменчивость амплитуды, частоты и продолжительности экстремальных метеорологических явлений, обусловленных ветром.

Использованные данные и методика их обработки

Использованы среднемесячные и среднесуточные данные компонент U и V ветра на высоте 10 метров от поверхности из реанализа

NCEP-DOE за период 1980–2013 гг. (NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) [3].

Рассчитывались средние значения для двух регионов восточной части Чёрного моря: побережье Абхазии (42° – 43.5° с.ш.; 40° – 42° в.д.) и побережье Краснодарского края (43.5° – 45° с.ш.; 37° – 40° в.д.). На рисунке 1 регион побережья Абхазии показан в жёлтом квадрате, а регион побережья Краснодарского края – в синем. Регионы Абхазии и побережья Краснодарского края исследовались отдельно для более детального анализа особенностей климатических изменений скорости ветра и характеристик экстремальных ветровых явлений в двух соседних регионах, которые существенно отличаются своими орографическими особенностями.



Р и с. 1. Два региона исследования восточной части Чёрного моря: побережье Абхазия (42° – 43.5° с.ш.; 40° – 42° в.д.), выделено жёлтым квадратом, и побережье Краснодарского края (43.5° – 45° с.ш.; 37° – 40° в.д.), выделено синим квадратом

В каждом узле сетки для каждого месяца и дня рассчитан модуль скорости ветра по формуле Пифагора. Затем в каждом узле сетки рассчитан средний годовой ход модуля скорости ветра за исследуемый период. После этого из модуля скорости ветра был вычтен средний

годовой ход. Таким образом, в каждом узле сетки для каждого месяца и дня были рассчитаны аномалии модуля скорости ветра. После этого производилось осреднение аномалий по указанным регионам.

По среднемесячным данным методом наименьших квадратов рассчитывались линейные тренды изменения средней скорости ветра в выбранных регионах за исследуемый период. По рядам средних аномалий скорости ветра исследуемых регионов рассчитывались линейные тренды. Производились однолетнее и восьмилетнее скользящие осреднения исследуемых рядов. Рассчитывались накопленные суммы рядов аномалий после удаления линейного тренда. Рассчитывались средние значения аномалий отдельно для каждого тёплого (май-октябрь) и холодного (ноябрь-апрель) полугодия всего исследуемого периода.

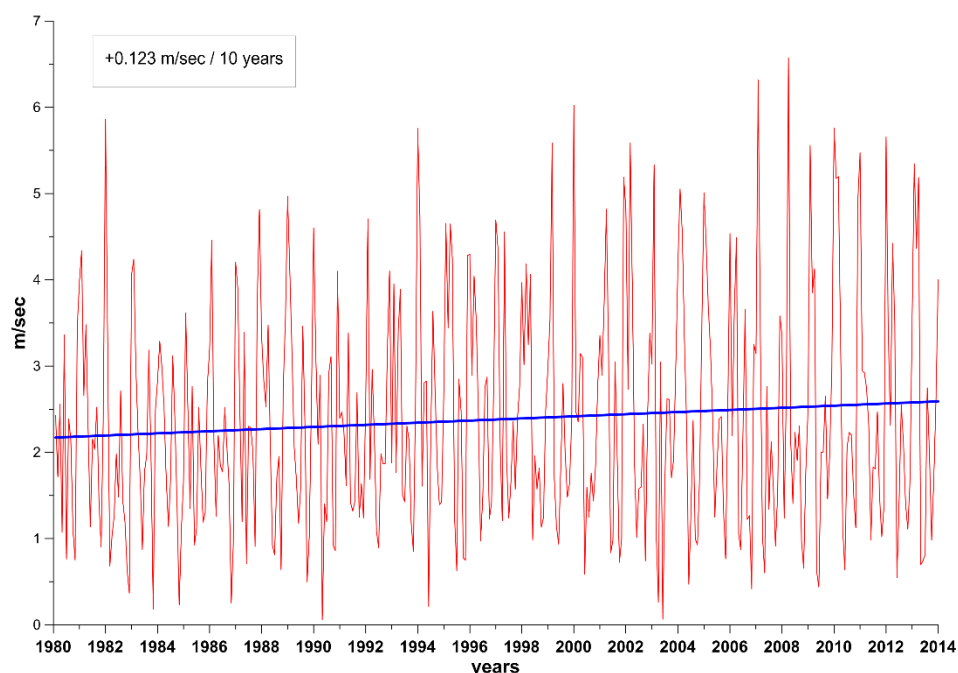
По среднесуточным аномалиям (относительно сезонного хода) скорости ветра, рассчитанным по данным реанализа NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2), для каждого года было рассчитано количество экстремальных ветровых событий, превосходящих по модулю своими аномалиями одно и два среднеквадратических отклонения исследуемого ряда за 1980–2013 гг., а также изменения средней амплитуды и продолжительности этих экстремальных событий. Методом наименьших квадратов для положительных и отрицательных экстремальных событий рассчитаны линейные тренды, аппроксимирующие изменения их количества, средней амплитуды и продолжительности.

Аналогичный подход к исследованию климатически значимых параметров применялся для изучения сезонной и межгодовой изменчивости температуры воздуха и экстремальных температурных явлений в восточной части Чёрного моря [4, 5] и для побережья Черногории [6, 7].

Климатическая изменчивость скорости ветра

Изменения среднемесячных значений модуля скорости ветра в регионе восточной части Чёрного моря за период 1980–2013 гг., рассчитанные по данным реанализа NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2), демонстрируют для региона Абхазии (42°–43.5° с.ш.; 40°–42° в.д.) (Рис. 2а) рост среднемесячного значения модуля скорости ветра, который составляет примерно 0.123 м/сек в 10 лет. Таким образом, за рассматриваемый период с 1980 по 2013 гг., среднемесячное значение скорости ветра увеличилось примерно на 0.41 м/сек и составило к 2014 году примерно 2,5 м/сек. На рисунке видно постепенное увеличение максимальных среднемесячных значений модуля скорости ветра с 1999 года и далее, с максимумом в более, чем 6,5 м/сек, в 2008 году. Кроме этого, можно высказать предположение, что, начиная с 1993–1994 гг. выделяются три цикла примерно по 7 лет каждый, начинающийся с нового максимума среднемесячного значения модуля скорости ветра с

последующими более низкими значениями (см максимумы в 1993, 2000 и 2008 гг.).

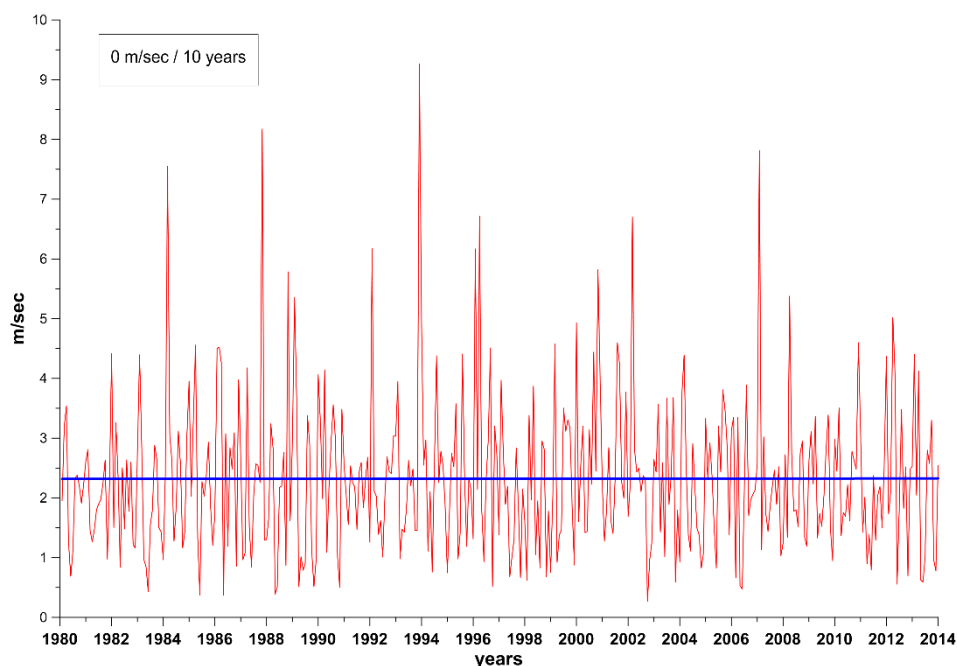


Р и с. 2а. Изменения среднемесячных значений модуля скорости ветра на высоте 10 метров от поверхности (красный) и их линейный тренд (синий) в регионе Абхазии (42°–43.5° с.ш.; 40°–42° в.д.).

Изменения среднемесячных значений модуля скорости ветра за период 1980–2013 гг., рассчитанные для региона побережья Краснодарского края (43.5°–45° с.ш.; 37°–40° в.д.) (Рис. 2б), показывают нулевое изменение среднемесячного значения модуля скорости ветра. Среднее значение за данный период составило примерно 2,3 м/сек. Максимальное среднемесячное значение модуля скорости ветра наблюдалось в 1994 году и составило примерно 9,2 м/сек.

Рисунки 2а и 2б показывают разную динамику среднемесячных изменений модуля скорости ветра в регионе Абхазии и побережья Краснодарского края. Однако можно отметить, что некоторые максимумы среднемесячных значений модуля скорости ветра для Абхазии и побережья Краснодарского края наблюдались в один и тот же год. Так, в Абхазии в 1994 году был зафиксирован максимум в 5,7 м/сек, а на побережье Краснодарского края в том же году – 9,2 м/сек. В 2008 году в Абхазии отмечен максимум в более, чем 6,5 м/сек, что представляет собой максимальный показатель среднемесячных значений модуля скорости ветра за изучаемый период времени с 1980 по 2013 гг. На побережье Краснодарского края в 2008 году также отмечено одно из максимальных значений, однако оно ниже – примерно 5,3 м/сек.

Сравнение двух рисунков показывает, что на побережье Краснодарского края за 1980–2013 гг. наблюдалось большее количество максимальных среднемесячных значений модуля скорости ветра, чем в Абхазии: если в Абхазии было одно значение скорости более 6,5 м/сек, то на побережье Краснодарского края их было 6. Кроме того, для побережья Краснодарского края с 1993–1994 гг. не выделяется 7-ми летняя цикличность скорости ветра, как в Абхазии.

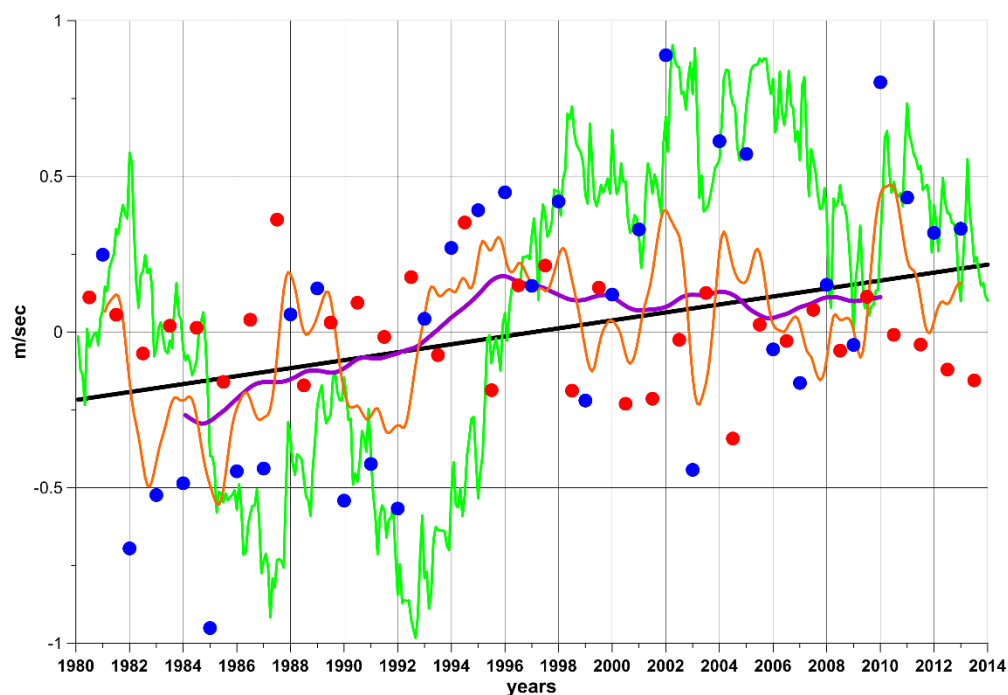


Р и с. 26. Изменения среднемесячных значений модуля скорости ветра на высоте 10 метров от поверхности (красный) и их линейный тренд (синий) в регионе побережья Краснодарского края (43,5°–45° с.ш.; 37°–40° в.д.).

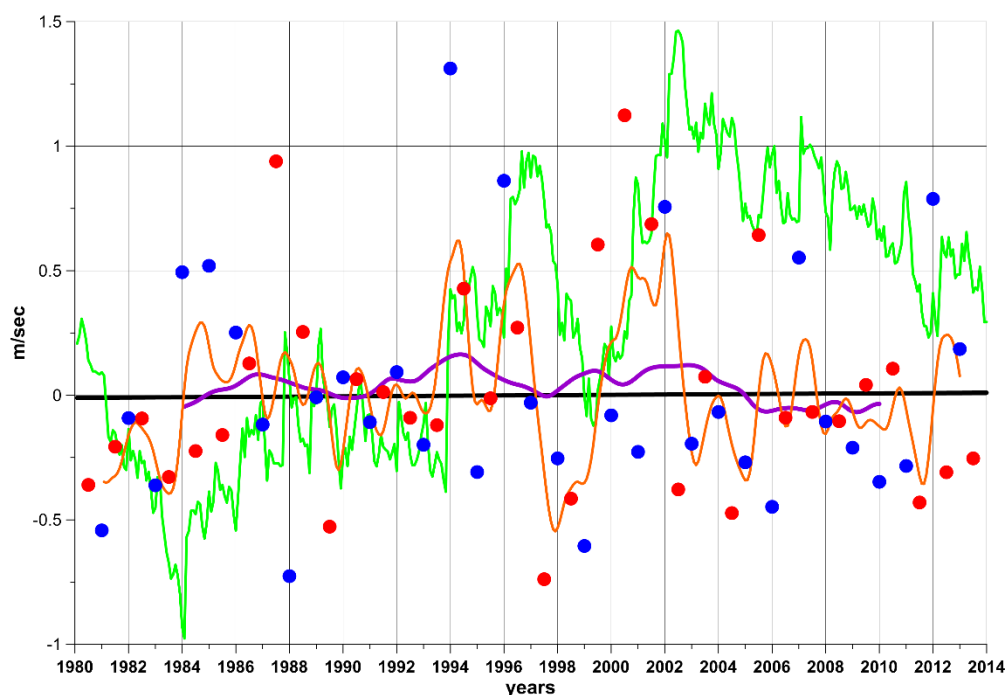
Можно предположить, что более высокие показатели среднемесячных значений модуля скорости ветра для побережья Краснодарского края могут быть вызваны наличием Новороссийской боры. Борой принято называть сильный холодный ветер, обычно возникающий в местах, где относительно тёплое море отделено невысоким горным хребтом от континента. В среднем в Новороссийске бора дует 45-46 дней в году. Из этих дней примерно в половине случаев скорость ветра превышает штормовые значения (20 м/с). На примерно 5 дней приходится превышение ураганных значений (более 33 м/с). Обычно бора длится 1–3 дня и редко превышает 7 дней [8–11].

Из рисунка 3а для региона Абхазии видно, что в период с 1982 по 1992 год более высокие аномалии приходились на холодное полугодие и были отрицательными, с максимальным отрицательным значением в

почти -1 м/сек в 1985 году. В то же период времени в тёплое полугодие аномалии располагались в интервале от $-0,25$ м/сек до примерно $+0,38$ м/сек. С 1993 года ситуация меняется: теперь в холодное полугодие аномалии являются большей частью положительными и доходят до $0,88$ м/сек. Такая характеристика сохраняется до конца исследуемого периода в 2013 году. В тёплое полугодие, однако, такого изменения с 1993 года не наблюдается – аномалии располагаются примерно в том же интервале от $-0,38$ м/сек до $0,38$ м/сек.



Р и с. 3а. Изменения среднемесячных аномалий модуля скорости ветра на высоте 10 метров от поверхности (относительно сезонного хода) сглаженных однолетним (оранжевый) и восьмилетним (фиолетовый) скользящими осреднениями в регионе Абхазии (42° – $43,5^{\circ}$ с.ш.; 40° – 42° в.д.). Их линейный тренд (чёрный) и накопленная сумма аномалий после удаления линейного тренда (зелёный). Отмечены средние значения аномалий для тёплого (красные круги) и холодного (синие круги) полугодий.



Р и с. 36. Изменения среднемесячных аномалий модуля скорости ветра на высоте 10 метров от поверхности (относительно сезонного хода) скользящих однолетним (оранжевый) и восьмилетним (фиолетовый) скользящими осреднениями в регионе побережья Краснодарского края ($43,5^{\circ}$ – 45° с.ш.; 37° – 40° в.д.). Их линейный тренд (черный) и накопленная сумма аномалий после удаления линейного тренда (зеленый). Отмечены средние значения аномалий для теплого (красные круги) и холодного (синие круги) полугодий.

На рис. 36 для побережья Краснодарского края не наблюдается четко выраженной тенденции по аномалиям в холодное или теплое полугодия. Однако можно отметить, что положительных аномалий, превышающих или равных 0,5 м/сек, больше наблюдалось в холодное полугодие, чем в теплое, и максимальное значение положительных аномалий приходится на холодное полугодие, и оно превысило 1,25 м/сек. Максимальная отрицательная аномалия в -0,75 м/сек была отмечена как в холодное полугодие в 1988 году, так и в теплое полугодие в 1997 году. Основная часть наблюдаемых аномалий в холодное и теплое полугодия с 1980 по 2013 гг отмечены в интервале от -0,5 до 0,5 м/сек, причём большая часть аномалий в холодное полугодие является отрицательными в интервале от 0 до -0,5 м/сек.

Изменчивость экстремальных ветровых явлений

В регионе Абхазии (42° – $43,5^{\circ}$ с.ш.; 40° – 42° в.д.) за период 1980-2013 гг. произошло увеличение амплитуды экстремальных явлений с положительными аномалиями модуля скорости ветра (рис. 4а и 5а) с 3,4 м/сек до 3,48 м/сек для явлений, превышающих 1 стандартное отклонение, и с 5,25 м/сек до 5,5 м/сек для явлений, превышающих 2 стандартных отклонения. При этом произошло снижение амплитуды экстремальных явлений с отрицательными аномалиями с 2,96 м/сек до 2,90 м/сек для явлений, превышающих 1 стандартное отклонение, и с 4,83 м/сек до 3,6 м/сек для явлений, превышающих 2 стандартных отклонения.

Количество экстремальных явлений с положительными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, увеличилось за рассматриваемый период с 28 до 35 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения – с 8 до 11 событий в год. При этом число экстремальных событий с отрицательными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, снизилось с 38 до 30 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения – с 4 до 2 событий в год (рис. 4а и 5а).

Средняя продолжительность экстремальных явлений с положительными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, увеличилась за рассматриваемый период с 1,6 до 1,9 дней; с отрицательными аномалиями - сократилась с 1,65 до 1,5 дней. Продолжительность экстремальных явлений с аномалиями, превышающими 2 стандартных отклонения, увеличилась с 1,3 до 1,5 дней для событий положительного знака, и уменьшилась с 1,1 до 0,8 дня для отрицательных аномалий (рис. 4а и 5а).

1995 и 1997 годы явились рекорсменами по количеству экстремальных явлений с положительными аномалиями модуля скорости ветра, превосходящими 1 стандартное отклонение (42 и 43, соответственно), а 1986 и 2000 - с отрицательными (47 и 45, соответственно). В 1995 г. количество событий с экстремально сильными ветрами (превосходящими 2 стандартных отклонения) достигало 25.

В регионе побережья Краснодарского края ($43,5^{\circ}$ – 45° с.ш.; 37° – 40° в.д.) за период 1980-2013 гг. произошло увеличение амплитуды экстремальных явлений с положительными аномалиями модуля скорости ветра (рис. 4б и 5б) с 4,35 м/сек до 4,7 м/сек для явлений, превышающих 1 стандартное отклонение. Однако для явлений, превышающих 2 стандартных отклонения, наблюдается небольшое понижение амплитуды экстремальных явлений с положительными аномалиями модуля скорости ветра с 7 м/сек до 6,8 м/сек. При этом произошло снижение амплитуды экстремальных явлений с отрицательными аномалиями с 3,7 м/сек до 3,65 м/сек для явлений, превышающих 1 стандартное отклонение. Однако для явлений, превышающих 2

стандартных отклонения, наблюдается увеличение амплитуды экстремальных явлений с отрицательными аномалиями с 4,75 м/сек до примерно 5 м/сек.

Количество экстремальных явлений с положительными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, уменьшилось за рассматриваемый период с 33 до 32 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения – увеличилось с 8 до 12 событий в год. При этом число экстремальных событий с отрицательными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, снизилось с 36 до 35 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения – с 2 до 1 события в год (рис. 4б и 5б).

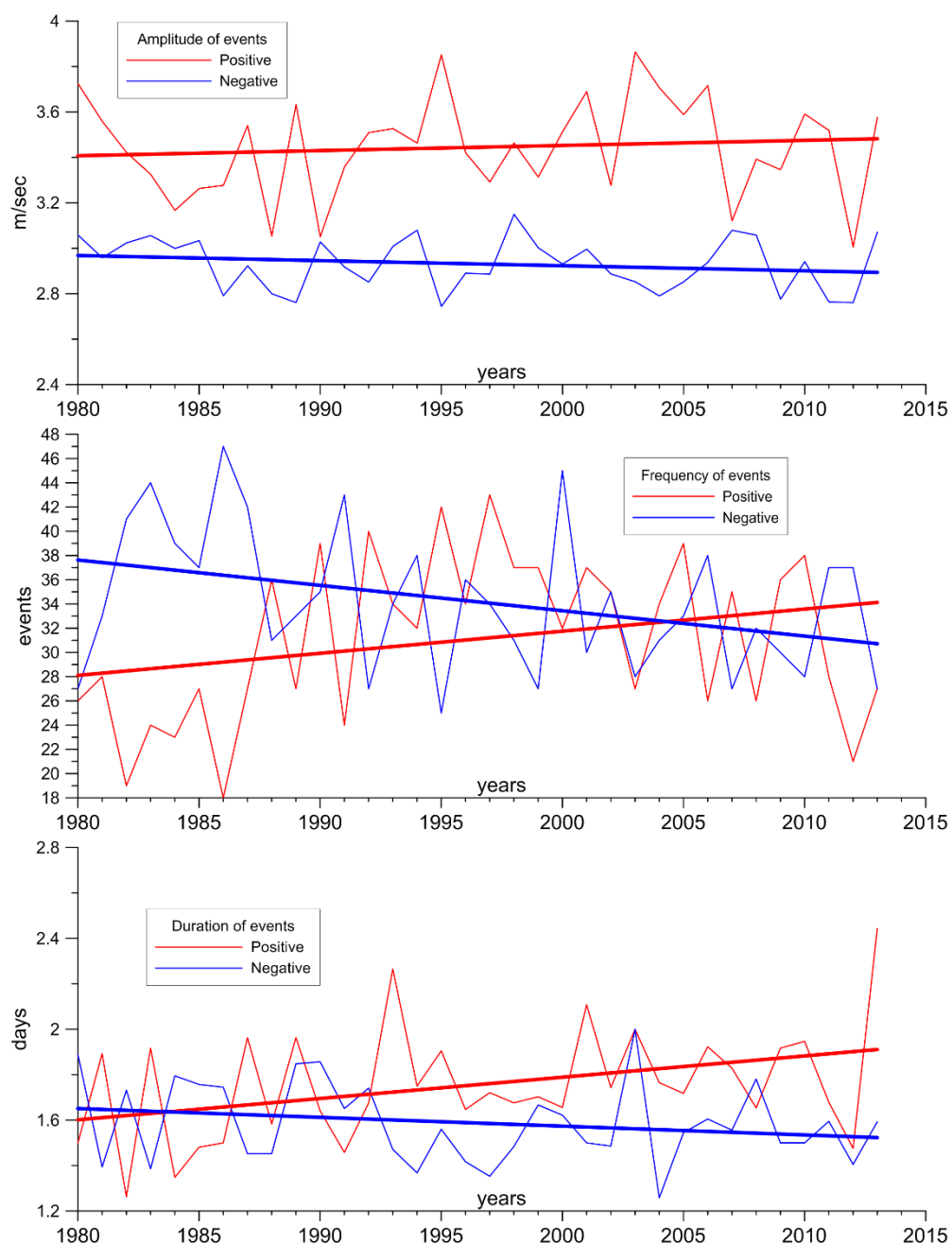
Средняя продолжительность экстремальных явлений с положительными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, увеличилась за рассматриваемый период с 1,65 до 1,75 дней; с отрицательными аномалиями - сократилась с 1,55 до 1,48 дней. Продолжительность экстремальных явлений с аномалиями, превышающими 2 стандартных отклонения, осталась одинаковой на уровне 1,38 дней для событий положительного знака, и на уровне 0,88 дней для отрицательных аномалий (рис. 4б и 5б).

Вновь в 1995 году было зафиксировано максимальное количество положительных аномалий модуля скорости ветра, превосходящих 1 стандартное отклонение, – 44, а в 2009 и 2012 годах – отрицательных аномалий, со значением 45. Таким образом, в 1995 году как в регионе Абхазии, так и в регионе побережья Краснодарского края было отмечено максимальное количество положительных аномалий модуля скорости ветра, превосходящих 1 стандартное отклонение, в период с 1980 по 2013 гг.

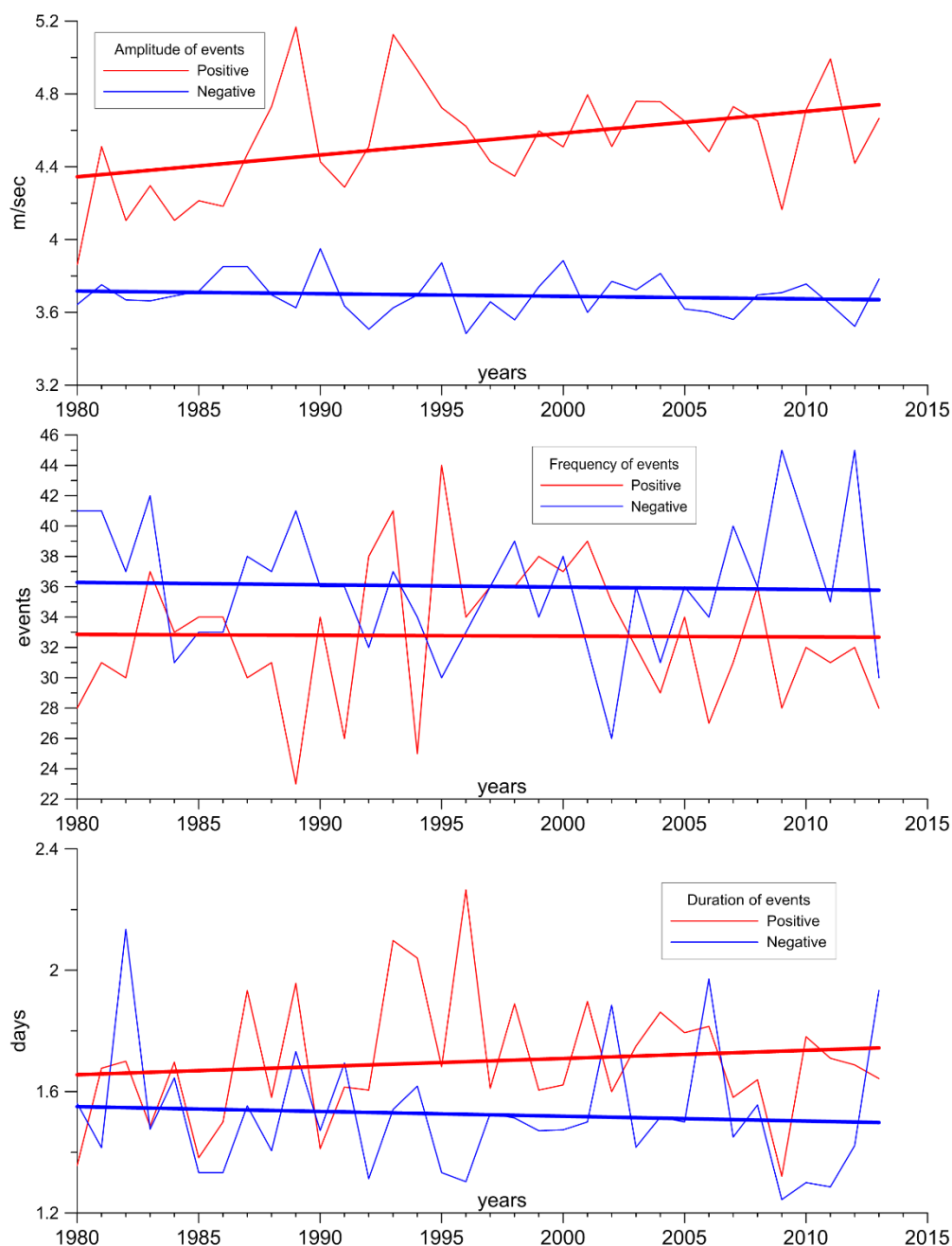
Сравнительный анализ

Сравнительный анализ представленных графиков скорости ветра для Абхазии и побережья Краснодарского края позволяет выявить несколько сходных и отличительных черт. Среднемесячное значение модуля скорости ветра за период с 1980 по 2013 год для обоих регионов примерно одинаковое, однако для Абхазии это значение росло с 2,1 м/сек за исследуемый период со скоростью 0,123 м/сек в 10 лет, а для побережья Краснодарского края оно оставалось одинаковым на уровне примерно 2,3 м/сек.

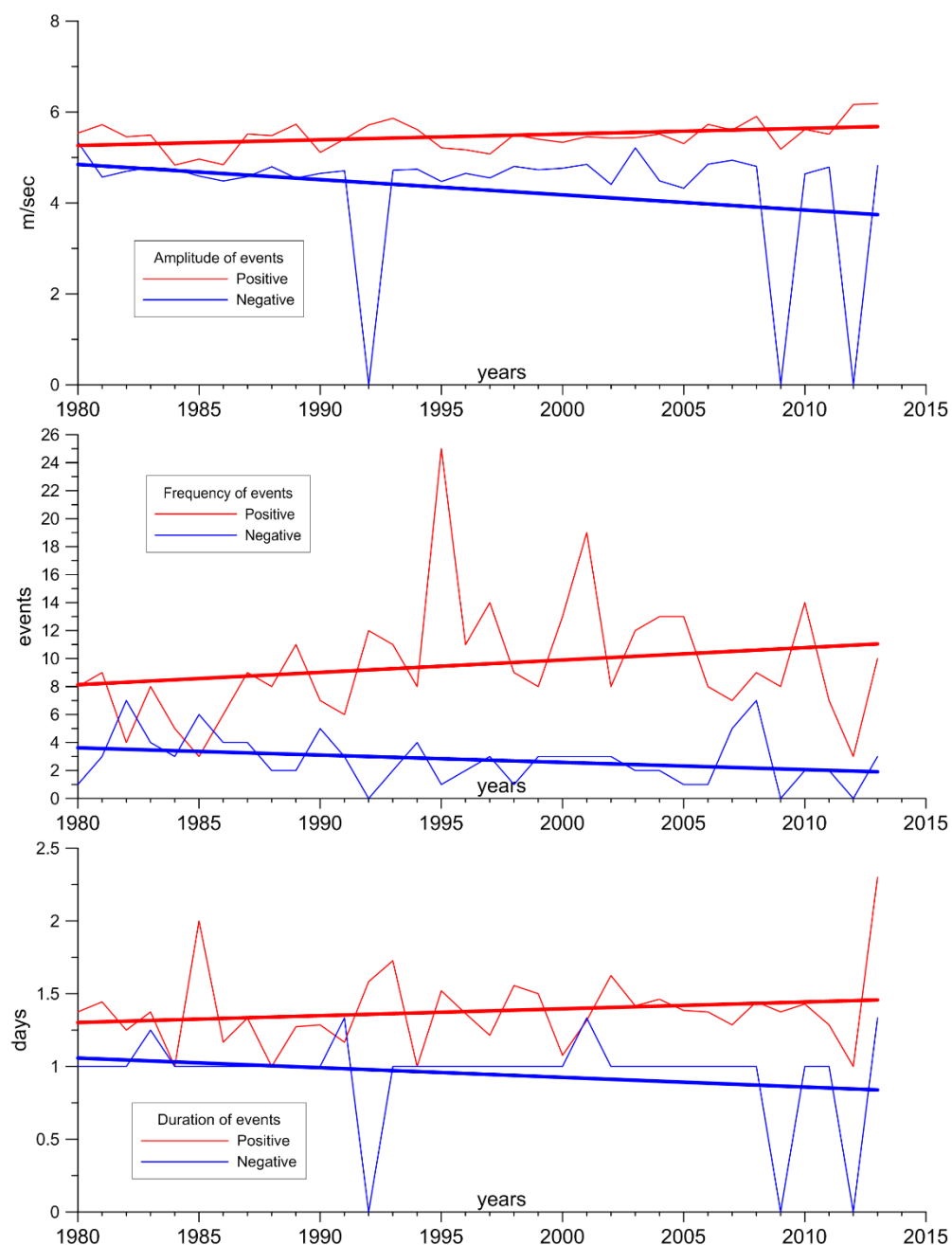
С 1993 года в Абхазии наблюдается увеличение положительных аномалий скорости ветра в холодное полугодие. На побережье Краснодарского края такой тенденции не наблюдается.



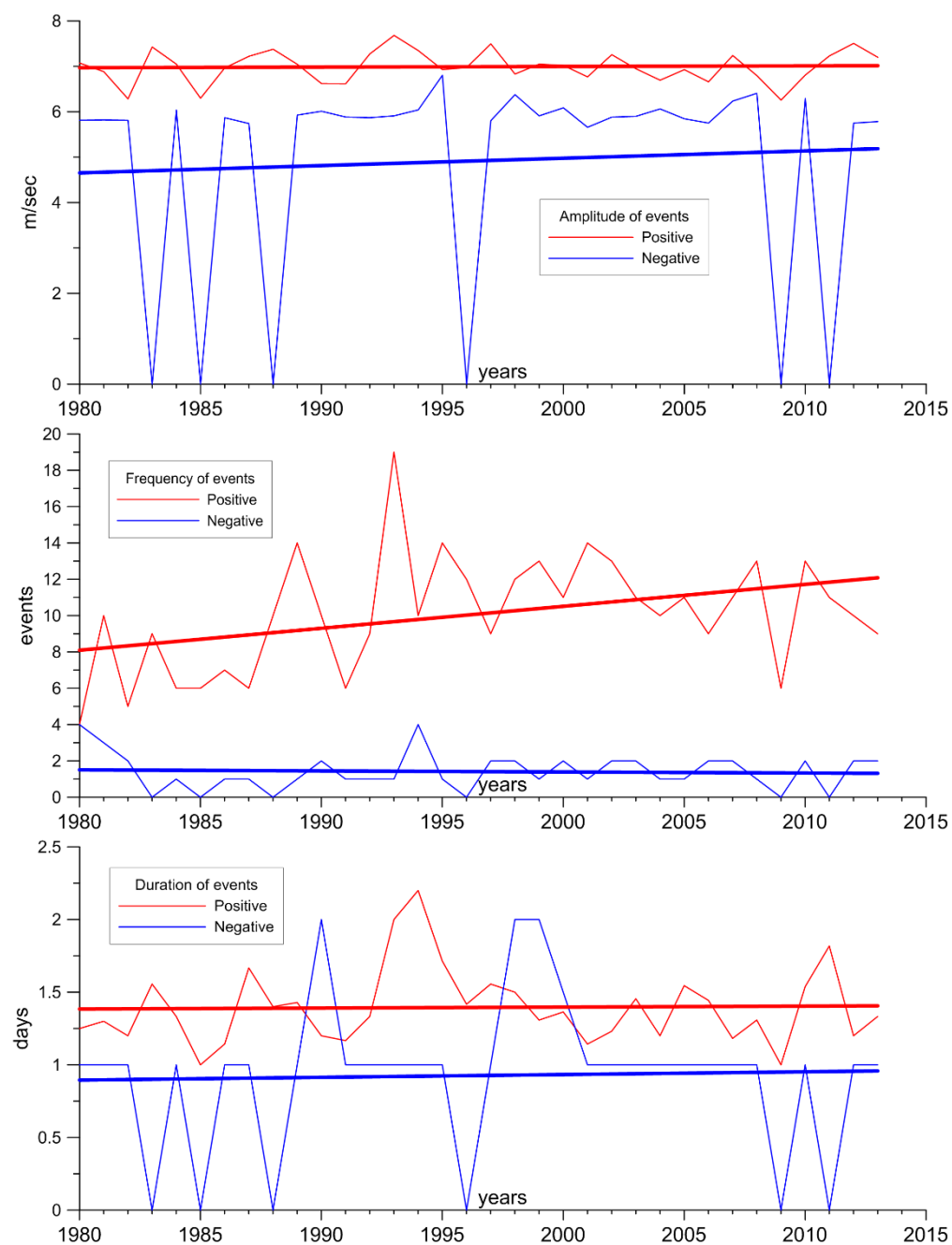
Р и с. 4а. Ежегодные изменения средней амплитуды (верхняя часть), количества (средняя часть) и средней продолжительности (нижняя часть) экстремальных явлений с положительными (красные линии) и отрицательными (синие линии) аномалиями модуля скорости ветра на высоте 10 метров от поверхности в регионе Абхазии (42° – $43,5^{\circ}$ с.ш.; 40° – 42° в.д.), превосходящими 1 стандартное отклонение, и их линейные тренды.



Р и с. 46. 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 метров от поверхности в регионе побережья Краснодарского края ($43,5^{\circ}$ – 45° с.ш.; 37° – 40° в.д.), превосходящими 1 стандартное отклонение, и их линейные тренды.



Р и с. 5а. 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 метров от поверхности в регионе Абхазии (42° – 43.5° с.ш.; 40° – 42° в.д.), превосходящими 2 стандартных отклонения, и их линейные тренды.



Р и с. 5б. 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 метров от поверхности в регионе побережья Краснодарского края ($43,5^{\circ}$ – 45° с.ш.; 37° – 40° в.д.), превосходящими 2 стандартных отклонения, и их линейные тренды.

Исходя из анализа аномалий, превосходящих 1 стандартное отклонение, средние амплитуды отрицательных аномалий в обоих регионах незначительно уменьшились за исследуемый период, практически оставаясь на одном уровне, хотя в регионе Краснодарского края значения средней амплитуды отрицательных аномалий превосходят аналогичные показатели в Абхазии. Средние амплитуды положительных аномалий в обоих случаях увеличились, однако на побережье Краснодарского края такой рост составил 0,35 м/сек, тогда как в Абхазии – 0,08 м/сек. В Абхазии количество экстремальных явлений с положительными аномалиями модуля скорости ветра, превосходящих одно стандартное отклонение, увеличилось с 28 до 35 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения – с 8 до 11 событий в год. Интересно отметить, что в то же время на побережье Краснодарского края количество экстремальных явлений с положительными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, уменьшилось за рассматриваемый период с 33 до 32 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения – увеличилось с 8 до 12 событий в год. Таким образом, на побережье Краснодарского края становится больше экстремальных ветров с более высокими аномалиями, однако их средняя продолжительность при этом не увеличивается.

В случае одного стандартного отклонения средняя продолжительность экстремальных явлений с положительными аномалиями в Абхазии увеличилась за рассматриваемый период с 1,6 до 1,9 дней; а на побережье Краснодарского края – с 1,65 до 1,75. В Абхазии продолжительность экстремальных явлений с аномалиями, превышающими 2 стандартных отклонения, увеличилась с 1,29 до 1,46 дней для событий положительного знака. Таким образом, мы наблюдаем, что средняя продолжительность положительных аномалий на побережье Краснодарского края растёт медленнее или вообще не изменяется.

Заключение

Экстремальные ветровые явления могут нанести существенный урон экономике региона и нести большую опасность для здоровья и жизни населения. Так, Новороссийская бора может повлечь за собой катастрофические последствия для инфраструктуры города и морских судов. Особенно опасно обледенение на судах, которое образуется при значительных отрицательных температурах, часто сопровождающих сильную бору. Поднимаемые сильным ветром брызги воды с поверхности Цемесской бухты оседают в виде слоя льда, который может достигать до 3–4 метров. Так, 9 декабря 2002 года в Новороссийске гидрографическое судно «Арктика» легло на грунт на глубине 7 метров, с креном на левый борт в 30°. Большая часть корпуса при этом ушла под воду. БГК-775 полностью затонул [12].

Порывы ветра могут повредить линии электропередач, причём ситуация сильно осложняется в случае с одновременным обледенением линий. Повреждение линий может вызвать прекращение энергоснабжения, что может привести к значительным финансовым убыткам. Проезд по дорогам может быть блокирован из-за упавших деревьев. Особенно необходим мониторинг скорости ветра на мостах, как автомобильных, так и железных дорог, потому что возможна необходимость уменьшения скорости при прохождении мостов [13]. Здоровью и жизни людей при сильных порывах ветра также угрожает опасность из-за падающих деревьев, щитов, сорванных крыш и других предметов.

Кроме этого, изменение скорости, а также направления ветра может оказать существенное влияние на распространение сельскохозяйственных вредителей [14]. Сильный ветер весной может препятствовать опылению деревьев и растений, а в период цветения сильный ветер может срывать цветки, что также может уменьшить объем урожая фруктов [15].

Таким образом, скорость ветра и её изменение являются важными климатическими показателями, которые требуют детального анализа. Существует объективная необходимость мониторинга такого параметра и оперативная реакция соответствующих муниципальных служб для предотвращения ущерба инфраструктуре, коммуникациям, своевременного предупреждения населения об опасной обстановке.

Список литературы

1. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2016 год. М.: Росгидромет, 2017. – 217 с.
2. NOAA, 2018 (<https://www.ncdc.noaa.gov/gosic/gcos-essential-climate-variable-ecv-data-access-matrix>). Дата обращения – 23 июня 2018 г.
3. M. Kanamitsu, W. Ebisuzaki, J. Woollen, S-K Yang, J.J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter. Bulletin of the American Meteorological Society, 2002, November, P. 1631–1643.
4. Kostianoy A.G., Serykh I.V., Ekba Y.A., Kravchenko P.N. Climate variability of extreme air temperature events in the Eastern Black Sea. Ecologica Montenegrina. 2017. Vol. 14. pp. 21–29.
5. Серых И.В., Костяной А.Г., Экба Я.А. Сравнение климатических изменений экстремальных температурных явлений в регионе восточного побережья Черного моря по данным различных ре-анализов //Вестник ТвГУ. Серия "География и Геоэкология". 2018. № 3. С. 152–167.
6. Kostianoy A.G., Serykh I.V., Kostianaia E.A., Mitrovic' L., Ivanov M. Regional climate change in the Boka Kotorska Bay. – In: The Boka Kotorska Bay Environment. (Eds.) Joksimovich A., Djurovic M., Semenov

- A.V., Zonn I.S., Kostianoy A.G. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, 2017, P. 473–493.
7. Kostianoy A.G., Serykh I.V., Kostianaia E.A. Climate change in the Lake Skadar region. – In: The Skadar/Shkodra Lake Environment. (Eds.) V. Pesic, G. Karaman, A.G. Kostianoy. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, 2018. DOI 10.1007/698_2018_350
 8. Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь Т. 1. / Под. ред. А.И. Бедрицкого. СПб. М.: Летний сад, 2008. 336с.
 9. Гавриков А. В., Иванов, А. Ю. Аномально сильная бора на Черном море: наблюдение из космоса и численное моделирование. - Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана, 2015, N51(5). С.615–615.
 10. Ефимов В.В., Комаровская О.И. Крупномасштабные особенности новороссийской боры //Морской гидрофизический журнал, 2017, N 4 (196), С. 26–35.
 11. Мельников В.А., Москаленко Л.В., Кузеванова Н.И. Ветровые циклы и климатические тренды Чёрного моря //Труды Государственного океанографического института. Исследования океанов и морей, 2018, вып. 219. С. 101–123.
 12. Суханов С.И., Дружевский С.А. Анализ синоптических условий новороссийской боры, которые привели к аварийным происшествиям с судами гс «Арктика» и БГК-775 в декабре 2002 г.// Навигация и гидрография, 2005, 88.
 13. Groenemeijer P., Becker N., Djidara M., Gavin K., Hellenberg T., Holzer A.M., Juga I., Jokinen P., Jylhä K., Lehtonen I., Mäkelä H., Napoles O.M., Nissen K., Paprotny D., Prak P., Púčik T., Tijssen L., Vajda A. Past cases of Extreme Weather Impact on Critical Infrastructure in Europe. 2017. 130 pp.
 14. Collier R., Fellows J.R., Adams S.R., Semenov M., Thomas B. Vulnerability of horticultural crop production to extreme weather events. - Aspects of Applied Biology, 2008, N 88: 3–14.
 15. Kostianaia E. Impact of extreme weather events on resilience of the fruit supply chain in the UK: a case study of the UK apple supply chain. Dissertation for MSc degree in Environmental Policy and Management, University of Bristol, UK, 2015, 54 pp.

CLIMATE CHANGES OF THE WIND SPEED MODULE IN THE REGION OF THE EASTERN COAST OF THE BLACK SEA

**E.A. Kostianaia¹, I.V. Serykh¹, A.G. Kostianoy^{1,2}, S.A. Lebedev³,
A.K. Akhsalba⁴**

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

² S.Yu.Witte Moscow University, Moscow, Russia

³ Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴ Institute of Ecology, Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum, Republic of Abkhazia

The analysis of seasonal and interannual variability of wind speed in the eastern part of the Black Sea for the period from 1980 to 2013 is presented. In addition, a detailed analysis of extreme wind phenomena for the coastal regions of the Krasnodar Territory and Abkhazia was carried out. The interannual variability of the amplitude, frequency, and duration of extreme meteorological phenomena due to wind was studied based on the daily reanalysis data of NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2).

Keywords: Black Sea, reanalysis, wind speed, regional climate change, extreme wind phenomena, Krasnodar Territory, Abkhazia.

Об авторах:

КОСТЯНАЯ Евгения Андреевна – научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Специалист в области политики и управления окружающей средой, регионального изменения климата. Занимается исследованием Целей устойчивого развития N14 применительно к южным морям России. E-mail: evgeniia.kostianaia@gmail.com.

СЕРЫХ Илья Викторович – кандидат физико-математических наук (2009) в области теории колебаний климата, изменчивости гидрофизического режима Мирового океана, применения нелинейной динамики в исследовании климатических изменений. E-mail: iserykh@ocean.ru.

КОСТЯНОЙ Андрей Геннадьевич – д.ф.-м.н., главный научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, профессор Льежского Университета, почетный профессор Тверского государственного университета. E-mail: Kostianoy@gmail.com.

ЛЕБЕДЕВ Сергей Анатольевич - доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Геофизического центра РАН, старший научный сотрудник Института вычислительной математики РАН, ведущий научный сотрудник Лаборатории геоэкологии, геоинформатики и рационального природопользования Майкопского государственного университета, почетный профессор Тверского государственного университета. E-mail: lebedev@wdcb.ru.

АХСАЛБА Асида Константиновна – кандидат физ.-мат. наук, доцент, преподаватель кафедры прикладной экологии Абхазского

государственного университета, начальник Отдела
гидрометеорологического и экологического мониторинга Института
экологии Академии наук Абхазии. E-mail: asida_cen@mail.ru.

УДК 528.854

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-99-107>

МЕТОД СЛУЧАЙНЫХ ЛЕСОВ В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Э. М. Купенова¹, А. В. Кашницкий²

¹МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

²Институт Космических Исследований РАН, Москва

В ходе данной работы было рассказано о понятии и видах классификации спутниковых снимков, разобран алгоритм построения случайного леса, были показаны основные преимущества данного метода классификации перед множеством различных существующих методов классификаций. Показаны промежуточные результаты работы макета классификатора тестового изображения.

Ключевые слова: классификация, случайный лес, деревья решений, обучающая выборка, растровое изображение, бутстрэп, бэггинг.

Классификация изображений – это процесс извлечения классов информации из многоканального растрового изображения. Растр, полученный в результате классификации изображения, можно использовать для создания тематических карт. В зависимости от характера взаимодействия аналитика с компьютером в процессе классификации, различают два типа классификации изображений: классификацию с обучением и классификацию без обучения.

Методы классификации с обучением основаны на обучении решающего алгоритма. Обучение осуществляется путем выбора области интереса (обучающего фрагмента изображения) и исследовании значений характеристик объектов в пространстве признаков. Обучающая выборка создается оператором, она основывается на результатах предыдущих исследований и наличия снимков – эталонов.

Преимущество методов неконтролируемой классификации заключается в том, что на вход практически не требуется вводить данные. Все операции выполняются автоматически, при этом программа анализирует пространство спектральных параметров и на основании определенных критериев разделяет пиксели на классы, рассчитывая для каждого из них средние значения признаков и ковариационные матрицы. После того как все данные распределены по спектральным классам, оператор старается сопоставить их с известными информационными классами пространственных объектов.

Одним из методов классификации с обучением является метод с использованием случайных лесов.

В начале 90-ых годов 20-го века появились первые работы, которые были связаны с построением ансамблей решающих деревьев.

В 1994 году Лео Брейманом был придуман бэггинг (bagging сокр. от bootstrap aggregation) — это один из первых и самых простых видов ансамблей. Бэггинг основан на статистическом методе бутстрэпа, который позволяет оценивать многие статистики сложных распределений.

Метод бутстрэпа заключается в следующем. Пусть имеется выборка X размера N . Равномерно возьмем из выборки N объектов с возвращением. Это означает, что мы будем N раз выбирать произвольный объект выборки (считаем, что каждый объект «достаётся» с одинаковой вероятностью $1/N$), причем каждый раз мы выбираем из всех исходных N объектов. Можно рассмотреть произвольное множество, из которого случайным образом выбирается какой-либо его элемент. Этот элемент множества фиксируется и следующий выбор опять делается равновероятно из того же множества. Очевидно, что благодаря такой системе выбора элементов, у нас окажутся повторы какого-либо элемента со случайной частотой. Обозначим новую выборку через X_1 . Повторяя процедуру M раз, сгенерируем M подвыборок $X_1, \dots, X_M$. Теперь мы имеем достаточно большое число выборок и можем оценивать различные статистики исходного распределения.

Теперь имея представление о бутстрэпе, отметим достоинства бэггинга. Бэггинг позволяет снизить дисперсию обучаемого классификатора, уменьшая величину, на сколько ошибка будет отличаться, если обучать модель на разных наборах данных, или другими словами, предотвращает переобучение. Эффективность бэггинга достигается благодаря тому, что базовые алгоритмы, обученные по различным подвыборкам, получают достаточно различными, и их ошибки взаимно компенсируются при голосовании, а также за счёт того, что объекты-выбросы могут не попадать в некоторые обучающие подвыборки.

Лео Брейман нашел применение бутстрэпу не только в статистике, но и в машинном обучении. Он вместе с Адель Катлер усовершенствовал алгоритм случайного леса, предложенный Хо, добавив к первоначальному варианту построение не коррелируемых деревьев на основе CART (Classification And Regression Tree), в сочетании с методом случайных подпространств и бэггинга.

Метод быстро получил признание, поскольку, помимо высокой точности классификации, он имеет ряд положительных свойств, описанных ниже:

— Метод исключает возможность от переобучения даже в случае, когда количество признаков заметно превосходит количество наблюдений. Данное свойство сильно выделяет метод случайных лесов

от остальных существующих методов классификации и является очень важным свойством для решения прикладных задач;

- Для построения случайного леса по обучающей выборке требуется задать лишь два параметра, которые требуют минимальной настройки;

- Метод out-of-bag (OOB), предложенный Брейманом, обеспечивает получение естественной оценки вероятности ошибочной классификации случайных лесов на основе наблюдений, не входящих в обучение бутстрэп выборки, используемые для построения деревьев (эти построения называют OOB выборками);

- Случайные леса могут использоваться не только для задач классификации, но и для задач регрессии, кластеризации, выявления наиболее информативных признаков, выделения аномальных наблюдений и определения прототипов классов;

- Обучающая выборка для построения случайного леса может содержать признаки, измеренные в разных шкалах: числовой, порядковой и номинальной, что недопустимо для многих других классификаторов;

- Метод позволяет применять параллельные вычисления, что заметно сокращает время работы при больших объемах обучающей выборки.

Случайный лес состоит из большого числа (ансамбля) решающих деревьев (является одним из основных параметров метода). Для того, чтобы понять, как работает случайный лес, нужно разобраться, что из себя представляют решающие деревья (или деревья решений).

Деревья решений используются для предсказания значения переменной на основе определенного количества входных параметров. Структура дерева представляет собой «листья» и «ветки». На ребрах («ветках») дерева записаны параметры, от которых зависит целевая функция, в «листьях» записаны значения целевой функции, а в остальных узлах — параметры, по которым различаются случаи. Для того, чтобы провести классификацию нового случая, необходимо спуститься по дереву до листа и выдать соответствующее значение. В простейшем случае у нас на вход подается всего один признак, для которого хорошо различимы границы между классами (то есть максимальное значение первого класса значительно меньше минимального значения второго класса). Следовательно, достаточно всего одного показателя, чтобы предсказать класс и получить ответ.

В задачах классификации в качестве решения принимается значение, получившее большинство голосов, при условии, что каждое дерево в лесу обладает одним голосом. Деревья в лесу строятся согласно следующей схеме:

- Берется подмножество обучающей выборки, на основе которого строится решающее дерево. Деревья строятся на основе разных подмножеств, что решает проблему построения одинаковых деревьев.

- Используем число случайных признаков для построения и выбора расщеплений в деревьях.

- Выбираем наилучший признак и построенное по нему расщепление.

Тренировочные наборы, на основе которых происходит обучение деревьев, генерируются из исходной обучающей выборки с использованием процедуры бутстрэп: для каждого набора обучения случайным образом выбирается то же количество векторов, что и в исходном наборе. Векторы выбираются с заменой. То есть некоторые векторы будут происходить не один раз, а некоторые будут отсутствовать. В каждом узле каждого обученного дерева не все переменные используются для поиска наилучшего разбиения, а случайное их подмножество. С каждым узлом генерируется новое подмножество. Однако его размер фиксируется для всех узлов и всех деревьев. Этим обучающим параметром является число признаков для выбора расщепления, по умолчанию равный квадратному корню от количества параметров. Данное число признаков используется для построения и выбора расщеплений в деревьях. Далее выбирается наилучший признак и построенное по нему расщепление.

Алгоритм построения случайного леса, состоящего из N деревьев, выглядит следующим образом:

Для каждого $n=1, \dots, N$:

Сгенерировать выборку X_n с помощью бутстрэпа;

Построить решающее дерево b_n по выборке X_n :

- по заданному критерию мы выбираем лучший признак, делаем разбиение в дереве по нему и так до исчерпания выборки

- дерево строится, пока в каждом листе не более $n_{\min}$ объектов или пока не достигнем определенной высоты дерева

- при каждом разбиении сначала выбирается m случайных признаков из n исходных, и оптимальное разделение выборки ищется только среди них.

Итоговый классификатор $a(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N b_i(x)$, простыми словами — для задачи классификации мы выбираем решение голосованием по большинству.

Рекомендуется в задачах классификации брать $m = n$, где n – число признаков. Также рекомендуется строить каждое дерево до тех пор, пока в каждом листе не окажется по одному объекту.

Таким образом, случайный лес – это бэггинг над решающими деревьями, при обучении которых для каждого разбиения признаки выбираются из некоторого случайного подмножества признаков.

Известно, что точность (вероятность корректной классификации) ансамблей классификаторов существенно зависит от разнообразия классификаторов, составляющих ансамбль (на сколько коррелированы их решения). То есть, чем более разнообразны классификаторы ансамбля, тем выше вероятность корректной классификации. В случайных лесах решения составляющих их деревьев слабо коррелированы за счет наличия стадий бутстрэп и случайного отбора признаков, используемых при расщеплении вершин деревьев.

Промежуточные результаты

В настоящее время для информационной системы «ВЕГА-Science» разрабатывается программа, позволяющая проводить классификацию спутниковых изображений на основе метода случайных лесов. Макет классификатора был написан на языке Python 2.7. Для Python в библиотеке `skil-it-learn` есть реализация классификатора `RandomForestClassifier()`.

```
class sklearn.ensemble.RandomForestClassifier(n_estimators = 10,  
      criterion = 'gini', max_depth = None, min_samples_split = 2,  
      min_samples_leaf = 1, min_weight_fraction_leaf = 0.0,  
      max_features = 'auto', max_leaf_nodes = None, min_impurity_decrease = 0.0,  
      min_impurity_split = None, bootstrap = True, oob_score = False,  
      n_jobs = 1, random_state = None, verbose = 0, warm_start = False,  
      class_weight = None)
```

Рассмотрим основные параметры этой функции.

1) `n_estimators`

Данный параметр отвечает за количество деревьев в лесу. С увеличением количества деревьев увеличивается качество классификации, но также возрастает время работы;

2) `criterion`

Функция оценки качества разбиения. Но в этой функции для задач классификации поддерживаются критерии «Джини» для примеси Джини и «энтропия» для получения информации;

3) `max_depth`

Максимальная глубина деревьев. Ясно, что чем меньше глубина, тем быстрее строится и работает случайный лес. При увеличении глубины резко возрастает качество на обучении, но и на контроле оно, как правило, увеличивается. Рекомендуется использовать максимальную глубину (кроме случаев, когда объектов слишком много и получаются очень глубокие деревья, построение которых занимает значительное время). Неглубокие деревья рекомендуют использовать в задачах с большим числом шумовых объектов (выбросов);

4) `min_samples_split`

Минимальное количество образцов, необходимых для разделения внутреннего узла. По умолчанию, этому параметру присваивается

значение 2. Если тип параметра `int`, то рассматриваем `min_samples_split` как минимальное число;

5) `min_samples_leaf`

Ограничение на количество объектов в листьях;

6) `max_features`

Количество функций, которые следует учитывать при поиске наилучшего разделения. Если `int`, то рассматриваем функции `max_features` при каждом разбиении;

7) `bootstrap`

Используются ли `bootstrap` образцы при построении деревьев. Может принимать значения `True` и `False`;

8) `n_jobs`

Количество заданий, выполняемых параллельно как для `fit`, так и для `predict`. Если значение `-1`, то число заданий устанавливается равным числу ядер. По умолчанию берется значение `1`;

9) `oob_score`

Следует ли использовать образцы `oob` для оценки точности обобщения. Так же, как и аргумент `bootstrap`, принимает значения `True` и `False`;

10) `class_weight`

Веса классов. Если значение этого параметра не указано, все классы должны иметь вес единицу. Для задач с несколькими выходами список диктовок может быть предоставлен в том же порядке, что и столбцы `y`;

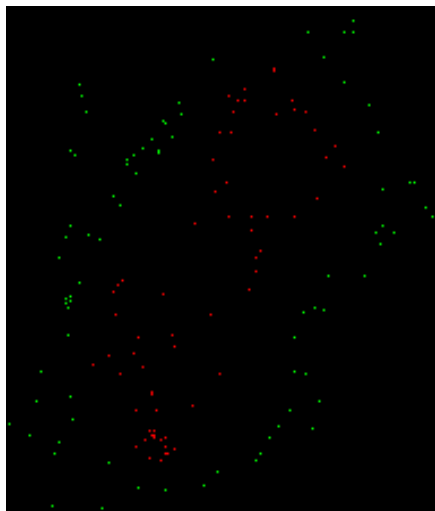
11) `min_weight_fraction_leaf`

Минимальная взвешенная доля от общей суммы весов (всех входных выборок), требуемая для конечного узла. Образцы имеют одинаковый вес, если параметр `sample_weight` не указан.

Теперь перейдем к результатам работы макета классификатора. Была рассмотрена задача классификации лесной гари. Программа была протестирована на примере снимка со спутника Landsat-8. В качестве входных параметров было взято изображение в формате GeoTIFF (рис. 1) с двумя каналами (RED и NIR), а также растеризованное (на основе GeoJSON файла с обучающей выборкой) изображение с метками классов (рис. 2).



Р и с. 1.



Р и с. 2.

Классу «Гарь» был присвоен красный цвет, классу «Лес» - зеленый цвет. В итоге было получено классифицированное изображение (Рис. 3)



Р и с. 3.

Список литературы

1. Картиев С.Б., Курейчик В.М. 2016. Алгоритм классификации, основанный на принципах случайного леса, для решения задачи прогнозирования // Программные продукты и системы / Software & Systems № 2 (114). С. 11–15.
2. Шовенгердт Р. А. 2010. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений М.: Техносфера. –560 с.

3. Breiman L. 2001. Random forests // Machine learning. V. 45. №. 1. P. 5–32.
4. Campbell J. B., Wynne R. H. 2011. Introduction to remote sensing. 5th ed. New York, London: The Guilford Press. 667 p.
5. Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Шабанов Н. В. 2016. Спутниковое картографирование растительного покрова России М.: ИКИ РАН 208 с.
6. Лупян Е.А., Барталев С.А., Толпин В.А., Жарко В.О., Крашенинникова Ю.С., Оксюкевич А.Ю. Использование спутникового сервиса ВЕГА в региональных системах дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2014. Т. 11. №. 3. С.215–232.
7. Кашницкий А.В., Балашов И.В., Лупян Е.А., Толпин В.А., Уваров И.А. Создание инструментов для удаленной обработки спутниковых данных в современных информационных системах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т.12. № 1. С.156–170.
8. Информационная система «ВЕГА-Science». Электронный ресурс. URL: <http://sci-vega.ru/>.
9. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Балашов И. В., Барталев С. А., Ефремов В. Ю., Кашницкий А. В., Мазуров А. А., Матвеев А. М., Суднева О. А., Сычугов И. Г., Толпин В. А., Уваров И. А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.

**THE METHOD OF RANDOM FORESTS IN THE CLASSIFICATION
TASKS OF SATELLITE IMAGES
E. M.Kupenova, A.V. Kashnitskiy ²**

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow

²Space Research Institute Russian Academy of Sciences, Moscow

In the course of this work, the concept and types of classification of satellite images were discussed, the algorithm of constructing a random forest was analyzed, the main advantages of this method of classification were shown over many different existing methods of classification. The intermediate results of the test image classifier layout are shown.

Keywords: *classification, random forest, decision trees, training sample, raster image, bootstrap, bagging.*

Об авторах:

КУПЕНОВА Эльвира Максатовна, студент-магистр, МГУ им. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, д.1, 119234, kurenova_elya@mail.ru

КАШНИЦКИЙ Александр Витальевич, к.т.н., Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, Профсоюзная 84/32, kashnizky@gmail.com

УДК 551.465

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-108-124>

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ И
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССОВ И
ЯВЛЕНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ НА ОСНОВЕ
КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КВАЗИСИНХРОННЫХ
СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ***

О.Ю. Лаврова, Е.В. Краюшкин, К.Р. Назирова, А.Я. Строчков

Институт космических исследований РАН, Москва

В связи с наличием на орбите Земли большого количества приборов спутникового базирования, предоставляющих информацию о состоянии морской среды с высоким пространственным разрешением, и с небольшим временным интервалом, появилась возможность получать не только пространственные характеристики, но и некоторые динамические характеристики, такие как скорость и направление распространения некоторых гидродинамических процессов, в частности мезо- и субмезомасштабных вихрей и диполей, внутренних волн и фронтов распресненных вод.

В статье приводятся примеры комплексного использования спутниковых данных, полученных с небольшими по времени интервалами, для восстановления параметров распространения нефтяного загрязнения, скопления водорослей, вихревых структур и внутренних волн.

Ключевые слова: дистанционное зондирование из космоса, радиолокационные изображения, спутниковые данные видимого диапазона, нефтяные загрязнения, вихревые структуры, внутренние волны, скопления водорослей, Черное море, Балтийское море, Лионский залив.

Введение

Исследование процессов и явлений в морях и океанах в последние десятилетия невозможно себе представить без использования спутниковых данных. Дистанционное зондирование водной поверхности из космоса предоставило океанологам, географам и экологам мощнейший инструмент, позволяющий изучать огромные просторы

* Работа проводится при финансовой поддержке программы Президиума РАН № 1.2.50 «Развитие методов и средств оперативной океанологии для исследований изменчивости полей Черного моря».

океана во всем его многообразии, не снаряжая дорогостоящие экспедиции, не проводя измерений с научных судов, которые, при всех их неоспоримых достоинствах, предоставляют локальную информацию, зачастую не дающую представление о пространственных масштабах океанических явлений. Совершенствование приборов, разработанных специально для исследования Земли из космоса, доступность большинства спутниковой информации, имеющей высокое пространственное разрешение, позволяет изучать самые разные процессы в океане и приземном слое атмосферы, выявлять антропогенные и биогенные загрязнения, а также оценивать экологическое состояние водной среды. Однако какое бы ни было единичное спутниковое изображение: радиолокационное, которое не зависит от погодных условий и степени освещенности, или полученное в видимом или инфракрасном диапазоне, по нему можно восстановить только пространственные характеристики процесса. Для получения динамических характеристик требуется серия спутниковых изображений, полученных с небольшим временным интервалом. Еще большую и подробную информацию можно получить, применяя так называемый комплексный многосенсорный подход, т.е. используя спутниковые данные, полученные квазисинхронно в различных диапазонах электромагнитного спектра [5, 6].

С 2014 г., когда Европейское космическое агентство начало свою программу запусков спутников «семейства» Sentinel, появилась возможность получать спутниковые данные над одним и тем же районом с высоким временным разрешением. В настоящее время на орбите находится 6 спутников «семейства» Sentinel, оснащенных следующими приборами: SAR-C Sentinel-1A, SAR-C Sentinel-1B, MSI Sentinel-2A, MSI Sentinel-2B, OLCI Sentinel-3A, OLCI Sentinel-3B. В совокупности с другими имеющимися приборами дистанционного зондирования Земли, предоставляющими информацию в свободном доступе, при благоприятном расположении орбит можно получить последовательность восьми изображений одного района, снятую различными спутниковыми сенсорами со следующими интервалами:

SAR-C Sentinel-1 – OLI Landsat-8 – 4 ч 30 мин;

OLI Landsat-8 – MSI Sentinel-2 – 15 мин;

MSI Sentinel-2 – OLCI Sentinel-3A – 30 мин;

OLCI Sentinel-3A – MODIS Terra – 15 мин;

MODIS Terra – MODIS Aqua – 1 ч 50 мин;

MODIS Aqua – SAR-C Sentinel-1 – 4 ч 20 мин;

SAR-C Sentinel-1 – SAR-C Sentinel-1 – 12 ч.

Такая подборка спутниковых изображений позволяет восстанавливать не только пространственные, но и динамические характеристики различных процессов и явлений, в частности скорости и

направление их распространения. В данной статье приводятся примеры комплексного использования спутниковых данных, полученных с небольшими по времени интервалами для восстановления параметров распространения нефтяного загрязнения, скопления водорослей, вихревых структур и внутренних волн.

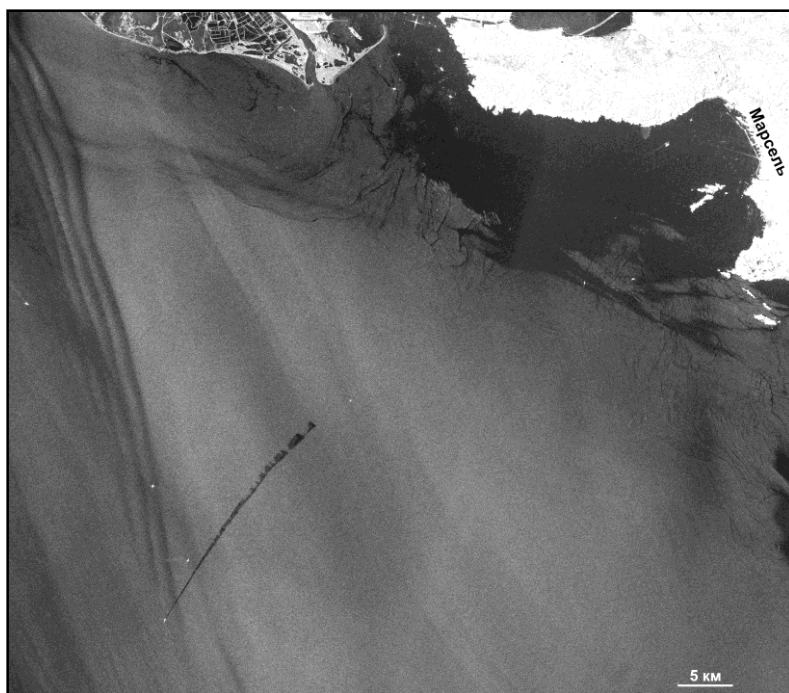
Восстановление параметров распространения нефтяного пятна по трем последовательным спутниковым изображениям

Как показывает наш многолетний опыт проведения спутникового экологического мониторинга [5, 6, 16], подавляющее большинство антропогенных загрязнений морской поверхности представляют собой сбросы и утечки с судов вод, содержащих нефтепродукты. Катастрофические разливы нефти, прежде всего, при авариях танкеров или на нефтедобывающих платформах, случаются достаточно редко. Гораздо чаще загрязнения моря происходят при рутинных операциях на судах при промывке танков, сливах или повреждении судового оборудования. Далее будем называть такие загрязнения «нефтяными» пятнами, хотя кроме сырой нефти они могут быть образованы и различными иными низкомолекулярными углеводородами. Основными задачами экологического спутникового мониторинга является обнаружение таких загрязнений и прогноз распространения «нефтяных» пятен. Выявление нефтяных загрязнений базируется в первую очередь на данных спутниковой радиолокации, где они проявляются в виде темных пятен пониженного рассеянного сигнала. Данной проблеме посвящено огромное количество публикаций, ссылки на часть из которых можно найти в монографиях [5, 6]. Гораздо более трудная задача – это составление прогноза распространения нефтяных загрязнений. Опираясь только на единичное спутниковое изображение, на котором выявлено «нефтяное пятно», сделать это можно очень приблизительно, даже имея достаточно точную гидро-метеорологическую информацию о поле ветра и волнении. Как правило такой прогноз делается на основе численных моделей, которые далеко не всегда доступны широкому кругу исследователей, к тому же современные модели практически никогда не учитывают локальные гидродинамические процессы, в частности мезо- и субмезомасштабные вихри, диполи и внутренние волны. А именно они могут играть существенную роль в переносе загрязнений [1, 14].

Наличие последовательных изображений, содержащих проявление одного и того же «нефтяного» пятна, позволяет проследить его трансформацию и распространение. В качестве примера рассмотрим трансформацию «нефтяного» пятна в Лионском заливе (северо-западная часть Средиземного моря) 19 июня 2017 г. [7].

На радиолокационном изображении (РЛИ) SAR-C Sentinel-1B, полученном в 05:43:30 UTC, был выявлен сброс с судна вод, содержащих нефтепродукты. Судно, виновное за несанкционированный сброс

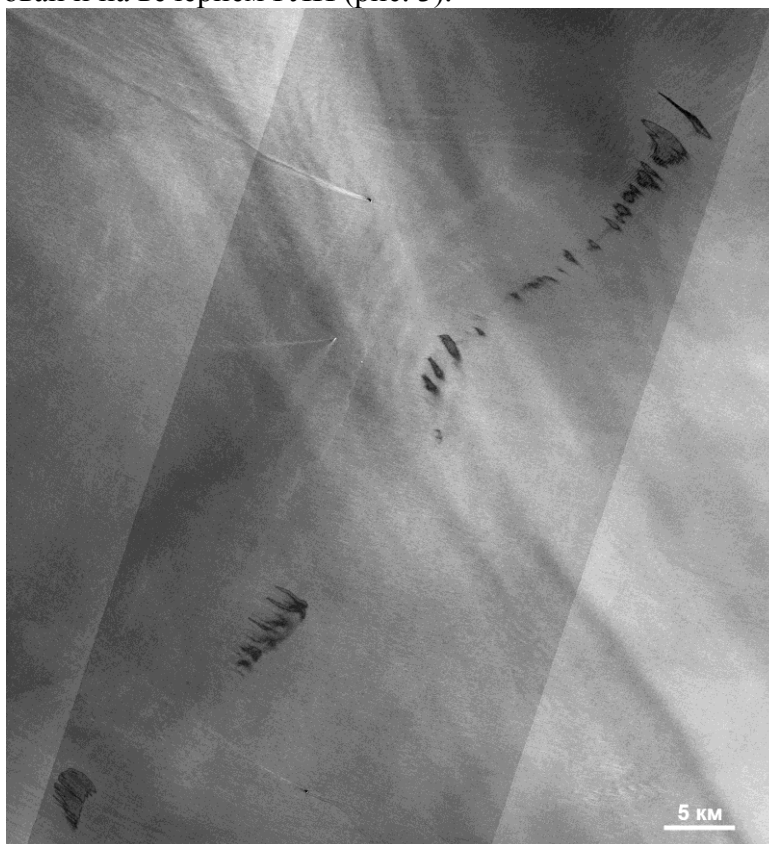
загрязненных вод, было определено с помощью системы Marine Traffic (<https://www.marinetraffic.com>). Нарушителем являлся нефтехимический танкер (oil/chemical tanker) CATHY THERESA, следующий под датским флагом из Марселя. Благодаря информации, полученной по нашему запросу от Marine Traffic, которая включала скорость судна, истинный курс (heading), путевой угол (course), размеры судна и координаты его положения на момент 05:43:52 UTC, т.е. через 22 секунд после начала радиолокационной съемки, удалось определить момент сброса, который начался примерно в 04:37 UTC, и рассчитать скорость растекания «нефтяного» пятна. Так, например, наиболее широкое пятно в начальной части сброса (его ширина по РЛИ определена в 682 м), растекалось со скоростью 19 см/с (рис. 1).



Р и с. 1. Проявление сброса загрязненных вод с судна в
Лионском заливе на РЛИ SAR-C Sentinel-1B от 19 июня
2017 г. 05:43:30 UTC

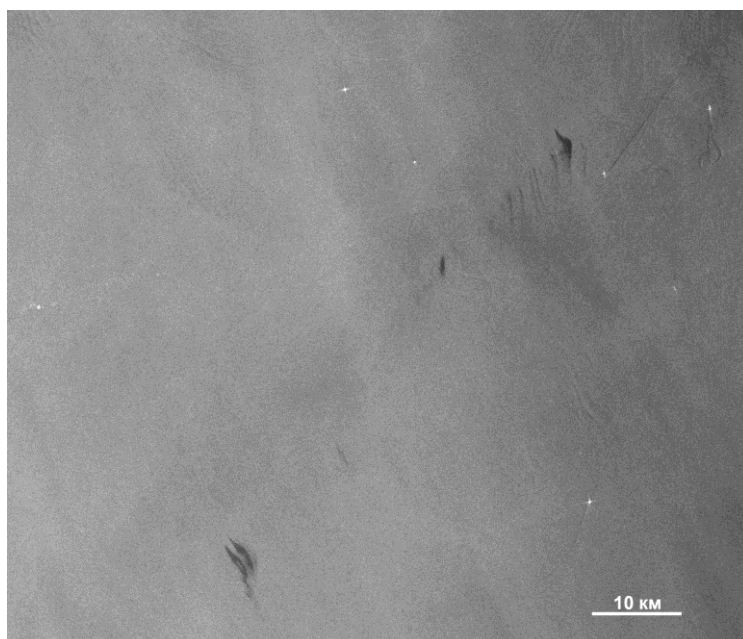
Практически через пять часов после утренней радиолокационной съёмки, в 10:30:21 UTC данная акватория была заснята уже в видимом диапазоне с помощью MSI Sentinel-2A (рис. 2). Как видно на изображении MSI, сброс с судна осуществлялся в четыре этапа, три из которых были сделаны уже после радиолокационной съёмки и на утреннее РЛИ не попали. Суммарная протяженность сброса составила примерно 35 км, что на 12 км больше, чем на утреннем РЛИ.

Через семь часов после съёмки MSI и соответственно, через 12 часов после утренней радиолокационной съёмки, в 17:38:35 UTC была проведена ещё одна радиолокационная съёмка данного района с помощью SAR-C Sentinel-1A. Выявленный ранее сброс был зафиксирован и на вечернем РЛИ (рис. 3).

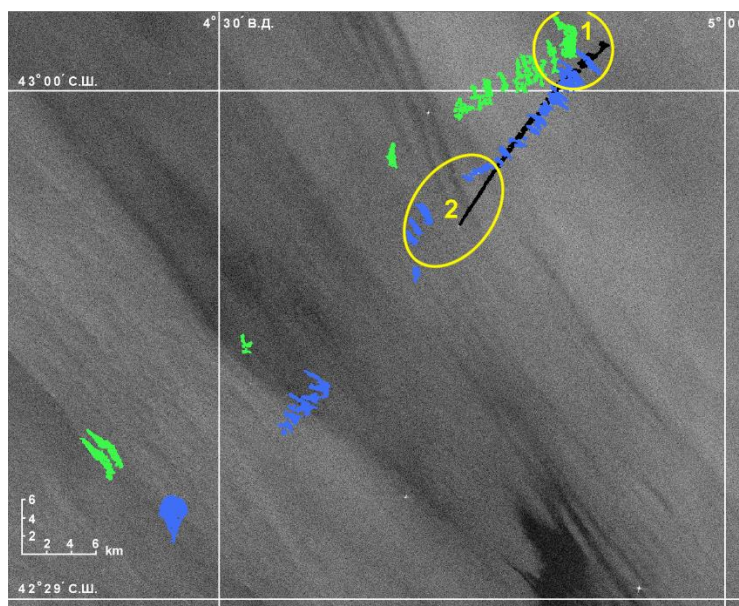


Р и с. 2. Проявление «нефтяных» пятен через 6 ч после первоначального сброса с судна загрязненных вод. Фрагмент MSI Sentinel 2A изображения, полученного 19 июня 2017 г. в 10:30:21 UTC; 2-й спектральный канал — 490 нм

Совместный анализ всех трех изображений проводился в разработанной в ИКИ РАН информационной системе See The Sea [9]. Полуавтоматическим способом (по текстурным характеристикам) на каждом изображении были выделены области поверхностных загрязнений, общая картина представлена на рис. 4. Чёрным цветом отмечен сброс, выявленный на утреннем РЛИ, синим — на MSI и зелёным — на вечернем РЛИ.



Р и с. 3. Проявление «нефтяных» пятен на РЛИ SAR-C Sentinel 1A, полученном 19 июня 2017 г. в 17:38:35 UTC через 13 ч после первоначального сброса



Р и с. 4. Сводная картина распространения загрязнения в Лионском заливе 19 июня 2017 г. Черным цветом отмечен сброс, выявленный на РЛИ, полученном в 05:43:30 UTC; синим - на MSI в 10:30:21 UTC; зеленым – на РЛИ в 17:38:35 UTC. Процессы, происходящие в области 1 и 2, описаны в тексте [7]

Анализ трех последовательных изображений позволил определить скорость растекания нефтяного загрязнения, которая в разных его областях оказалась разной. Если в области первоначального сброса (область 1 на рис. 4) за 13 ч (12 ч между съёмками и 1 ч с начала сброса до утренней съёмки) сместилось на северо-запад только на 3 км, его площадь увеличилась с 0,61 до 2,24 км², а средняя скорость сноса составила 7 см/с, то для остальных областей загрязнений скорость распространения в северо-западном направлении составляла от 15 до 19 см/с. Следует отметить, что во всех областях, кроме области 1, загрязнение дрейфовало по ветру, который в течение дня стихал с 8,16 до 5,7 м/с и менял свое направление с юго-западного на практически южное. Как следует из анализа трех спутниковых изображений, наибольший снос пятна произошёл в области 2 (рис. 4), где наблюдалось локальное усиление ветра.

В области 1 влияние ветра практически никак не сказалось (рис. 4). Объяснений отсутствия влияния ветра на дрейф пятна может быть несколько: наличие вдольберегового противотечения, внутренних волн, проявление которых отчетливо видны на спутниковых изображениях, и потенциальное влияние которых вполне возможно [13]; или же сброс в области 1 мог быть наиболее обильным, с большим содержанием нефтепродуктов, образовавшаяся здесь плёнка была менее подвержена влиянию ветра, который, к тому же, ближе к берегу мог быть слабее.

Данный результат не мог быть предсказан ни одной численной моделью, а может быть получен только по последовательным спутниковым данным с небольшой (для данной задачи) разницей по времени, когда нефтяное загрязнение еще оставалось на поверхности моря.

Выявление скоплений водорослей

Как было отмечено в предыдущем разделе, спутниковый мониторинг нефтяных загрязнений базируется в первую очередь на данных радиолокации. Однако задача распознавания нефтяных пятен на РЛИ существенно усложняется тем, что эти пятна бывает нелегко отличить от других проявлений, которые принято называть «подобиями» пятен [12]. Среди РЛ-подобий нефтяных пятен можно назвать органические пленки, некоторые типы льда («сало»), области затененные сушей (ветровая тень), области локального ослабления приповерхностного ветра, гидрологические фронты, поверхностные проявления океанических внутренних гравитационных волн, дождевые ячейки, зоны апвеллинга [5].

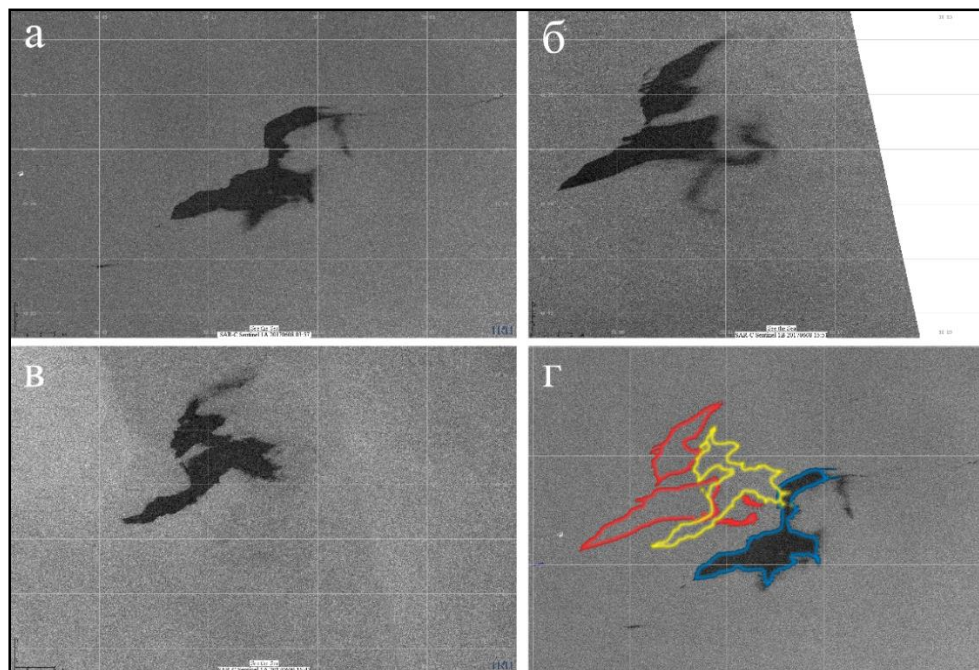
Главная трудность заключается в различении пятен загрязнений нефтепродуктами и пленок биогенных поверхностно активных веществ на морской поверхности. Органические пленки естественного происхождения повсеместно встречаются на обширных площадях

морской поверхности, преимущественно в теплое время года и в областях повышенной биологической активности, особенно в прибрежной зоне. В период интенсивного цветения водорослей на поверхности воды образуются не только биогенные пленки, но и целые так называемые «маты» - скопления водорослей, которые гасят гравитационно-капиллярные волны. На РЛИ эти «маты» проявляются в виде темных областей с пониженной интенсивностью радиолокационного сигнала, т.е. имеют те же радиолокационные образы, что и «нефтяные» пятна [8]. В разрешении проблемы различения нефтяных пятен и водорослевых «матов» может помочь привлечение спутниковых данных оптического диапазона и построенных на их основе карт концентрации хлорофилла-а. К сожалению, из-за наличия облачности, такие данные могут быть неинформативны. Серия последовательных РЛИ, полученных над одним и тем же районом позволяет решить эту задачу.

Рассмотрим следующий пример. На изображении SAR-C Sentinel-1A, полученном 8 июня 2017 г. в 03:57:38 UTC в южной части Черного моря в 85 км от побережья Турции было выявлено темное пятно, площадь которого составляла 44 км² (рис. 5а). Учитывая, что это пятно расположено в районе судоходных трасс, можно было предположить, что это сброс вод, содержащих нефтепродукты, с неподвижного судна. При сбросе с судна в движении пятно нефтепродуктов, в отсутствие сильного ветра и волнения, проявляется на РЛИ, как мы видели в предыдущем разделе, в виде узкой полосы понижения сигнала, повторяющей маршрут движения корабля [16]. На РЛИ, полученном SAR-C Sentinel-1B в 15:51:21 UTC (рис. 5б), т.е. через 12 часов, то же самое пятно несколько трансформировалось, увеличилось в размере, но распространилось северо-восток незначительно. Еще через 24 часа, 9 июня 2017 г. в 15:43:43 UTC, т.е. через 36 часов после первой радиолокационной съемки, было получено третье РЛИ SAR-C Sentinel-1A, содержащее проявление того же самого пятна (рис. 5в).

За 36 часов наблюдений пятно оставалось практически на одном месте (рис. 5г), несколько изменяя свою форму под действием сначала западного ветра (8 июня), а потом усилившегося до 10-15 м/с юго-восточного ветра (9 июня). Совместный анализ трех последовательных РЛИ убедительно доказывает, что данное темное пятно не может быть проявлением «нефтяного» пятна. Нефтяные загрязнения, находясь в воде, достаточно быстро подвергаются испарению, эмульгированию и диспергированию [11]. За 36 часов интенсивность модуляции обратно рассеянного сигнала практически не изменилась, что для нефтяных пленок не может быть ни при каких условиях, а тем более при резком усилении ветра. Такая ситуация гипотетически была бы возможна, если бы происходило постоянное поступление нефти, как это наблюдалось после аварии в Мексиканском заливе в 2010 г. [14]. Катастрофического

разлива нефти 8–9 июня 2017 г. у берегов Турции не произошло, данный район не содержит подводных метановых сипов и тем более подводных грифонов [15]. Единственно разумное объяснение данного явления – это проявление скоплений водорослей. К сожалению, облачная погода не позволила подкрепить предлагаемую гипотезу спутниковыми оптическими данными.



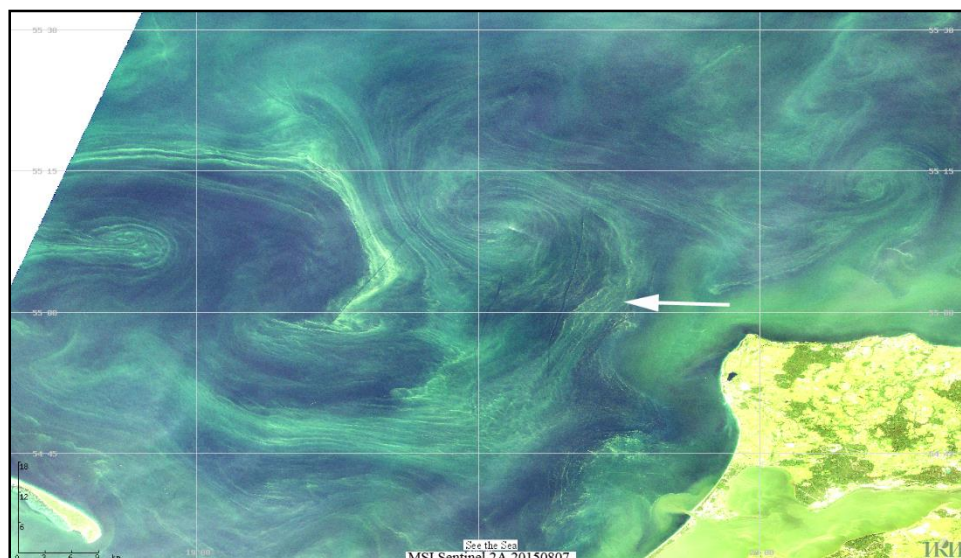
Р и с. 5. Проявление скоплений водорослей в южной части Черного моря на РЛИ: а) SAR-C Sentinel-1A от 8 июня 2017 г., 03:57:38 UTC; б) SAR-C Sentinel-1B от 8 июня 2017 г., 15:51:21 UTC; в) SAR-C Sentinel-1A от 9 июня 2017 г. 15:43:43 UTC; г) сводная картина по трем РЛИ: синий контур – 8 июня 2017 г., 03:57:38 UTC; красный – 8 июня 2017 г., 15:51:21; желтый – 9 июня 2017 г. 15:43:43 UTC

Восстановление динамических и пространственных характеристик вихревых структур по серии спутниковых изображений

Вихри, вихревые диполи и мультипольные вихревые структуры являются одними из наиболее важных гидродинамических процессов, отвечающих за эффективное перемешивание вод, особенно в прибрежной зоне. На РЛИ они визуализируются либо посредством пассивных трассеров, либо за счет контрастов в конвергентно-дивергентных зонах [5]. Пассивными трассерами в основном служат

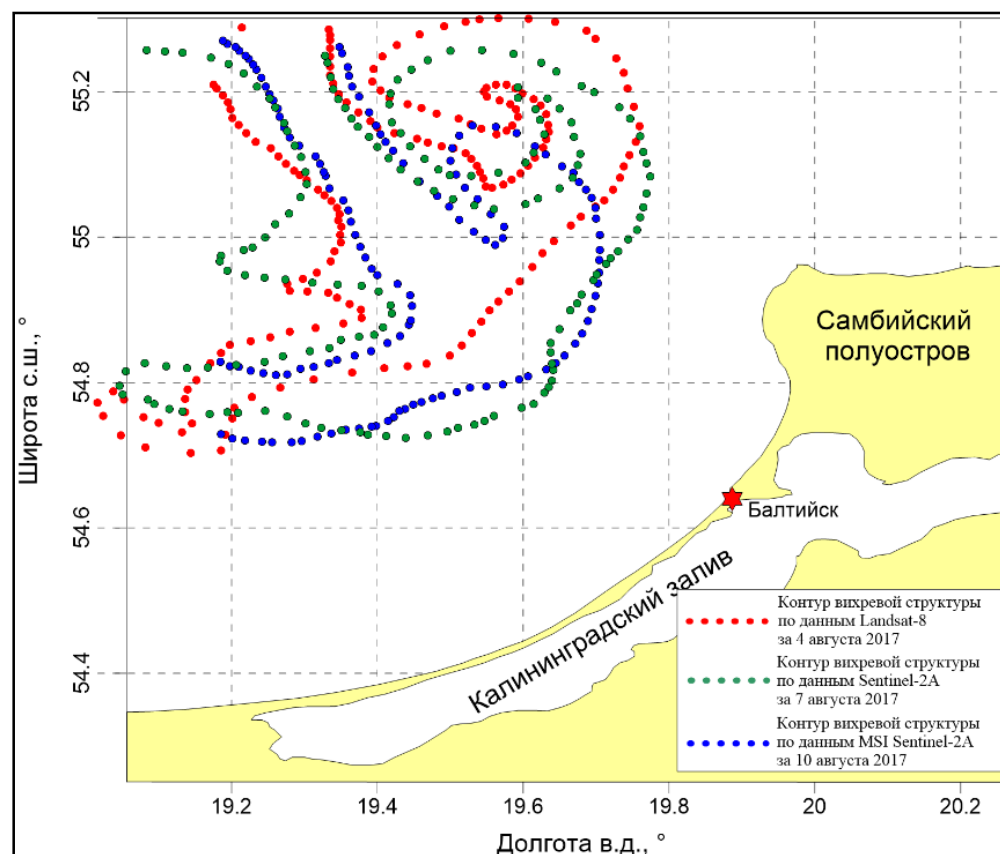
пленки поверхностно-активных веществ, количество которых резко возрастает во время интенсивного цветения водорослей. На спутниковых изображениях видимого диапазона рассеяние солнечного излучения формируется на гидрозоле (фитопланктоне и взвешенном минеральном веществе). Гидрозоли можно также рассматривать как пассивные трассеры поверхностных течений, и формируемые ими фронтальные зоны, как правило, соответствуют линиям тока, визуализируя в частности вихревые структуры на изображениях видимого диапазона. Особенно ярко проявление вихревых структур наблюдается в данных видимого диапазона, полученных в летнее время над акваторией Балтийского моря, когда происходит интенсивное цветение цианобактерий [3]. В продолжительный период безоблачной погоды на последовательности спутниковых изображений, полученных с высоким пространственным разрешением, можно пронаблюдать формирование, трансформацию и деградацию вихревых структур.

В начале августа 2015 г. под влиянием антициклонической завихренности ветрового поля северо-западнее м. Таран Самбийского полуострова (юго-восточная часть Балтийского моря) сформировались вихревые структуры разных масштабов, распространяющиеся в прибрежную акваторию из открытого моря. На изображениях видимого диапазона в поле цветности отчетливо проявились эти вихревые структуры. Основываясь на серии спутниковых данных, которая состояла из изображений высокого пространственного разрешения (10-30 м) ETM+ Landsat-7 за 3 августа, OLI Landsat-8 за 4 августа, MSI Sentinel-2A за 07 и 10 августа, OLI Landsat-8 за 11 августа, MSI Sentinel-2A за 17 августа, OLI Landsat-8 и MSI Sentinel-2A за 20 августа; а также данных среднего разрешения (250 м) MODIS Aqua за 11, 13, 14 и 15 августа 2015 г. удалось оценить пространственно-временную изменчивость рассматриваемых вихревых структур. Основное внимание уделялось крупному вихревому диполю, диаметр циклонической части которого составлял 20 км (на рис. 6 отмечен стрелкой). Для него определялись скорость и направление его перемещения. Время «жизни» этого диполя составило 8 дней.



Р и с. 6. Проявление вихревых структур в юго-восточной части Балтийского моря на цветосинтезированном изображении MSI Sentinel-2A от 7 августа 2017 г. Стрелка указывает на вихревой диполь, для которого оценивалась скорость распространения

По результатам последовательного картирования контура вихревого диполя (рис. 7) было определено, что средняя скорость распространения подобной структуры составила всего 3,3 см/с. Направление распространения за рассматриваемый период – юго-юго-западное, т. е. осуществлялось медленное вращение в антициклоническом направлении. Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что вихревые структуры, образуемые в открытом море предположительно под действием крупномасштабных атмосферных процессов, могут существовать длительное время. Они оказывают существенное влияние на динамику вод в регионе и на распространение пассивных объектов на поверхности моря, в том числе и на распространение загрязнений [2].



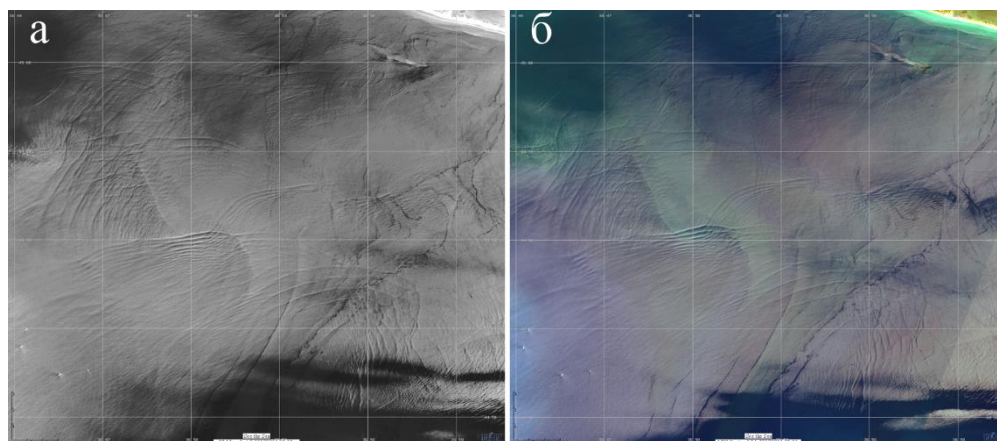
Р и с. 7. Сводная картина трансформации вихревого диполя по трем изображениям видимого диапазона

Определение скорости распространения внутренних волн по серии последовательных спутниковых изображений

Внутренние волны, как и вихревые структуры, являются неотъемлемой частью динамики всех стратифицированных водоемов. Они играют огромную роль в вертикальном перемешивании вод и формировании термохалинной циркуляции. Использование спутниковых данных позволило существенно продвинуться в изучении внутренних волн. На основе спутниковых данных выявляются основные районы их генераций, оцениваются пространственные характеристики, такие как длина фронта ведущей волны, ширина цуга внутренних волн, число волн в цуге, максимальная длина волн и направление их распространения. Определение параметров внутренних волн базировалось в первую очередь на данных спутниковой радиолокации. На РЛИ внутренние волны проявляются в виде квазипериодических темных и светлых полос – полос выглаженной (слики) и шероховатой (сулои) морской поверхности. В последнее время к исследованию поверхностных

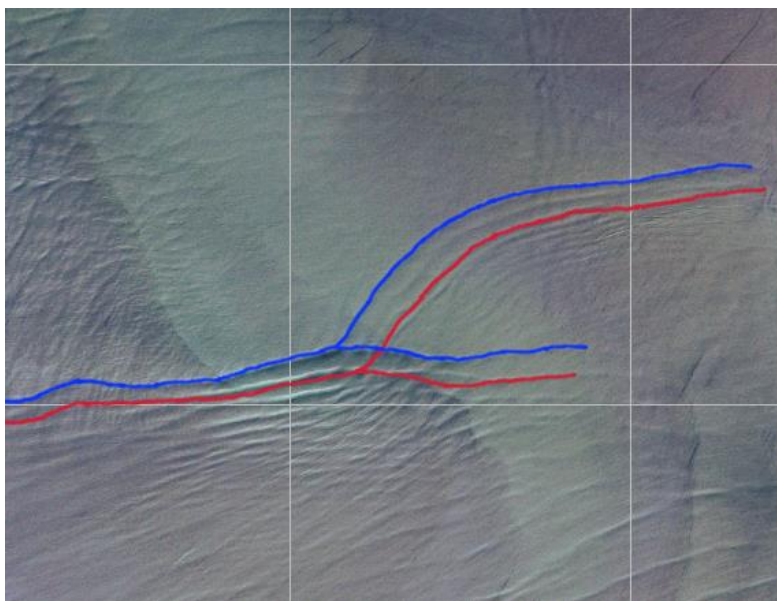
проявлений внутренних волн стали привлекаться спутниковые данные видимого диапазона высокого пространственного разрешения [4].

Одна из важнейших задач, которую практически невозможно было решить по единичному спутниковому изображению – это определение скорости распространения цуга внутренних волн. Это удавалось сделать только тогда, когда на изображении присутствовало два или очень редко три цуга, и для которых с большой вероятностью можно было доказать, что это проявление одного и того же процесса. Наличие двух или нескольких последовательных изображений, содержащих поверхностные проявления одних и тех же цугов, позволяет с большой точностью определить скорость распространения внутренних волн. Так, например, на изображениях, полученных 13 июля 2017 г. над северо-восточной акваторией Черного моря с разницей в 17 мин была проведена съёмка одного и того же района приборами OLI/TIRS, установленными на ИСЗ Landsat-8, и прибором MSI, размещённым на ИСЗ Sentinel-2A, в 08:19:41 и 08:36:34 UTC соответственно отчетливо проявляются многочисленные цуги внутренних волн. Фрагменты этих изображений представлены на рис. 8.



Р и с. 8. Проявления цугов внутренних волн в северо-восточной части Черного моря на изображениях видимого диапазона, полученных 13 июля 2017 г. с разницей 17 мин: а) OLI Landsat-8 (8-й панхроматический канал), время съёмки 08:19:41 UTC; б) MSI Sentinel-2A (RGB – 4-й, 3-й, 2-й каналы), время съёмки 08:36:34 UTC

На основе совместного анализа данных за 13 июля, проведенного с помощью информационной системы See The Sea, по местоположению передних фронтов двух пересекающихся цугов на двух изображениях (рис. 9), были оценены скорости их распространения. Для разных цугов они составили от 0,35 до 0,42 м/с.



Р и с. 9. Сдвиг передних фронтов двух цугов внутренних волн за 17 мин. Фрагмент изображения MSI Sentinel-2A от 13 июля 2017 г., представленного на рис. 8б. Красным отмечено положение фронтов, определённое по изображению OLI Landsat-8 (рис. 8а), синим – положение тех же фронтов через 17 мин, определённое по изображению MSI Sentinel-2A (рис. 8б) [4]

Заключение

Рассмотренные в статье примеры показывают, что комплексное использование спутниковых данных, полученных с высоким пространственным разрешением и с небольшим интервалом по времени, позволяет более детально изучать океанические/морские процессы и явления. В частности, стало возможным с большой точностью определить скорость распространения «нефтяных» загрязнений, выявить природу загрязнений и сделать предположения о процессах, влияющих на их распространение; пронаблюдать формирование и развитие вихревых структур, определить их «срок жизни» и оценить скорость распространения их отдельных частей; определить скорость распространения передних фронтов пакетов внутренних волн.

Анализ спутниковых данных осуществлялся с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-мониторинг» [10], в частности с помощью информационной системы See The Sea, развиваемой и поддерживаемой в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164). Разработка методики получения динамических и пространственных характеристик субмезомасштабных процессов в прибрежной зоне на основе

комплексного использования спутниковых данных различных носителей проводилась в рамках и при финансовой поддержке программы Президиума РАН № 1.2.50 «Развитие методов и средств оперативной океанологии для исследований изменчивости полей Черного моря».

Список литературы

1. Гинзбург А.И., Крек Е.В., Костяной А.Г., Соловьев Д.М. Эволюция мезомасштабного антициклонического вихря и вихревых диполей/мультиполей на его основе в Юго-Восточной Балтике (спутниковая информация: май–июль 2015 г.) // Океанологические исследования 2017. Т. 45. № 1. С. 10–22.
2. Голенко М.Н., Краюшкин Е.В., Лаврова О.Ю. Исследование особенностей прибрежных поверхностных течений в Юго-Восточной Балтике по результатам подспутниковых дрейфтерных экспериментов и численного моделирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 7. С. 280–296.
3. Каримова С.С., Лаврова О.Ю., Соловьев Д.М. Наблюдения вихревых структур Балтийского моря с помощью радиолокационных и радиометрических спутниковых данных // Исследование Земли из космоса. 2011. № 5. С. 15–23.
4. Лаврова О.Ю. Проявление внутренних волн на спутниковых изображениях северо-восточной части Черного моря в июле 2017 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 309–315.
5. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. Москва: ИКИ РАН, 2011. 470 с.
6. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. Москва: ИКИ РАН, 2016. 335 с.
7. Лаврова О.Ю., Назирова К.Р., Строчков А.Я. Современные возможности проведения комплексного анализа распространения нефтяного загрязнения морской поверхности на примере судового сброса в Лионском заливе // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 4. С. 193–203.
8. Лаврова О.Ю., Соловьев Д.М., Строчков А.Я., Шендрик В.Д. Спутниковый мониторинг интенсивного цветения водорослей в Рыбинском водохранилище // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 3. С. 54–72.

9. Лупян Е.А., Матвеев А.А., Уваров И.А., Бочарова Т.Ю., Лаврова О.Ю., Митягина М.И. Спутниковый сервис See the Sea — инструмент для изучения процессов и явлений на поверхности океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 251–261.
10. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С. А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
11. Brekke C., Solberg A. Oil spill detection by satellite remote sensing // Rem. Sens. Environ. 2005. No 95. P. 1–13.
12. Espedal H.A., Johannessen O.M. Detection of oil spills near offshore installations using synthetic aperture radar (SAR) // Int. J. Rem. Sens. 2000. V. 21. № 11. P. 2141–2144.
13. Jones C.E., Holt B. Experimental L-Band Airborne SAR for Oil Spill Response at Sea and in Coastal Waters // Sensors. 2018. 18(2). 641.
14. Lavrova O. Yu., Kostianoy A. G. Catastrophic Oil Spill in the Gulf of Mexico in April–May 2010 // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2011. Vol. 47 No. 9. P. 1114–1118.
15. Lavrova O.Y., Mityagina, M.I. Satellite monitoring of oil slicks on the Black Sea surface // Izvestiya - Atmospheric and Ocean Physics. Vol. 49. Issue 9. P. 897–912.
16. Mityagina M., Lavrova O. Satellite Survey of Inner Seas: Oil Pollution in the Black and Caspian Seas // Remote Sensing. 2016. 8(10). 875.

THE POSSIBILITY OF RECEIVING DYNAMIC AND SPATIAL CHARACTERISTICS OF PROCESSES AND PHENOMENA IN A COASTAL ZONE BASED ON INTEGRATED USE OF QUASI-SYNCHRONOUS SATELLITE DATA

O.Yu. Lavrova, E.V. Krayushkin, K.R. Nazirova, A.Ya. Storchkov

Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Due to the presence of a large number of satellite-based sensors in the Earth's orbit that provide information on the state of the marine environment with a high spatial resolution and with a small time interval, it became possible to obtain not only spatial characteristics but also certain dynamic characteristics such as the speed and direction of propagation of some hydrodynamic processes, in particular meso- and sub-mesoscale vortices and dipoles, internal waves and freshened water fronts.

The paper presents the results of the integrated use of satellite data obtained at short intervals to restore the parameters of the spread of oil pollution, accumulation of algae, vortex structures and internal waves.

Keywords: *remote sensing from Space, radar images, satellite visual data, oil pollutions, vortex structures, internal waves, algae bloom, the Black Sea, the Baltic Sea, the Gulf of Lion*

Об авторах:

ЛАВРОВА Ольга Юрьевна – к.ф.-м.н., доцент, в.н.с., зав. лабораторией ИКИ РАН, e-mail: olavrova@iki.rssi.ru

КРАЮШКИН Евгений Владимирович – м.н.с. ИКИ РАН, e-mail: box_evk@mail.ru

НАЗИРОВА Ксения Равильевна – ведущий инженер ИКИ РАН, e-mail: knazirova@gmail.com

СТРОЧКОВ Алексей Яковлевич – к.б.н., н.с. ИКИ РАН, e-mail: astroch@mail.ru

УДК 528.88+551.465

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-125-136>

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПЛЕНОК ЕСТЕСТВЕННЫХ НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЙ НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ МНОГОЛЕТНИХ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ*

М.И. Митягина

Институт космических исследований РАН. Москва

В работе представлены результаты исследований, направленных на оценку пространственно-временной изменчивости загрязнения морской поверхности, обусловленного естественными выходами углеводородов с морского дна. Проанализированы многолетние ряды данных дистанционного зондирования из космоса. Исследованы относительные вклады приповерхностного ветра и поверхностных течений на дрейф, распространение, эволюцию и время жизни нефтяных slickов. Показано, что при умеренных ветрах нефтяные плёнки естественного происхождения могут распространяться на расстояния до 50 км от точки всплытия и сохраняться на поверхности вплоть до 48 часов, являясь индикатором для выявления структуры поверхностных течений в районе интереса. Построена карта нефтяного загрязнения поверхности Чёрного моря в районе континентального склона вблизи побережья Грузии, позволяющая оценить вероятность загрязнения различных участков морской поверхности.

Ключевые слова: Чёрное море, спутниковое дистанционное зондирование, спутниковая радиолокация, морская поверхность, нефтяное загрязнение, естественные нефтепроявления.

Повышенный уровень загрязнения морской поверхности плёнками сырой нефти обусловлен двумя основными причинами. Одной из причин является хозяйственная деятельность человека, связанная с добычей, транспортировкой, очисткой, хранением и использованием нефти. Примером может служить разлив нефти в море, вызванный сбоями в спроектированных человеком транспортных системах, таких как танкеры и трубопроводы, которые предназначены для перемещения сырой нефти. Второй причиной являются естественные выходы нефти с морского дна. Естественные выходы нефти с морского дна

* Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Мониторинг», госрегистрация № 01.20.0.2.00164

географически широко распространены и выделяют нефть из недр на поверхность в течение длительных промежутков геологического времени. Согласно недавним оценкам [14] можно предположить, что в настоящее время 47% сырой нефти, поступающей в Мировой Океан, обусловлено естественными выходами с морского дна, а 53% являются результатом утечек и разливов во время добычи, транспортировки, переработки, хранения и промышленного использования нефти.

Просачивающаяся с морского дна нефть, достигая поверхности, формирует на ней тонкую пленку - нефтяной слик, дрейф и растекание которого определяются совместным воздействием ветра и поверхностных течений.

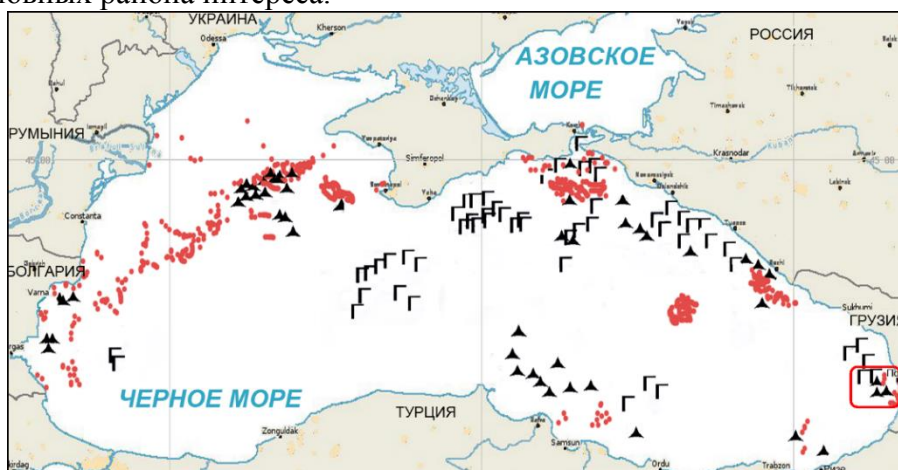
Используемые данные

Основным средством выявления на морской поверхности нефтяных пленок как природного, так и антропогенного происхождения, и оценки степени загрязненности, являются установленные на искусственных спутниках Земли радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА). Эти сенсоры обладают возможностью круглосуточной работы благодаря использованию активного зондирования, причём характеристики изображения не зависят от освещенности и возможностью всепогодной съёмки, т.к. атмосфера практически прозрачна для используемого РСА микроволнового излучения. В основе метода спутникового мониторинга загрязнения морской поверхности лежит возможность выявления пленочных сликов методами спутниковой радиолокации. Наличие поверхностной пленки приводит к понижению интенсивности волно-ветрового взаимодействия и к затуханию резонансной гравитационно-капиллярной компоненты поверхностного волнения, вследствие чего пленочные слики проявляются на радиолокационном изображении (РЛИ) как области пониженного рассеяния, которые могут служить индикаторами загрязнения поверхности [10, 1]. Высокое пространственное разрешение современных космических РСА позволяет с необходимой точностью детектировать нефтяные загрязнения даже относительно небольшого размера и оценивать их параметры. Экспериментальную основу работы составляют данные РСА ИСЗ Envisat (до 2012 г.) и РСА ИСЗ Sentinel-1A;1-B 9 (начиная с октября 2014 и сентября 2016 соответственно). Кроме того, к исследованию привлекались данные многоспектральных сенсоров оптического диапазона - MSI ИСЗ Sentinel-2A, сканирующих радиометров ETM+ Landsat-7 и OLI/TIRS Landsat-8; спектрометрических MODIS ИСЗ Terra/Aqua [7, 8]. Естественные нефтепроявления отчетливо проявляются и на изображениях цветосинтезированных по данным сенсоров оптического диапазона, проявляясь как характерные радужные структуры повышенной яркости, окруженные темным ореолом. Однако для этих сенсоров существенными ограничивающими факторами

являются требования к освещённости и отсутствию облачности, благодаря чему они проигрывают радиолокационным данным, когда речь идёт о ежедневном круглогодичном мониторинге и накоплении статистических данных. Использование оптических изображений, особенно полученных в зоне солнечного блика, зачастую помогает разрешить неоднозначности в интерпретации радиолокационных данных и уточнить природу плёнок, формирующих слики, относя их к классам нефтяных или биологических плёнок [8].

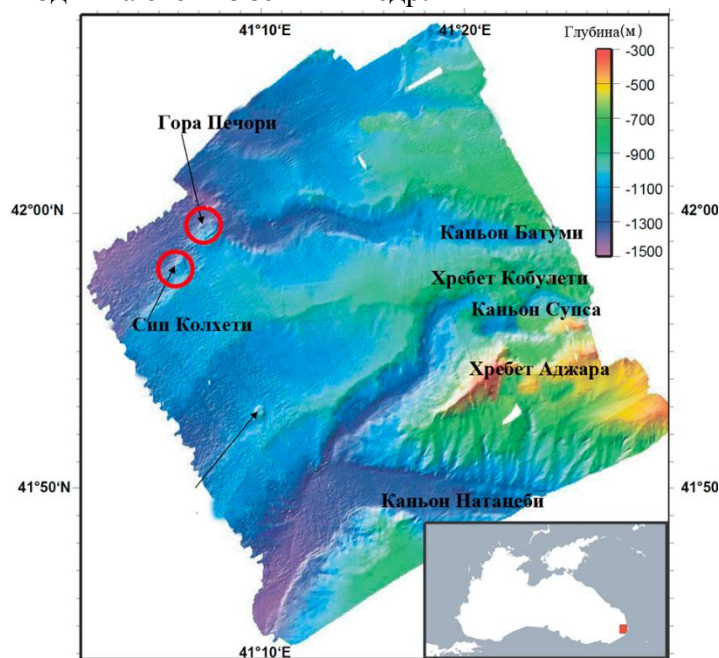
Район интереса

В последние годы появился целый ряд публикаций, посвящённых грязевому вулканизму, естественным газо- и нефтепроявлениям и газогидратам в Чёрном море. Согласно опубликованным результатам серий натурных экспериментов, проводившихся с 1993 г. по настоящее время, в Чёрном море обнаружены струйные газовыделения и холодные метановые сипы по периметру свала глубин и в глубоководной части, а также районы локализации глубоководных грязевых вулканов [3, 4, 5, 11]. Естественные выходы метана и грязевый вулканизм обнаруживаются в Чёрном море практически повсеместно, тогда как естественные выходы нефти с морского дна Чёрного моря встречаются достаточно редко. В частности, естественные выходы нефти на поверхность моря наблюдаются на турецком шельфе вблизи г. Ризе и в грузинском секторе Чёрного моря в районе Поти-Батуми [2, 9, 13]. На рис. 1 приведена карта-схема различных типов выходов с морского дна углеводородов, составленная на основе обобщения данным публикаций различных научных групп. Красными прямоугольниками выделен основных района интереса.



Р и с.1. Карта-схема распределения естественных выходов углеводородов со дна Черного моря. Красные точки – метановые выделения. Черные треугольники – выходы нефти и газа на поверхность. Г – грязевые вулканы

В связи с повышенным интересом к естественным выходам углеводородов с морского дна, с 1993 г. в грузинском секторе Чёрного моря ведутся экспедиционные работы. Ряд исследований проводился в рамках международных проектов, участниками которых были исследователи как из причерноморских, так и из других европейских государств [3, 12, 16, 17]. По данным акустического зондирования была построена числовая модель рельефа дна в этом районе [15]. На основе этой модели показано, что существуют два конусообразных поднятия: диапировая гора Печори, диаметром 2–2,5 км и высотой 75 м и диапир у сипа Колхети диаметром 1,4 км и высотой 20 м (см. рис. 2). Внутри этих конусообразных возвышений проходят питающие каналы, по которым углеводороды поднимаются из земных недр.



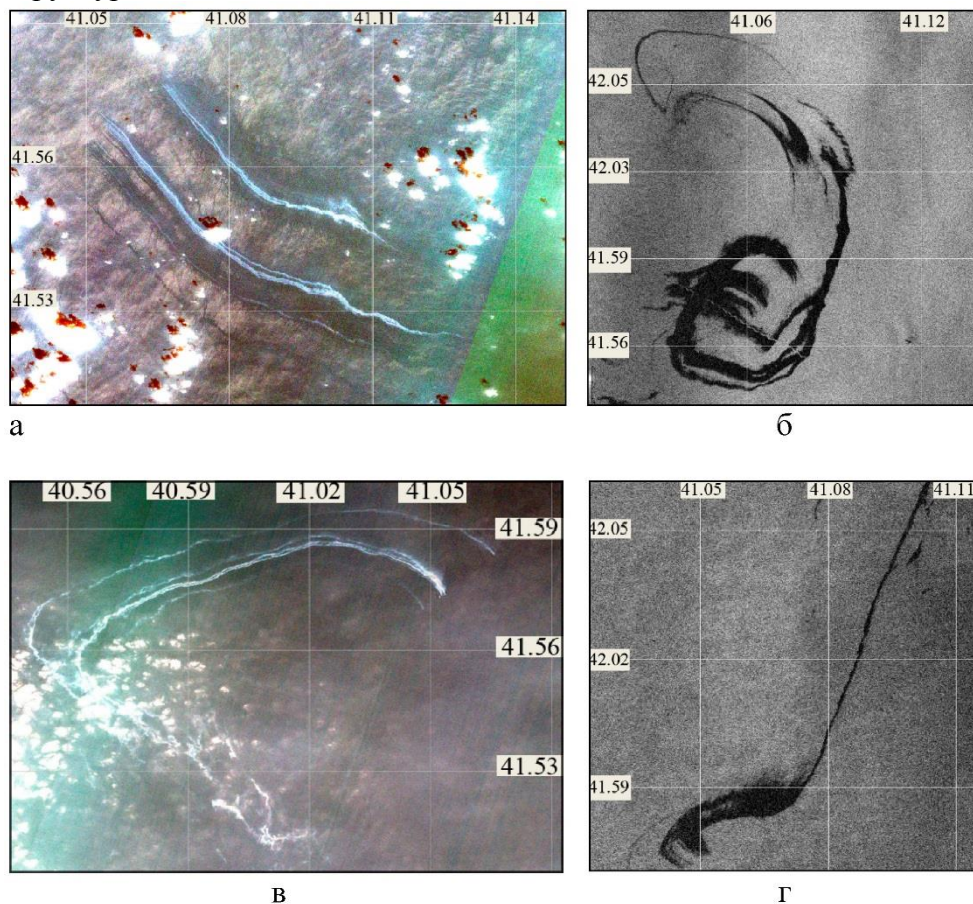
Р и с. 2. Батиметрическая карта морского дна в грузинском секторе Чёрного моря

Распространение естественного нефтяного загрязнения на морской поверхности юго-восточной части Чёрного моря

Нами были проанализированы траектории распространения пленок естественных нефтепроявлений, выявленных на спутниковых снимках юго-восточной части Черного моря.

На рис. 3 приведены характерные примеры плёночных загрязнений, детектированных на радиолокационных изображениях морской поверхности, полученных над континентальным склоном в районе Поти – Батуми. На всех приведённых изображениях отчётливо выделяются крупные слики характерных форм, привязанные к определенной исходной точке на морской поверхности. Еще один

характерный признак, общий для естественных нефтепроявлений на морской поверхности в рассматриваемом районе – их «полосчатая» структура.



Р и с. 3. Фрагмент цветосинтезированного изображения сенсора MSI Sentinel 2-B (4, 3 и 2 спектральные каналы) от 10.09.2017, 08:17 UTC (а); фрагмент РЛИ SAR Sentinel-1B от 28.03.2018, 03:16 UTC (б); фрагмент цветосинтезированного изображения сенсора MSI Sentinel 2-B (4, 3 и 2 спектральные каналы) от 20.09.2017, 08:17 UTC (в); фрагмент РЛИ SAR Sentinel -1A от 08.04.2017, 03:16 UTC (г).

Вблизи точки всплытия наблюдаются три сликовые полосы различной ширины. В процессе эволюции и дрейфа слика эти полосы могут слиться, а могут продолжать эволюционировать относительно синхронно, сохраняя при этом свою обособленность. Факт наличия трех четко различимых полос объясняется тем, что нефть доставляется на морскую поверхность газовыми пузырьками в результате одновременной активности трёх газовых факелов: из горы Печори и двух ядер прорывания сипа Колхети (для сравнения см. рис. 2). Наибольшая

толщина плёнки наблюдается вблизи точки всплытия. Поверхностный слик формируется под влиянием поля ветра и течений.

На цветосинтезированном изображении, представленном на рис. 3а, три сформированные тонкие протяжённые полосы повышенной яркости, окружённые тёмным ореолом после выхода на поверхность, распространяются, слегка изгибаясь, в юго-восточном направлении на расстояние 10 и 15 км от точки всплытия. Общая площадь нефтесодержащего слика – 36,5 км².

Фрагмент РЛИ, представленный на рис. 3б, иллюстрирует, насколько сложной может оказаться траектория дрейфа нефтяной пленки под влиянием сформировавшейся в районе интереса картины ветра и течений. После всплытия на поверхность нефтяные плёнки немедленно вовлекаются в движения, обусловленные субмезомасштабным вихрем (возможно диполем), развивающимся в непосредственной близости от точки выхода нефти на поверхность. Вблизи точки всплытия наблюдается область, покрытая достаточно толстой плёнкой, по мере распространения слика изгибаются, толщина пленки уменьшается, общая площадь нефтесодержащего слика – 36,5 км².

На примере, представленном на рис. 3в нефтяные плёнки после всплытия на поверхность немедленно вовлекаются в движения, обусловленные субмезомасштабным вихрем. На расстоянии 6 км к северо-востоку от точки всплытия слик резко изгибается, сужается и практически прямолинейно распространяется к северо-северо-востоку еще на 13 км. Момент излома слика соответствует времени резкого усиления и изменения направления ветра. Общая площадь нефтесодержащего слика – около 9 км².

На цветосинтезированном изображении, представленном на рис. 3д, нефтяные пленки, видимые как три сформированные тонкие протяжённые полосы повышенной яркости, распространяются по дуге. Пройдя по этой дуге расстояние примерно 15 км в западном направлении, слик начинает распространяться к юго-востоку и завершается на расстоянии 13 км к юго-западу от точки всплытия, пройдя в общей сложности 27 км.

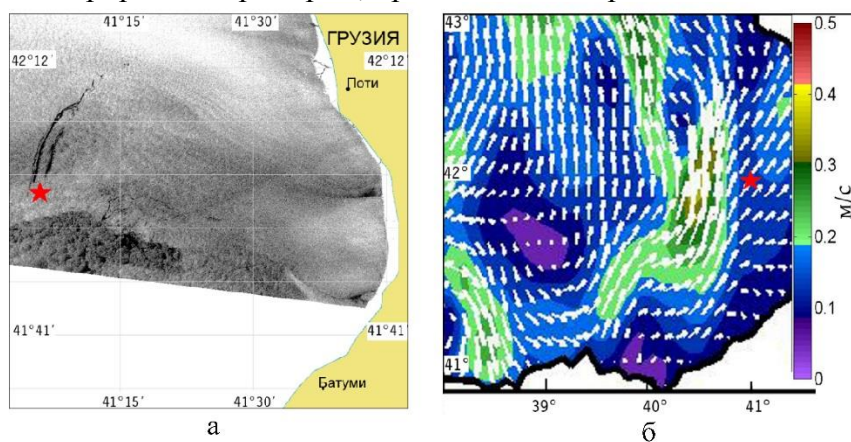
Очевидно, что ветер и течения являются основными движущими силами дрейфа, растекания и деградации пленок естественных нефтепроявлений. Дальнейший анализ спутниковых снимков и сопутствующей гидрометеорологических данных был направлен на выявление относительного вклада приповерхностных ветров и течений на формирование, дрейф и распад нефтяного слика.

Произведено сопоставление выделенных по спутниковым изображениям траекторий распространения сликов и пространственных полей поверхностных течений (http://dvs.net.ru/mp/data/main_ru.shtml) рассчитанных по комбинированным данным о полях приповерхностного ветра и геострофических скоростей [6]. При этом геострофическая

скорость восстановлена по данным спутниковой альтиметрии с использованием регионального массива картированных аномалий уровня AVISO) и средней динамической топографии, а ветер рассчитан по оперативной модели NOMADS, NOAA (<https://nomads.ncdc.noaa.gov/nomads.php>). В целом наблюдалось неплохое соответствие, особенно при устойчивых умеренных ветрах, хотя на рассчитанных по модели полях поверхностных скоростей на разрешаются мелкомасштабные особенности, которые часто выявляются по спутниковым данным.

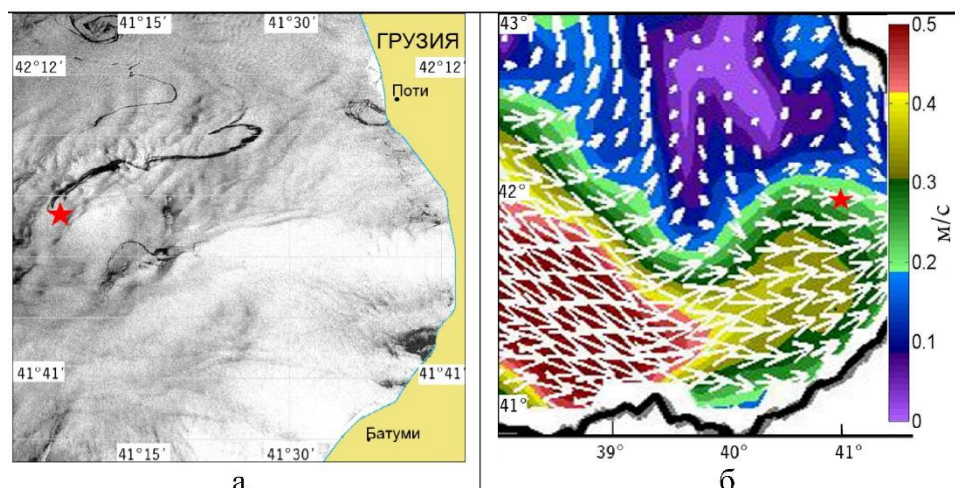
Ниже рассматриваются примеры сопоставления траекторий распространения сликов, выделенных на РЛИ, и полей поверхностных течений, рассчитанных по модели. Рассмотрены три наиболее распространенные ситуации, обусловленные тем, что поле течений в районе интереса формируется под влиянием трех основных факторов, каждый из которых может оказаться доминирующим в определенный промежуток времени.

Первым фактором является наличие основного черноморского течения (ОЧТ), скорости в стрежне которого достигают 40-60 см/с, постепенно уменьшаясь как к берегу, так и к открытому морю. ОЧТ способствует переносу загрязнений по циклонической схеме, что проиллюстрировано примером, приведенным на рис. 4.



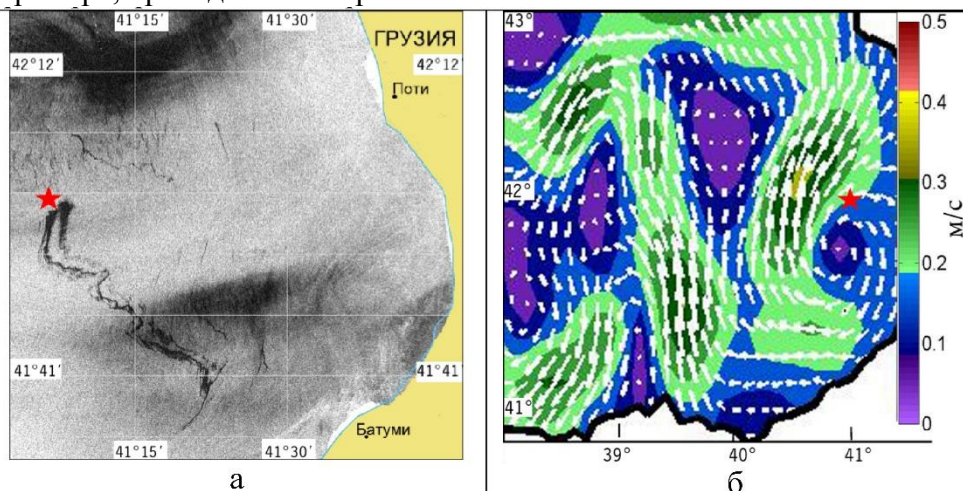
Р и с. 4. Перенос загрязнений по циклонической схеме. а) РЛИ SAR Sentinel-1A. 21 октября 2014, 03:16 UTC. Слик распространяется на северо-восток на расстояние 28 км от точки всплытия; б) рассчитанные по модели поверхностные течения на 21 октября 2014, 06:00 UTC;

В качестве второго фактора выступают вихревые структуры разного знака завихренности, которые возникают вследствие интенсивного меандрирования ОЧТ, обусловленного синоптической изменчивостью ветра, и способствует кроссшельфовому переносу загрязнений. Такая ситуация отображена на примере, приведенном на рис. 5.



Р и с. 5. Кросс-шельфовый перенос загрязнений: а) РЛИ SAR Sentinel-1A. 2 июня 2016, 03:24 UTC. Слик, вовлеченный в вихревое движение, распространяется поперек шельфа на расстояние 33 км от точки всплытия; б) рассчитанные по модели поверхностные течения на 2 июня 2016, 12:00 UTC

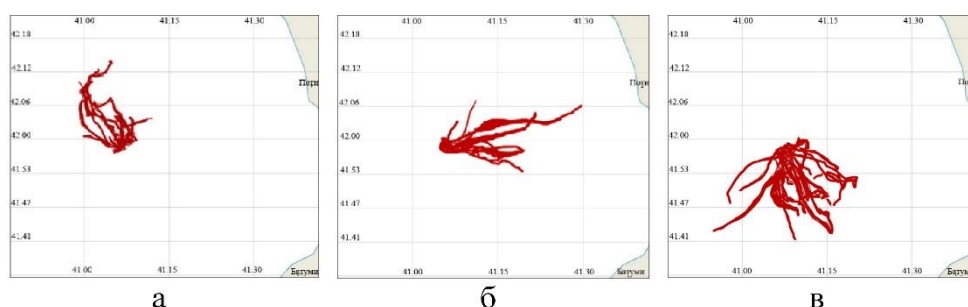
Третьим фактором, оказывающим влияние на распространение естественных нефтепроявлений, является квазистационарный батумский антициклонический вихрь, наличие которого способствует распространению нефтяных пленок, вовлеченных в вихревые движения антициклона, в южном направлении. Такая ситуация отображена на примере, приведенном на рис. 6.



Р и с. 6. Перенос загрязнений в южном направлении: а) РЛИ SAR Sentinel-1A. 7 мая 2015, 15:10 UTC. Слик, вовлеченный в вихревое движение, распространяется на юго-восток на расстояние 50 км от точки всплытия; б) рассчитанные по модели поверхностные течения на 7 мая 2015, 12:00 UTC.

Выводы и результаты

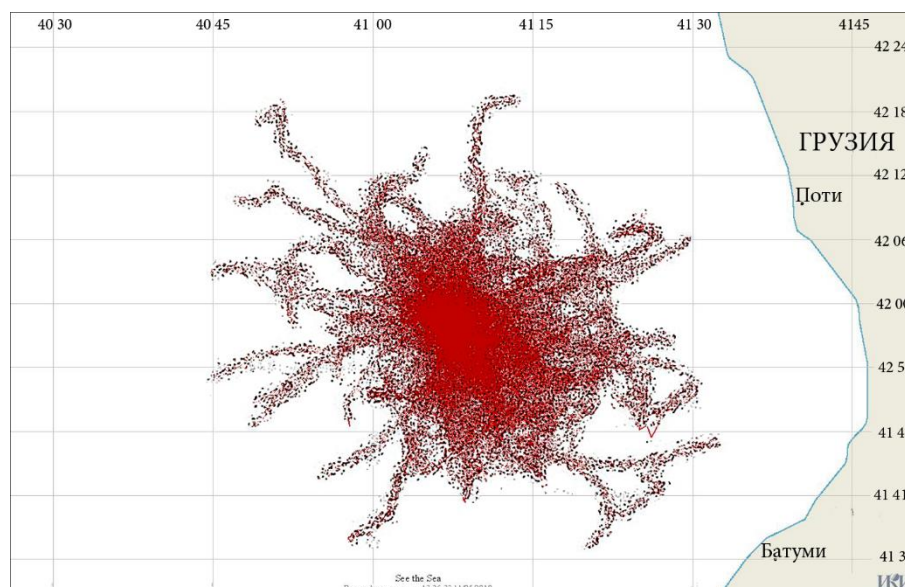
Использование результатов спутниковых наблюдений пленок естественных нефтепроявлений вблизи точки всплытия, регулярно выявляемых на спутниковых данных, может принести существенную пользу для решения задачи выявления направления поверхностных течений, преобладающего на момент наблюдений. Опосредованным параметром при этом может служить траектория распространения слика. Для примера на рис. 7 приведены траектории распространения нефтяных сликов, выявленные по спутниковым данным за различные месяцы 2017 г. Видно, что доминирующее направление поверхностных течений вблизи точки всплытия медленно менялось в течение полугода от северо-западного до южного.



Р и с. 7. Распространение пленок естественных нефтепроявлений на морской поверхности по результатам спутниковых наблюдений за 2017 г: а) январь–февраль; б) март–апрель; в) май–июнь.

На основе спутниковых данных установлено также, что в условиях, когда преобладающее направление ветра и течений сохраняется в течение длительного времени, нефтяная пленка может распространяться на большие расстояния – вплоть до 45 км от точки всплытия. Исходя из протяженности следов, выявленных по радиолокационным данным, и задавшись средней скоростью течения 25 см/с, что можно считать достаточно высокой скоростью, получаем приблизительную оценку продолжительности жизни пленок естественных нефтепроявлений вплоть до 50 часов. Следует отметить, что для пленок естественных нефтепроявлений время жизни на поверхности значительно варьируется в зависимости от изменений гидрометеорологических условий. Кроме того, при высоких скоростях ветра (более 9–10 м / с) нефтяные пленки разрушаются ветром и волнами и не всегда могут быть идентифицированы на спутниковых РЛИ.

На рис. 8 показаны ареал распространения пленок естественного нефтепроявления на морской поверхности вблизи точки всплытия.



Р и с. 8. Обобщенная схема нефтяного загрязнения морской поверхности над районом естественных выходов углеводородов со дна в юго-восточной части Черного моря, построенная по спутниковым данным

Дрейф нефтяных пленок на морской поверхности в шельфовой зоне грузинского сектора Черного моря определяется, прежде всего, неустойчивой система течений. Здесь с высокой степенью вероятности может происходить кросс-шельфовый перенос нефтяного загрязнения.

Площадь акватории, потенциально подверженной загрязнению плёнками естественных нефтепроявлений, составляет около 860 км².

По результатам проведённых спутниковых наблюдений восточная часть акватории Чёрного моря в районе континентального склона вблизи побережья Грузии должна быть отнесена к районам экологического риска.

Список литературы

1. Булатов М.Г., Кравцов Ю.А., Лаврова О.Ю., Литовченко К.Ц., Митягина М.И., Раев М.Д., Сабинин К.Д., Трохимовский Ю.Г., Чурюмов А.Н., Шуган И.В. 2003. Физические механизмы формирования аэрокосмических радиолокационных изображений океана // Успехи Физических Наук. 2003. Т. 173. № 1. С. 69–87.
2. Евтушенко Н.В., Иванов А.Ю. 2012. Нефтепроявления в юго-восточной части Черного моря по данным космической радиолокации // Исследование Земли из космоса. № 3. С. 24–30.

3. Егоров В.Н., Артемов Ю.Г., Гулин С.Б. 2011. Метановые сипы в Черном море. Среодообразующая и экологическая роль. Севастополь: НПП «ЭКОСИ-Гидрофизика». 405 с.
4. Иванов М.К., Конюхов А.И., Кульницкий Л.М. и др. 1989. Грязевые вулканы в глубоководной части Чёрного моря // Вест. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. № 3. С. 48–54.
5. Круглякова Р.П., Круглякова М.В., Шевцова Н.Т. 2009. Геолого-геохимическая характеристика естественных проявлений углеводородов в Черном море // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. № 1. С. 37 – 51.
6. Кубряков А.А., Станичный С.В., Плотников Е.В. 2011. Определение полей скоростей поверхностных течений дистанционными методами // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Вып. 24. С. 299–307. Кубряков А.А., Станичный С.В., 2011.
7. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. 2011. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН. 480 с.
8. Лаврова О.Ю., Митягина М. И., Костяной А.Г. 2016. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М.: ИКИ РАН. 334 с.
9. Лаврова О.Ю., Митягина М.И. 2012. Спутниковый мониторинг пленочных загрязнений поверхности Черного моря //Исследование Земли из космоса. № 3. С. 48–65.
10. Митягина М.И., Чурюмов А.Н. 2006. Механизмы формирования радиолокационного сигнала в области нефтяного загрязнения на морской поверхности //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 3. № 2. С. 135–139.
11. Шнюков Е.Ф., Клещенко С.А. 2001. Грязевой вулканизм западного суббассейна Черного моря // Геологические проблемы Черного моря. Киев: НАНУ. С. 121–144.
12. Klaucke, I., Sahling, H., Weinrebe, W., Blinova, V., Boerk, D., Lursmanashvili, N., Bohrman, G. 2006. Acoustic investigation of cold seeps offshore Georgia, eastern Black Sea // Marine Geology. V. 231. No 1. P. 51–67.
13. Körber, J.H., Sahling, H., Pape, T., Ferreira, C.S., MacDonald, I., Bohrmann, G. 2014. Natural oil seepage at Kobuleti Ridge, eastern Black Sea. // Marine and Petroleum Geology. V. 50. P. 68–82.
14. Kvenvolden K.A., Cooper C.K. 2003. Natural seepage of crude oil into the marine environment // Geo-Mar Lett. V. 23. P. 140–146.
15. Naehr, T.H., MacDonald, I.R. 2010. Remote Sensing and Sea-Truth Measurements of Methane Flux to the Atmosphere (HYFLUX project): Quarterly Progress Report, July – September. Texas A&M University-Corpus Christi. 24 p.

16. Reitz, A., Pape, T., Haeckel, M., et al. 2011. Sources of fluids and gases expelled at cold seeps offshore Georgia, eastern Black Sea// *Geochim. Cosmochim. Acta* 75. P. 3250–3268.
17. Wagner-Friedrichs, M. 2007. Seafloor seepage in the Black Sea: Mud volcanoes, seeps and diapiric structures imaged by acoustic methods. Ph.D. Thesis. University of Bremen. 154 p.

DISTRIBUTION OF NATURAL OIL FILMS ON THE SURFACE OF THE SOUTH-EASTERN BLACK SEA REVEALED BY THE MULTI-YEAR SATELLITE OBSERVATIONS

M.I. Mityagina

Space Research Institute of Russian Academy of Sciences

The paper presents results of studies aimed at the revealing of the spatial and temporal variability of marine surface pollution caused by natural hydrocarbons showings from the seafloor. Long-term series of satellite remote sensing data are analyzed. Relative contributions of the near-surface wind and surface currents to the natural oil slick formation, drift and fate are investigated. It is shown that under moderate winds, oily films of natural origin can drift to distances up to 50 km from the emersion point and remain on the surface for up to 48 hours, being an indicator for revealing a fine structure of surface currents with a high spatial resolution. The detailed map of the sea surface oil pollution caused by natural hydrocarbons showings from the sea bottom in the south-eastern of the Black Sea was produced, which makes it possible to estimate the probability of the sea surface oil pollution in the region under study.

Keywords: *the Black Sea, satellite remote sensing, radar imagery, sea surface, surface films, oil pollution, natural hydrocarbon seeps*

Об авторе:

МИТЯГИНА Марина Ивановна – доцент, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Института космических исследований РАН, e-mail: mityag@iki.rssi.ru.

УДК 528.88

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-137-151>

ОСОБЕННОСТИ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ГИДРОСООРУЖЕНИЙ ВАХШСКОГО КАСКАДА НА ПРИМЕРЕ НУРЕКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

И.Д. Мухамеджанов¹, Е.А. Лупян^{1,2}, И.А. Уваров²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

²Институт космических исследований РАН, Москва

В статье рассмотрена методика сбора данных при организации спутникового мониторинга водных объектов Вахшского каскада на примере Нурекского водохранилища. Рассматриваются системы дистанционного зондирования оптического диапазона с пространственного разрешения от 10 до 250 метров. По результатам наблюдений построены профили динамики площади водного зеркала за 2017 год и выявлены оптимальные в совокупности системы для мониторинга водохранилищ в местности со сложным горным рельефом. Итоговые профили могут быть полезны при выявлении сезонной корреляции между состоянием водных ресурсов на юге и северо-западе Узбекистана, а также при анализе зависимостей вегетационных индексов от объёмов речного стока за отдельно взятый сезон.

Ключевые слова: *Нурекское водохранилище, Вахшский каскад, Рогунская ГЭС, регион, ресурсы, спутниковый мониторинг, пространственное разрешение, плотина.*

Основу водных ресурсов Средней Азии составляют две крупные реки – Сырдарья и Амударья. В южных и северо-западных районах Узбекистана, в особенности Кашкадарьинской, Хорезмской, Сурхандарьинской областях, Республике Каракалпакстан наблюдается дефицит пресной воды. В связи с этим крайне важно регулярно контролировать состояние воды в реках и водных объектах. Основной водной артерией для этих зон является река Амударья, образующаяся при слиянии рек Вахш и Пяндж. Первая берет истоки на Памире, в районе пика им. Е. Корженевской. В настоящее время на реке ведутся работы по строительству объектов Вахшского каскада (система ГЭС и водохранилищ). Ниже по течению, на территории Таджикистана, располагается Нурекское водохранилище, на котором запланировано строительство 335-метровой плотины [1].

Территория Республики Узбекистан расположена в центральной части Средней Азии и включает в себя большую часть бывшего Аральского моря, которое стремительно усыхает уже более 30 лет.

Водные ресурсы страны из года в год претерпевают ряд изменений, чему способствует географическое расположение основных водных артерий, рек Сырдарьи и Амударьи.

Река Амударья – вторая по длине и самая полноводная в Средней Азии. Свое название Амударья река получает после слияния рек Пяндж и Вахш [3]. Первая берет истоки на склонах Гиндукуша, вторая – на Памире, в районе пика имени Е. Корженевской. В силу особенностей расположения границ Узбекистана, Амударья, начиная свое течение на территории Таджикистана, протекает вдоль узбекско-афганской границы, затем по территории Туркменистана, после чего попадает на территорию Республики Узбекистан.

Таким образом, водные ресурсы Узбекистана во многом зависят от управления водами рек соседними государствами. При этом не всегда есть доступ к территории, на которой расположены объекты контроля. В такой ситуации технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) могут предоставить уникальную возможность получения объективной, независимой информации, которая отражает актуальную обстановку гидроресурсов.

Организация контроля водных ресурсов при помощи технологий спутникового мониторинга

На рис. 1 красным контуром отображены проблемные зон страны с точки зрения состояния водных ресурсов.



Р и с. 1. Композитное спутниковое изображение территории Узбекистана и части соседних государств

Данное спутниковое изображение является композитным снимком, полученным в Институте космических исследований РАН и доступном в спутниковом сервисе ВЕГА-Science (<http://sci-vega.ru/>) [6].

Для решения многих задач мониторинга земного покрова используются очищенные от влияния облаков и других мешающих факторов композитные изображения, формируемые на основе данных спутниковых наблюдений за определенные интервалы времени. Композитное изображение на рис.1 – результат бесшовного представления спутниковых данных спутниковой комплекс спутниковой аппаратуры Landsat-TM/ETM+/OLI [7].

Возможности спутниковых систем для мониторинга водных ресурсов. Сегодня на околоземной орбите находится множество спутников с установленной на них аппаратурой различного пространственного и временного разрешения и спектральными характеристиками. Частота и пространственное разрешение зависят от числа аппаратов в орбитальной группировке.

При оценке состояния водных ресурсов территории Средней Азии с помощью технологий спутникового мониторинга, необходимо учитывать размер водных объектов. В данной работе больший размер пиксела приборов среднего разрешения MODIS (КА Terra и Aqua) и AVHRR (КА NOAA) делает выделение поверхности воды в прибрежной зоне более грубым, что приводит к занижению оценок площади водного зеркала водохранилища по сравнению с приборами OLI-TIRS и MSI. Далее это будет показано на диаграмме (рис. 4) при обсуждении полученных результатов.

Зачастую получению полного ряда спутниковых данных препятствуют погодные условия. В этом случае необходимые данные об объекте могут быть получены с помощью радиометра с синтезированной апертурой (PCA), C_SAR_IW, установленная на КА SENTINEL-1A и -1B [17]. Особенностью радиометрических данных является независимость от погодных условий. Даже при сильной облачности и в ночное время суток радиолокационное изображение (РЛИ) получается качественным и высокого разрешения (10 м) [17]. Однако некоторую сложность вызывает образующийся в силу физических особенностей сканирующей аппаратуры спекл-шум, зрительно проявляющийся как зернистость изображения и препятствующий выявлению однородных классов. Стоит отметить, что просмотр радиолокационного изображения отдельно в вертикальной, горизонтальной или перекрестной поляризации (синтез первых двух) позволяет детектировать различные объекты и явления различной природы [4].

Наибольшее пространственное разрешение из общедоступных оптических систем имеет MSI (КА SENTINEL-2A и -2B) [16], сканирующая аппаратура с 10-метровым разрешением каналов B2 (490 нм), B3 (560 нм), B4 (665 нм) и B8 (842 нм). Периодичность съемки

области интересов составляет 5 дней. Несмотря на довольно высокое временное разрешение, территория водного объекта часто может быть покрыта облаками, в результате ряд наблюдений может оказаться неполным и регулярность нарушится и, как следствие, статистические наблюдения будут иметь пробелы. Для того, чтобы компенсировать недостающие наблюдения гидрообъекта, выбирается иная доступная система оптического диапазона с более низким разрешением.

В сервисе BEGA-Science такими системами являются OLI-TIRS и OLI-SR (КА Landsat-8) разрешения 30 метров [18], KMCC (КА Метеор-М №1, -М №2) с пространственной разрешающей способностью 60-120 метров. Данные системы OLI-TIRS (OLI-SR) в сервисе BEGA используются для решения различных задач, в том числе картографирования различных объектов, например, гарей [9]. Сервис также располагает архивами данных спутникового прибора Vegetation, установленного на европейском спутнике PROBA-V. Vegetation имеет разрешение 100 метров, что заметно меньше MSI. Однако, как будет показано далее, такая разница не оказывает существенного влияния на формирование итогового профиля динамики водохранилищ.

Методика исследования

Сервис BEGA-Science как основной инструмент для работы. Для организации регулярного мониторинга и анализа состояния водных объектов необходим инструмент для работы с многолетними архивами данных различных спутниковых систем. Таким инструментом является сервис BEGA-Science, разработанный и поддерживаемый Институтом космических исследований Российской академии наук. BEGA является одной из систем, функционирующей на базе ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Обеспечивая доступ к спутниковым снимкам более, чем за 20 лет, BEGA-Science имеет широкий функционал, которого вполне достаточно для проведения мониторинга различных объектов и явлений. Для удобства отображения информация группируется по видам информационных продуктов, включая: спутниковые данные высокого (Landsat-TM/ETM) и среднего (MODIS) пространственного разрешения, сельскохозяйственные земли, леса, природные пожары, метеорологическая и картографическая информация. Инструменты анализа данных в составе сервиса BEGA обеспечивают следующие функциональные возможности [11]:

- комплексный анализ спутниковых данных различного пространственные разрешения и результатов их обработки, картографических и атрибутивных данных;
- оценка многолетней динамики спектрального вегетационного индекса для определения причин и времени изменений в лесах;

– поддержка и обновление базы данных контуров и характеристик лесных участков для обеспечения возможности мониторинга их состояния;

– геоинформационный анализ спутниковых данных во времени и пространстве;

– оценка статистики и формирование аналитических форм, характеризующих состояние лесов на заданных участках.

Основной задачей системы ВЕГА является предоставление пользователям удобного удаленного доступа к постоянно пополняющимся архивам спутниковых данных и различным информационным продуктам, получаемым на их основе. При этом пользователям системы предоставляются не только возможности удобного поиска, но и различные инструменты для ее анализа [12].

При сборе данных и формировании ряда наблюдений объектов, в особенности со сложным рельефом, большую роль играет долговременное хранение имеющейся информации на сервере и получение актуальной.

Оценка состояния водных объектов различными системами. Полученный ряд данных спутниковых снимков подвергается дальнейшей обработке. Для оценки площади водных объектов применяется классификация данных на основе спектральной яркости. Возможно использование как алгоритмов обучаемой классификации, так и необучаемой. В первом случае обучающая выборка должна содержать образцы пикселей, относящихся к классам "вода" и "суша". Во втором случае алгоритм автоматически выделяет заданное число кластеров, а их последующая группировка в итоговые классы "вода" и "суша" происходит с участием эксперта. Подход, рассмотренный в работе, основан на схеме проведения картографирования, использующей неконтролируемую классификацию, принцип организации которой подробно описан в [9]. Основная идея данного подхода заключается в том, чтобы заменить визуальное оконтуривание объекта анализом результатов классификации, которая в конечном итоге сводится к выбору из достаточно ограниченного числа классов тех, которые относятся к гари [9]. Решение задачи определения площади объектов в системе ВЕГА-Science включает следующие основные этапы:

- выбор объекта;
- выбор данных высокого разрешения;
- интерактивное оконтуривание с использованием процедуры классификации;
- интерактивная проверка корректности проведения оконтуривания [11].

Обработка полученных данных для оценки площади водохранилищ. Основным показателем для спутникового мониторинга водохранилищ предлагается выбрать площадь водного зеркала,

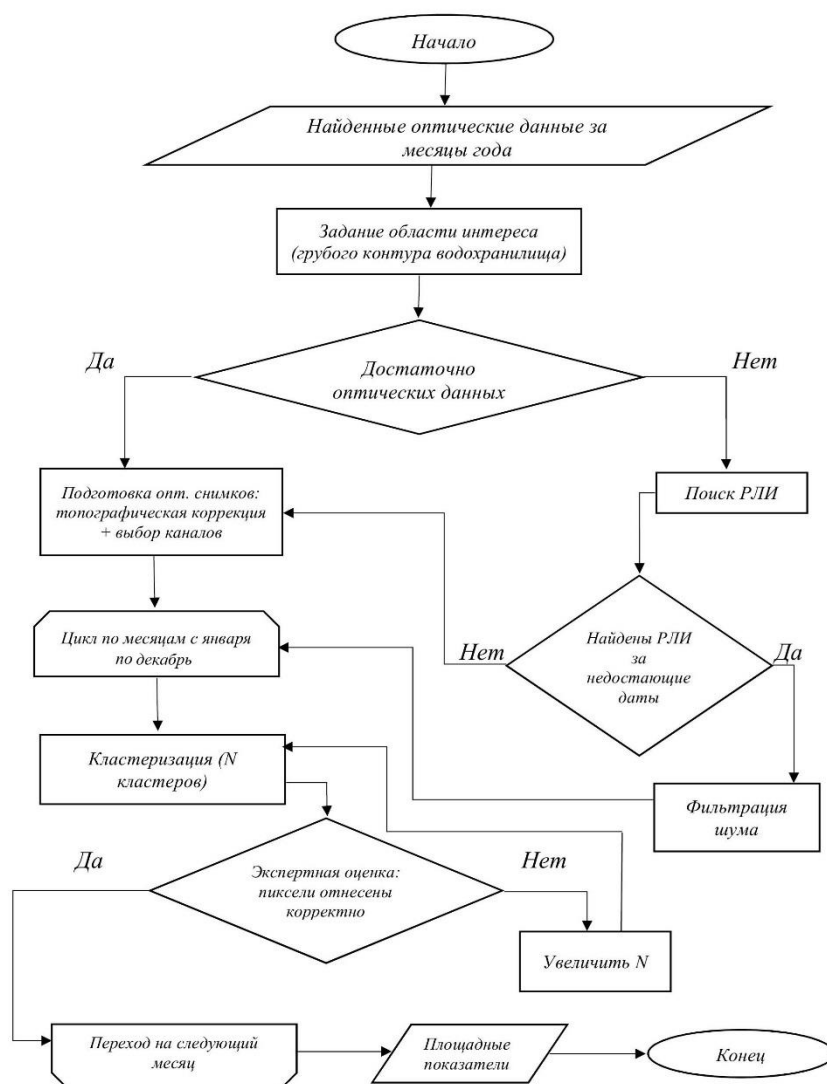
поскольку с позиции ДЗЗ этот ряд измерений этого параметра может быть наиболее полным и точным.

Построения динамики водного зеркала начинается с выбора спутниковых изображений наилучшего качества с доступных оптических и радиолокационных снимков. Исследование межсезонной динамики подразумевает наличие данных приемлемого качества один-два раза в месяц, даты в течение года должны идти с частотой в 25-30 дней. Спутниковые снимки в каждом месяце обрабатываются согласно блок-схеме на рис. 2.

Схема описывает алгоритм получения итогового профиля динамики водного зеркала водохранилища, который принимает на вход множество снимков оптического диапазона. Если за какие-то даты отсутствуют данные подходящего качества и разрешения, необходимо воспользоваться РЛИ за эти даты. В большинстве случаев множество снимков, полученных таким методом, образует полный ряд по месяцам. Далее, поскольку РЛИ подвержены влиянию спекл-шума, необходимо применить алгоритмы фильтрации.

Классификация на снимках оптического диапазона – один из наиболее удачных методов выделения водного зеркала. Однако в случае расположения объекта в горной местности, возникает существенное влияние теней. Спектральная яркость затененных участков суши приближается к яркости водной поверхности, в результате чего пиксель будет отнесён к неверному классу (суша к воде или наоборот). Во избежание таких ошибок при классификации применяется алгоритм топографической коррекции, который восстанавливает значения отражательной способности затененных участков.

Как было сказано выше, РЛИ не зависит от погодных условий. Тем не менее классификация участков такого снимка дает весьма серьезные погрешности при наличии приводного ветра. Рябь, образуемая в этом случае на водном зеркале, меняет яркость пикселей полутонового изображения (пиксель имеет один из 256 оттенков серого цвета) и классификатор относит пиксели к неверному классу. Кроме того, РЛИ не позволяет алгоритму классификации без обучения определить обмелевшие участки водохранилищ (рис. 3 б, в). Теоретически, данная проблема может быть решена путем формирования обучающей выборки по оптическому снимку за близкую дату – двух групп пикселей, определяющих воду и сушу. Практически же может оказаться, что даже большого числа пикселей может оказаться недостаточно для классификатора. Таким образом, РЛИ не может быть использовано при детектировании обмелевших участков водных объектов.



Р и с. 2. Общая схема обработки данных для оценки площади водохранилищ

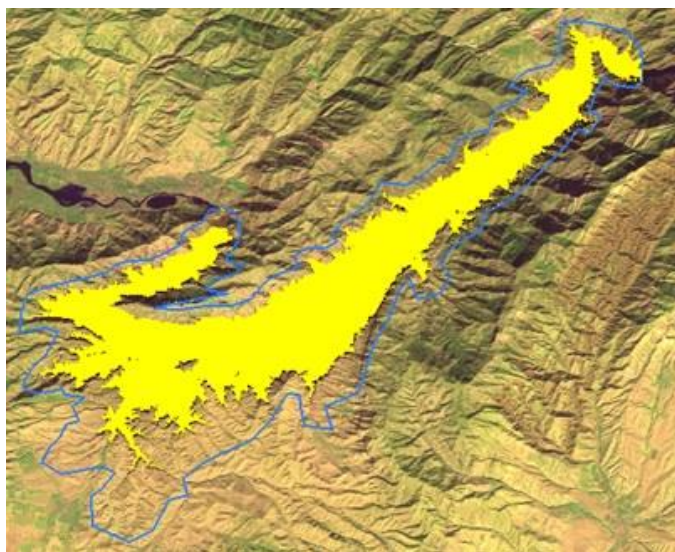
Классификация оптических снимков без предварительной обработки не всегда дает корректные результаты. Примером могут служить данные весенне-зимнего периода аппаратуры КМСС. Опытным путем было установлено, что спутниковые изображения горной местности, получаемые с сенсора КМСС, должны подвергаться предварительной нормализации, что способствует повышению точности при классификации участков водных объектов со сложным рельефом.

Для оптических данных необходимо провести операции цветовой коррекции и выбрать каналы для классификации (для видимого

диапазона каждый сенсор имеет собственные каналы). Подготовленные данные подвергаются необучаемой классификации с заданным числом кластеров N. Если пользователь (эксперт) считает, что классификация была проведена неудачно, следует увеличить число кластеров для того, чтобы повысить разделимость пикселей, и повторить классификацию. Описанные действия производятся со снимками за каждый месяц. В результате такого подхода можно определить, какая часть водохранилища занята водой.

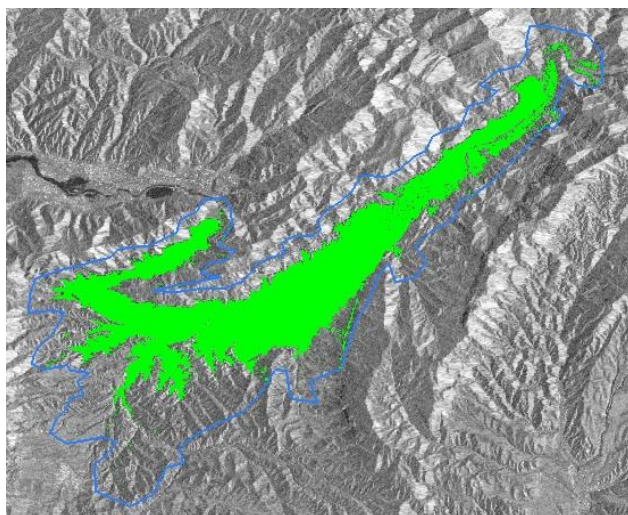
Результаты и обсуждение

Особенности показателей различных систем для Нурекского водохранилища. Состояние Нурекского водохранилища имеет важное значение при оценке водохозяйственной обстановки Узбекистана и территорий соседних государств. Гидрообъект является самым верхним сооружением на Вахшском каскаде, состоящим из нескольких водохранилищ и семи действующих ГЭС. На рис. 1 Нурекское водохранилище обведено синим контуром. В ходе исследования согласно схеме (рис. 2) были обработаны спутниковые данные за 2017 г. При этом были использованы спутниковые снимки сенсоров OLI-TIRS(OLI-SR), MSI, C_SAR_IW, Vegetation (PROBA-V), KMCC. Также, в качестве эксперимента были использованы данные MODIS. Некоторые примеры классификации в системе BEGA-Science показаны на рис. 3а-в.

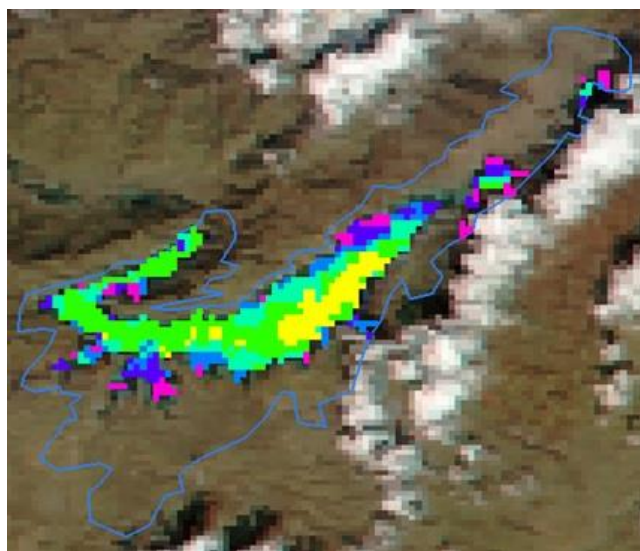


а)

Р и с. 3а. Результаты классификации некоторых спутниковых снимков



б)



в)

Рис. 3б, в. Результаты классификации некоторых спутниковых снимков:

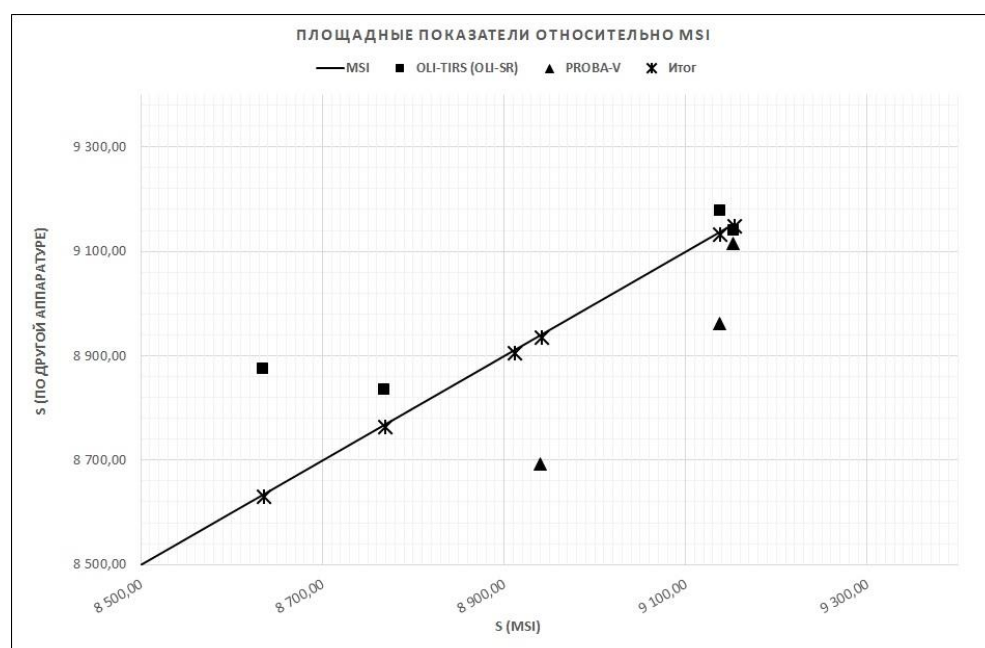
а) MSI (10 м);

б) Пример классификации РЛИ C_SAR_IW. Обмелевшая часть не выделена, за исключением контуров русла реки Вахш

в) Пример классификации снимка MODIS (250 м). Крупные пикселы снижают точность выделения

Стоит отметить, прошедшие классификацию данные отбираются субъективно, поэтому большую роль при включении результатов в итоговый профиль играет экспертная оценка.

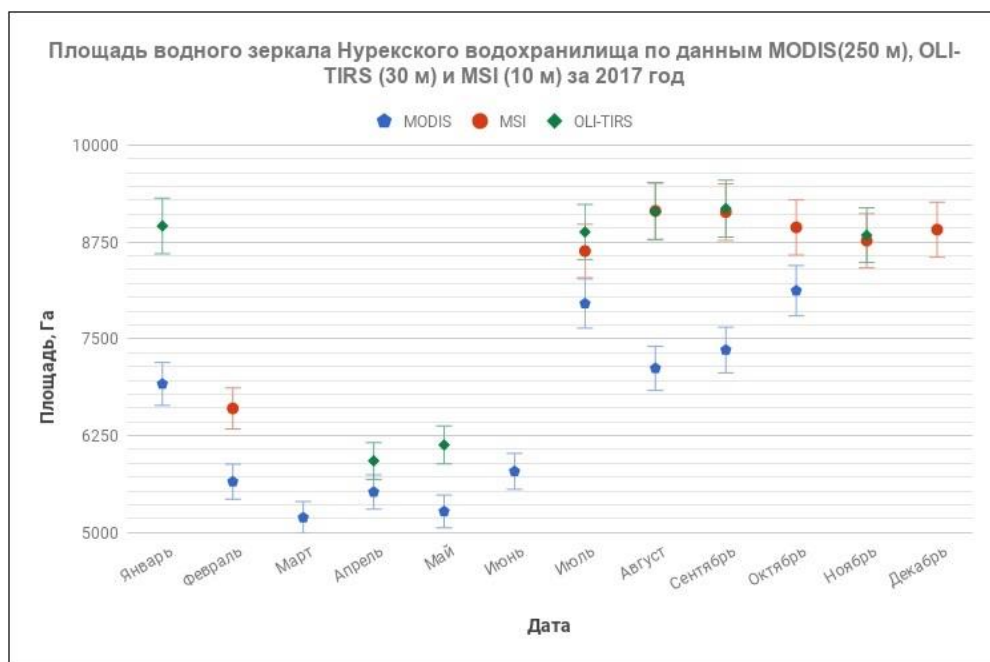
На примерах рис. 3 (б, в) показаны результаты классификации мартовских снимков с разницей в 6 дней. Можно заметить, что на примере рис. 3в детектирование обмелевшей части Нурекского водохранилища произведено незначительно, в том время на оптическом снимке среднего разрешения аппаратуры MODIS выделена только часть, занятая водой. Наряду с этим очень хорошие результаты дают системы MSI, OLI-TIRS, Vegetation и KMCC. На рис. 4 представлен сравнительный анализ имеющихся показателей трех приборов, без учета KMCC, так как результаты последнего комплекса могут быть включены только в весенне-летний период из-за ненормализованности данных осенне-зимнего периода, приходящих в систему из внешних источников.



Р и с. 4. Сравнительный анализ показателей спутниковых систем

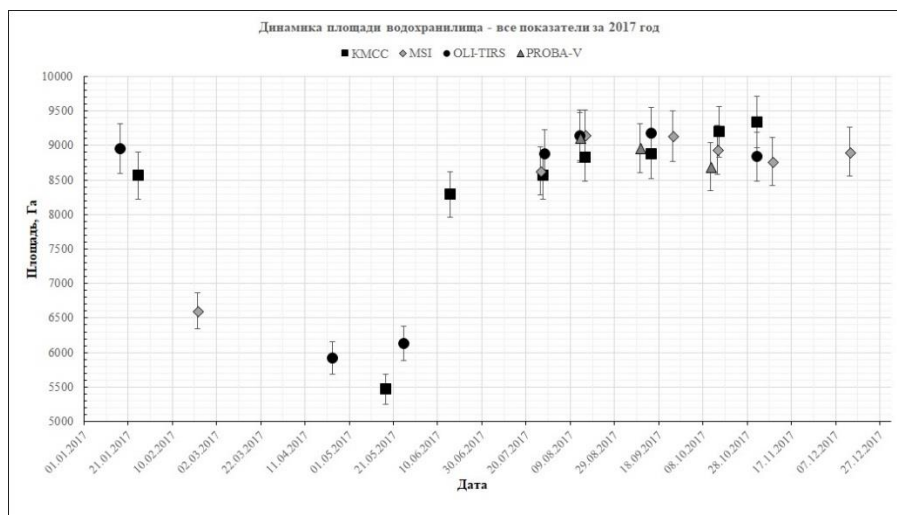
Было установлено, что значения, полученные с разных спутниковых систем, отличаются друг от друга менее, чем на 4% (<200 Га), а значит составление итогового профиля динамики водного зеркала объекта может проводиться по совокупному набору данных. За эталон показателя бралась прямая, составленная из показателей MSI. На графике также отмечены точки, вошедшие в итоговый профиль.

Таким образом, различие в показателях не играет существенной роли при анализе процессов на водохранилище, площадь которого меняется существенно больше, чем допустимая погрешность. Однако по диаграмме на Рис.5 видно, что показатели MODIS отличаются от эталонного MSI и OLI-TIRS более, чем на 4 процента. Следовательно, результаты классификации по данным MODIS не могут быть включены в итоговый ряд.



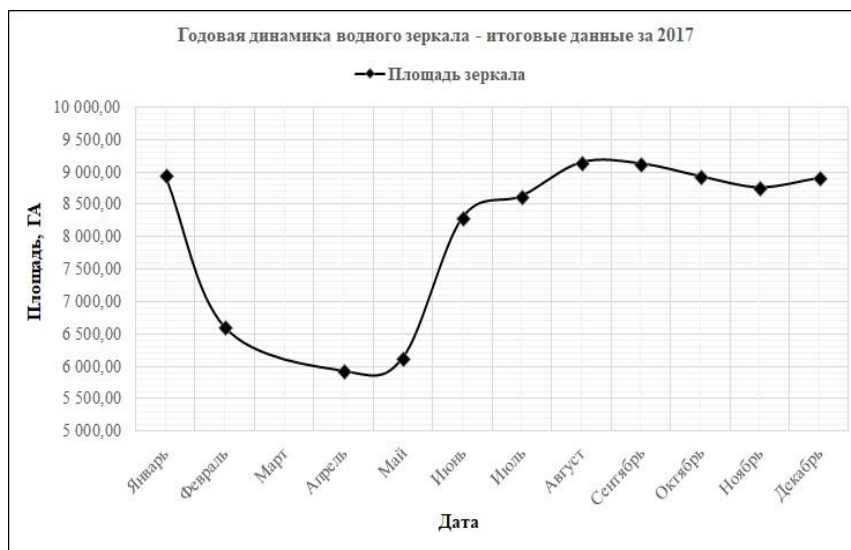
Р и с. 5. Сравнение показателей приборов среднего и высокого разрешения для Нурекского водохранилища. Погрешность MODIS относительно OLI-TIRS и MSI превышает 4%.

Итоговый профиль динамики площади водного зеркала. В результате проведенной работы были определены системы, с помощью которых с допустимой степенью погрешности удастся получить качественный профиль годовой динамики водного зеркала Нурекского водохранилища. Системы высокого разрешения MSI, OLI-TIRS и Vegetation являются оптимальными в совокупности, то есть дополняют показатели друг друга до полного ряда. В качестве дополняющей системы в весенне-летний период допустимо использование снимков КМСС. На Рис. 6 изображена диаграмма, отображающая все показатели, полученные при использовании схемы на рис. 2.



Р и с. 6. Совокупность всех полученных показателей спутниковых систем

Как было отмечено ранее, большую роль в формировании итогового профиля динамики водного зеркала играет экспертная оценка. Таким образом, если данные одной системы оказываются лучше по мнению эксперта, то именно они включаются в результирующий график динамики. На рис. 7 представлена итоговая кривая динамики водного зеркала водохранилища за 2017 год. Стоит отметить, что показатели за март были получены путем интерполяции, поскольку это случай, когда при недостатке оптических снимков РЛИ изображения не отражали динамику сезонного обмеления объекта.



Р и с. 7. Итоговый профиль динамики площади водного зеркала

Заключение

Разработанная методика обеспечивает возможность регулярного получения информации о площади водной поверхности Нурекского водохранилища на основе данных действующих спутниковых систем наблюдения Земли, с точностью, достаточной для оценки сезонных изменений состояния водохранилища.

Подобная методика может быть использована и для организации мониторинга других водохранилищ региона исследований. В перспективе на ее основе может быть организован мониторинг водохранилищ Вахшского каскада.

Список литературы

1. Щербаков В.И., Кулмедов Б.М. Спорный гидроузел на реке Вахш: Рогунская ГЭС // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. Сер. Высокие технологии. Экология. С. 156–159.
2. Спутниковый сервис ВЕГА-Science. URL: <http://sci-vega.ru/>.
3. Планета Земля. Историческая География. URL: <http://geosfera.org/aziya/2493-amudarya.html> (дата обращения 13.05.2018).
4. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. – М.: ИКИ РАН, 2016. – 334 с.
5. Фазылов А.Р., Харламова Н.П. Воздействия водохранилищ на динамику водного режима рек горно-предгорной зоны Таджикистана. // Наука и новые технологии №6. 2014. С. 34–41.
6. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
7. Колбудаев П.А., Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А., Матвеев А.М. Метод и технология формирования свободных от влияния облаков композитных изображений по спутниковым данным Landsat-TM/ETM+. // Десятая всероссийская открытая конференция “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”. Москва. ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012. Сборник тезисов конференции, 2012. С. 42.
8. Лупян Е.А., Барталев С.А., Толпин В.А., Жарко В.О., Крашенинникова Ю.С., Оксюкевич А.Ю. Использование спутникового сервиса ВЕГА в

- региональных системах дистанционного мониторинга. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2014. Т. 11. № 3. С.215–232.
9. Кашницкий А.В., Лупян Е.А., Барталев С.А., Барталев С.С., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Стыценко Ф.В.. Оптимизация интерактивных процедур картографирования гарей в информационных системах дистанционного мониторинга природных пожаров. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 4. С. 7–16.
10. Аванесов Г.А., Форш А.А. Проблемы научного космического приборостроения и их решение в рамках задач оптико-физического отдела ИКИ РАН // Космическое приборостроение. Таруса, 7–9 июня 2006. Сборник тезисов. 2006. С. 11.
11. Барталев С.А., Ершов Д.В., Лупян Е.А., Толпин В.А.. Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. №1. С 49–56.
12. Лупян Е.А., Барталев С.А., Толпин В.А., Крашенинникова Ю.С., Оксюкевич А.Ю. Возможности и опыт использования спутникового сервиса Вега при организации регионального дистанционного мониторинга // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы международной научной конференции/ научн. ред. Е.А.Ваганов - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, ISBN 978-5-7638-3109-2, 2014. С. 3–6.
13. Курбатова И.Е. Использование космической информации для мониторинга природно-территориальных комплексов побережья Цимлянского водохранилища. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 3. С. 217–227.
14. Жуков Б.С., Василейский А.С., Жуков С.Б., Зиман Я.Л., Полянский И.В., Бекренев О.В., Пермитина Л.И. Предварительная обработка видеоданных КМСС с КА «Метеор-М» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5. Т. 1. С. 260–266.
15. GIS-Lab. Географические информационные системы и дистанционное зондирование. URL: <http://gis-lab.info/> (дата обращения 13.05.2018).
16. European Space Agency. URL: <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial> (дата обращения 19.05.2018).
17. European Space Agency. URL: <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-1> (дата обращения 19.05.2018).

18. U.S. Geological Survey, Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) and TIRS (Thermal Infrared Sensor). URL: <https://lta.cr.usgs.gov/L8> (дата обращения 19.05.2018).

THE PECULIARITIES OF SATELLITE MONITORING OF VAKHSH CASCADE BY THE EXAMPLE OF NUREK RESERVOIR

I.D. Mukhamedjanov¹, E.A. Loupian^{1,2}, I.A. Uvarov²

¹ Moscow State University, Moscow

² Space Research Institute RAS, Moscow

The paper describes the procedure of data acquisition in the organization of satellite monitoring of water objects of the Vakhsh cascade on the example of Nurek reservoir. Systems of remote sensing of the optical range with spatial resolution from 10 to 250 meters are considered. According to the results of the monitoring the graph expressing the dynamics of water surface area for 2017 is represented and the systems being optimal in combination for remote sensing of water reservoirs in zones with complex mountain terrain were found. Final diagrams could be useful in finding seasonal correlation between the state of water resources in the south and in the north-west of Uzbekistan, and also between vegetation values and the growing season streamflow for a defined period.

Keywords: *Nurek reservoir, Vakhsh cascade, water reservoir, Rogun hydroelectric power station, region, water resources, satellite monitoring, spatial resolution, dam.*

Об авторах:

МУХАМЕДЖАНОВ Ильдар Давлетович – студент I курса магистратуры факультета космических исследований МГУ имени М.В. Ломоносова по направлению 01.04.02 «Прикладная математика и информатика», e-mail: ildarmsu@gmail.com

ЛУПЯН Евгений Аркадьевич – доктор технических наук, заместитель директора Института космических исследований РАН, зав. кафедры Методов и технологий ДЗЗ Факультета космических исследований МГУ имени М.В. Ломоносова, email: evgeny@smis.iki.rssi.ru

УВАРОВ Иван Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института космических исследований РАН, email: uvarov@d902.iki.rssi.ru.

УДК 551.465

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-152-167>

СРАВНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЯВЛЕНИЙ В РЕГИОНЕ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ РАЗЛИЧНЫХ РЕ-АНАЛИЗОВ*

И.В. Серых¹, А.Г. Костяной^{1,2}, Я.А. Экба³

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

²Московский Университет им. С.Ю. Витте, г. Москва, Россия

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

Выполнено сравнение климатических изменений температуры воздуха у поверхности в регионе восточной части Черного моря по данным восьми различных ре-анализов за период 1980-2010 гг. На основе этого сравнения выбран ре-анализ MERRA-2, результаты которого наиболее близки к другим исследованным источникам данных для выбранного региона. По ре-анализу MERRA-2 исследованы климатические изменения амплитуды, количества и продолжительности экстремальных температурных явлений в регионах побережий Краснодарского края и Абхазии за период 1980-2016 гг.

Ключевые слова: *Черное море, ре-анализы, изменения климата, экстремальные температурные явления.*

Глобальное потепление климата ведет к изменениям частоты, интенсивности, пространственных масштабов, продолжительности и сроках экстремальных метеорологических явлений. Общее число опасных гидрометеорологических явлений в России в конце XX – начале XXI века в среднем увеличилось. Из них 52% наблюдались на Европейской территории России. Наиболее подвержены возникновениям разных экстремальных метеорологических явлений Северо-Кавказский и Южный федеральные округа России, в частности, черноморское побережье Краснодарского края, и Республика Абхазия. Так в Южном федеральном округе в 2010 году наблюдалось 60 опасных гидрометеорологических явлений, а в 2011 – 78. Состояние прибрежных экосистем Черноморского региона вызывает серьезную тревогу, порожденную не только

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-55-40015_Абх_а «Климатические изменения интенсивности и повторяемости экстремальных гидрологических и метеорологических явлений в прибрежной зоне Краснодарского края и Абхазии»

антропогенными, но и природными причинами (экстремальными метеорологическими явлениями, опасными стихийными бедствиями и т.д.), а также частотой их повторения.

Под экстремальными метеорологическими явлениями обычно понимают статистику «экстремальных», т.е. резко выделяющихся на фоне «нормы», явлений в климатической системе. Как правило, такие явления оказывают особое (чаще – негативное) воздействие на природные системы, которые поэтому особенно чувствительны к изменениям их повторяемости и интенсивности [1-6].

В Четвертом (2007 г.) и Пятом (2014 г.) оценочных докладах по изменению климата Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC) [1–2] указывается, что в XXI веке изменение климата будет сопровождаться увеличением частоты, интенсивности и продолжительности таких экстремальных природных явлений как: экстремальные осадки или засухи и экстремально высокие или низкие температуры воздуха. Все это будет приводить к наводнениям, засухам, пожарам, обмелению рек, озер и водохранилищ, опустыниванию, пылевым бурям, таянию ледников и вечной мерзлоты, цветению морей и пресноводных водоемов. В свою очередь эти явления будут приводить к химическому и биологическому загрязнению вод, земель и воздуха. Конечным результатом этих событий являются ухудшение качества жизни населения, значительные финансовые потери, связанные с ущербом, нанесенным жилому фонду, предприятиям, дорогам, сельскому и лесному хозяйству, туризму, а во многих случаях они заканчиваются людскими потерями.

Эти же прогнозы подтверждаются результатами исследований, представленных в Первом (2008 г.) и Втором (2014 г.) [4–5] оценочных докладах Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Прогнозы ученых неоднократно подтверждались за последние 15 лет – это наводнения, засухи и пожары в различных регионах РФ, включая Краснодарский край, а также в Республике Абхазия, где в 2016 г. впервые выпала двукратная годовая норма осадков. В связи с этим анализ и прогнозирование экстремальных климатических событий, связанных с региональным изменением климата на территории и акватории Краснодарского края и Абхазии, представляет собой чрезвычайно важную задачу, учитывая какое важное значение для этих регионов играет сельское хозяйство и туризм.

Современное состояние исследований по данной проблеме обобщено в Пятом оценочном докладе IPCC [2] по изменению климата и во Втором оценочном докладе Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [5], которые были опубликованы в 2014 г. Кроме основных оценочных докладов IPCC выпускает и специализированные отчеты по экстремальным явлениям или проблемам (недостатку водных ресурсов и др.). Аналогичные Ежегодные

доклады о состоянии климата на территории Российской Федерации выпускаются Росгидрометом.

Недостатком проводимых исследований является осреднение исследуемых параметров и обобщение полученных выводов для очень больших территорий и акваторий, сравнимых с размерами отдельных стран или морей. В данной работе сделана детализация изменчивости характеристик экстремальных температурных событий с пространственным масштабом порядка одного градуса на акватории восточной части Черного моря и побережье Краснодарского края и Республики Абхазия.

Для морской акватории Абхазии не хватает данных контактных методов измерений для статистического описания основных параметров состояния морской воды и выделения экстремальных гидрологических и/или метеорологических явлений. Это справедливо и для горных или предгорных районов, где инструментальных измерений метеорологических параметров явно не хватает. Например, в работе [7] по данным наблюдений 50 метеорологических станций Грузии за 1936–2011 гг. исследованы некоторые температурные индексы для оценки изменения климата – экстремальные значения температуры, число морозных, холодных и жарких дней, тропических ночей и индексы, основанные на процентилях распределения. Построены геоинформационные карты пространственной структуры и исследована динамика этих индексов за период глобального потепления. Определены средние значения индексов за разные периоды осреднения. Однако такая смелая экстраполяция данных на горные районы приводит к существенным ошибкам в оценках климатической изменчивости экстремальных метеорологических явлений [8]. Поэтому для исследования климатической изменчивости экстремальных метеорологических явлений вместе с данными метеонаблюдений необходимо использовать результаты ре-анализов.

Целью данной работы является определение ре-анализа, наиболее адекватно воспроизводящего климатические изменения температуры восточной части Черного моря, и оценка по нему изменений характеристик экстремальных температурных явлений, наблюдавшихся в этом регионе.

Использованные данные и методика их обработки

В данной работе исследованы данные температуры воздуха у поверхности (ТВП) из восьми ре-анализов:

- 1) NOAA CIRES 20th Century Global Reanalysis Version 2c (20thC Rean V2c) на сетке $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ за период 1980-2011 гг. [9],
- 2) ECMWF ERA-20C на сетке $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ за период 1980-2010 гг. [10],
- 3) JMA JRA-55 на сетке $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ за период 1980-2013 гг. [11],
- 4) NCEP/NCAR Reanalysis на сетке $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ за период 1980–2014 гг. [12],

5) NCEP-DOE на глобальной сетке T62 Gaussian (192x94) за период 1980-2013 гг. [13],

6) NASA MERRA-2 на сетке 0.5°ш x 0.625°д за период 1980–2016 гг. [14],

7) ERA-Interim на сетке 0.75°x0.75° за период 1980-2016 гг. [15],

8) NCEP-CFSR на сетке 0.5°x0.5° за период 1980–2016 гг. [16].

Рассчитывались средние значения для 3-х регионов: восточная часть Черного моря (42°–45° с.ш.; 37°–42° в.д.), Абхазия (42°–43.5° с.ш.; 40°–42° в.д.) и побережье Краснодарского края (43.5°–45° с.ш.; 37°–40° в.д.). Регион восточной части Черного моря включает в себя регионы Абхазии и побережья Краснодарского края, которые исследовались отдельно для более детального анализа особенностей региональных изменений климата и характеристик экстремальных температурных явлений.

Все результаты подсчитывались отдельно для каждого из 3-х выбранных регионов и для каждого из восьми исследуемых ре-анализов. После чего производилось сравнение полученных результатов между собой с целью выбора ре-анализа, наиболее близко воспроизводящего остальные источники данных. Изучались различия в изменениях ТВП побережий Краснодарского края и Абхазии.

По среднемесячным данным методом наименьших квадратов рассчитывались линейные тренды изменения средней ТВП в выбранных регионах за исследуемый период. Затем из начальных данных в каждом узле сетки был удален сезонный сигнал путем вычитания среднего годового хода за рассматриваемый период. После чего производилось осреднение аномалий исследуемых параметров для выбранных регионов. По рядам средних аномалий ТВП исследуемых регионов рассчитывались линейные тренды. Производились однолетнее и восьмилетнее скользящие осреднения исследуемых рядов. Рассчитывались накопленные суммы рядов аномалий после удаления линейного тренда. Рассчитывались средние значения аномалий отдельно для каждого теплого (май-октябрь) и холодного (ноябрь-апрель) полугодия всего исследуемого периода.

Сравнение ре-анализов

Результаты расчета линейных трендов по рядам аномалий за единый для исследуемых ре-анализов период 1980–2010 гг. были сведены в Таблицу 1. Все ре-анализы показывают сильный рост ТВП в рассматриваемых регионах за период 1980–2010 гг.: в среднем на 0.50 °C / 10 лет в восточной части Черного моря, на 0.38 °C / 10 лет в Абхазии и на 0,57 °C / 10 лет в Краснодарском крае. ТВП в регионе побережий восточной части Черного моря за период 1980–2010 гг. меньше всего увеличилась по данным 20thC_ReanV2c (на 1,2 °C) и сильнее всего по

данным ERA-20C (на 2,1 °C). Рост ТВП за период 1980-2010 гг. в регионе Абхазии показывает более сильный разброс (от 0,4 °C по данным NCEP-DOE до 2,0 °C по данным ERA-20C), чем в регионе побережья Краснодарского края (от 1,4 °C по данным 20thC_ReanV2c до 2.3 °C по данным ERA-20C).

Т а б л и ц а 1

Средние значения роста ТВП (°C / 10 лет) в исследуемых регионах (рассчитанные по линейным трендам) для различных ре-анализов за 1980–2010 гг., и их средние значения.

	20thC Rean V2c	ERA -20C	JRA- 55	NCEP / NCA R	NCEP -DOE	MERRA - 2	ERA- Interi m	NCEP - CFSR	Средн ее
Восточная часть Черного моря	0,39	0,69	0,44	0,59	0,45	0,50	0,53	0,45	0,50
Абхазия	0,32	0,64	0,38	0,43	0,12	0,39	0,47	0,30	0,38
Краснодар ский край	0,47	0,76	0,48	0,68	0,55	0,56	0,59	0,51	0,57

Линейные тренды за 1980–2010 гг. можно отнести к междекадным колебаниям (половина квази-60-летнего периода). И полученные результаты показали, что на этом временном масштабе ре-анализ MERRA-2 ближе всего воспроизводит средние значения по всем рассмотренным ре-анализам.

Для сравнения изменчивости ТВП рассчитаны кросс-корреляции изменений среднемесячных аномалий (относительно сезонного хода) в выбранных регионах между различными ре-анализами. Для сравнения внутри-сезонных колебаний исследованы кросс-корреляции аномалий без фильтрации (табл. 2). А для сравнения межгодовых колебаний рассчитаны кросс-корреляции аномалий с фильтрацией годовым скользящим сглаживанием (Табл. 3).

В целом значения кросс-корреляций изменений аномалий ТВП для региона восточной части Черного моря между различными ре-анализами оказались довольно высокими (>0.8) – на статистически-значимом уровне. Значения кросс-корреляций внутри-сезонных изменений оказались выше, чем межгодовых, что свидетельствует о большем соответствии ре-анализов друг-другу в воспроизведении короткопериодной изменчивости, чем межгодовой. Значения кросс-корреляций для региона Краснодарского края оказались выше, чем для региона Абхазии (таблицы не приводятся), что может быть объяснено влиянием горного рельефа, преобладающего в Абхазском регионе.

Т а б л и ц а 2

Матрица кросс-корреляций изменений (без фильтрации) средних аномалий ТВП между различными ре-анализами в регионе восточной части Черного моря за 1980-2010 гг.

	20thC Rean V2c	ERA-20C	JRA-55	NCEP-NCAR	NCEP-DOE	MERRA-2	ERA-Interim	NCEP-CFSR
20thC_Rean V2c	1	0,89	0,88	0,89	0,89	0,91	0,91	0,92
ERA-20C	0,89	1	0,95	0,95	0,94	0,97	0,97	0,96
JRA-55	0,88	0,95	1	0,95	0,95	0,97	0,98	0,97
NCEP-NCAR	0,89	0,95	0,95	1	0,96	0,96	0,95	0,96
NCEP-DOE	0,89	0,94	0,95	0,96	1	0,95	0,95	0,95
MERRA-2	0,91	0,97	0,97	0,96	0,95	1	0,98	0,99
ERA-Interim	0,91	0,97	0,98	0,95	0,95	0,98	1	0,98
NCEP-CFSR	0,92	0,96	0,97	0,96	0,95	0,99	0,98	1

Т а б л и ц а 3

Матрица кросс-корреляций изменений (с фильтрацией годовым скользящим сглаживанием) средних аномалий ТВП между различными ре-анализами в регионе восточной части Черного моря за 1980-2010 гг.

	20thC Rean V2c	ERA-20C	JRA-55	NCEP-NCAR	NCEP-DOE	MERRA-2	ERA-Interim	NCEP-CFSR
20thC_Rean V2c	1	0,80	0,84	0,84	0,85	0,87	0,83	0,87
ERA-20C	0,80	1	0,94	0,95	0,89	0,96	0,98	0,96
JRA-55	0,84	0,94	1	0,93	0,90	0,97	0,97	0,97
NCEP-NCAR	0,84	0,95	0,93	1	0,94	0,96	0,93	0,96
NCEP-DOE	0,85	0,89	0,90	0,94	1	0,91	0,88	0,92
MERRA-2	0,87	0,96	0,97	0,96	0,91	1	0,96	0,99
ERA-Interim	0,83	0,98	0,97	0,93	0,88	0,96	1	0,97
NCEP-CFSR	0,87	0,96	0,97	0,96	0,92	0,99	0,97	1

Анализ кросс-корреляций внутри-сезонных и межгодовых колебаний показал, что на этих временных масштабах ре-анализ MERRA-2 ближе всего воспроизводит изменчивость ТВП в рассмотренном регионе рассчитанную по другим анализируемым источникам данных. Таким образом, для анализа климатических

изменений экстремальных температурных событий был выбран ре-анализ MERRA-2.

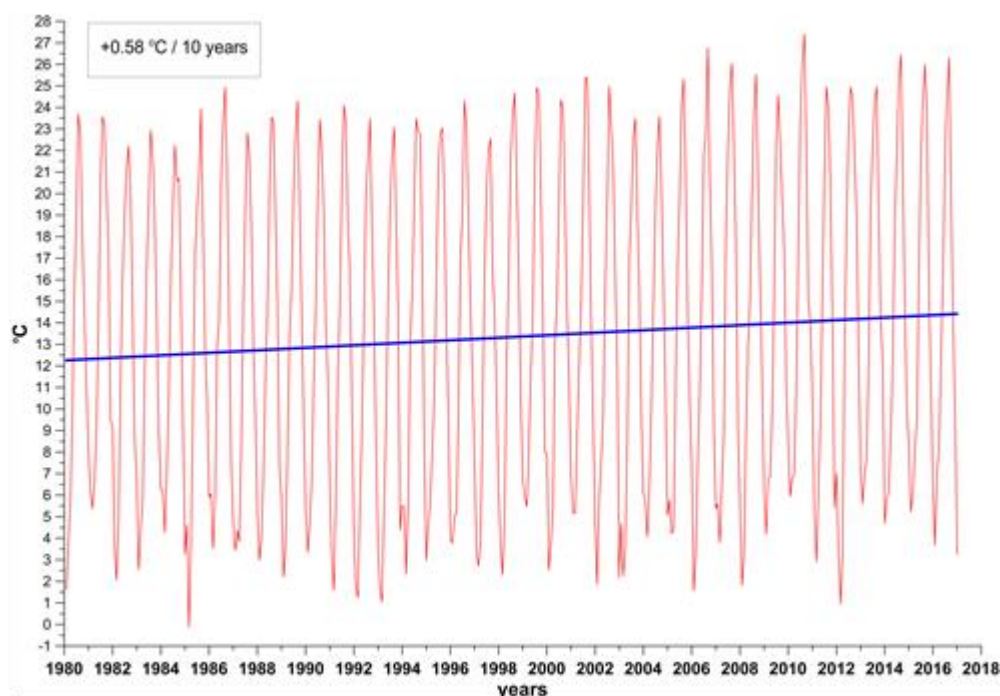
По среднесуточным аномалиям (относительно сезонного хода) ТВП, рассчитанным по данным MERRA-2, для каждого года было рассчитано количество экстремальных температурных событий, превосходящих по модулю своими аномалиями одно и два среднеквадратических отклонения исследуемого ряда за 1980–2016 гг., а также изменения средней амплитуды и продолжительности этих экстремальных событий. Методом наименьших квадратов для положительных и отрицательных экстремальных событий рассчитаны линейные тренды, аппроксимирующие изменения их количества, средней амплитуды и продолжительности.

Климатическая изменчивость

Изменения среднемесячных значений ТВП в регионе восточной части Черного моря за период 1980-2016 гг., рассчитанные по данным MERRA-2, (рис. 1) демонстрируют средний рост порядка 0,5 °C за 10 лет, при аппроксимации их линейным трендом, что скорее всего вызвано глобальным потеплением климата. В силу непродолжительной длины исследуемого ряда, если допустить происходящие из-за влияния глобального потепления за рассматриваемый период изменения линейными, то средняя ТВП в регионе с 1980 по 2016 гг. выросла приблизительно на 1,8 °C: с 12,4 до 14,2 °C, что составляет около 8% от наблюдаемых ежегодных сезонных колебаний, которые приблизительно равняются 22 °C: от 2–4 °C зимой до 23–25 °C летом.

На фоне положительного линейного тренда изменений среднемесячных значений ТВП в регионе восточной части Черного моря наблюдаются мультидекадные колебания аномалий ТВП за рассматриваемый период (рис. 2). Так в период 1980–1984 гг. наблюдались положительные аномалии относительно линейного тренда, при общем понижении ТВП в регионе, что привело к смене положительных аномалий на период нейтральных 1985–1991, а затем и отрицательных 1992–1997 гг. Период 1998–2001 гг. характеризуется ростом ТВП темпами линейного тренда с последующим периодом отрицательных аномалий 2002–2007 гг. Начиная с 2008 года аномалии становятся положительными и наблюдается ускорение роста ТВП в регионе. Изменения, произошедшие в 1998 году, могут быть объяснены переходом между фазами Тихоокеанской десятилетней осцилляции (PDO), которые привели к глобальному климатическому сдвигу [17–21]. По-видимому, вследствие этого произошла смена фазы Северо-Атлантического колебания (NAO), что привело к изменениям количества циклонов и приповерхностной температуры в Северной Атлантике, а

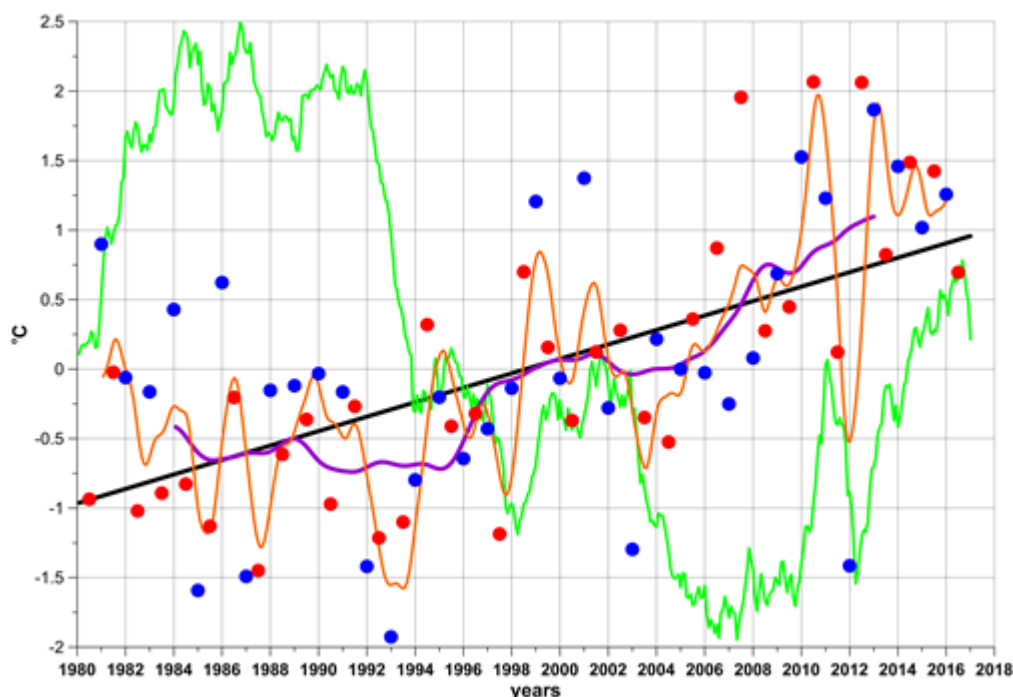
также выноса тепла из этого региона на Евро-Азиатский континент, включая регион Черного моря [22].



Р и с. 1: Изменения среднемесячных значений ТВП (красный) и их линейный тренд (синий) в регионе восточной части Черного моря (42°–45° с.ш.; 37°–42° в.д.), рассчитанные по данным MERRA-2.

На фоне мультideкадных колебаний в регионе происходили более мощные межгодовые колебания (с периодами от 2 до 7 лет), которые демонстрировали периоды усиление (1992–1998, 2010–2014) и ослабления (2002–2008) амплитуды. Это может быть вызвано тем, что в начале 2000-х произошла смена климатических сценариев в системе океан-атмосфера Северной Атлантики [23]. Увеличение амплитуды межгодовых колебаний и остановка роста ТВП, произошедшие в первой половине 1990-х годов, могут быть связаны с произошедшим в 1991 году извержением вулкана Пинатубо. После этого события, примерно с 1992/1993 года, стали наблюдаться сокращение потоков скрытого и явного тепла из океана в атмосферу и увеличение теплосодержания Северной Атлантики [24, 25], что вызвало перестроение атмосферной циркуляции в регионе и изменение направления движения циклонов [26]. Окончанием этого периода могло послужить оседание вулканического пепла из атмосферы и сильнейшее событие Эль-Ниньо 1997/1998 гг. После Эль-Ниньо 2002 года сильных событий не наблюдалось до 2009–2010 гг. В 2010 году произошло сильнейшее событие Ла-Нинья, которое

могло вызвать усиление межгодовой климатической изменчивости в регионе. Так в период 2010–2014 гг. наблюдается наиболее мощное усиление межгодовых колебаний ТВП в регионе восточной части Черного моря. Физическим механизмом, определяющим дальние связи между тропиками Тихого океана и восточной частью Черного моря, могло явиться, как Глобальная атмосферная осцилляция [27, 28], так и воздействие на климатическую систему таких внешних сил, как полюсный прилив, вызванный чандлеровским колебанием полюсов Земли [29, 30].



Р и с. 2: Изменения среднемесячных аномалий ТВП (относительно сезонного хода) сглаженных однолетним (оранжевый) и восьмилетним (фиолетовый) скользящими осреднениями в регионе восточной части Черного моря (42° – 45° с.ш.; 37° – 42° в.д.). Показаны их линейный тренд (черный) и накопленная сумма аномалий после удаления линейного тренда (зеленый). Отмечены средние значения аномалий для теплого (красные круги) и холодного (синие круги) полугодий. Использованы данные ре-анализа MERRA-2.

Межгодовая изменчивость аномалий ТВП в холодное полугодие превосходит изменчивость в теплое. Это может быть вызвано тем, что зимой Северная Атлантика оказывает большее влияние на регион, чем летом. Холодное полугодие с наиболее сильными отрицательными аномалиями ТВП наблюдалось в 1992/1993 г., а с наиболее

положительными в 2012/2013. Теплые полугодия с наиболее сильными положительными аномалиями наблюдались в 2007, 2010 и 2012 годах, а с отрицательными в 1987 г.

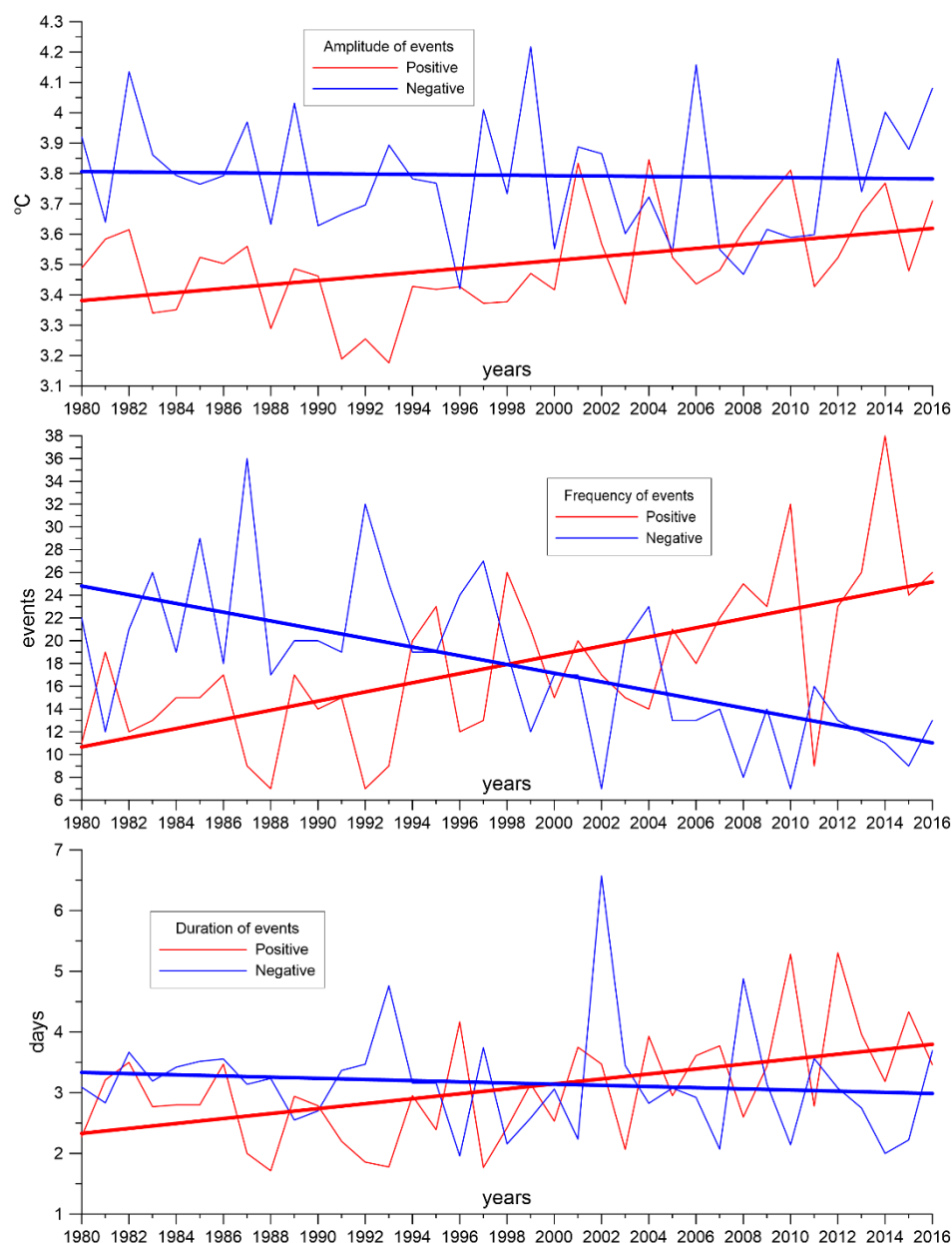
Изменчивость экстремальных явлений

В регионе восточного побережья Черного моря за период 1980-2016 гг. произошло увеличение амплитуды температурных экстремальных явлений с положительными аномалиями (Рис. 3 и 4): с 3,4°C до 3,6 °C для явлений превышающих 1 стандартное отклонение, и с 5 °C до 5,5 °C для явлений превышающих 2 стандартных отклонения. При этом амплитуда экстремальных явлений с отрицательными аномалиями оставалась практически неизменной – на уровне 3,8 °C и 6°C, соответственно.

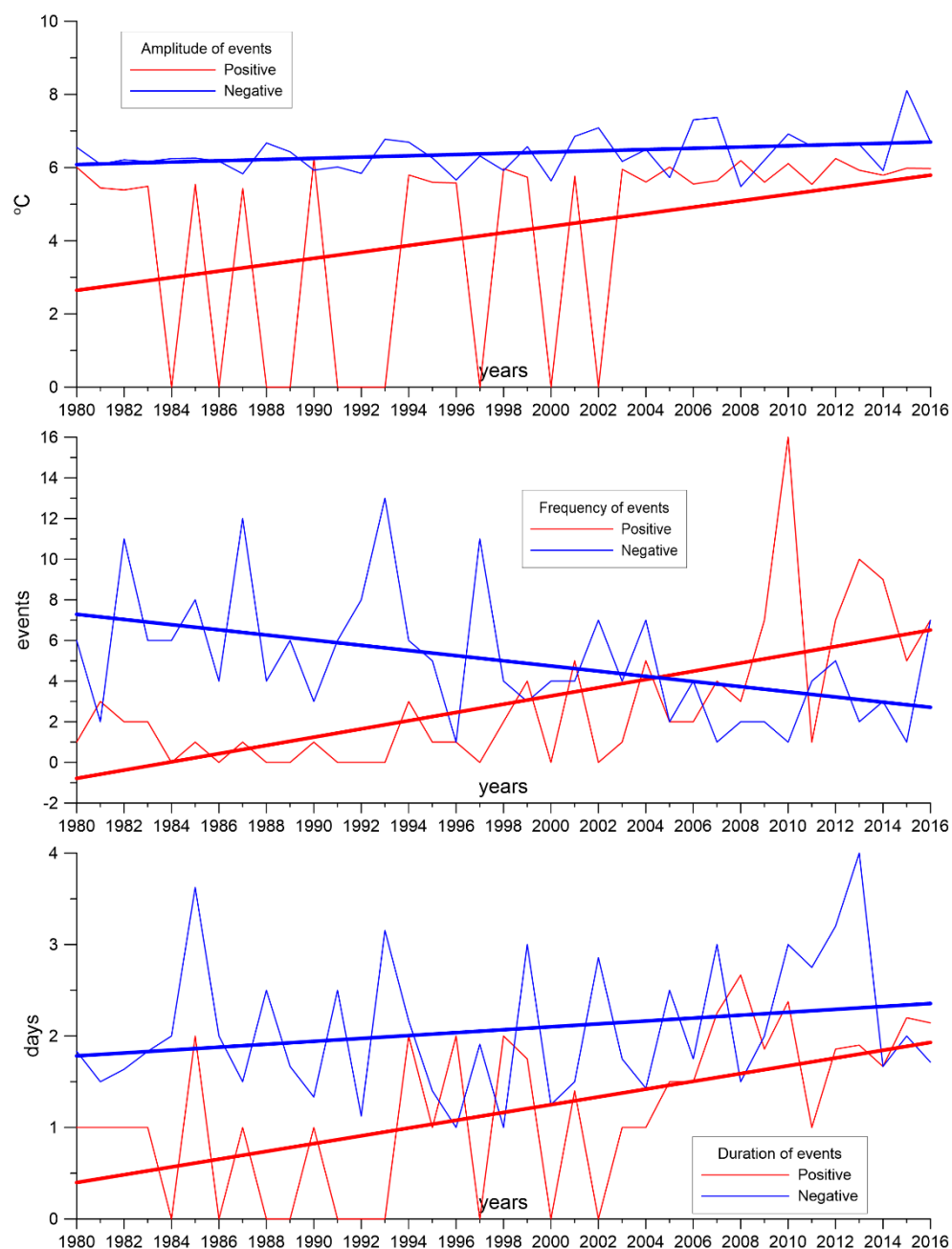
Количество экстремальных явлений с положительными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, увеличилось за рассматриваемый период с 8–14 до 20–30 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения с 1-2 до 7–8 событий в год. При этом число экстремальных событий с отрицательными аномалиями превышающих 1 стандартное отклонение снизилось с 20–30 до 8–14 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения с 6-8 до 2–4 событий в год (рис. 3 и 4).

Средняя продолжительность экстремальных явлений с положительными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, увеличилось за рассматриваемый период с 2,5 до 3,5 дней, с отрицательными аномалиями сократилась с 3,3 до 2,7 дня. Продолжительность экстремальных явлений с аномалиями, превышающими 2 стандартных отклонения, увеличилась с 1 до 2 дней для событий положительного знака, и с 1,8 до 2,2 дня для отрицательных аномалий (рис. 3 и 4).

2010 и 2014 годы явились рекордсменами по количеству экстремальных явлений с положительными аномалиями ТВП, а 1987 и 1992 с отрицательными. Это свидетельствует об учащении экстремально жарких температурных событий в начале XXI века, что подтверждается результатами, полученными в [31].



Р и с. 3: 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 ТВП в регионе восточной части Черного моря (42° – 45° с.ш.; 37° – 42° в.д.), превосходящими 1 стандартное отклонение, и их линейные тренды. Использованы данные ре-анализа MERRA-2.



Р и с. 4: 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 ТВП в регионе восточной части Черного моря (42° – 45° с.ш.; 37° – 42° в.д.), превосходящими 2 стандартных отклонения, и их линейные тренды. Использованы данные ре-анализа MERRA-2.

Заключение

Анализ данных ТВП различных ре-анализов показал их высокое соответствие друг другу для региона восточного побережья Черного моря. Климатические изменения средней ТВП в данном регионе на протяжении 1980–2016 гг. демонстрируют рост порядка 0,5 °C за 10 лет, который ускорился в начале 2010-х. На фоне ускоряющегося роста ТВП наблюдается усиление межгодовой изменчивости. Рост ТВП и её межгодовой изменчивости сопровождается увеличением амплитуды, количества и продолжительности экстремальных температурных явлений с аномалиями положительного знака.

Список литературы

1. Climate Change. The Physical Science Basis. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press. 2007.
2. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects. – Cambridge University Press, 2014.
3. Школьник И.М., Мелешко В.П., Ефимов С.В., Стафеева Е.Н. Изменения экстремальности климата на территории Сибири к середине XXI века: ансамблевый прогноз по региональной модели ГГО // Метеорология и гидрология. 2012. № 2. С. 5-23.
4. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменения климата. – М.: Росгидромет, 2008. – 227 с.
5. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. – 1008 с.
6. Karl T. R., Nicholls N., Ghazi A. Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes workshop summary // Weather and Climate Extremes. Springer Netherlands, 1999. P. 3–7.
7. Элизбарашвили Э.Ш., Элизбарашвили М.Э., Куталадзе Н.Б., Кеггенхофф И., Киквадзе Б.М., Гогия Н.М. География и динамика некоторых температурных индексов для оценки изменения климата // Метеорология и гидрология. 2015. № 1. С. 58–66.
8. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 50–66.
9. Compo, G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D. et al. The Twentieth Century Reanalysis Project. – Quarterly J. Roy. Meteorol. Soc., 2011, Vol. 137, P. 1–28.
10. Stickler A., Brönnimann S., Valente M.A. et al. ERA-CLIM: Historical Surface and Upper-Air Data for Future Reanalyses. – Bull. Amer. Meteor. Soc., 2014, Vol. 95, N 9, P. 1419–1430.

11. Kobayashi S., Ota Y., Harada Y. et al. The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. – J. Met. Soc. Jap., 2015, Vol. 93, N 1, P. 5–48.
12. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al. The NCEP / NCAR 40-year reanalysis project. – Bull. Amer. Meteor. Soc., 1996, Vol. 77, P. 437–471.
13. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2): M. Kanamitsu, W. Ebisuzaki, J. Woollen, S-K Yang, J.J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter. 1631-1643, Nov 2002, Bulletin of the American Meteorological Society
14. Gelaro et al. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). 2017. Journal of Climate. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0758.1
15. Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, I., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. and Vitart, F. (2011), The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. Q.J.R. Meteorol. Soc., 137: 553–597. doi:10.1002/qj.828
16. Saha S. et. al. 2014: The NCEP Climate Forecast System Version 2. J. Climate, 27, 2185-2208 (DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00823.1).
17. Folland C.K.; J.A. Renwick; M.J. Salinger; A.B. Mullan (2002). Relative influences of the Interdecadal Pacific Oscillation and ENSO in the South Pacific Convergence Zone. - Geophysical Research Letters. 29 (13): 21–1–21–4.
18. Mantua, N.J., Hare, S.R. The Pacific Decadal Oscillation. Journal of Oceanography. 2002. Vol. 58, Issue 1, P. 35–44.
19. Chavez, Francisco P; John Ryan, Salvador E. Lluch-Cota, Miguel Niquen C. (2003). From Anchovies to Sardines and Back: Multidecadal Change in the Pacific Ocean. - Science. 299(5604): 217–221.
20. Bond, N.A.; J.E. Overland; M. Spillane; P. Stabeno (2003). Recent shifts in the state of the North Pacific. - Geophys. Res. Lett. 30 (23).
21. Ding H., Greatbatch R.J., Latif M., Park W., Gerdes R. Hindcast of the 1976/77 and 1998/99 Climate Shifts in the Pacific. – J. Climate. 2013. 26. P. 7650–7661.
22. Jung, T., M. Hilmer, E. Ruprecht, S. Kleppek, S.K. Gulev, and O. Zolina. 2003. Characteristics of the recent eastward shift of interannual NAO variability. - J. Climate, 16, 3371–3382.
23. Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Yu.A., Serykh I.V. On the spatial nonuniformity of some parameters of global variations in the recent climate. Doklady Earth Sciences, 2009, Vol. 426, No. 1, pp 705–709.

24. Liu W., Xie SP, Lu J. Tracking ocean heat uptake during the surface warming hiatus. - Nat. Commun. 2016. 7:10926.
25. Byshev V.I., Neiman V.G., Anisimov M.V., Gusev A.V., Serykh I.V., Sidorova A.N., Figurkin A.L., Anisimov I.M. Multi-decadal oscillations of the ocean active upper-layer heat content // Pure and Applied Geophysics. 2017. Vol. 174. No. 7. P. 2863–2878.
26. Voskresenskaya E.N. and Maslova V.N. Winter-spring cyclonic variability in the Mediterranean-Black Sea region associated with global processes in the ocean-atmosphere system. - Adv. Sci. Res., 2011, N6, P. 237–243.
27. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. О влиянии событий Эль-Ниньо на климатические характеристики Индоокеанского региона // Океанология. 2012. Т. 52. № 2. С. 165–175.
28. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В., Сонечкин Д.М. О статистической значимости и климатической роли Глобальной атмосферной осцилляции // Океанология. 2016. Т. 56. № 2. С. 179–185.
29. Серых И.В., Сонечкин Д.М. О влиянии полюсного прилива на Эль-Ниньо // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 44–52.
30. Серых И.В., Сонечкин Д.М. О проявлениях движений полюсов Земли в ритмах Эль-Ниньо – Южного колебания // Доклады Академии наук. 2017. Т. 472. № 6. С. 716–719.
31. Kostianoy A.G., Serykh I.V., Ekba Y.A., Kravchenko P.N. Climate variability of extreme air temperature events in the Eastern Black Sea. Ecologica Montenegrina. 2017. Vol. 14. pp. 21–29.

COMPARISON OF CLIMATE CHANGES OF EXTREME TEMPERATURE EVENTS IN THE REGION OF THE EASTERN COAST OF THE BLACK SEA BY DATA OF DIFFERENT RE-ANALYSIS

I.V. Serykh¹, A.G. Kostianoy^{1,2}, Ya.A.Ekba³

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

² S.Yu.Witte Moscow University, Moscow, Russia

³ Institute of Ecology, Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum, Republic of Abkhazia

Comparison of climatic changes in air temperature at the surface in the eastern part of the Black Sea according to eight different re-analyzes for the period 1980-2010 was presented. Based on this comparison, the MERRA-2 re-analysis was chosen, the results of which are closest to other investigated data sources for the selected region. According to the MERRA-2 re-analysis, climatic changes in the amplitude, quantity and duration of extreme temperature

phenomena in the regions of the coasts of the Krasnodar Territory and Abkhazia for the period 1980-2016 were investigated.

Keywords: *Black Sea, re-analyzes, climate changes, extreme temperature events.*

Об авторах:

СЕРЫХ Илья Викторович – кандидат физико-математических наук (2009) в области теории колебаний климата, изменчивости гидрофизического режима Мирового океана, применения нелинейной динамики в исследовании климатических изменений. E-mail: iserykh@ocean.ru

КОСТЯНОЙ Андрей Геннадьевич – д.ф.-м.н., главный научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, профессор Льежского Университета, почетный профессор Тверского государственного университета. E-mail: Kostianoy@gmail.com.

ЭКБА Январби Алиевич – Академик Академии наук Абхазии, академик МАНЭБ, лауреат государственной премии РА по науке, заслуженный деятель науки РА. профессор, д.ф.-м.н., заместитель директора Института экологии Академии наук Абхазии, заведующий кафедрой прикладной экологии Абхазского государственного университета. E-mail: ekba-yan@yandex.ru.

УДК 519.633+551.501

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-168-179>

СОВМЕСТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ АССИМИЛЯЦИИ ДАННЫХ НА «ЖИДКОЙ» ГРАНИЦЕ И РАЗДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ АКВАТОРИИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ*

Т.О. Шелопут¹, Н.Р. Лёзина¹

¹Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва

В данной работе рассматривается задача математического моделирования акваторий с «жидкими» границами. Используется математическая модель гидротермодинамики Балтийского моря, разработанная в Институте вычислительной математики РАН. Для восстановления неизвестных функций в граничных условиях используется метод вариационной ассимиляции данных. Для упрощения численного решения задачи ассимиляции используется метод разделения области, основанный на методах оптимального управления. Методы вариационной ассимиляции данных и разделения области рассмотрены на примере задачи о распространении тепла. В работе также представлены результаты численных экспериментов.

Ключевые слова: численные методы, вариационная ассимиляция данных, «жидкие» границы, метод разделения области, моделирование морских акваторий.

Введение

В настоящее время для исследования явлений и процессов, протекающих в морских акваториях, часто применяется подход, основанный на математическом моделировании. Так, например, для моделирования перемещения нефтяного пятна по поверхности моря требуются данные о гидрофизических полях (температуре, солёности, полях течений, уровне и т. д.). Существуют и другие актуальные задачи геоэкологии, в которых необходимо задание тех или иных гидрофизических параметров. Для восстановления гидрофизических полей используются математические модели соответствующих морских акваторий. В настоящее время не существует общепринятой модели, которая могла бы адекватно воспроизводить процессы, происходящие в любом реальном водоеме. Поэтому для каждого моря разрабатываются региональные модели, учитывающих их особенности. Выбор граничных

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 18-31-00096 мол_а

условий на «жидких» (открытых) границах – это проблема, с которой неизбежно сталкиваются разработчики этих моделей (в данной работе под «жидкой» границей будем подразумевать границу «вода-вода» в акватории моря). При неудачном задании граничных условий или их аппроксимации поля гидрофизических параметров, получаемые в результате расчета, могут искажаться, или в результате моделирования могут возникать осцилляции, которые в природе не наблюдаются.

Существуют различные приближения, которые можно применить для задания граничных условий на «жидких» границах. Иногда используется приближение «материальной» границы – «жидкая» граница считается подвижной, и на ней задается условие непротекания. От проблемы постановки граничных условий на «жидкой» границе можно избавиться, проведя расчет по всей акватории Мирового океана – на грубой сетке вне рассматриваемой акватории, на более мелкой – внутри: при этом существенно возрастает размерность задачи, однако отсутствуют «жидкие» границы. Иногда результаты расчетов по всей акватории Мирового океана на грубой сетке используются в качестве граничных условий на «жидкой» границе. Развитием данных идей является метод вложенных сеток – с обратной связью, с неполной обратной связью и без обратной связи [4]. В некоторых региональных моделях (в частности, в модели ROMS) используются адаптивные граничные условия [12]. Еще одним распространенным приемом является использование осредненных данных о потоках через «жидкую» границу [7] или задание потоков с помощью данных наблюдений. Например, для задания баротропного потока через «жидкую границу» можно воспользоваться данными спутниковой альтиметрии [6]. Обзор современного состояния по методам ассимиляции данных в региональных моделях приведен в работе [11].

Одним из возможных подходов к выбору граничных условий является использование ассимиляции данных наблюдений. Тем не менее, существует мало работ, касающихся использования вариационной ассимиляции данных для моделей ограниченных акваторий. Это связано с тем, что применение метода общеизвестной четырехмерной вариационной ассимиляции данных напрямую к нелинейным моделям гидротермодинамики является затратной в вычислительном отношении задачей. Для существенного упрощения задачи могут использоваться такие методы, как метод расщепления (для дискретизации модели по временной переменной) и метод разделения области. Вводя разделение области на подобласти путем задания «внутренней жидкой» границы, можно добиться некоторого упрощения процедур численного решения задач в подобластях. Применение методов разделения области позволяет сводить процесс решения задачи в исходной области к поочередному их решению в подобластях, возможно, имеющих уже более простую форму, а также применять сетки, шаги которых в этих подобластях могут

отличаться по величине. 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. Для задач гидротермодинамики морей и океанов в работе [3] был рассмотрен подход к построению алгоритмов метода разделения области, базирующийся на теории оптимального управления, теории обратных и некорректных задач, применении сопряженных уравнений.

Целью данной работы является разработка метода решения задачи о восстановлении граничных функций на «внешней жидкой» границе (под «внешней» будем подразумевать «жидкую» границу, отделяющую моделируемую акваторию от Мирового океана) на основе методов вариационной ассимиляции (DA) и методов разделения области (DD), а также его применение в задаче моделирования гидротермодинамики Балтийского моря. В данной работе авторы опираются на результаты работ [2,3,8–10]. Так, в [2] приведена система уравнений гидротермодинамики Балтийского моря и сформулирован метод расщепления как метод аппроксимации модели по времени. Для полученной полудискретной модели поставлен класс задач о восстановлении граничных функций. В работах [8–10] приведено исследование некоторых из этих задач. В работе [3] 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 блока температуры, соответствующий подзадаче о распространении тепла, и приведены результаты численных экспериментов.

Математическая модель

Пусть в моделируемой трехмерной области D – акватории моря записана система уравнений гидротермодинамики в приближении Буссинеска и гидростатики (см. [2]). Полная система уравнений вместе с граничными и начальными условиями приведена в работах [9-10]. Границу области $\Gamma = \partial D$ мы будем представлять как объединение четырех непересекающихся частей: $\Gamma_s \equiv \Omega$ – невозмущенная поверхность моря, $\Gamma_{w,op}$ – «жидкая» часть вертикальной боковой стенки (внешняя «жидкая» граница), $\Gamma_{w,c}$ – твердая часть вертикальной боковой границы, Γ_H – дно моря. Пусть область D разделена поверхностью Γ_{in} (внутренней «жидкой» границей) на две подобласти D_1, D_2 . Введем характеристические функции: m_{in} – для Γ_{in} , и $m_{w,op}$ – для $\Gamma_{w,op}$.

Для аппроксимации модели по времени используется метод расщепления по физическим процессам[5], 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 области D 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 $\vec{U}$ и уровня моря ξ .

Запишем задачу конвекции-диффузии для температуры с Шага 1 метода расщепления:

$$\begin{aligned} T_t + \vec{U} \nabla T - \nabla \hat{a}_T \nabla T &= f_T \quad \text{в } D \times (t_{j-1}, t_j), \\ U_n^{(-)} T + \frac{\partial T}{\partial N_T} + \gamma_T (T - T_a) &= m_{w,op} U_n^{(-)} d_T + Q_T \quad \text{на } \Gamma \times (t_{j-1}, t_j), \quad (1) \\ T &= T_{j-1} \quad \text{при } t = t_{j-1} \quad \text{в } D, \end{aligned}$$

где $\hat{a}_T = \text{diag}(\mu_T, \mu_T)$, $U_n^{(-)} = (|\vec{U} \cdot \vec{n}| - \vec{U} \cdot \vec{n})/2$, $\vec{n}$ – единичный вектор внешней нормали к ∂D , $\partial T / \partial N_T = \vec{n} \cdot \hat{a}_T \nabla T$, Q_T – заданная на $\Gamma \times (t_{j-1}, t_j)$ функция, $\gamma_T \equiv 0$, на $\Gamma \setminus \Gamma_S \quad \forall t \in [0, t_J]$, $d_T \equiv 0$ на $(\Gamma \setminus \Gamma_{w,op}) \times (t_{j-1}, t_j)$.

Предположим, что на какой-то части Γ_{obs} границы ∂D имеются данные наблюдений за температурой T_{obs} при $t \in (t_{j-1}, t_j)$. Тогда, рассматривая функцию d_T как дополнительную неизвестную, можно сформулировать задачу ассимиляции данных о температуре на данном шаге схемы расщепления как задачу об отыскании T и d_T , удовлетворяющих системе (1) и уравнению замыкания:

$$\chi_{obs} T = \chi_{obs} T_{obs} \quad \text{на } \Gamma \times (t_{j-1}, t_j),$$

где χ_{obs} – характеристическая функция Γ_{obs} .

Задача может быть записана на каждом из множеств $D_1 \times (t_{j-1}, t_j)$, $D_2 \times (t_{j-1}, t_j)$ с введением дополнительных условий (условий сшивки) на внутренней «жидкой» границе:

$$T_1 = T_2, \quad U_n^{(-)} T_1 + \frac{\partial T_1}{\partial N_{T,1}} = - \left(-U_n^{(-)} T_2 + \frac{\partial T_2}{\partial N_{T,2}} \right) \quad \text{на } \Gamma_{in} \times (t_{j-1}, t_j), \quad (2)$$

где $T = T_1$ в D_1 , $T = T_2$ в D_2 , $N_{T,i}$ – внешняя к Γ_{in} конормаль к ∂D_i , ($i = 1, 2$). Пусть вводится дополнительная неизвестная v («управление»), как

$$v \equiv U_n^{(-)} T_1 + \frac{\partial T_1}{\partial N_{T,1}} \quad \text{на } \Gamma_{in} \times (t_{j-1}, t_j), \quad (3)$$

подлежащая определению вместе с T_i , $i = 1, 2$, d_T . Отмечаем, что в силу условий (2) имеем:

$$-U_n^{(-)} T_2 + \frac{\partial T_2}{\partial N_{T,2}} = -v \quad \text{на } \Gamma_{in} \times (t_{j-1}, t_j). \quad (4)$$

Также, как и в работе [10], переформулируем задачу как задачу об отыскании T_i , $i = 1, 2$, d_T , v , удовлетворяющих (1), (3), (4) и минимизирующих функционал:

$$\begin{aligned} J_\alpha \equiv & \frac{\alpha_1}{2} \int_{t_0}^{t_1} \int_{\Gamma} m_{w,op} U_n^{(-)} (d_T - d_T^{(0)})^2 d\Gamma dt + \\ & + \frac{\beta_1}{2} \int_{t_0}^{t_1} \int_{\Gamma} \chi_{obs} U_n^{(-)} (T_1 - T_{obs})^2 d\Gamma dt + \frac{\alpha_2}{2} \int_{t_0}^{t_1} \int_{\Gamma} m_{in} (v - v^{(0)})^2 d\Gamma dt + \\ & + \frac{\beta_2}{2} \int_{t_0}^{t_1} \int_{\Gamma} m_{in} (T_1 - T_2)^2 d\Gamma dt, \end{aligned} \quad (5)$$

где $\alpha_1 \geq 0$, $\alpha_2 \geq 0$, $\beta_1 > 0$, $\beta_2 > 0$ – некоторые постоянные, $v^{(0)}$, $d_T^{(0)}$ – заданные функции.

Варьируя функционал по $\vec{v} = (d_T, v)^T$ и считая d_T и v независимыми друг от друга, можно получить условие оптимальности и явное выражение для градиента функционала. Задачу минимизации функционала (5) можно решать, например, методом градиентного спуска, который будет иметь вид следующего итерационного процесса ($i=1,2$):

1. Решаем задачи для T_i^k , $i = 1, 2$, с заданными d_T^k , v^k

$$\left\{ \begin{array}{l} (T_i^k)_t + \vec{U} \nabla T_i^k - \nabla \hat{a}_T \nabla T_i^k = f_T \quad \text{в } D_i \times (t_{j-1}, t_j), \\ U_n^{(-)} T_i^k + \frac{\partial T_i^k}{\partial N_T} + \gamma_T (T_i^k - T_a) = Q_T \quad \text{на } (\Gamma_S \cup \Gamma_H \cup \Gamma_{w,c}) \times (t_{j-1}, t_j), \\ T_i^k = T_{j-1} \quad \text{при } t = t_{j-1} \quad \text{в } D_i, \\ U_n^{(-)} T_1^k + \frac{\partial T_1^k}{\partial N_T} = U_n^{(-)} d_T^k + Q_T \quad \text{на } \Gamma_{w,op} \times (t_{j-1}, t_j), \\ U_n^{(-)} T_1^k + \frac{\partial T_1^k}{\partial N_{T,1}} = - \left(-U_n^{(-)} T_2^k + \frac{\partial T_2^k}{\partial N_{T,2}} \right) = \nu^k \quad \text{на } \Gamma_{in} \times (t_{j-1}, t_j); \end{array} \right.$$

2. Решаем вспомогательные («сопряженные») задачи для $(T_i^*)^k, i = 1, 2$

$$\left\{ \begin{array}{l} -((T_i^*)^k)_t - \nabla \vec{U} (T_i^*)^k - \nabla \hat{a}_T \nabla (T_i^*)^k = 0 \quad \text{в } D_i \times (t_{j-1}, t_j), \\ U_n^{(+)} (T_i^*)^k + \frac{\partial (T_i^*)^k}{\partial N_T} + \gamma_T (T_i^*)^k = 0 \quad \text{на } (\Gamma_S \cup \Gamma_H \cup \Gamma_{w,c}) \times (t_{j-1}, t_j), \\ (T_i^*)^k = 0 \quad \text{при } t = t_j \quad \text{в } D_i, \\ U_n^{(+)} (T_1^*)^k + \frac{\partial (T_1^*)^k}{\partial N_T} = \chi_{obs} U_n^{(-)} (T_1^k - T_{obs}) \quad \text{на } \Gamma_{w,op} \times (t_{j-1}, t_j), \\ U_n^{(+)} (T_1^*)^k + \frac{\partial (T_1^*)^k}{\partial N_{T,1}} = (T_1^k - T_2^k) \quad \text{на } \Gamma_{in} \times (t_0, t_1), \\ - \left(-U_n^{(+)} (T_2^*)^k + \frac{\partial (T_2^*)^k}{\partial N_{T,2}} \right) = (T_1^k - T_2^k) \quad \text{на } \Gamma_{in} \times (t_{j-1}, t_j); \end{array} \right.$$

3. Находим новые приближения к функциям d_T, ν

$$\begin{aligned} d_T^{k+1} &= d_T^k - \tau_k \left[m_{w,op} U_n^{(-)} \left(\alpha_1 (d_T^k - d_T^{(0)}) + \beta_1 T^* \right) \right] \quad \text{на } \Gamma_{w,op} \times (t_{j-1}, t_j); \\ \nu^{k+1} &= \nu^k - \tau_k \left[m_{in} \left(\alpha_2 (\nu^k - \nu^{(0)}) + \beta_2 (T_1^* - T_2^*) \right) \right] \quad \text{на } \Gamma_{in} \times (t_{j-1}, t_j). \end{aligned}$$

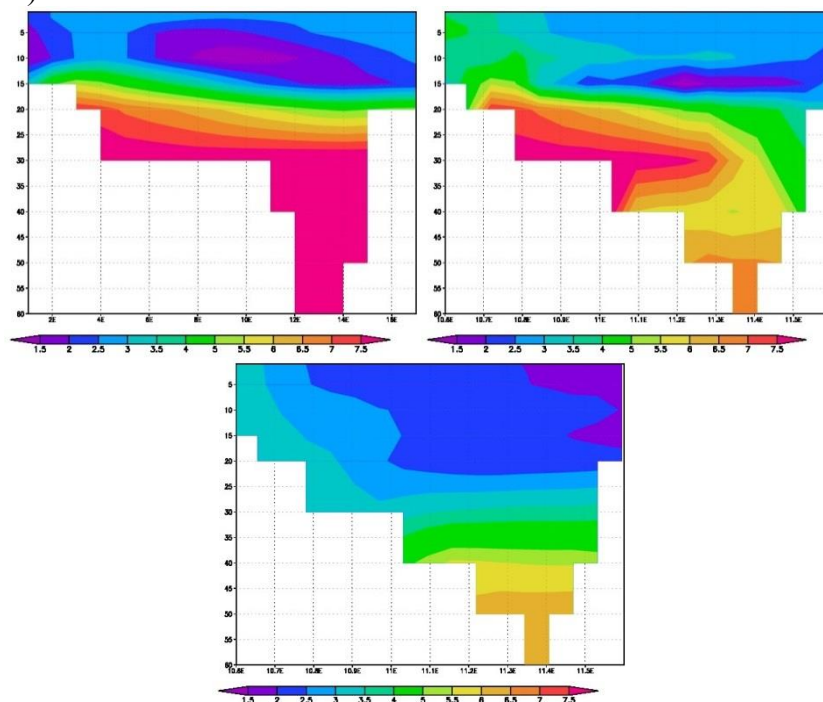
Использование приведенного итерационного алгоритма на основе метода разделения области и метода ассимиляции данных для задачи о распространении тепла позволяет решать задачи в подобластях одновременно, поскольку они являются связанными лишь на границе.

Отметим, что в данной работе рассматривается только задача о переносе тепла, однако схожий алгоритм, основанный на методах вариационной ассимиляции данных и разделения области может быть применен также и к другим подзадачам, полученным при расщеплении исходной системы уравнений.

Результаты численных экспериментов

В работе были проведены численные эксперименты для модели Балтийского моря. «Внешняя жидкая» граница располагается вблизи Датских проливов ($57^{\circ}47'49''$ с.ш.), «внутренняя жидкая» граница между Ботническим заливом и остальной частью моря ($60^{\circ}55'19''$ с.ш.). Поскольку для метода ассимиляции требуются данные о температуре на "жидкой" границе по глубине, а реальные данные наблюдений зачастую представлены лишь на поверхности моря с низким разрешением по пространству и времени, в настоящей работе в качестве данных наблюдений были использованы данные реанализа по модели Шведского института гидрологии и метеорологии (SMHI) [14–15]. Реанализ представляет собой результат расчета по модели HIROMB (High-Resolution Operational Model for the Baltic) с ассимиляцией температуры и солености методом последовательных поправок (Successive Corrections Method, SCM). Модель имеет 24 уровня по глубине, чего вполне достаточно для целей настоящей работы.

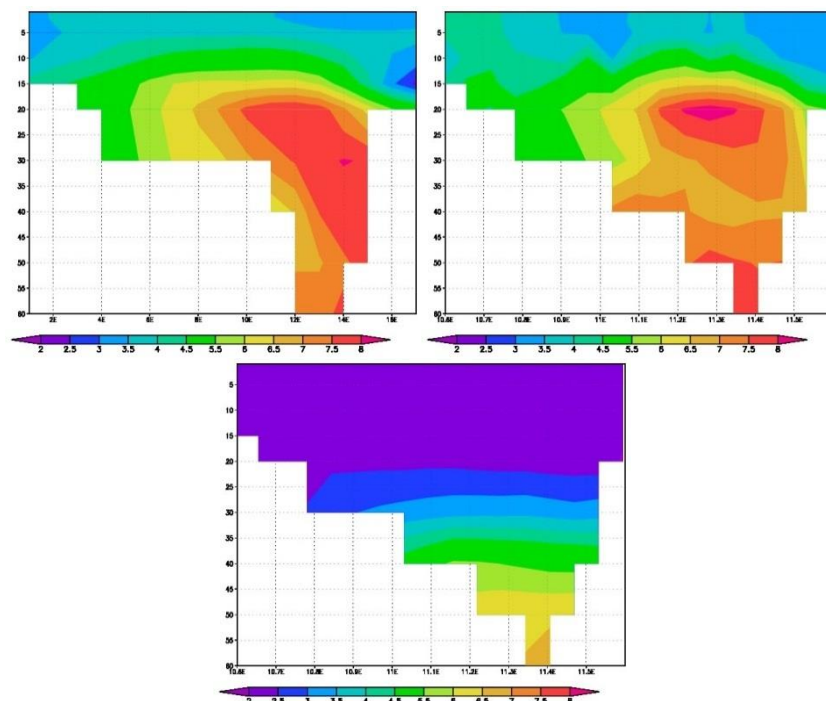
На рис. 1–3 представлены результаты моделирования температуры на «внешней жидкой» границе в разные моменты времени расчета (1, 7 и 14 дней).



Р и с. 1. Температура по глубине на «жидкой» границе при $t=1$ день:
сверху слева– данные наблюдений; сверхусправа– расчет с использованием DA и DD; снизу– расчет без методов DA и DD

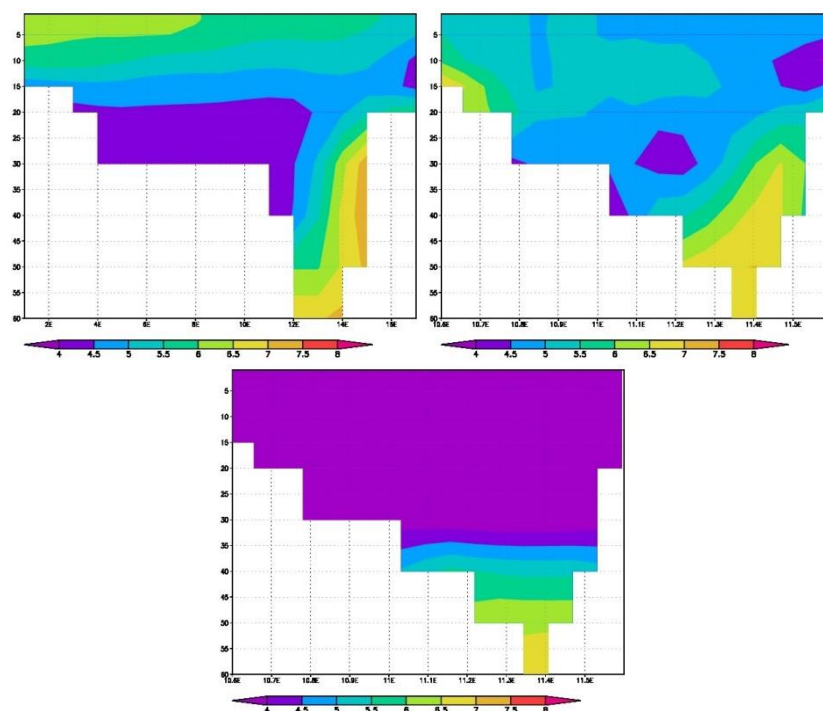
Как видно из представленных результатов, модель гидротермодинамики без применения методов разделения области и

ассимиляции данных достаточно сильно отличается от данных, которые были использованы в качестве данных наблюдений. Кроме того, можно отметить, что метод ассимиляции данных позволяет добиться хорошего соответствия вычисляемых температур по глубине и данных наблюдений.

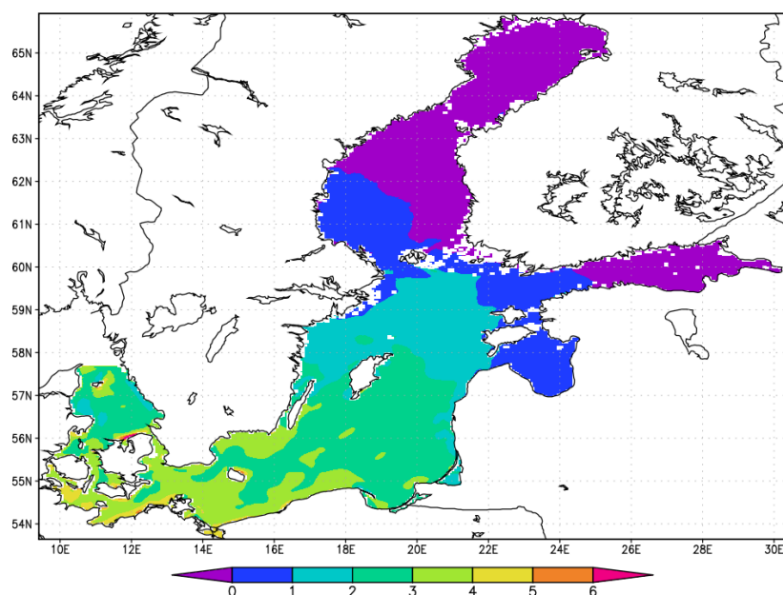


Р и с. 2. Температура по глубине на «жидкой» границе при $t=7$ дней:
сверху слева– данные наблюдений; сверху справа – расчет с
использованием DA и DD; снизу– расчет без методов DA и DD

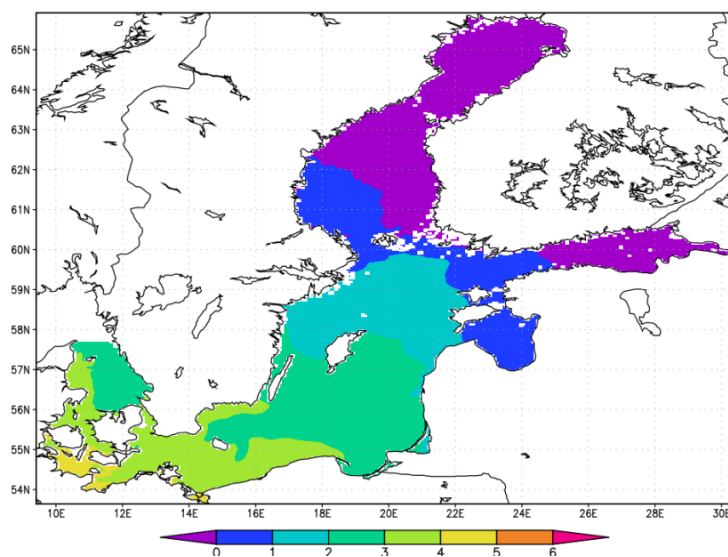
На рис. 4–5 представлены результаты моделирования температуры поверхности моря всей акватории Балтийского моря. Результаты моделирования без применения методов разделения области и ассимиляция данных практически совпадают с результатами моделирования с использованием методов DAи DDв северной части Балтийского моря, а ближе к «внешней жидкой» границе наблюдаются заметные изменения, связанные с усвоением температуры. Как было отмечено ранее данные наблюдений заметно отличаются от модельной температуры, что и влияет на результат.



Р и с. 3. Температура по глубине на «жидкой» границе при $t=14$ дней:
сверху слева– данные наблюдений; сверху справа– расчет с
использованием DA и DD; снизу– расчет без методов DA и DD



Р и с. 4. Температура поверхности моря с применением методов DA и DD



Р и с. 5. Температура поверхности моря без использования методов DA и DD

Заключение

В данной работе был предложен метод решения задачи о восстановлении граничных функций на «внешней жидкой» границе на основе методов вариационной ассимиляции и методов разделения области, а также был проведен ряд численных экспериментов применительно к акватории Балтийского моря. Эксперименты показали, что использование вариационной ассимиляции данных позволяет добиться лучшего соответствия вычисляемых профилей температуры по глубине и наблюдаемых профилей вблизи «внешних жидких» границ акватории Балтийского моря. Было проведено сравнение результатов численного решения задачи на всей области с решением с применением метода разделения области. Данные результаты показывают хорошее соответствие, что говорит о возможности совместной реализации методов ассимиляции данных на «жидкой» границе и разделения области.

Список литературы

1. Агошков В.И. 2016. Методы оптимального управления и сопряженных уравнений в задачах математической физики. М.: ИВМ РАН. 244 с.
2. Агошков В.И. 2016. Методы решения обратных задач и задач вариационной ассимиляции данных наблюдений в проблемах крупномасштабной динамики океанов и морей. М.: ИВМРАН. 192 с.

3. Агошков В.И. Методы разделения области в задачах гидротермодинамики океанов и морей. - М.: ИВМРАН, 2017. – 192 с.
4. Кубряков А.И. Применение технологии вложенных сеток при создании системы мониторинга гидрофизических полей в прибрежных районах Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». Вып. 11. 2004. С. 31–50.
5. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1989. 608 с.
6. Мысленков С.А. Использование спутниковой альтиметрии для расчета переноса вод в Северной Атлантике // Труды ГУ «Гидрометцентр России». Вып. 345. 2011. С. 119–125.
7. Чернов И.А., Толстиков А.В. 2014. Численное моделирование крупномасштабной динамики Белого моря // Труды Карельского научного центра РАН. Т. 4. С. 137–142.
8. Agoshkov, V.I., Sheloput T.O. 2016. The study and numerical solution of the problem of heat and salinity transfer assuming 'liquid' boundaries // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. Vol. 31. № 2. P. 71–80.
9. Agoshkov V.I. 2017. Statement and study of some inverse problems in modelling of hydrophysical fields for water areas with 'liquid' boundaries // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling, 2017. V. 32. № 2. P. 73–90.
10. Agoshkov V.I., Sheloput T.O. 2017. The study and numerical solution of some inverse problems in simulation of hydrophysical fields in water areas with 'liquid' boundaries // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. V. 32. № 3. P. 147–164.
11. Edwards C.A., Moore A.M., Hoteit I., Cornuelle B.D. 2015. Regional ocean data assimilation // Annual Review of Marine Science. P. 7:6.1–6.22.
12. Marchesiello P., McWilliams J.C., Shchepetkin A. 2001. Open boundary conditions for long-term integration of regional oceanic models // Ocean Modelling. V. 3. P. 1–20.
13. Zalesny V.B., Gusev A.V., Chernobay S.Yu., Aps R., Tamsalu R., Kujala P., Rytönen J. 2014. The Baltic Sea circulation modelling and assessment of marine pollution // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. V. 29. № 2. P. 129–138.
14. Baltic Sea Physics Reanalysis from SMHI (1989-2014) // Copernicus marine environment monitoring service. URL: <http://marine.copernicus.eu> (date of access: 13.03.2017).
15. SHMI open data. URL: <http://opendata-catalog.smhi.se> [Swedish].

**JOINT REALIZATION OF THE METHODS OF DATA
ASSIMILATION ON 'LIQUID' BOUNDARIES AND DOMAIN
DECOMPOSITION IN THE BALTIC SEA**

T.O. Sheloput¹, N.R. Lezina¹

¹Marchuk Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Sciences,
Moscow

In this paper the problem of mathematical modeling water areas with 'liquid' boundaries is considered. The mathematical model of the Baltic Sea hydrodynamics, developed in Institute of Numerical Mathematics RAS, is used. To retrieve unknown functions in boundary conditions the variational data assimilation method is used. To simplify the numerical solution of assimilation problem, domain decomposition method, based on theory of optimal control, is used. Methods of variational data assimilation and domain decomposition are considered in heat transfer problem. In this paper the results of numerical experiments are present.

Keywords: *numerical methods, variational data assimilation, 'liquid' boundaries, domain decomposition method, modeling of marine areas.*

Об авторах:

ШЕЛОПУТ Татьяна Олеговна – аспирант Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, младший научный сотрудник Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, e-mail: tania_chel@list.ru

ЛЁЗИНА Наталья Романовна – аспирант Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, младший научный сотрудник Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, e-mail: lezina@phystech.edu.

УДК 528.88

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-180-191>

**МОНИТОРИНГ ВЫНОСОВ РЕЧНЫХ И ЛАГУННЫХ ВОД В
АЗОВСКОЕ И БАЛТИЙСКОЕ МОРЯ НА ОСНОВЕ
СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА***

М. С. Щеголихина,¹ О. Ю. Лаврова²

¹МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

²ИКИ РАН, Москва

В ходе данной работы автором были исследованы два морских района на предмет выносов. Так районами исследования были выбраны акватории Азовского моря с выносами реки Кубань и Балтийского моря с выносами Куршского залива. Результатом исследования явились получение зависимостей. Было выяснено, что выносы реки Кубань зависят от сбросов Краснодарского водохранилища, а выносы Куршского залива происходят из-за разницы уровней воды в заливе и Балтийском море.

Ключевые слова: *Куршский залив, река Кубань, речной плюм, вынос, Азовское море, Балтийское море, спутниковый мониторинг, STS.*

Мониторинг водных объектов – система непрерывного и комплексного отслеживания состояния водных ресурсов, контроля и учета количественных и качественных характеристик во времени. Современные технологии мониторинга состояния водных объектов включают обработку и анализ изображений, полученных со спутников дистанционного зондирования Земли, как оптических, так и радиолокационных.

Мониторинг акваторий Азовского и Балтийского морей, который будет представлен далее, проводился при помощи системы STS.

Азовское море – полузамкнутое море Атлантического океана на востоке Европы, омывающее побережье Украины и России. Самое мелкое море в мире: глубина не превышает 13,5 метров, средняя глубина около 7,4 м. Азовское море соединяется с Атлантическим океаном длинной цепочкой проливов и морей (Керченский пролив — Чёрное море – пролив Босфор – Мраморное море – пролив Дарданеллы – Эгейское море – Средиземное море – Гибралтарский пролив – Атлантический океан).

* Работа выполняется при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант №17-05-00715.

Усовершенствование информационной системы «SeeTheSea» выполнялось при поддержке РАН и ФАНО (тема «Мониторинг», госрегистрация № 01.20.0.2.00164)

При помощи системы «STS» были проанализированы спутниковые изображения за 2016-2017 год, выявлен факт того, что действительно остро стоит проблема выносов реки Кубань в Азовское море. Спутниковые изображения были получены при помощи сенсора OLI, стоящего на спутнике Landsat 8, и MSI, находящегося на спутнике Sentinel-2A. Проведены первые исследования по выявлению причин данных выносов. Так были отсмотрены данные метеорологических станций трех крупных населенных пунктов, стоящих на реке, а именно: г. Темрюка, ст. Варениковской, г. Краснодара. В ходе анализа были обработаны следующие данные: наличие осадков непосредственно перед датой выноса, направление и скорость ветра в день осадков и в дату выноса, площадь выносов. Как показал проведенный анализ погодные условия и выносы, производившиеся в акваторию Азовского моря, не сильно коррелируют, что говорит о том, что существуют иные проблемы данных выносов.

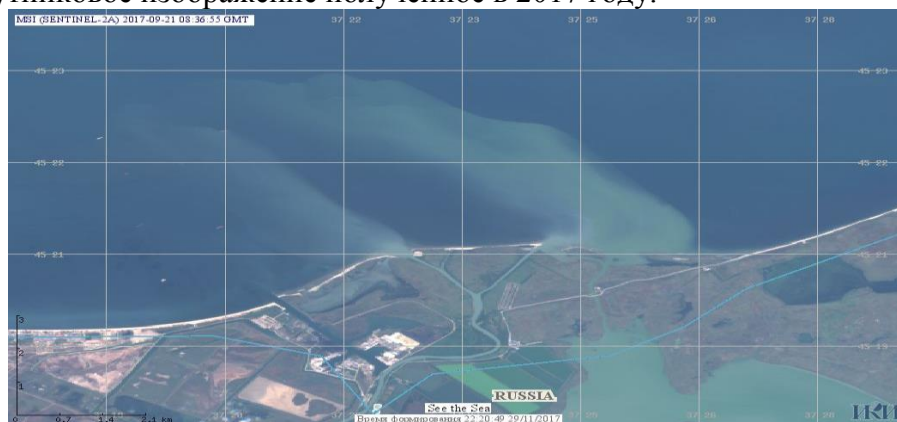
Так как было выявлено, что погодные условия, то есть наличие осадков не сильно коррелирует с данными о выносах в Азовское море реки Кубань, было выдвинуто предположение о возможной зависимости сбросов, осуществляемых из Краснодарского водохранилища и данных выносов. Таким образом, была проведена работа по выявлению данной корреляции.

На данный момент были исследованы данные за период с 1 января 2016 года по 31 декабря 2017, наблюдается прямая зависимость. Так, было выяснено, что и в 2016, и в 2017 гг. сбросы Краснодарского водохранилища видны на спутниковых изображениях в виде выносов спустя 5-9 дней, в зависимости от наблюдаемой скорости ветра вдоль реки Кубань. Данная корреляция представлена в приложениях 1 и 2. Выбросы отслеживались при помощи системы спутникового мониторинга «See the Sea», спутниковые изображения представлены на рисунках 1 и 2.



Р и с. 1. Цветосинтезированное изображение, полученное над акваторией Азовского моря с аппаратуры OLI-TIRS (LANDSAT 8) 10.02.16 г.

На рис. 1 представлено спутниковое изображение, полученное в феврале 2016 года, видна довольно внушительная площадь выноса, которая будет точно указана далее. Также необходимо представить спутниковое изображение полученное в 2017 году.



Р и с. 2. Цветосинтезированное изображение, полученное над акваторией Азовского моря с аппаратуры MSI (SENTINEL-2A) 21.09.17 г.

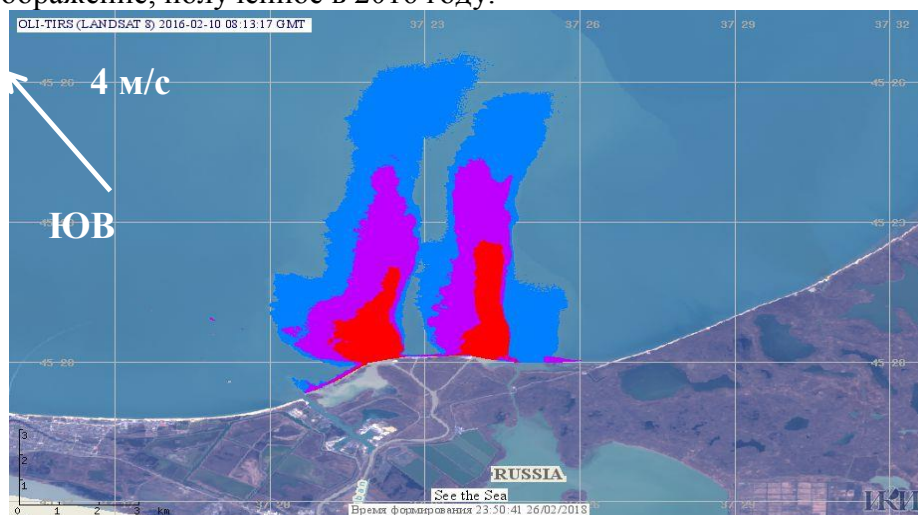
Данное изображение было сделано в сентябре 2017 года, площадь данного выноса практически в два раза меньше, о чем будет сказано далее. Также были просчитаны площади выносов через использование инструмента кластеризации, просмотрены погодные условия и направление ветра в день выноса непосредственно в районе дельты реки Кубань (использовались данные сайта [gr5](http://gr5.ru)). Такие данные представлены в приложениях 3 и 4 за 2016 и 2017 гг. соответственно.

Как уже было сказано, площади выбросов считались при помощи инструмента кластеризации в STS, примеры приведены на рисунках 5 и 6, соответственно за 2016 и 2017 гг.



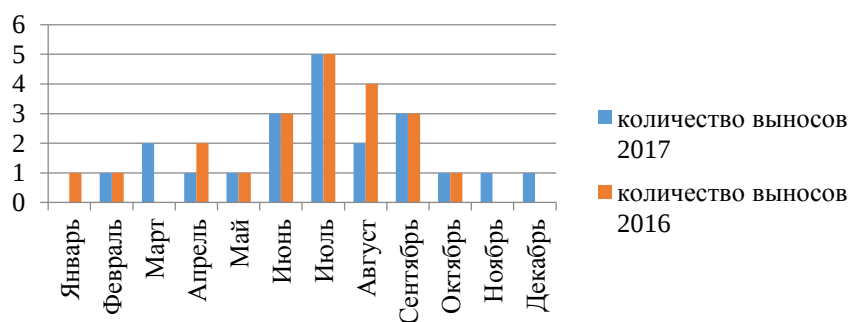
Р и с. 3. Кластеризованное изображение MSI Sentinel-2A (4-3-2 каналы), полученное над акваторией Азовского моря в районе дельты Кубани 21.09.2017г.

Как видно из приведенного рисунка, наблюдается довольно большой вынос, площадь которого достигает 23,5 кв. км. Если же обратиться к статистическим данным представленным выше, то площади выносов варьируются 4,9 – 290 кв. км. в 2017 году. Несомненно, что свою роль сыграло и направление, и скорость ветра в дельте Кубани в день выноса, например, на представленном рисунке дул ЮВ ветер со скоростью 1– 4 м/с. Для сравнения следует посмотреть на спутниковое изображение, полученное в 2016 году.



Р и с. 4. Кластеризованное изображение MSI Sentinel-2A (4-3-2 каналы), полученное над акваторией Азовского моря в районе дельты Кубани 10.02.2016 г.

Как видно из приведенного рисунка, ярко выражен выброс, равный по площади 51,44 кв. км, в день выноса дул юго-восточный ветер со скоростью 4 м/с. Далее было выявлено, что большее количество выносов приходится на месяц июль, как в 2016, так и в 2017 г., что отражено на рис. 5.



Р и с. 5. Количество произошедших выносов в 2016– 2017 гг. по данным STS

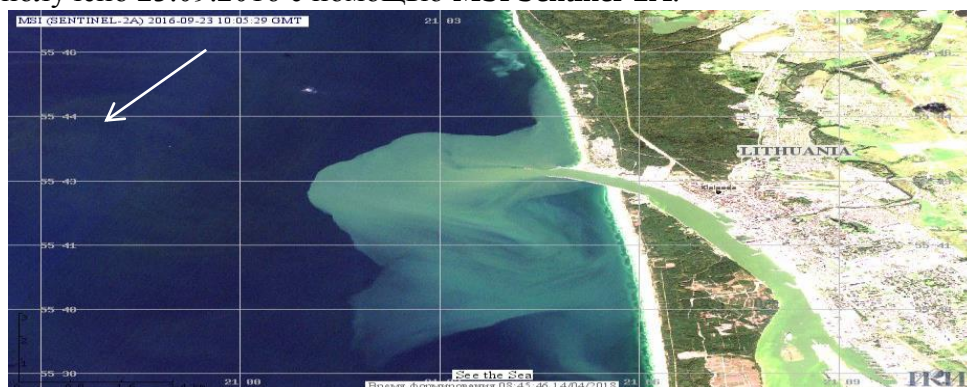
Также, исходя из данных, можно сказать, что пик сбросов приходится на конец мая, а именно 27 мая в 2017 году, и начала июня, а

именно 6 июня в 2016 году. По нашим предположениям это связано с таянием снега в горных районах Краснодарского края, где протекает река Кубань. Таким образом, проведя исследование, удалось выявить корреляцию между сбросами Краснодарского водохранилища и выносами реки Кубань в акваторию Азовского моря, также между размерами сбросов и площадью выносов, но не жесткую. Исходя из вышеизложенного, были получены следующие результаты:

- больше всего спутниковых изображений с выносами получено в июне;
- площади выносов варьируются 4,9 – 290 кв. км;
- наблюдается корреляция между большой площадью плюма и сбросами с Краснодарского водохранилища (выносы видны спустя 5-9 дней после сброса).

Вторым объектом исследования являлся Куршский залив. Куршский залив практически полностью замкнутый водоем, он является лагуной, отделен от Балтийского моря тонкой Куршской косой, которая является природным заповедником. Уровень воды в Куршском заливе несколько выше, чем в Балтийском море, поэтому существует постоянный выток воды из залива в море через узкий пролив в районе г. Клайпеда. Летом вода в заливе цветет, основной вид водорослей – сине-зеленые, которые являются токсичными. В залив впадает река Неман, весной она несет большое количество взвешенного вещества. Воды залива сильно отличаются по своим оптическим свойствам от морских вод, поэтому вынос из залива хорошо виден на спутниковых изображениях видимого диапазона.

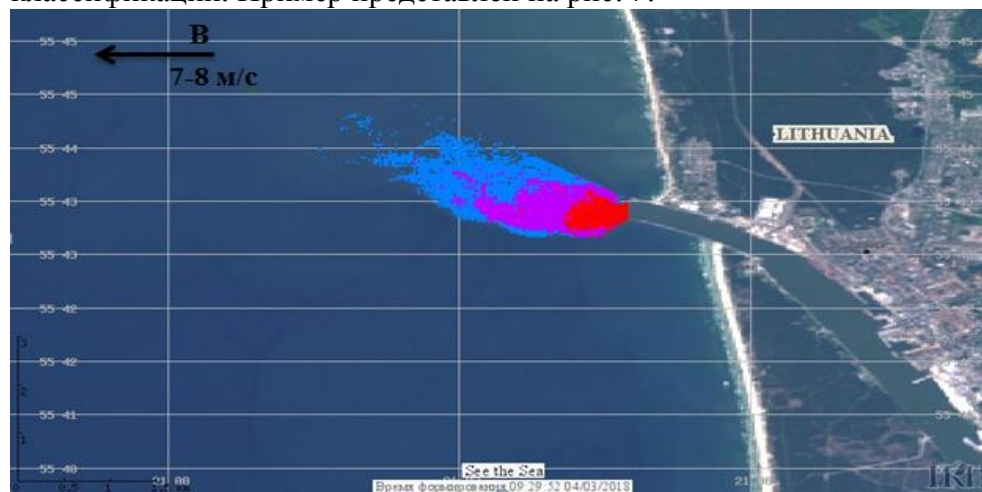
При помощи системы See The Sea были просмотрены и выявлены факты проявления выносов на спутниковых изображениях. Так, например, на рисунке 6 представлен пример выноса Куршского залива в акваторию Балтийского моря. Данное спутниковое изображение было получено 23.09.2016 с помощью MSI Sentinel-2A.



Р и с. 6. Цветосинтезированное изображение MSI Sentinel-2A (4-3-2 каналы), полученное над акваторией Балтийского моря в районе Куршского залива 23.09.2016 г.

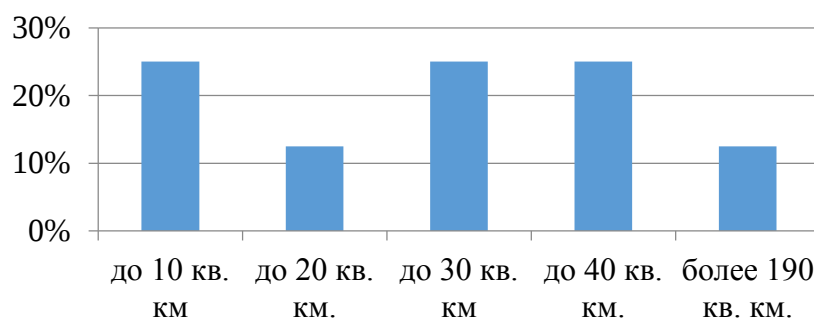
Видно, что вынос проявляется достаточно ярко, четко видна граница. Он распространяется сначала перпендикулярно береговой черте, а затем сносится на юго-запад под действием ветра. Направление ветра указано стрелкой на изображении.

Сначала необходимо было проанализировать площади выносов, что и было сделано в системе STS при помощи инструмента классификации. Пример представлен на рис. 7.

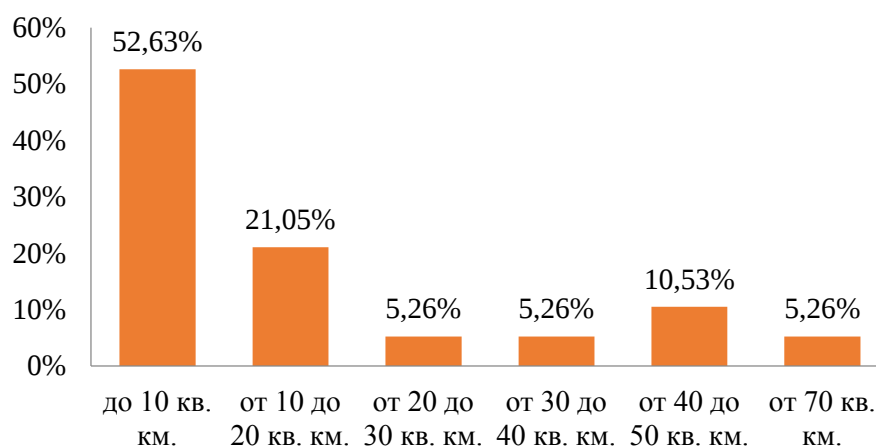


Р и с. 7. Результат классификации в STS. Изображение OLI Landsat 8 (4-3-2 каналы), полученное над акваторией Балтийского моря в районе Куршского залива 19.06.2016, площадь выноса – 3,13 кв. км.

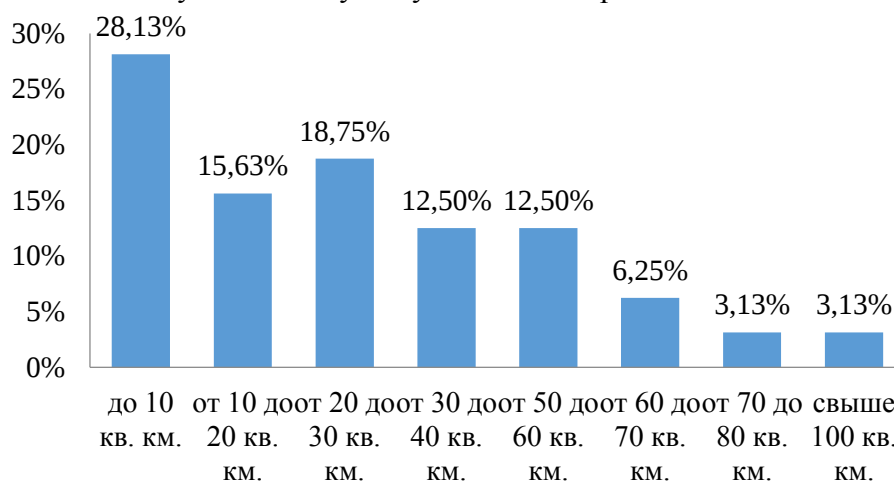
Классификация была проведена без обучения. Как видно на изображении ярко выделяются три области: красная, фиолетовая и голубая, они соответствуют областям выноса с разной мутностью. Далее в ходе исследования были проанализированы площади выносов в процентном отношении ко всем выносам, то есть количество снимков с определенными площадями были нормированы на общее количество изображений для получения более полной картины. Данные представлены на диаграммах (рис.8–10).



Р и с. 8. Соотношение количества определенных площадей выносов к общему количеству полученных изображений в 2014 г.



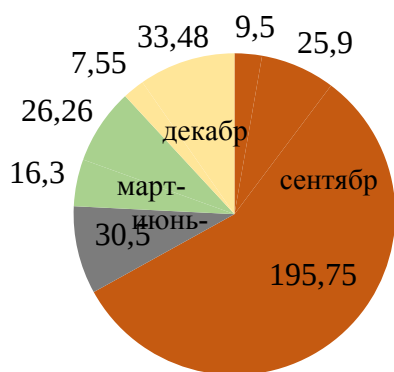
Р и с. 9. Соотношение количества определенных площадей выносов к общему количеству полученных изображений в 2015 г.



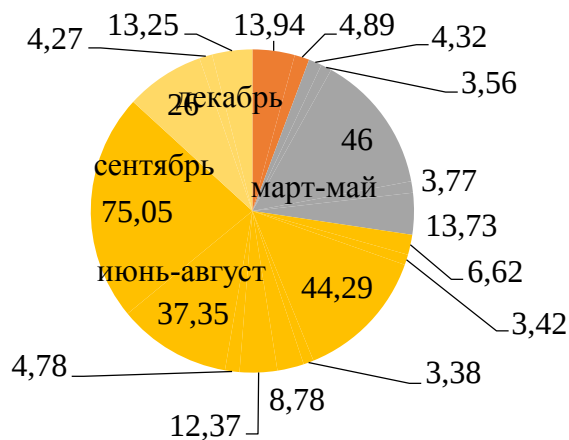
Р и с. 10. соотношение количества определенных площадей выносов к общему количеству полученных изображений в 2016 г.

Таким образом, из приведенных диаграмм видно, что больше всего на спутниковых изображениях было выявлено выносов с площадью от 0 до 10 кв. км. Это можно объяснить тем, что в заливе не наблюдается сильного течения при вытоке в Балтийское море, несмотря на то, что в залив впадает река Неман.

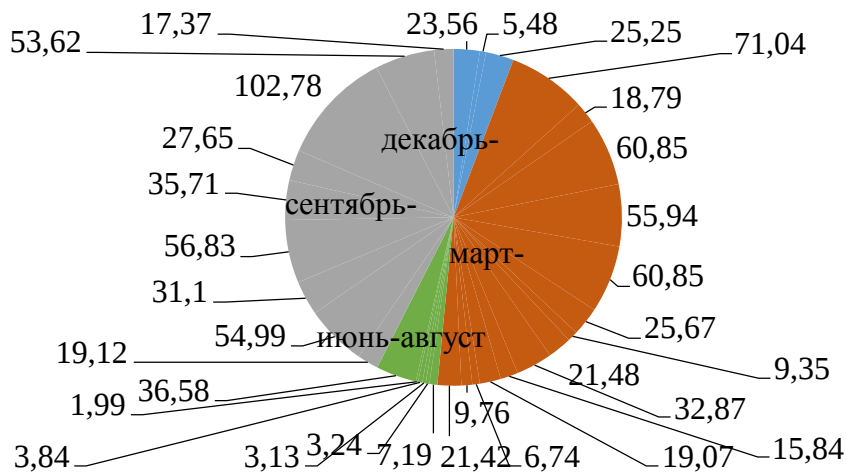
Далее на диаграммах представлена информация по площади и количеству выносов за определенное время года, с 2014 по 2016 гг.



Р и с. 11. Количество полученных спутниковых изображений с выносами по временам года в 2014 г.



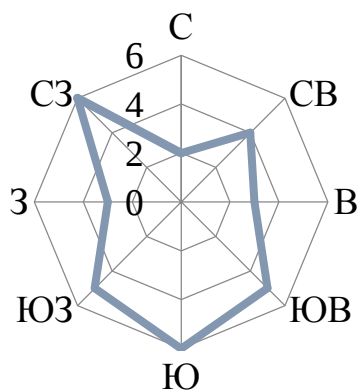
Р и с. 12. Количество полученных спутниковых изображений с выносами по временам года в 2015 г.



Р и с. 13. Количество полученных спутниковых изображений с выносами по временам года в 2016 г.

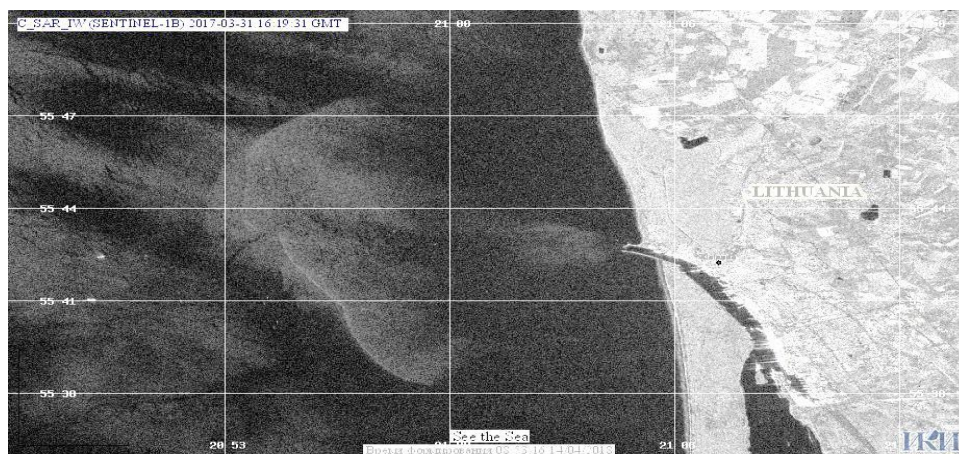
Из приведенных диаграмм видно, что площади варьируются от 7,55 кв. км. до 195,75 кв. км. в 2014 году, от 3,42 до 75,05 кв. км. в 2015 году и от 1,99 до 102,78 кв. км. в 2016 году.

Так же была проанализирована зависимость площади выносов от направления ветра. Для данного района Балтийского моря характерны западные и северо-западные ветра. Была построена роза ветров именно для тех дат, когда наблюдались выносы из Куршского залива, она представлена на рис. 14.



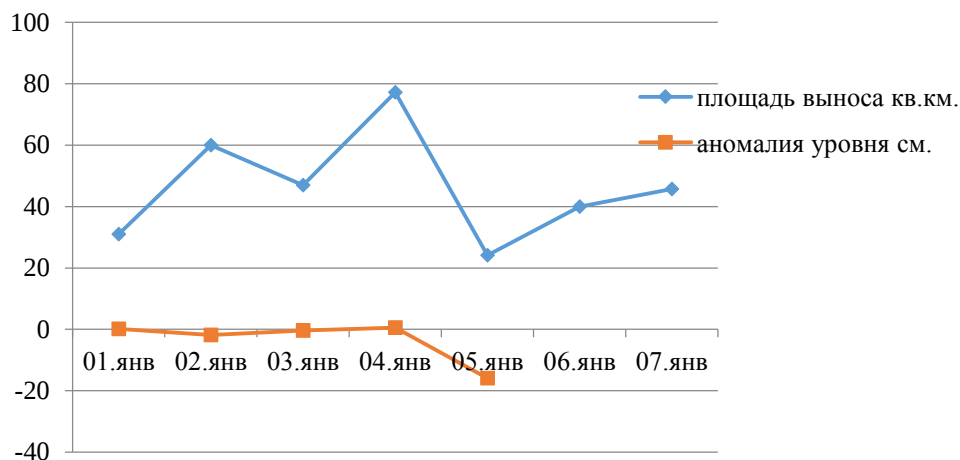
Р и с. 14. Роза ветров в дни проявления выносов на спутниковых изображениях в 2016 г.

Как видно из приведенной розы ветров четкой зависимости выносов от направления ветра не наблюдается. В дни четко прослеживаемых выносов ветер мог быть, как северо-западным, так и южным. Были рассмотрены радиолокационные изображения, выявлено, что граница четко видна даже на РЛИ, также иногда на границе наблюдались внутренние волны, пример РЛИ приведен на рис.15.

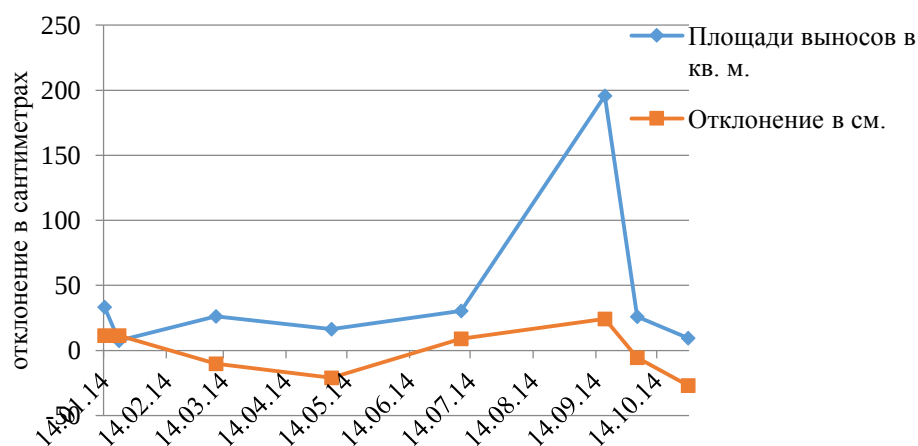


Р и с. 15. Радиолокационное изображение SAR-C Sentinel-1, полученное над акваторией Балтийского моря в районе Куршского залива 31.03.2017 г.

Далее так как наблюдается аномалия уровня воды в Куршском заливе и Балтийском море, была проанализирована зависимость уровня воды в заливе и площади выносов на рис. 16 и 17.



Р и с. 16. Сравнение площади выносов и отклонения уровня Куршского залива от нормали за 2013 г.



Р и с. 17. Сравнение площади выносов и отклонения уровня Куршского залива от нормали за 2014 г.

Видно, что существует данная зависимость, то есть, чем выше уровень воды в заливе, тем больший по площади вынос наблюдается и наоборот, чем меньше уровень воды, тем меньше вынос.

При анализе были использованы данные Jason-1 (с 1 по 260 циклы) и Jason-2 (с 000 по 303 циклы), полученные с сайта Radar Altimeter Data Acquisition from RADS (<http://rads.tudelft.nl>). При обработке данных учитывались следующие аспекты: поправки на сухость и влажность тропосферы (Dry tropospheric correction и Wet tropospheric correction),

ионосферная поправка (Ionospheric correction), аномалии уровня воды рассчитывались по модели «CNES-CLS11 mean sea surface height».

Таким образом, в ходе исследования было выявлено следующее:

- наибольшее количество выносов приходится на категорию до 10 кв. км;
- площади выносов варьируются в 2015 году – 4,78-75,05 кв. км; в 2016 году – 1,99-102,78 кв. км;
- выявлено отсутствие корреляции между направлением ветра и образованием хорошо выраженного выноса;
- выявлена корреляция между уровнем воды в заливе и площадью выноса.

Спутниковый мониторинг водных объектов является важной частью мониторинга гидросферы Земли в целом. Как видно из проведенного анализа, он подходит для наблюдений речных и лагунных плумов на морской поверхности. Зачастую, это можно делать в оптическом диапазоне, но, например, выносы Куршского залива видны и в радиолокационном диапазоне. Возможность видеть выносы на спутниковых изображениях оптического диапазона обусловлена различием мутности морских, речных и лагунных вод. Так река Кубань несет воду с горных районов вместе с землей, глиной и др. В Куршском же заливе происходит цветение сине-зеленых водорослей, что позволяет четко видеть плумы в Балтийском море.

Список литературы

1. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России – М.: ИКИ РАН, 2011. 480 с.
2. Бучнев А. А., Пяткин В. П. Спутниковый мониторинг водных поверхностей и ледяных полей – ИВМиМГ СО РАН, СГГА, Новосибирск. 2010. 8 с.
3. Архив погоды в г. Темрюк, ст. Варениковской, г. Краснодар. Электронный ресурс. URL: <https://rp5.ru/> (дата обращения: 28.11.17).
4. Информационная база по альтиметрии: Radar Altimeter Database System. Электронный ресурс. URL: <http://rads.tudelft.nl/rads/rads.shtml> (дата обращения: 07.05.18).
5. Информационная база по альтиметрическим спутникам. Электронный ресурс. URL: <https://www.aviso.altimetry.fr/en/home.html> (дата обращения: 27.04.18).
6. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.

7. Лупян Е. А., Матвеев А. А., Уваров И. А., Бочарова Т. Ю., Лаврова О. Ю., Митягина М. И. Спутниковый сервис See the Sea – инструмент для изучения процессов и явлений на поверхности океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 251–261.

MONITORING OF RIVER AND BAY DISCHARGES WITH THE HELP OF SATELLITE IMAGES OF VISIBLE RANGE

Shchegolikhina M. S.¹ Lavrova O. U.²

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow

²Space Research Institute Russian Academy of Sciences, Moscow

In this article for monitoring have been chosen two areas: the water area of the Azov Sea and the water area of the Baltic Sea. During the research the author used data of following satellites: Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat-7, Landsat-8. As a results the author get that the Kuban river discharges depend on Krasnodar reservoir water drops, and the Coursian bay discharges depend on different water levels of the bay and the Baltic Sea.

Keywords: *the Coursian bay, the Baltic Sea, Kuban river, the Azov Sea, remote sensing data, river discharges, satellite monitoring.*

Об авторах:

ЩЕГОЛИХИНА Мария Сергеевна, студент-магистр, МГУ им. Ломоносова, e-mail: Mariya.shegolikhina@yandex.ru

ЛАВРОВА Ольга Юрьевна, канд. физ.-мат. наук, доцент, Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, e-mail: olavrova@iki.rssi.ru.

История тверской географии

УДК 913

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-192-210>

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ТВЕРСКОЙ ГЕОГРАФИИ

Е.Р. Хохлова, С.И. Яковлева

Тверской государственный университет, г. Тверь

Представлена история формирования и развития географии на базе Тверского государственного университета. Названы имена основателей географических кафедр, современных руководителей и ведущих преподавателей, а также основные направления научной деятельности.

Ключевые слова: *учительская школа П.П. Максимовича, тверская география, тверской геофак, Тверской государственный университет.*

Авторы данной публикации уже 20 лет занимаются изучением истории формирования географического факультета Тверского (Калининского) университета. Новая информация и её анализ позволяют глубже понять последовательное развитие тверской географии из образовательной (учебной) дисциплины в комплексное научно-прикладное направление с разнообразной специализацией. Исследование базируется на разных источниках и изданных авторских работах [3,11]. Работу посвящаем 80-летию создания двух специализированных кафедр, созданных в августе 1938 г. – кафедры физической географии и кафедры экономической географии. Материалы статьи представлены на сайте факультета [8].

В **Тверском (Калининском) университете** многие десятилетия ведется подготовка учителей (преподавателей) географии, специалистов, а теперь – бакалавров и магистров географии. Напомним хронологию развития университета: частная педагогическая школа *Павла Павловича Максимовича* для подготовки сельских учителей (1870–1917) → учительский/педагогический институт (июнь 1917–1936–1971) → госуниверситет (с 1971 г.). Все эти годы студенты изучали географические дисциплины. В пединституте и университете работали географические кафедры. Студентам читали лекции профессора **Московского университета** – А.А. Борзов, М.Г. Кадек, ученые *Павловской геологической школы* – А.П. Иванов, В.А. Варсанофьева, Н.З. Милькович [4]. Тесная связь с МГУ поддерживалась и продолжается в научном и образовательном направлениях (в том числе подготовка тверских преподавателей в аспирантуре и докторантуре).



Борзов Александр Александрович¹ (29. 06. (10. 08) 1874 – 6.03.1939) – русский советский физико-географ, геоморфолог, картограф, методист, педагог. В 1922–1924 г. преподавал геоморфологию в Калининском пединституте. Один из создателей геофака МГУ – создатель кафедры физической географии МГУ [7, с.258]. Создатель университетской школы геоморфологов.

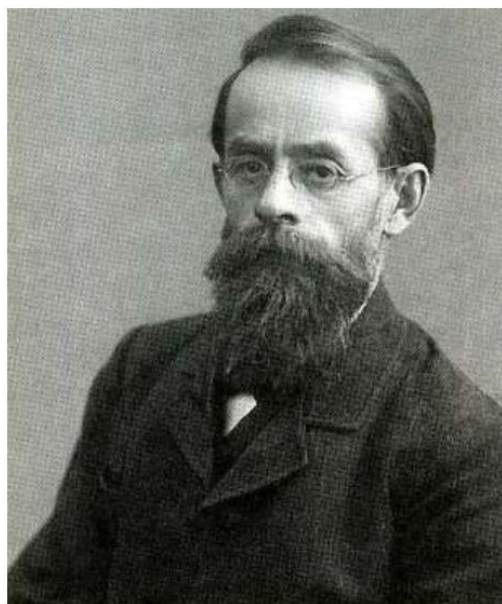


Кадек Матвей Георгиевич² (6.02.1897 – 11.11.1950) – профессор, доктор географических наук. Выпускник Ярославского госуниверситета (1924). В 1929–1931 гг. был ректором Тверского педагогического института [1]. Читал курс экономической географии. В 1931–1941 гг. – ректор МГУ. В 1934 г. возглавлял географическое отделение почвенно-географического факультета МГУ [6]. В 1944–1949 годах – ректор Латвийского университета. С 1947 года – вице-президент АН Латвийской ССР.

¹ Фото:

http://img1.liveinternet.ru/images/attach/c/11/115/480/115480659_large_Aleksandr_Aleksandrovich_Borzov.jpg.

² Фото: <http://www.russkije.lv/media/1/k/Kadek.jpg>.



Иванов Алексей Павлович¹ (1865 – 1933). Геолог. В 1919-1928 гг. профессор Московского университета. Основные работы посвящены исследованию центральных областей Европейской части России. Автор многочисленных трудов по поискам полезных ископаемых и палеонтологии. В 1918–1921 гг. читал лекции по геологии и минералогии студентам Калининского пединститута, был первым зав. кафедрой геологии (1919–1921).



Варсановьева Вера Александровна (10 (22). 07.1890 – 29.06.1976) советский геолог, геоморфолог. Доктор геолого-минералогических наук (1935), член-корреспондент Академии педагогических наук СССР (1945), заслуженный деятель науки РСФСР (1950). Первая женщина, получившая учёную степень доктора геолого-минералогических наук. В 1922–1925 гг. руководила кафедрой геологии и читала курс геологии студентам Тверского пединститута.

Милькович Николай Зенонович (род. в 1880 г. во Ржеве, дата смерти точно не установлена). Выпускник естественного отделения физико-математического факультета Императорского Московского университета, ученый Павловской геологической школы [4]. Преподавал в вузах Москвы. В Калининском пединституте возглавлял кафедру геологии в 1926–1932 гг. (сменил В.А. Варсановьеву), читал студентам

¹ Фото в презентации [4, с. 17].

курс геологии. В этот период Н.З. написана серия учебных (рабочих) книг по геологии для школ и вузов.



Савина Мария Фёдоровна¹ (род в 1886 г. в Киеве) – работала в школе П.П. Максимовича и Тверском пединституте в 1919–1950 гг. В 1921 г. создала геолого-минералогический кабинет и долгие годы была его заведующей. В 1930–1933 гг. до слияния с кафедрой биологии руководила кафедрой геологии и минералогии (кафедра создана в 1919 г.). В 1936 г. при организации географического факультета возглавила геологическую кафедру (приказ от 1.06.1936).

Степень кандидата геолого-минералогических наук получила в 1938 г. без защиты диссертации (по совокупности выполненных исследований). 30 декабря 1943 г. – создана объединенная кафедра географии, а в 1945 г. кафедра геологии выделена из кафедры физгеографии. Кафедру вновь возглавила Мария Федоровна и руководила до ухода на пенсию в 1950 г. В ходе многочисленных экспедиций Савина лично собрала более 4 тыс. образцов для коллекций минералов кабинета геологии пединститута, школьных кабинетов географии и Тверского государственного музея.

Географический факультет организован в **1935 г.** *в составе учительского института* (2-х летняя подготовка), в **1936 г.** – **в пединституте** на базе старых кафедр – географии и геологии бывшего *факультета естествознания*. Это один из многочисленных геофаков, созданных в СССР для восстановления школьной географии. Этот предмет не изучали в школе с 1924 г. по 1934 г. – до принятия специального правительственного постановления.

¹ Фото: <http://bio.tversu.ru/histor/images/savina.png>.



Ф о т о. Первый выпуск геофака Калининского ГПИ им. М.И. Калинина (из личного архива к.г.н. Н.Б.Култашева, его родители – на фотографии)

Преподавательский состав геофака первоначально был сформирован *из московских преподавателей* – уже известных географов. На факультете продолжили работу 2 кафедры: кафедра географии (зав. кафедрой, доц. *М. М. Бочаров*) и кафедра геологии (зав. кафедрой, доц. *М. Ф. Савина*). Классическая структура геофака определилась в августе 1938 г., когда были созданы две *специализированные кафедры* – физической и экономической географии. В период войны продолжала работать объединенная кафедра географии и учительский институт, а специализированные кафедры вновь открылись в 1945 году. Факультет географии работал до 1952 г., затем входил в состав объединенных факультетов и вновь был организован как самостоятельное подразделение университета в 2002 г.

ОРГАНИЗАТОРЫ ГЕОФАКА

Т а б л и ц а

Руководители геофака и объединённых факультетов, на которых была специальность «География»

№	Название факультета	Даты	Деканы	Годы работы
1	Географический факультет пединститута	1936–1941, 1943–1945, 1945–1952	Бочаров Михаил Михайлович	1936–1937
			Сегал Яков Евсеевич	1937–1941
			Бочаров Михаил Михайлович	1943–1952
2	Естественно-географический факультет пединститута	1952–1971	Бочаров Михаил Михайлович	1952–1966
			Сорокин Михаил Георгиевич	1966–1969
			Гавеман Александр Васильевич	1969–1971
3	Химико-биологический факультет университета	1971–1994	Миняев Владимир Иванович	1971–1974
			Щербаков Юрий Адрианович	1974–1975

			Томашевский Ким Евгеньевич	1975–1984
			Тихомиров Олег Алексеевич	1984–1990
			Томашевский Ким Евгеньевич	1990–1991
			Самков Михаил Николаевич	1991–1997
4	Химико-биолого-географический факультет университета	1994–2002	Дементьева Светлана Михайловна	1997–2002
5	Факультет географии и геоэкологии	с 2002 г.	Тихомиров Олег Алексеевич	2002–2007
			Хохлова Елена Револьдовна	с 2007 г. по н.в.

➤ **Кафедра физической географии с 1938 г.** (сейчас кафедра физической географии и экологии).

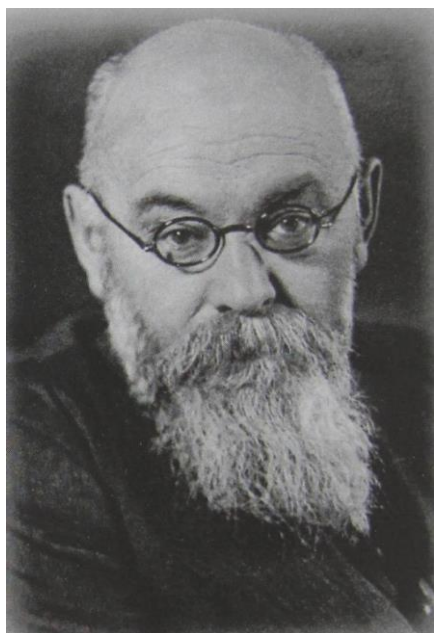
Первым заведующим кафедрой был профессор *Александр Филиппович Беляков*¹ (1938–1941 гг. и 1943–1945 гг.). **Первый декан геофака – Михаил Михайлович Бочаров.**



Бочаров
Михаил Михайлович (1905–1966),
кандидат географических наук,
выпускник МГУ, доцент
Калининского пединститута

¹ Даты жизни: 15(27).03.1876 – 18.08.1945 [6].

Заведующие кафедрой физической географии и экологии – известные географы, доктора географических наук, профессора: Орлов Б.П., Самойлов И.В., Гавеман А.В., Щербаков Ю.А.



Орлов Борис Павлович¹ (1892–1967). В ленинградский период жизни связан с РГО, участвовал в экспедициях в Ср. Азию. С 1933 г. и до конца жизни работал в Московском университете: на почвенно-географическом, а с 1938 г. – на географическом факультете МГУ и был его первым деканом [12, с.258]. В 1938–1951 гг. заведовал кафедрой общей физической географии, в 1940–1941 г. был деканом факультета и директором НИИГа. В 1941 г. Б.П. Орлов был назначен проректором МГУ, с октября 1941 до конца 1942 г., исполнял обязанности ректора МГУ в Москве. Являлся первым вице-президентом Академии педагогических наук СССР. В **1946–1947** гг. возглавлял кафедру физической географии Калининского пединститута, читал курс физической географии СССР.

Самойлов Иван Васильевич (1899, Санкт-Петербург – 1963, Москва) – советский гидролог, доктор географических наук (с 1952), профессор географического факультета МГУ и Московского городского педагогического института; почётный работник Морского флота (1946). Создал очень продуктивное учение об устьях рек, в котором взаимосвязаны процессы, изучаемые потамологией, океанологией и озероведением. В **1946–1953** гг. читал курс общей физической географии в Калининском пединституте, в **1947–1952** гг. возглавлял кафедру физической географии Калининского пединститута.

¹ Фото: <http://letopis.msu.ru/sites/default/files/images/APN%20Orlov%20BP.JPG>.



Гавеман Александр Васильевич (1903–1990) руководил кафедрой географии в 1953–1961 гг. и 1967–1980 гг., был деканом естественно-географического факультета. Александр Васильевич закончил два высших учебных заведения – Лесной институт и географический факультет Ленинградского университета. Ученик А.Е. Ферсмана. Александр Евгеньевич Ферсман написал предисловие и выступил редактором его книги «На самолете с фотоаппаратом / А. Гавеман; предисл. А. Ферсмана. М.: Детиздат ЦК ВЛКСМ, 1941».

Будучи участником многих научных экспедиций, Гавеман А.В. объездил всю страну: Заполярье, Западную и Восточную Сибирь, Камчатку. Один из первых применил аэросъемку в географических исследованиях. С 1948 года Александр Васильевич начал работать в Калининском педагогическом институте заведующим кафедрой географии. Гавеманом А.В. написано 120 печатных работ, в том числе 18 книг. Наиболее известной является монография «Аэрофотосъемка и исследование природных ресурсов» (АН СССР, 1937). Многие его сочинения посвящены Калининской области. Несколько изданий выдержала книга «Московское море». Гавеман А.Г. создал новые направления географических исследований – аэрометоды и применение аэрофотоснимков для изучения природных условий и ресурсов; эколого-географические исследования водохранилищ (комплексное исследование влияния водохранилищ на окружающую природную среду).



Щербаков Юрий Адрианович (1925–1993) — доктор географических наук, профессор. Руководил кафедрой в 1980–1990 гг. Фронтовик, после демобилизации в 1946 г. поступил на геофак МГУ, затем закончил аспирантуру. Работал в разных вузах СССР. Приехал в Тверь из Перми и начал работать в Тверском государственном университете с 1974 г., был деканом химико-биолого-географического факультета, председателем Калининского (Тверского) отделения Русского географического общества. Под его руководством расширились исследования по изучению воздействия человека на природные комплексы Тверской области. Ю. А. Щербаков явился одним из основателей экологического движения на Верхневолжье: вел активную общественную деятельность по решению экологических проблем, связанных с Калининской АЭС, Ржевским гидроузлом, национальным парком «Селигер». Юрий Адрианович явился инициатором и организатором проведения общественной экологической экспертизы КАЭС.



Тихомиров Олег Алексеевич – зав. кафедрой с 1990 г. до настоящего времени, много лет был деканом факультета. Продолжает развивать тематику эколого-географических исследований водохранилищ. В рамках геоэкологического направления кафедры О.А. Тихомировым сформулированы представления об экологической географии как научном направлении, изучающем основные закономерности формирования эколого-географических ситуаций разной степени напряженности.



Фото: Состав кафедры физической географии в 1978 г. (первый ряд слева направо: Л.К. Тихомирова, Н.С. Широкова, Н.В. Ярыш, А.В. Гавеман, Ю.А. Щербаков, Е.О. Олли, З.М. Сорокина. Второй ряд слева направо: А.Г. Емельянов, О.А. Тихомиров, Л.С. Сопова, В.Г. Калмыкова, Г.Ф. Загорский, А.А. Дорофеев)

Кафедра с 1994 г. одной из первых в России начала подготовку специалистов геоэкологов. Сейчас кафедра ведет подготовку по

направлению «Экология и природопользование» (бакалавриат и магистратура). На кафедре физической географии и геоэкологии сложились три основных направления эколого-географических исследований: 1) оценка, прогнозирование и картографирование экологического состояния наземных и водных ландшафтов бассейна Верхней Волги; В рамках этого направления профессором *А.Г. Емельяновым* разработаны теоретические и методические вопросы комплексного физико-географического прогнозирования, сформулированы принципы ландшафтно-экологического прогнозирования, построены региональные прогнозно-информационные модели природных комплексов. 2) эколого-географическая экспертиза и оценка воздействия крупных инженерных сооружений на природу; 3) оценка природных условий для целей рекреации и туризма. С начала 2000-х годов основным научным направлением кафедры физической географии и экологии является «Ландшафтно-экологический анализ состояния природно-антропогенных территориальных и аквальных комплексов». В рамках научного направления исследуются проблемы регионального природопользования, мониторинга и эколого-географической оценки состояния геосистем региона.

Преподавательский состав кафедры обновляется, в том числе в связи с реорганизацией факультета. Продолжают работать вместе с Тихомировым О.А. (с 1971 г.) к.г.н., доценты Жеренков А.Г., Цыганов А.А. и Муравьёва Л.В. (с начала 1980-х гг.), д.б.н., профессор Марков М.В. (с начала 2000-х гг.) и к.б.н., доцент Сорокин А.С. (бывший заведующий кафедрой экологии, работает в университете с 1970-х гг.).

➤ **Кафедра экономической географии, с 1938 г.** В 1943–1945 и 1961–1967 гг. была в составе объединённой кафедры географии. Сейчас кафедра социально-экономической географии и территориального планирования.

Первым заведующим кафедрой (в 1938–1941гг.) был видный советский экономикогеограф, профессор ***Четыркин Владимир Михайлович***. Активный участник работ Госплана СССР по экономическому районированию в 1920–1930-х гг. Заведовал кафедрами экономической географии в Московском плановом институте (1930–1935) и МГПИ (1933–1937). С 1937 г. работал в НИИ Большого Советского атласа мира. В 1941–1948 гг. заведующий кафедрой и декан в Ташкентском университете. В 1944 г. защитил докторскую диссертацию. С 1948 г. до конца жизни заведовал кафедрой экономической географии Ленинградского университета.



Четыркин
Владимир Михайлович¹(1892–1958)

В первый состав кафедры вместе с В.М. Четыркиным входил известный в своё время политэконом и экономист-международник, профессор, доктор экономических наук Сегал Яков Евсеевич (в 1937–1941 гг. был деканом географического факультета) и видный картограф, профессор Селищенский Митрофан Иванович (1878 –1944) - известный картограф, автор первых советских экономических карт (под ред. Н.Н. Баранского). Выпускник Московского университета, преподавал во 2-ом МГУ вместе с Н.Н. Баранским, С.В. Бернштейн-Коганом, В.М. Четыркиным, А.А. Рыбниковым и др. – первой «настоящей кафедре экономической географии» (по оценке Н.Н. Баранского). Член редакционной коллегии первого издания Большой Советской энциклопедии, возглавлял картографическую редакцию. В 1930 году был арестован и сослан в Ташкент, преподавал в университете. В 1936 году он вернулся из ссылки, но жить ему разрешили только в Твери. Преподавал на географическом факультете Калининского пединститута (1938-1939). После войны вернулся в Крюково (Московская область). Умер в 1944 г.

Вторичное открытие кафедры произошло в конце войны, её возглавил профессор **Семевский Борис Николаевич** (1945–1947), который прибыл в Калинин (Тверь) в ноябре 1943 г. как преподаватель военной и политической географии Академии тыла и снабжения Красной армии, переведенной из *Ташкента*. В 1948 г. Семевскому было поручено руководство кафедрой экономической географии Ленинградского пединститута им. А.И. Герцена. На тверскую кафедру был прислан преподаватель из Ленинградского пединститута им. А.К. Герцена к.г.н. **Чертов Леонид Георгиевич**, который в 1951 г. вернулся в Ленинград. Он долгие годы преподавал в Ленинградском госуниверситете. В 1958 г. Борис Николаевич Семевский после смерти

¹ Фото на сайте кафедры экономической и социальной географии СПбГУ [9].

В.М. Четыркина возглавил кафедру экономической географии Ленинградского университета.



Семевский

Борис Николаевич¹ (21 февраля [6 марта] 1907, Верховье – 5 декабря 1976, Ленинград) – советский экономико-географ, страновед, доктор географических наук (1949), профессор. Вице-президент Географического общества СССР (с 1970).

Кафедрой экономической географии Тверского университета *долгие годы руководили Гусев А.М., Гречка П.В., Ткаченко А.А.*



*Гусев
Алексей Михайлович*

Гусев Алексей Михайлович (1914–1994) – зав. кафедрой в 1969–1984 гг., кандидат военных наук, доцент. Выпускник МГПИ (2-ой МГУ). Кафедрой, на которой учился Гусев А.М., в это время

¹ Фото на сайте кафедры экономической географии РГПУ им. А.И. Герцена (СПб.)[9]

руководил *Четыркин В.М.* (1933-1937), а затем – *Н.Н. Баранский*. В 1938-1941 гг. преподавал экономическую и политическую географию в Ново-Петергофском военном-политическом училище пограничных и внутренних войск НКВД СССР (г. Новый Петергоф, Ленинградской области). Во время войны Алексей Михайлович получил ранение на Калининском фронте и после госпиталя на долечивание был направлен в *Алма-Ату*. Там он был приглашён в Академию тыла и снабжения Красной Армии (Ташкент), где прошёл ординатуру и преподавал военную географию (1942–1943). В 1943 г. вместе с Семевским Б.Н. прибыл в Калинин. Преподавал военную географию сначала в Академии тыла и снабжения Красной Армии (1943–1956 гг., Калинин и 1956–1958 гг., Ленинград), затем в Тверской Академии ПВО (1958–1968). Вот такая сложная взаимосвязанная «цепочка» судеб учеников и учителей. Выпускники геофака военного времени рассказывали, какие «красавцы» появились в институте и на субботних танцах факультета, куда собиралась молодежь города (факультет располагался в центральном корпусе – на ул. Желябова).

Гречка Петр Васильевич (1925-2001) – кандидат географических наук, доцент, зав. кафедрой в 1987-1993 гг. Фронтовик (участвовал в боях за Польшу). В 1952 г. закончил Московский областной пединститут им. Н.К. Крупской, в 1952-1955 гг. – аспирантуру. В 1955 г. по распределению направлен в Калининский пединститут (кафедра экономической географии). В 1965-1967 гг. исполнял обязанности заведующего объединенной кафедры географии. Работал на кафедре экономической географии до 1995 г. (ушел на пенсию).



Ткаченко Александр Андреевич (1984–1987, 1993–2015) – доктор географических наук, профессор. Выпускник МГУ, ученик профессора Ковалёва Сергея Александровича. Школу своего учителя и его темы – расселение и географию обслуживания – продолжает разрабатывать на тверской кафедре. Развивает теоретические положения современной социально-экономической географии: разработал системную концепцию основных аспектов и законы (закономерности) территориальной организации общества.

Сейчас кафедру возглавляет доктор географических наук, профессор **Богданова Лидия Петровна** (с 2016 г.), выпускница МГУ. Основная тематика исследований – география промышленности, отраслевые исследования, вопросы воспроизводства населения, территориальная организация туризма.

С конца 1970-х гг. в подготовке преподавательского состава кафедра ориентирована на МГУ: почти все ведущие преподаватели прошли подготовку в аспирантуре кафедры социальной и экономической географии России (Ткаченко А.А., Богданова Л.П., Щукина А.С., Сукманова Н.Ю., Смирнова (Фомкина) А.А., Яковлева С.И. (работала на кафедре в 1979–2016). В составе кафедры молодые преподаватели, кандидаты географических наук Смирнов И.П., Смирнова (Фомкина) А.А. В настоящее время кафедра социально-экономической географии и территориального планирования ведет научные исследования по двум направлениям: теоретические основы территориальной организации общества, регионального развития и регионального управления; проблемы социально-экономического и пространственного развития Тверского региона.

Кафедра является выпускающей по направлению «География» (профиль «Региональное развитие»). Кафедра реализует магистерскую программу «Региональная политика и территориальное планирование». На кафедре работает аспирантура по направлению 05.06.01 Науки о Земле, направленность 25.00.24 Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география.

➤ **Кафедра туризма и природопользования** (организована в 2011 г.).

Первый зав. кафедрой – д.г.н., профессор **Лидия Петровна Богданова** (2011–2016). Ею разработаны первые образовательные программы для новой специальности. Сейчас кафедру возглавляет кандидат географических наук, доцент **Елена Револьдовна Хохлова** (с 2016 г.), выпускница ТвГУ и аспирантуры МГУ.

Основные направления исследований кафедры: оценка туристско-рекреационных ресурсов Верхневолжья, научно-методическая разработка проблемных вопросов рекреационной географии, страноведения и туризма, а также научное обоснование развития экологического туризма и особо охраняемых природных территорий.

Основной состав новой кафедры – это преподаватели других кафедр геофака. Среди них ветераны – к.г.н. Дорофеев А.А. (работает на факультете с 1977 г.), д.э.н., профессор Яковлева С.И. (работает на геофаке с 1979 г.).

В 1989–2011 гг. работала кафедра **картографии и геоэкологии (1989-2011)**. Первоначальное название – кафедра картографии и

математической географии. Заведующими кафедрой были доктор технических наук, профессор **Александр Павлович Тищенко** (1989–2005) и доктор биологических наук, профессор **Болатбекова Кира Сулеймановна** (2005-2011).

На кафедрах факультета географии и геоэкологии работают 6 докторов наук, профессоров, 17 кандидатов наук, доцентов, 1 старший преподаватель, кандидат наук, 11 старших преподавателей, 1 ассистент. На кафедрах действует аспирантура. Сейчас на факультете обучается около 400 студентов. Прием абитуриентов производится как на бюджетной основе, так и платной.



Большую роль в пропаганде географических знаний, формировании географической культуры с 1946 г. играет деятельность регионального отделения Русского географического общества (председатель **Тверского регионального отделения РГО** – доктор физико-математических наук, профессор, заместитель председателя правительства Тверской области **Белоцерковский Андрей Владленович**). Регулярно проводятся семинары, посвященные знаменательным датам в развитии географии, заслушиваются научные доклады.

**Белоцерковский
Андрей Владленович**

Студенты геофака в рамках учебных практик и факультативно знакомятся с городами и регионами России, ближнего и дальнего зарубежья. За время учебы успевают многое увидеть и понять. В ходе выездных практик успешно решаются многие учебные, методические и воспитательные задачи [2]. Выпускники работают в разных структурах, связанных с экологическими вопросами, картографией и землеустройством, в органах территориального управления, а также в образовании и в сфере туризма. Преподавательский состав геофака регулярно пополняется своими выпускниками.

В галереи известных выпускников геофака ТвГУ:

- **Жекулин Владимир Сергеевич** (30.4.1929, Москва – 18.2.1989, Москва), российский физико-географ, доктор географических наук, профессор, вице-президент Географического общества

СССР. Окончил Калининский педагогический институт в 1951 г.
Источник: <http://knowledge.su/zh/zhekulin-vladimir-sergeevich>

- **Катровский Александр Петрович** (род. 17.04.1956). Выпускник Калининского госуниверситета (1977). Доктор географических наук, профессор Смоленского филиала Финансового университета при Правительстве Российской Федерации. Член редколлегии журнала «Региональные исследования».

Список литературы

1. Географический факультет ТвГУ: история// Виртуальный музей Тверского государственного университета. URL: <http://museum.tversu.ru/university/faculties/3>.
2. Дорофеев А.А. 2003–2012 годы – десятилетие учебных практик в Болгарии / Вестник ТвГУ, серия «География и геоэкология», № 3, Тверь, 2017. С.140–171. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30057670>.
3. Наука Тверского края. Выпуск III. Географические исследования Тверского края. Гл. ред. Г.А. Грибанов. Тверь, 1999. 120 с.
4. Павловская геологическая школа// Стародубцева И. А., Бессуднова З. А., Пухонто С. К., Соловьев Ю. Я., Иванов А. В., Милановский Е. Е., Ржонсницкая М. А., Семихатов М. А., Лазарев С. С., Лобачева С. В. М.: Наука, 2004. - 211 с. URL: http://www.ginras.ru/p-science/files/Starodubceva_et_alii_2004_Pavlovskaja_geologicheskaja_shkola.pdf.
5. Палеонтология Московского университета. 2009. С. 17. URL: http://www.geol.msu.ru/deps/paleont/retrofoto/paleontology_MSU.pdf.
6. Преподаватели и сотрудники Тверского государственного университета//Люди Тверского края. URL: <http://tver-people.narod.ru/chapter/6>.
7. Симонов Ю. Г. История географии в Московском университете: события и люди: [в 2 т.]/ Ю. Г. Симонов; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Географический фак.- М.: Городец; Том 1.- 2008.- 504 с.
8. Сайт факультета географии и геоэкологии ТвГУ. URL: <http://geo.tversu.ru/news>.
9. Сайт кафедры экономической и социальной географии СПбГУ. URL: <http://ecgeo.spbu.ru/history.phtml>.

10. Сайт кафедры экономической географии РГПУ им. А.И. Герцена (СПб.). URL:
<https://www.herzen.spb.ru/main/structure/fukultets/geo/departments/egeo>.
11. Хохлова Е.Р., Яковлева С.И. Тверскому геофаку 80 лет. // Вестник Тверского государственного университета. Серия «География и геоэкология». 2016. Выпуск 2. С.23–32. URL:
<https://elibrary.ru/item.asp?id=27423124>.
12. Университетская география в современном мире. Под ред. А.С. Наумова. – М.: ООО Буки Веди, 2016. –282 с. URL:
https://istina.msu.ru/media/publications/book/190/c34/26807898/Geography_in_universities_of_the_modern_world.pdf.

HISTORY OF GEOGRAPHY IN THE TVER REGION

E.R. Khokhlova, S.I. Yakovleva

Tver State University

The history of formation and development of geography on the basis of Tver State University is presented. The names of the founders of geographical departments, modern leaders and leading teachers, as well as the main areas of scientific activity are named.

Keywords: *teacher's school of Pavel Pavlovich Maksimovich, Tver geography, Tver geofak, Tver State University.*

Об авторах:

ХОХЛОВА Елена Револьдовна – к.г.н., доцент, зав. кафедрой туризма и природопользования ТвГУ, декан факультета Географии и геоэкологии ТвГУ, e-mail: revoldovna@gmail.com

ЯКОВЛЕВА Светлана Ивановна – д.э.н., профессор кафедры туризма и природопользования ТвГУ, e-mail: Sv_Yakowleva@mail.ru

Физическая география Тверской области

УДК 911.2

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-211-217>

ОСОБЕННОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ОТРАЖЕНИЕ В ГЛАВНЫХ СВОЙСТВАХ ЕЁ ПРИРОДЫ

А.А. Дорофеев

Тверской Государственный университет, Тверь

Описаны основные черты географического положения Тверской области. Утверждается, что многие особенности природы изученного региона обусловлены теми или иными факторами географического положения.

Ключевые слова: *географическое положение, климат, рельеф, растительность, почва.*

Географическое положение Тверской области подробно и профессионально описано в двух популярных научно-справочных публикациях: «География Тверской области» и «Тверская область. Энциклопедический справочник» [1, 5]. Казалось бы, вопрос решен и любой, кому требуется воспроизвести информацию об особенностях географического положения, может обратиться к названным выше источникам. Однако, на многих интернет-сайтах или статьях, связанных с туризмом на территории Верхневолжья или с описанием его природы, нередко можно обнаружить тексты с многочисленными ошибками, неточностями и даже с полным непониманием сущности термина «географическое положение». Это обстоятельство побудило автора к тому, чтобы еще раз выступить с комментарием по обозначенному в заголовке статьи вопросу.

Тверская область, которая у многих ассоциируется с Верхневолжьем, имеет площадь – 84,1 км². С запада на восток она протянулась на 450 км, а с севера на юг – почти на 350 км, при общей ориентации с юго-запада на северо-восток. Это самый большой субъект Федерации в Центральной России, превосходящий по размерам многие государства Европы. Уже сам этот факт обуславливает некоторые особенности области – большие размеры способствуют значительному разнообразию ее природы, и, соответственно, ландшафтов.

Тверская область расположена в северо-западной части России, на обширной древней Восточно-Европейской платформе, на небольшом удалении от морей Атлантического океана. Территория области полностью попадает в пределы умеренного климатического пояса, занимая положение в переходной полосе от зоны тайги на севере к зоне смешанных хвойно-широколиственных лесов на юге и западе. Тверская область приурочена к пространству, на котором в четвертичное время развернулась деятельность нескольких ледников. Причем последний ледник – Валдайский, максимально продвинувшись, занимал только западную и северо-западную части области. По территории области протягивается часть Главного водораздела, разделяющего бассейны Балтийского, Черного и Каспийского морей, что является одним из аспектов географического положения. Все выше перечисленные факторы находят отражение в тех или иных свойствах природы Тверской области, определяя ее главные типологические черты и уникальные индивидуальные особенности.

Расположение на древней платформе предопределили геологическое строение, тектонический режим и общий характер рельефа области. Кристаллический фундамент платформы, представленный докембрийскими гранитами и гнейсами, здесь погружен на глубину 1,5–2,0 км. На нем залегает осадочный чехол карбонатных, песчано-глинистых пород, мергелей, доломитов разных геологических периодов Палеозойской и Мезозойской эр – от девона на западе, до пермского возраста на северо-востоке и мелового возраста на юго-востоке области. Слои осадочных пород имеют уклон к юго-востоку, где расположена крупная Московская синеклиза.

Платформенное расположение обусловило спокойный тектонический и неотектонический режим Тверской области – вертикальные движения очень медленные, отсутствуют горные сооружения, не проявляется вулканическая активность, чрезвычайно редки землетрясения. Впрочем, на территории области имеются участки с разной направленностью современных тектонических движений: юго-восток области медленно опускается, а в центральной часть – поднимается.

Самая высокая точка – 346 м абс – расположена почти в центре области на Цнинском поднятии. Самая низкая отметка – 61 м абс – отмечена в урзе воды р. Кунья, протекающей по Плоскошской низине на крайнем западе области. Таким образом, максимальная амплитуда рельефа в Тверской области едва превышает 280 метров.

Как и для всех платформенных участков земной коры для территории Тверской области характерен равнинный рельеф. Здесь возвышенные холмисто-увалистые участки сочетаются с обширными волнистыми или плоскими низинами и ступенчатыми речными долинами. Однако современный облик рельефа и слагающие его горные

породы на поверхности Тверской области во многом обусловлены прямым или косвенным действием четвертичных ледников, особенно последних – Московского и Валдайского. Ледниками и мощными потоками талой воды при движении, временных остановках и разрушении ледников сформировались разные типы рельефа: холмисто-западинные валунно-суглинистые моренные равнины, вытянутые возвышенные валунно-супесчано-суглинистые конечно-моренные гряды, волнистые песчаные водно-ледниковые равнины и плоские супесчано-глинистые озерно-ледниковые равнины. Еще один тип рельефа – аллювиальные равнины (речные долины) и слагающие их слоистые отложения созданы эрозионно-аккумулятивной деятельностью рек.

Важным видом четвертичных отложений являются покровные лессовидные породы, которые также косвенно связаны с ледником. Они распространены в двух ареалах: в Ржевско-Старицком Поволжье и в восточных районах области. На вид это желто-бурые пористые безвалунные суглинки (реже супеси) с высокими агрохимическими свойствами. Их мощность колеблется от 0,5 до 4 м. Покровные отложения – наиболее благоприятные для земледелия почвообразующие породы в Тверской области.

Тот факт, что Валдайский ледник покрывал только часть территории области и максимально продвинулся до рубежа Белый – Нелидово – Зап. Двина – Андреаполь – Селижарово – В. Волочек – Лесное, оказывает влияние на многие черты природы. К западу и северо-западу от этой линии возраст территории молодой, Валдайский ледник ушел отсюда всего 12 тысяч лет назад. Поэтому, сформированные ледником формы рельефа еще не в полной мере обработаны экзогенными процессами – холмы и гряды сохранили крутые склоны и значительную высоту, котловины и западины еще не заполнились делювиальным материалом. Реки не успели выработать свои долины, часто они выглядят как искусственные каналы на поверхности земли. Строение долин, как правило, ограничивается поймой и иногда одной террасой. Эту территорию нередко называют Валдайским Поозерьем, т. к. именно здесь располагаются большинство озер Тверской области. Почвенно-растительный покров на западе и северо-западе области характеризуется повышенной пестротой.

Иная ситуация на востоке, юге и в центре Тверской области. Эту территорию полностью покрывал Московский ледник и покинул ее около 100 тысяч лет назад. Гораздо более древний возраст способствовал сглаживанию рельефа моренных равнин до волнистых поверхностей и продолжительному действию эрозионных процессов. Реки успели выработать широкие и глубокие долины, в которых присутствуют пойма и две-три террасы. Озера практически отсутствуют. Они заросли или спустили свои воды, а их котловины – заполнились сносимым с

окружающих пространств материалом. Многие территории перекрыты покровными отложениями (которых нет в зоне действия Валдайского ледника) и активно используются в сельском хозяйстве.

Небольшое удаление от Атлантического океана и локализация области в северной половине умеренного пояса являются важнейшими климатообразующими факторами. Географическая широта места в первую очередь определяет радиационный, а вместе с ним частично и тепловой режим территории. Находясь в широтах от 55°40 с.ш. до 58°50 с.ш. область получает 3518 Мдж энергии на каждый квадратный метр в течение года. Однако с учетом неравномерного прихода радиации, альбедо, инфракрасного излучения поверхности только 1382 Мдж/м² расходуется на нагрев почвы и атмосферы, на испарение воды, на воспроизводство биомассы, транспирацию. Близость Атлантического океана регулирует тепловой режим. В теплый период года прохладные и влажные воздушные массы, приходящие с Атлантики, немного снижают средние температуры воздуха. Наоборот, зимой морской воздух умеренных широт поступающий в Тверскую область, значительно теплее «родных» континентальных воздушных масс, в результате средние зимние температуры воздуха становятся более высокими.

По данным многолетних наблюдений среднегодовая температура воздуха в Тверской области составляет от +3,10С до +4,30С, понижаясь в зависимости от метеостанции с юго-запада на северо-восток. Средние температуры самого холодного месяца, января, колеблются от -9,20С до -11,70С, понижаясь в северо-восточном направлении. В июле, среднемноголетние летние температуры составляют +16,60С, +17,70С [6]. В тоже время исследования ученых-метеорологов показывают, что за последние 20–25 лет температуры по сезонам и среднегодовые показатели увеличились на 0,5–1,50С, то есть в Верхневолжье стало несколько теплее [4].

Расположение в умеренном поясе, в одном из его западных долготных секторов, определяет характер циркуляции атмосферы в Тверской области – здесь господствует «западный перенос». Благодаря этому в области явно преобладают ветры западных румбов, с которыми в форме циклонов с Атлантического океана в любое время года приходит влажный морской воздух (МВУШ – морской воздух умеренных широт). Высокая циклоническая активность определяет значительное количество осадков – в среднем 550–750 мм в течение года. При этом, больше осадков выпадает в западной части области – она ближе к Атлантике, а меньше всего – в центре и на востоке. В течение года повышенное количество осадков наблюдается в летние месяцы.

Для многих природных процессов очень важно соотношение тепла и влаги. В этом отношении для Тверской области характерно превышение количества выпадающей с осадками влаги над испаряемостью – коэффициент увлажнения составляет 1,2–1,4. В свою

очередь избыточное увлажнение генерирует большой поверхностный сток, высокую озерность, широкое развитие болотных процессов, промывной режим почв и др.

Благодаря избыточному увлажнению и некоторым особенностям рельефа Тверская область имеет густую гидрографическую сеть. Здесь сосредоточено около 800 средних и малых рек, более 1700 озер различного происхождения, 6 крупных водохранилищ и почти 3000 верховых, низинных и переходных болот. Важнейшей особенностью географического положения в плане водного компонента природы является тот факт, что на территории Тверской области в Осташковском районе начинается главная Европейская река – Волга. Затем она протекает 685 км с северо-запада на юго-восток через всю область и принимает около 150 притоков, в т. ч.: Селижаровку, Вазузу, Держу, Тьму, Тверцу, Шошу, Медведицу, Кашинку, Мологу (за пределами области) и др. Недалеко от истока Волги в Андреапольском районе в оз. Двинец находится исток еще одной значимой Европейской реки – Западной Двины (Даугавы), которая в Тверском крае принимает притоки Велесу, Торопу, Межу. Наконец, вблизи южных рубежей Тверской области, но уже в смоленских болотах, берет начало четвертая по длине река Европы – Днепр. Таким образом, сток с территории Тверской области осуществляется в Балтийское, Черное и Каспийское моря, а возвышенные участки внутри области на Валдайской возвышенности (поднятие Оковский лес) являются заметной частью Главного водораздела европейской России. Все реки Тверской области имеют смешанное с преобладанием снегового питания и относятся к восточно-европейскому типу водного режима.

В отношении озер следует обратить внимание на их крайне неравномерное распределение по территории области. При средней озерности 1,4%, подавляющее большинство озер находятся в западной и северо-западной части области. Здесь расположено крупнейшее в центральном регионе РФ озеро – Селигер (260 км²), уникальное исключительной изрезанностью своей береговой линии и обилием островов (139 ед.). К западу от него нанизана на Волгу цепочка Верхневолжских озер – Стерж, Вселуг, Пено, Волго. В центре и на востоке области озер очень мало. Исключением является группа остаточных Оршинско-Петровских озер на юго-востоке и озеро Верестово в Бежецком районе.

Почвенно-растительный покров Тверской области детерминирован географическим расположением на стыке южной тайги и смешанных лесов. Только самые северные муниципальные районы (Весьегонский, Сандовский, Молоковский, Лесной и Краснохолмский) попадают в таежную зону, а ее южная, очень размытая граница проходит по линии пос. Котлован – г. Красный Холм. Вся остальная территория Тверской области попадает в зону смешанных хвойно-

широколиственных лесов (подтайга). Здесь к типичным таежным лесообразующим породам ели и сосне добавляются представители флоры широколиственных лесов – дуб, вяз, клен, липа. Чем дальше на юго-запад, тем более широко в верхнем ярусе представлены широколиственные породы деревьев. В самой западной части Тверской области (Западно-Двинский район) встречаются даже островки чистых дубрав (не более 1 % от всей лесопокрытой площади).

Естественный растительный покров в Тверской области, конечно, изменен хозяйственной деятельностью. В настоящее время лесами покрыто 57,4% площади области [2]. При этом, только около половины лесопокрытой площади приходится на характерные для указанных зон условно-коренные биоценозы – еловые, елово-сосновые, сосновые, елово-дубовые и сосново-липовые леса. Чуть более половины лесопокрытой площади занимают вторичные леса с широкой (преобладающей) примесью мелколиственных пород – березы и осины или чистые березово-осиновые леса и ольшаники. Помимо лесной растительности в Тверской области широко распространены луговые сообщества пойменных (заливных) и материковых (суходольных и низинных) лугов. Более 6 % территории области занимают болота с характерной растительностью верховых или низинных болот.

Под хвойными лесами, особенно на севере области, как правило, развиты подзолистые почвы. Для хвойно-широколиственных и хвойно-мелколиственных лесов характерны дерново-подзолистые почвы. В переувлажненных лесных сообществах чаще всего развиты торфянисто-подзолисто-глеевые и перегнойно-глеевые почвы. Под интразональными биоценозами – болотами и лугами соответственно сформированы торфяно-болотные и дерново-луговые почвенные разности.

С позиций географического положения в системе таксономических единиц комплексного физико-географического районирования Тверская область последовательно, сверху в низ, входит: материк – Евразия; географический пояс – Умеренный пояс Евразии; физико-географическая страна – Восточно-Европейская равнина; физико-географическая область – лесная область Восточно-Европейской (Русской) равнины; физико-географические провинции – Прибалтийская, Валдайская, Смоленско-Московская, Верхневолжская; физико-географические районы – 23 района [3].

Список литературы

1. География Тверской области. Дорофеев А.А., Ткаченко А.А., Щукина А.С. и др. Учебное пособие / Тверской государственный университет. Тверь, 1992.

2. Динамика изменения земельного фонда Тверской области. Сайт доступа: <http://tver.bezformata.ru/listnews/zemelnogo-fonda-tverskoj-oblasti/21115187/>
3. Дорофеев А.А., Хохлова Е.Р. Ландшафты Тверской области: монография. ТвГУ. Тверь, - 2016. 120 с
4. Лазарев О.Е., Мартыанова И.А. Изучение температурного режима и режима осадков территории Волговерховья с использованием современных метеорологических данных // Вестник Тверского государственного университета. Серия: География и геоэкология. 2012. № 1. С. 65-83.
5. Тверская область. Энциклопедический справочник. Тверь, 1994.
6. Температурный режим на территории Тверской области. Сайт доступа: <http://geoportal.tversu.ru/Atlas/Physical/map.html?webmap=1092b68909154a1995dcec1e0daac07f>.

PECULIARITIES OF GEOGRAPHIC POSITION OF TVER REGION AND THEIR REFLECTION IN MAIN FEATURES OF ITS NATURE

A.A. Dorofeev

Tver State University

The author describes the main features of geographic position of Tver region. He states the fact that many peculiarities of the region in question are caused by these factors of geographic position.

Keywords: *geographic position, climate, relief, vegetation, soil.*

Об авторе:

ДОРОФЕЕВ Александр Александрович, к.г.н., доцент кафедры туризма и природопользования ТвГУ, e-mail: Dorofeev.AA@tversu.ru

Социально-экономическая география

УДК 911.3.314.02

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-218-233>

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ АСПЕКТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ*

А.С. Щукина, Д.В. Пономарёв

Тверской государственный университет, Тверь

В статье анализируются факторы, оказывающие влияние на динамику и структуру приема и выпуска профессиональными организациями разного уровня. Анализируются возможности получения различных специальностей и профессий в Тверской области. Сопоставляется географическая доступность получения среднего профессионального уровня по разным областям знания.

Ключевые слова: профессиональное образование, территориальная организация, трансформационные процессы, географическая доступность.

Накопленные знания, умения и навыки, полученные человеком в процессе обучения и практической деятельности, а также физическое, психическое и социальное здоровье являются наиболее значимыми характеристиками качества человеческого потенциала. Поэтому, прежде всего, образование и здравоохранение обеспечивают устойчивое развитие человеческого потенциала страны в целом и отдельных регионов. Важнейшую роль играет профессиональное образование, которое направлено на приобретение обучающимися знаний, умений навыков, позволяющих вести профессиональную деятельность и выполнять работу по определённым профессиям и специальностям.

Профессиональное образование в России существует более 300 лет, с времен Петра I. На каждом этапе развития страны перед системой профессионального образования ставились соответствующие времени задачи (3,4). В советский период территориальная организация профессионального образования и территориальная организация

* Проект РФФИ №17-13-69001-ОГН\18

экономики региона, прежде всего, промышленности, были тесно связаны (например, подготовка кадров для энергетики в Конаково, целлюлозно-бумажной промышленности в Кувшиново, текстильной промышленности в Вышнем Волочке, полиграфической промышленности и вагоностроения в Твери и т.д.). При этом производственные площади предприятий использовались для проведения практик с возможностью работать на оборудовании, в лабораториях и т.д.

Трансформационные процессы в экономике, начавшиеся в 1990-е гг., ее терциаризация привели к серьезным изменениям в структуре занятости населения области и как следствие к необходимости открытия новых направлений подготовки. В тоже время сокращение спроса на рабочие профессии для промышленности привело к сокращению приема по этому направлению подготовки кадров.

Т а б л и ц а 1

Динамика занятости населения Тверской области в отраслях материального производства (в % от всех занятых)

Отрасли	1990 г.	2000 г.	2010 г.	2016 г.
Сельское и лесное хозяйство, рыбоводство	15	15	12	8
Промышленность	33	26	23	23
Строительство	11	7	7	7
Всего	59	48	42	38

Источник: данные Тверьстата

В настоящее время перед профессиональным образованием стоят задачи не только насыщения рынка труда компетентными специалистами, но и создание условий для непрерывного обучения, профессионального роста и развития личности. До недавнего времени согласно Федеральному Закону от 10.07.1992 N 3266-1 в профессиональном образовании выделяли четыре уровня:

- начальное профессиональное образование;
- среднее профессиональное образование;
- высшее профессиональное образование;
- послевузовское профессиональное образование.

За последние несколько лет структура профессионального образования в нашей стране претерпела значительные изменения. Согласно новому Федеральному Закону «Об образовании» от 29.12.2012 N 273-ФЗ в Российской Федерации, были установлены новые уровни профессионального образования:

- среднее профессиональное образование;

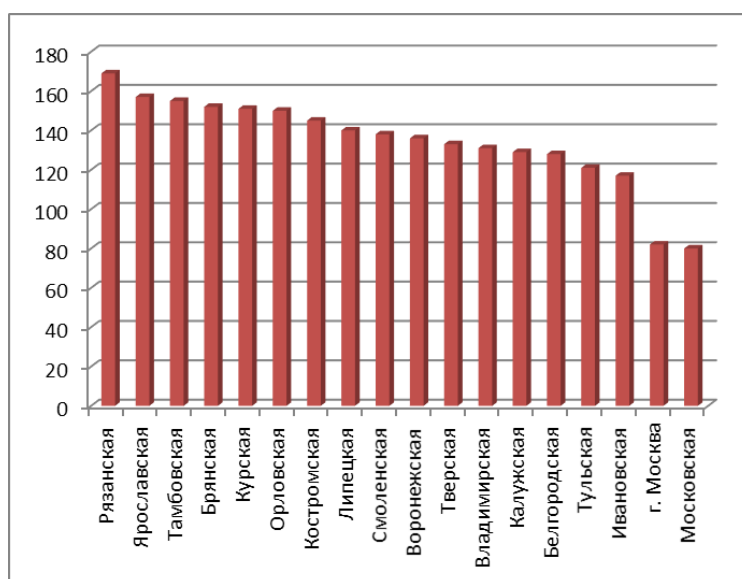
- высшее образование – бакалавриат;
- высшее образование – специалитет, магистратура;
- высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации [2].

В действующем законе в главе 15 статье 108 отмечается, что начальное профессиональное образование приравнивается к среднему профессиональному образованию по программам подготовки квалифицированных рабочих (служащих), в то время как среднее профессиональное образование – к среднему профессиональному образованию по программам подготовки специалистов среднего звена. Однако, по мнению ряда специалистов «приравнять» разные уровни образования невозможно ввиду различного содержательного наполнения их образовательных стандартов и программ, а также целей и задач. Кроме того, важным является и тот факт, что в настоящее время наблюдается дефицит квалифицированных рабочих, что показывает явное несоответствие структуры профессионального образования потребностям рынка труда. О необходимости развернуть профессиональное образование в сторону потребности современного производства говорится в Государственной программе «Развитие образования на 2013–2020 годы [1].

Важным показателем, характеризующим уровень развития системы профессионального образования региона, является численность студентов, обучающихся по программам высшего и среднего профессионального образования. Тверская область входит в группу регионов страны с показателями ниже среднероссийских. По программам высшего образования показатели соответственно 224 и 325 студентов на 10000 населения, по программам среднего профессионального образования соответственно 133 и 139 студентов на 10000 населения. Область занимает 14 место в ЦФО по показателю численности студентов, обучающихся по программам высшего образования и 11 место по программам среднего профессионального образования.

За последние десятилетия в структуре приема и выпуска образовательных организаций, дающих профессиональное образование в Тверской области, произошли значительные изменения (табл.2). На динамику числа поступающих и оканчивающих профессиональные учебные заведения разного уровня оказывали влияние демографические волны. Количество родившихся довольно значительно колебалось. После расширенного контингента, родившегося в первой половине 1980-х гг. и поступавшего в профессиональные учебные заведения в 1990-е гг., пришло суженное поколение родившихся в 1990 гг. (если в 1983г. в области родилось 23883 ребенка, в 1990 г. 19220 детей, то 1995 г. только 12366 детей, в 2000 г. 11546 детей). Как следствие количество

окончивших профессиональные учебные заведения резко сократилось с 22,7 тыс. чел. в 1990 г. до 12,7 тыс. чел. (в 1,8 раза).



Р и с. 1. Численность студентов на 10 000 человек населения обучающихся по программам подготовки специалистов среднего звена (на начало учебного года 2015/2016; человек).

Т а б л и ц а 2

Динамика и структура выпуска образовательных организаций Тверской области (1990–2016гг.)

Годы	Всего	Высшие учебные заведения		СПО (подготовка специалистов среднего звена)		СПО (подготовка квалифицированных рабочих и служащих)	
		тыс. чел.	%	тыс. чел.	%	тыс. чел.	%
1990	22,7	3,0	13,2	7,0	30,8	12,7	56,0
1995	18,0	3,1	17,2	5,4	30,0	9,5	52,8
2000	19,5	4,1	21,0	6,6	33,9	8,8	45,2
2005	21,0	5,9	28,1	7,4	35,2	7,7	36,7
2010	19,7	8,4	42,6	6,3	32,0	5,0	25,4
2015	14,4	7,7	53,5	3,5	24,3	3,2	22,2
2016	12,9	7,3	56,6	4,0	31,0	1,6	12,4

Источник: данные Росстата и Тверьстата

Изменились не только количественные характеристики приема и выпуска, но и структурные. Если в 1990 г. большая часть молодежи (56,0%) получала начальное профессиональное образование, то в настоящее время большая часть молодежи получает высшее образование (56,6% в 2016 г.). Тверская область входит в группу регионов страны, в которых произошло особо резкое сокращение показателей выпуска обучающихся по программе подготовки квалифицированных рабочих и служащих (в 2,5 раза 2010 г. в % к 1990 г. и в 7,9 раза 2016 г. к 1990 г.). Рабочие специальности остаются непрестижными. Количество и доля обучающихся в профессиональных организациях, осуществляющих подготовку специалистов среднего звена, к 2010г. изменились незначительно, но сокращение 2010–2015гг. было наибольшим среди всех профилей профессиональной подготовки. В 2016 г. в области также, как и в стране в целом наметилась положительная тенденция роста приема и выпуска специалистов среднего звена. Молодежь становится более практичной и выбирает специальности, востребованные на рынке труда. Доля молодежи, получающей высшее образование, продолжает расти, что является вызовом, как для самой сферы образования, так и для экономики в целом. Молодежь (население в возрасте от 16 до 30 лет) составляет примерно пятую часть населения страны, поэтому проблемы получения образования, проблемы с трудоустройством по специальности, отсутствие баланса между спросом на рынке труда и специальностями, по которым готовит система профессионального образования, являются в настоящее время исключительно актуальными.

Согласно новому общероссийскому классификатору специальностей по образованию (ОК 009-2016), действующему с 1.01.2017 г., все специальности и профессии объединяются в укрупнённые группы, которые в свою очередь объединяются в области образования. В классификаторе среднего профессионального образования выделена 241 специальность, 42 укрупнённые группы и 9 областей знаний. Анализ показал, что для молодежи Тверской области предлагается достаточно широкий выбор специальностей – 84 специальности, относящиеся к 30 укрупненным группам. Из 295 профессий среднего профессионального образования, выделенных в классификаторе, подготовка в Тверской области осуществляется только по 48, относящимся к 16 укрупненным группам. Область занимает 30 место с индексом 0,45 в рейтинге региональных систем среднего профессионального образования с позиций востребованности их услуг, подготовленного агентством социальных исследований [5].

Географический подход к исследованию функционирования региональной системы среднего профессионального образования позволяет проанализировать:

- особенности ее территориальной организации,
- различия в географической доступности образовательных услуг,

– образовательные пространства учебных заведений.

Система среднего профессионального образования Тверской области включает 61 учебное заведение, 10 из которых являются филиалами. Образовательные учреждения находятся в 22 городах и 8 ПГТ области, что обеспечивает их определенную географическую и экономическую доступность.

Специализация учебных заведений определяется в соответствии с социально-экономическими условиями центра размещения. В большей части из них осуществляется подготовка как специалистов среднего звена (2 уровень), так и квалифицированных рабочих и служащих (1 уровень).

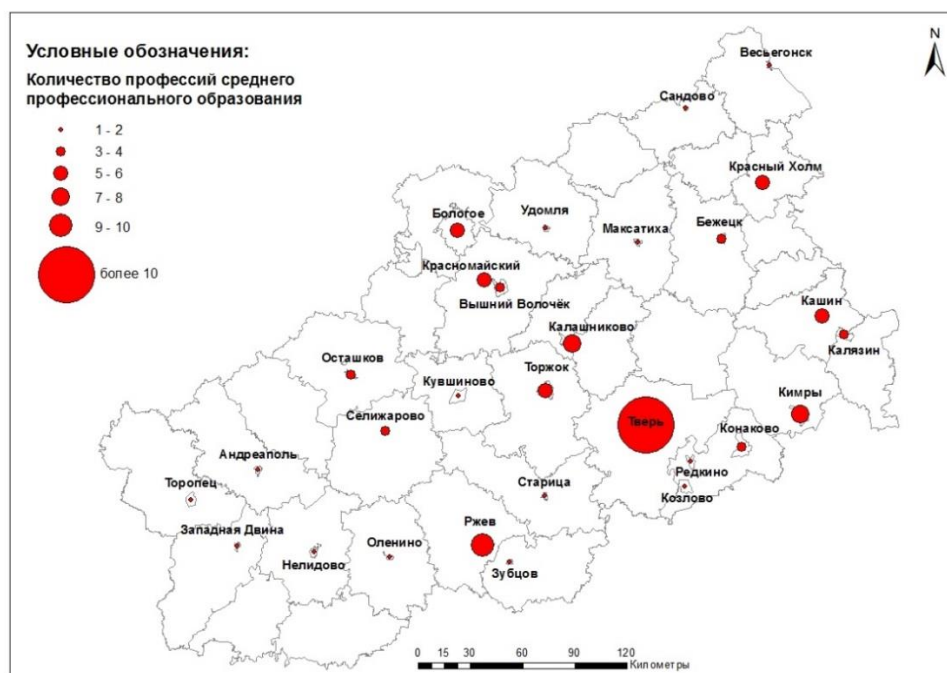
Более широкий выбор специальностей и профессий предлагают образовательные учреждения Твери и городов, выполняющих роль межрайонных центров, в том числе учебных межрайонных центров. Профессионально-учебные заведения небольших городских поселений, реорганизованные в филиалы техникумов и колледжей (в Андреаполе, Старице, Весьегонске, Зубцове, Лихославле, Максатихе, Красномайском, Оленино, Сандово, Селижарово) предлагают подготовку по 1–2 профессиям. Так, например, в Зубцове осуществляется подготовка только по профессии «тракторист-машинист сельскохозяйственного производства».

Т а б л и ц а 3

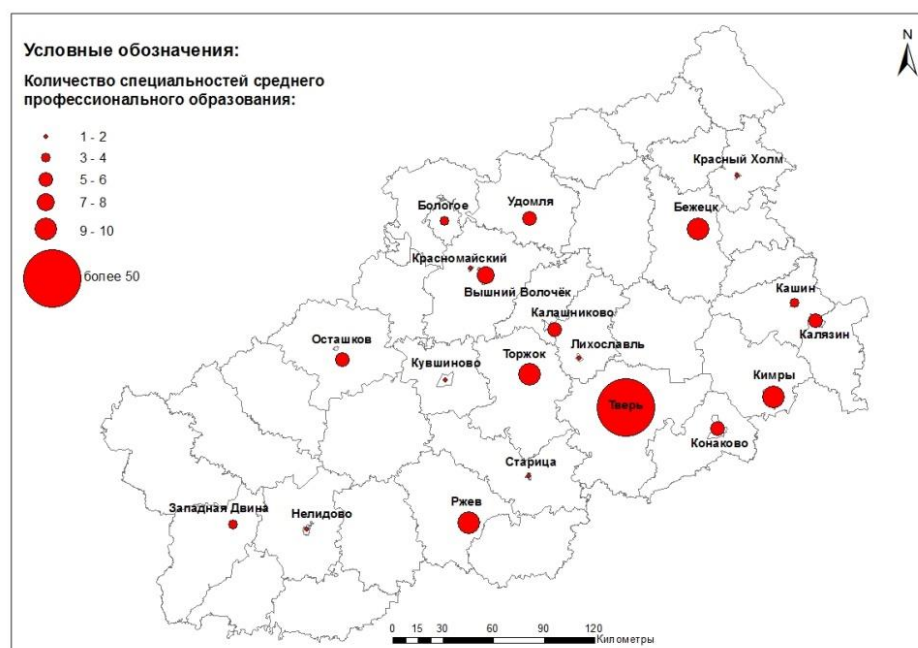
Ведущие центры подготовки специалистов среднего звена и квалифицированных рабочих и служащих в Тверской области

Городское поселение	Количество	
	специальностей	профессий
Тверь	51	24
Ржев	9	9
Кимры	9	8
Торжок	9	6
Вышний Волочёк	7	4
Удомля	6	2
Бежецк	9	4
Калашниково	5	8
Конаково	5	4

География подготовки квалифицированных рабочих и служащих более широкая, чем специалистов среднего звена (рис.2,3). Рабочие профессии можно получить в 29 городских образованиях (21 городе и 8 ПГТ), стать специалистом среднего звена в 20 (18 городах и 2 ПГТ). Наиболее широкий выбор специальностей и профессий в областном центре (51 специальность и 24 профессии).

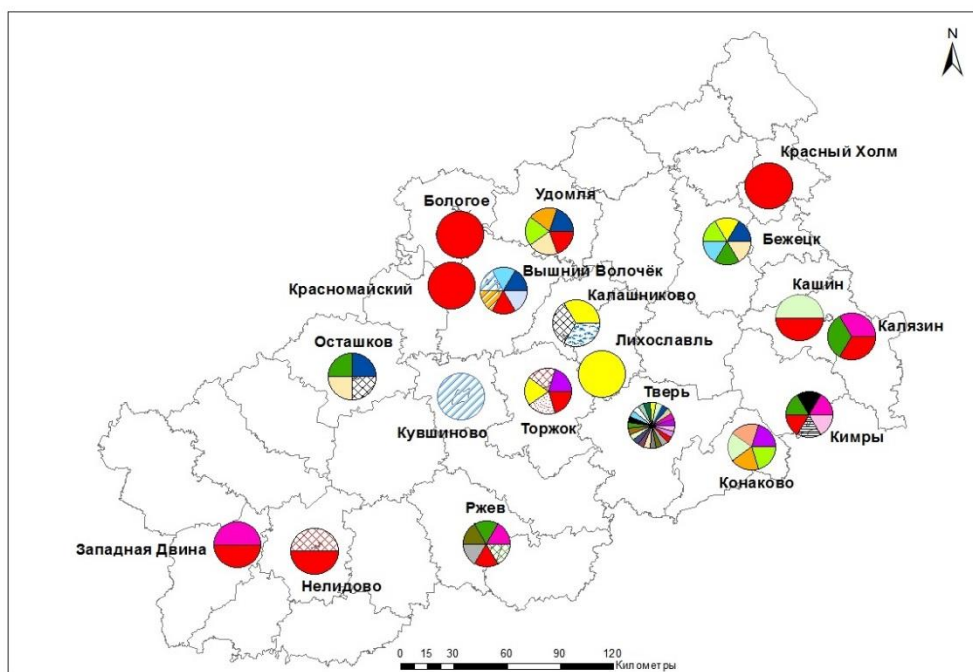


Р и с. 2. География организаций, осуществляющих подготовку квалифицированных рабочих и служащих в Тверской области



Р и с. 3. География организаций, осуществляющих подготовку специалистов среднего звена в Тверской области

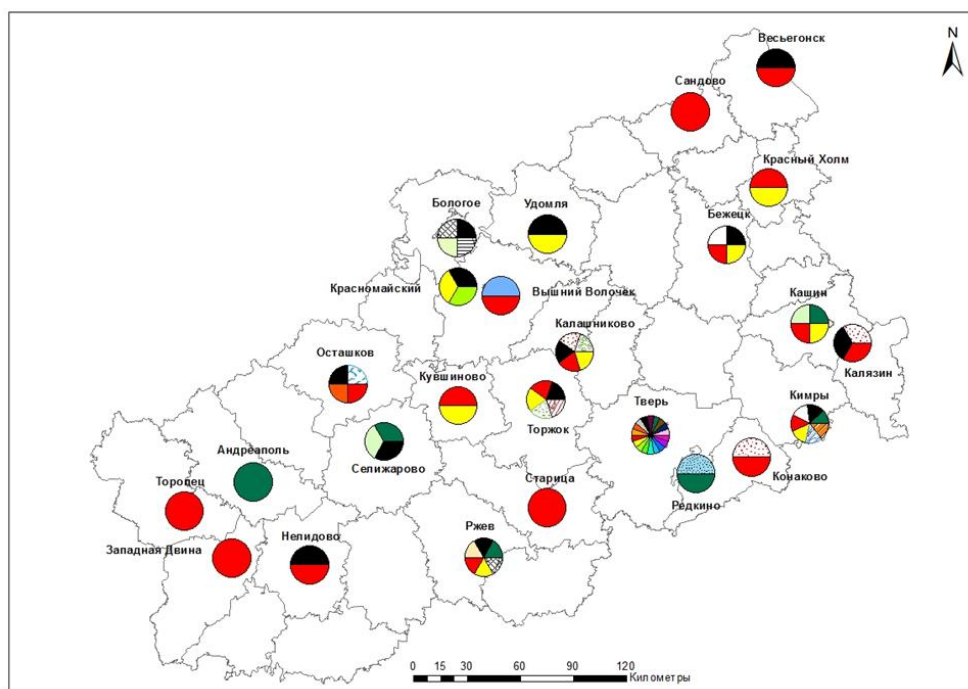
Наиболее географически доступно получение специальностей или профессий, относящихся к области образования – «Инженерное дело, технологии и технические науки». Подготовка специалистов среднего звена осуществляется по 35 специальностям, при этом по 10 из них только в Твери. Самый большой выбор специальностей в Твери (23), Ржеве (6), Удомле, Вышнем Волочке, Торжке, Кимрах, Конакове (по 5). Чаще других образовательные учреждения предлагают получить специальности – «Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта» (в 13 НП), «Технология машиностроения» (в 6), «Прикладная информатика» (в 5), «Компьютерные системы и комплексы» (в 5). Подготовка квалифицированных рабочих и служащих осуществляется по 33 профессиям в 25 населённых пунктах области. Наиболее распространёнными профессиями являются: сварщик (в 14 НП), автомеханик (в 11), мастер по обработке цифровой информации (в 7). Самый большой выбор у молодежи Твери (18 профессий), Кимр (7), Ржева (6), Калашниково и Торжка (по 5).



Р и с. 4. География подготовки специалистов среднего звена в области образования «Инженерное дело, технологии и технические науки»
Условные знаки см. ниже.

Условные знаки рис.4.

	Строительство и эксплуатация зданий и сооружений
	Монтаж и эксплуатация оборудования и систем газоснабжения
	Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий
	Компьютерные системы и комплексы
	Компьютерные сети
	Программирование в компьютерных системах
	Информационные системы (по отраслям)
	Прикладная информатика (по отраслям)
	Организация и технология защиты информации
	Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники (по отраслям)
	Почтовая связь
	Тепловые электрические станции
	Электрические станции, сети и системы
	Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)
	Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)
	Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)
	Технология машиностроения
	Производство тугоплавких неметаллических и силикатных материалов и изделий
	Технология производства и переработки пластических масс и эластомеров
	Биохимическое производство
	Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий
	Технология продукции общественного питания
	Рациональное использование природохозяйственных комплексов
	Пожарная безопасность
	Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ
	Землеустройство
	Земельно-имущественные отношения
	Сварочное производство
	Организация перевозок и управление на транспорте (по видам)
	Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта
	Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования (по отраслям)
	Эксплуатация транспортного электрооборудования и автоматики (по видам транспорта, за исключением водного)
	Конструирование, моделирование и технология изделий из кожи
	Конструирование, моделирование и технология швейных изделий
	Технология текстильных изделий (по видам)



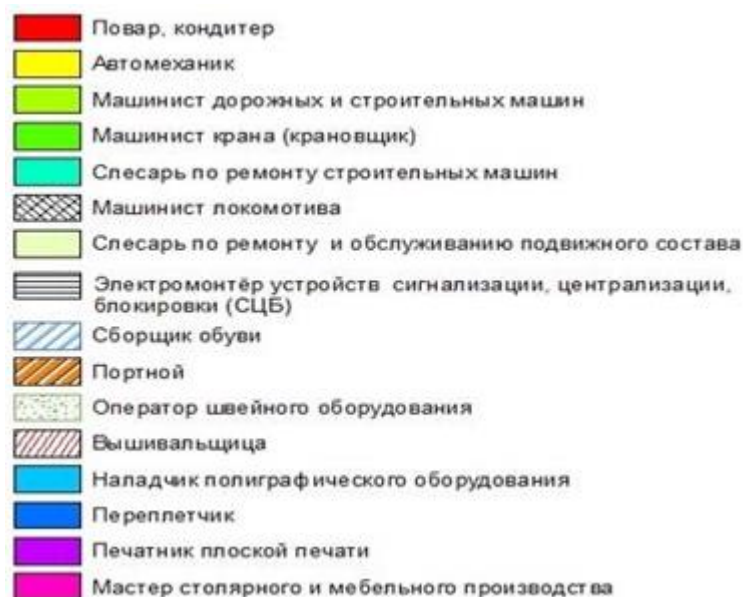
Р и с. 5. География подготовки квалифицированных рабочих и служащих в области образования «Инженерное дело, технологии и технические науки»

Профессии:

-  Мастер столярно-плотничных и паркетных работ
-  Мастер сухого строительства
-  Мастер общестроительных работ
-  Мастер отделочных строительных работ
-  Мастер жилищно-коммунального хозяйства
-  Электромонтажник электрических сетей и электрооборудования
-  Наладчик аппаратного и программного обеспечения
-  Наладчик компьютерных сетей
-  Мастер по обработке цифровой информации
-  Электромонтер по ремонту линейно-кабельных сооружений телефонной связи и проводного вещания
-  Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям)
-  Сварщик
-  Слесарь по контрольно-измерительным приборам и автоматике
-  Станочник (металлообработка)
-  Токарь-универсал
-  Лаборант-эколог
-  Пекарь

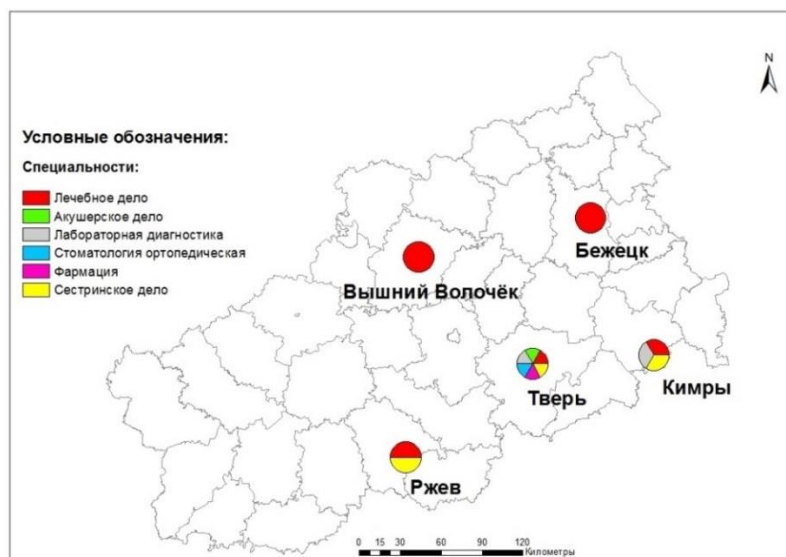
Продолжение условных знаков см. ниже.

Условные знаки рис.5.



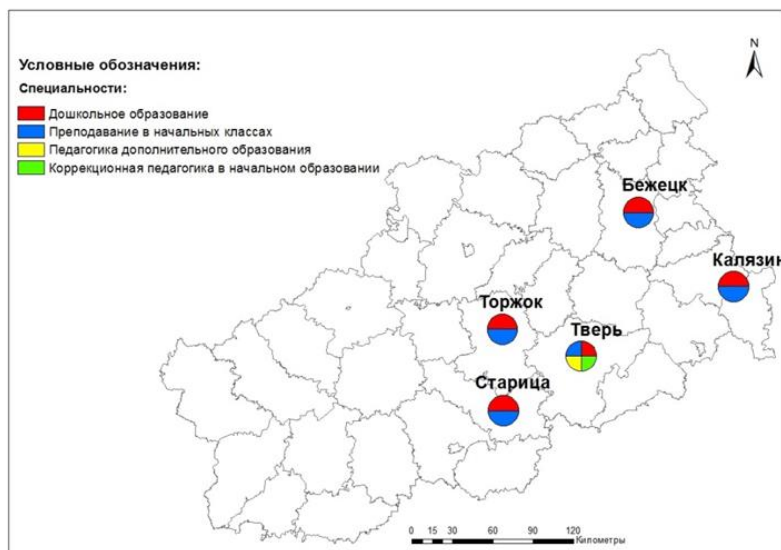
Также достаточно географически доступным является получение среднего профессионального образования по направлению «Науки об обществе», в котором наибольшее развитие получила подготовка по специальностям – экономика и бухгалтерский учёт (в 12 НП), право, организация социального обеспечения, гостиничный сервис (в 6). Всего предлагается подготовка по 14 специальностям, 4 из них можно получить только в областном центре. Наиболее широкий выбор специальностей данной области – в Твери (12 специальностей), Вышнем Волочке, Ржеве, Торжке (по 4). Подготовка квалифицированных рабочих и служащих в этой области образования осуществляется в 9 населённых пунктах. Наиболее распространёнными профессиями являются: продавец, контролер-кассир (в 7 НП) и парикмахер (в 4).

В то же время география подготовки по некоторым направлениям не отвечает потребностям области. Прежде всего, это касается географии подготовки специалистов среднего звена для здравоохранения и образования. Заккрытие фельдшерско-акушерских пунктов в последние десятилетия в области (в 1990г. в области было 1002 ФАПа, в 2017г. осталось 543 ФАПа) было связано не только с сокращением численности сельского населения, административной оптимизацией системы здравоохранения, но и с недостатком медицинских кадров, подготовка которых осуществляется только в пяти учебных центрах, выполняющих межрайонные функции. Значительная часть западных и северо-восточных районов области отдалена от них (рис.4).



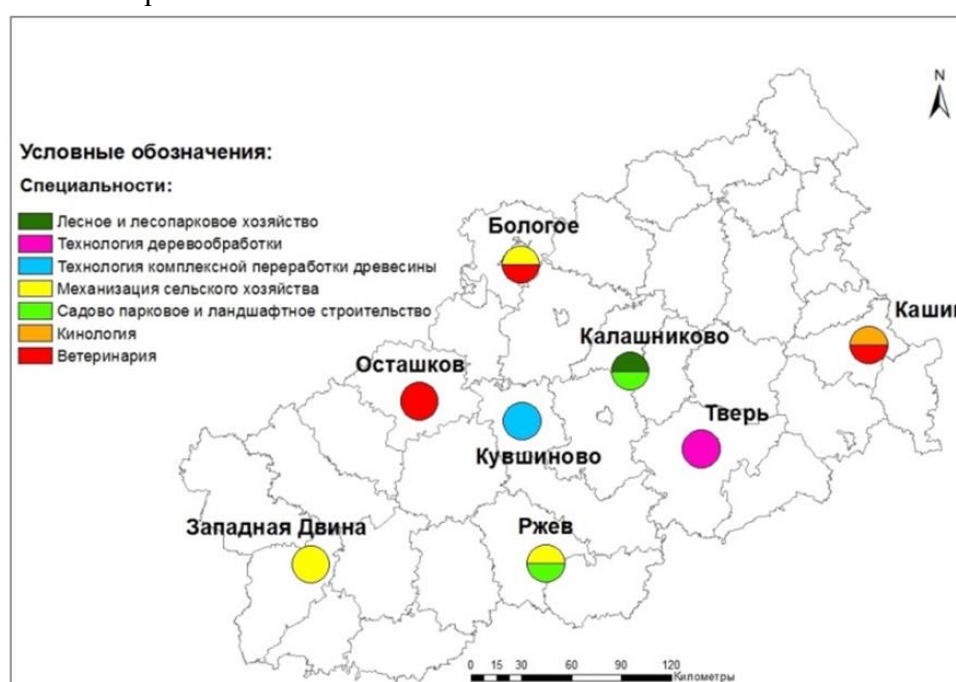
Р и с. 6. География подготовки специалистов среднего звена в области образования «Здравоохранение и медицинские науки»

Такая же проблема наблюдается и с географией подготовки кадров в области образования «Образование и педагогические науки». Она также осуществляется в пяти городах, два из которых совсем небольшие по численности населения (рис.5). Чем дальше учащийся после окончания основной или средней школы уехал на учебу, тем меньше надежд на его возвращение. Проблемы с кадрами для системы образования и здравоохранения усугубляются также низкой заработной платой.

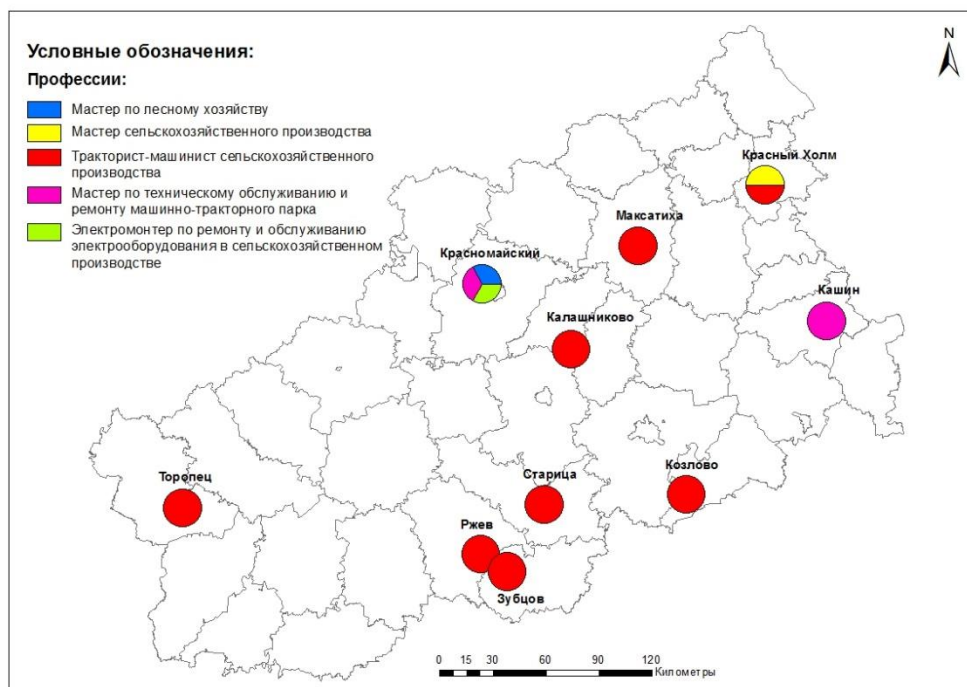


Р и с. 7. География подготовки специалистов среднего звена в области образования «Образование и педагогические науки»

Анализ размещения образовательных организаций, готовящих кадры для сельского хозяйства, также показывает наличие территориальных диспропорций. Подготовка кадров для сельского хозяйства включает как подготовку специалистов среднего звена (2 уровень), так и подготовку квалифицированных рабочих (1 уровень). Получить специальность или профессию в области сельского хозяйства можно в 13 городских поселениях, но география подготовки рабочих кадров более широкая (особенно трактористов – в 7 образовательных учреждениях). Специалисты для ветеринарной службы готовятся в Бологое, Осташкове и Кашине, механизации сельского хозяйства в Бологое, Ржеве, Западной Двине. Концентрация образовательных организаций в основном в центральной части области затрудняет привлечение и закрепление молодых квалифицированных кадров рабочих и специалистов для сельского хозяйства в западных и северо-восточных районах области.



Р и с. 8. География подготовки специалистов среднего звена в области образования «Сельское хозяйство и сельскохозяйственные науки»



Р и с. 9. География подготовки квалифицированных рабочих и служащих в области образования «Сельское хозяйство и сельскохозяйственные науки»

Переориентация молодежи на получение высшего образования, изменения спроса на рабочую силу в экономике, демографические ограничения определяют в настоящее время проблемы, стоящие перед средним профессиональным образованием Тверской области. Но в ближайшие годы (2019–2030 гг.) основную и среднюю школу будут заканчивать родившиеся в годы с положительной динамикой рождаемости, что должно привести к улучшению ситуации на рынке образовательных услуг. Важнейшей задачей среднего профессионального образования является закрепление молодежи в городах и районах области, тем самым способствуя замедлению старения населения. В этих условиях каждое учебное учреждение должно хорошо знать свое образовательное пространство и по возможности расширять его.

Список литературы

1. Государственная программа «Развитие образования на 2013–2020 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://минобрнауки.рф/документы/4106>.

2. Закон Российской Федерации «Об образовании» от 29.12.2012 N 273-ФЗ
3. Катровский А.П. Проблемы изучения территориальной организации профессионального образования. На примере Тверской области//Вопросы социально-экономической географии Верхневолжья. 1982.– С.46–62.
4. Лапушинская Г.К. Формирование системы планирования развития территориального комплекса профессионального образования в условиях рыночной трансформации социальной сферы. Диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук. Санкт-Петербург, 2004.
5. Рейтинг региональных систем среднего профессионального образования с позиций востребованности их услуг [Электронный ресурс]. –Режим доступа: URL:http://ria/sn_edu.
6. Регионы России. Социально-экономические показатели. М.: Госкомстат, 2016 г.
7. Римашевская Н.М. Качество человеческого потенциала России как стратегическая цель // Народонаселение.2004, №2, С.17–27.
8. Тверская область в цифрах. Тверь, Тверьстат, 2002–2016 гг.
9. Щукина А.С. Качество человеческого потенциала Тверской области //Вестник Тверского государственного университета. Серия: «География и экология». 2009. № 31. С.62–81.
10. Щукина А.С. Географический анализ современных демографических процессов //Вестник Тверского государственного университета. Серия: «География и экология». 2015. № 2. С.44–56.

SPATIAL ASPECTS OF THE FUNCTIONING OF THE SYSTEM OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION

A. S. Shchukina, D.V. Ponomarev

Tver State University, Tver

The article analyzes the factors that influence the dynamics and structure of admission and release by professional organizations of different levels. The possibilities of obtaining various specialties and professions are analysed. Geographic accessibility of secondary vocational education in different fields of knowledge is compared.

Keywords: *professional education, territorial organization, transformation processes, geographic availability*

Об авторах:

ЩУКИНА Анна Сергеевна – кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии и территориального планирования Тверского государственного университета, e-mail: socgeo2@mail.ru.

ПОНОМАРЕВ Даниил Валерьевич – студент 2 курса магистратуры по направлению «География» Тверского государственного университета, e-mail: socgeo2@mail.ru.

УДК 911.375.52:711.5

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-234-245>

РАЗМЕРНОСТЬ ЭКУМЕНИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА ПРИМЕРЕ ВЫЯВЛЕНИЯ ВНУТРИГОРОДСКИХ ЯЧЕЕК

Ю.В. Преображенский

Саратовский национальный исследовательский государственный
университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов

В настоящей работе делается попытка определить размерность экистической ячейки (ячейки городского пространства). Для этого предлагается опираться на физиологические особенности человека, в том числе радиус его общения и перемещения (шаговая доступность). Анализируются основные понятия, имеющие отношения к такой размерности. Рассматриваются современные подходы к выявлению ячеек городского пространства среди архитекторов и урбанистов. Приводятся примеры городов, расположенных на полуостровах, для наглядности изучения расположения на их территории селитбы. Рассматривается также размер жилого района и её связь с формальными и неформальными районами города. Ставится вопрос о возможности выявления городских ячеек по картам стоимости жилья. Данные направления исследования позволили выявить размер экистической ячейки в 2,5–3 км².

Ключевые слова: *экистика, экуменическое пространство, город, полуостров, макропространство, ячеистость города, размерность.*

Введение. География как научная дисциплина оперирует величинами в пределах от первых десятков метров до десятков тысяч километров (ограничиваясь, видимо, длиной экватора). Между этими крайними значениями лежит множество расстояний. Однако, вероятно, некоторые из них будут встречаться в практике чаще, чем другие. Можно высказать предположение, что общественной деятельности в целом присуща своя размерность, некий антропогенный масштаб, который будет существенно отличаться от размерности, в рамках которой существуют насекомые, грызуны или рыбы, например.

Очевидно, что человек способен взаимодействовать с окружающей средой в определённых пределах (расстояниях), обусловленных его физиологией, а также физическими свойствами земной материи (уклон земной поверхности, сила трения, высота растений и пр.). Предположим, что существует некая базовая размерность пространства, в пределах которой человек осуществляет ряд отношений разного характера (взаимодействие с природой, техногенной средой и внутри социума). Назовём её экуменической размерностью, т.е.

размерностью, в которую помещается («упаковывается») деятельность отдельных индивидов и общества в целом.

Нам представляется, что следует выделять отдельно ячейку *непосредственного восприятия*, *экистическую* ячейку и ячейку *хозяйственной деятельности*. Площадь первой определяется физиологическими особенностями восприятия индивида, второй – процессами интеграции и дифференциации пространства населённых пунктов, третьей – характером производственной деятельности. В данном тексте речь пойдёт прежде всего об экистической ячейке¹, предпосылках её формирования и размере.

Место, среда, локалитет как ячейки пространства. В современной литературе присутствует ряд терминов, которые можно рассматривать в качестве низовых таксономических единиц пространства Ойкумены. Это понятия место, среда и локалитет.

В зарубежной литературе понятие места в географическом понимании, а также различия между местом (place) и пространством (space) в соответствующей работе [16] рассматривалась И.Фу. Туаном.

С позиций функционального подхода несколько десятилетий назад А.А.Минцем и В.С.Преображенским было предложено понятие «функция места», под которым авторами понималась некоторая часть географического пространства, несущая определённую функцию в жизнедеятельности общества и удовлетворяющая соответствующим потребностям в его жизнедеятельности [7].

Однако в случае, если какой-то участок геопространства не пригоден ни для какой хозяйственной функции, можно ли считать его местом? Видимо, место выполняет некие функции только в пределах Ойкумены, иначе такой (выделяемый) участок будет входить в более глобальную структуру и оцениваться со средовых позиций, в качестве звена глобальных природных кругооборотов. По сути, его уже сложно называть местом в полном географическом смысле, так как к нему становятся неприменим язык экономгеографии, и следует обозначать такой участок скорее исключительно микро- или геохорой.

Некоторые исследователи склонны трактовать место как нечто, близкое по своим функциям среде, нечто, детерминирующее деятельность человека. При этом место само трансформируется человеком, что выражается в возникающих антропогенных ландшафтах.

¹ Экистика изучает системы расселения; традиционно масштаб её применения более мелкий, т.е. рассматривается некоторая совокупность населённых пунктов в пределах региона или страны. Тем не менее, представляется, что поскольку в данной статье акцент направлен прежде всего на отношения человека и пространства в целом (а не только внутригородского), выявление экистической ячейки проявится в конечном счёте и процессы организации системы расселения в целом.

Понятие «среда» стоит рассматривать как попытку перенести определённые наработки из экологии в общественную географию. При использовании средового подхода человек рассматривается в постоянном взаимодействии с его жизненным пространством, причём такое взаимодействие строится на системе обратных связей. Нужно отметить, что в определении «среды» не заложены критерии её пространственных рамок, а также не решены вопросы взаимодействия сред между собой.

Понятие локалитет известно по работе Ю.А.Скопина [13] и определяется им как местность (освоенный участок территории) с отдельным населённым пунктом и предприятием. Другими словами, в локалитете представлены все три блока – природа-население-хозяйство, – являющиеся базисом для жизнедеятельности. Таким локалитетом можно считать и крошечное фермерское хозяйство, и моногород при заводе. Что показательно, в словаре-справочнике по социально-экономической географии [14] данный термин вообще не представлен. По всей видимости, понятие столь универсально, что его применение затруднено.

В целом, следует отметить, что дефиниции всех трёх приведённых терминов лишены количественной оценки их площади. Тем не менее, нам представляется, что процессы самоорганизации общества тяготеют к некоторой размерности, которую на примере организации городского пространства и планировки мы постараемся показать на некоторых примерах.

Ячейка непосредственно восприятия. Известно, что человек, стоящий на земле, имеет обзор до 6 км, что задаёт наблюдаемую площадь (исходя из такого радиуса) в более чем 100 км². Однако обозреваемые места часто ограничены естественными или искусственными преградами, к тому же особенности места должны быть различимы, осознаваемы (если только речь не идёт о горных комплексах и других гигантских объектах), что, видимо, уменьшает реальный радиус места до величины не более 2 км (12 км²), или даже менее 1 км (менее 3 км²). Это зона зрительного восприятия. Зоны звукового, ольфакторного (связанного с обонянием) восприятия существенно уже, в ещё большей степени это касается зон осязательных и вкусовых ощущений.

В условиях городской застройки представляется логичным выделить определённую «контактную» область, т.е. такую, которая позволяет человеку вступать в коммуникацию. Как правило, черты лица человека различимы на расстоянии 100 метров, что ограничивает площадь коммуникационного действия в 0,03 км² (или 3 га).

В свете изложенного интересна серия работ А.В. Крашенникова по когнитивной урбанистике. «Исходный тезис когнитивной урбанистики состоит в том, что городская среда состоит из дискретных частей, как по восприятию, так и по методу создания: микро-

пространство соответствует «пузырю» персонального общения [6]; мезо-пространство охватывает видимую и интерактивную часть городской территории, так называемое «выпуклое пространство» [5]. Городскую территорию, ограниченную условиями пешеходной доступности и узнаваемой социальной практики (Identified social practice), предлагается называть «крупным» или (по-гречески) «макро-пространством» [4, с.3].

Таким образом ячейка *восприятия и коммуникации* соответствует микро- и мезопространствам, выделяемым этим автором. При этом им прослеживается тенденция «...взаимосвязи средового поведения человека с пространственной организацией элементов среды, что фиксируется... в виде закономерностей распределения базовых моделей микро-пространств. Более спокойным и малолюдным видам деятельности ... свойственны небольшие закрытые микро-пространства. Более подвижным и многолюдным видам деятельности ... свойственны более крупные и раскрытые микро-пространства» [6, с.4].

Экстическая ячейка «вмещает» уже не одного индивида, а определённую территориальную общность людей. Последняя в процессе формирования городского пространства проявляет свойство самоорганизации и обособливается в пределах некоторых границ, которые могут соответствовать городу в целом или его части. Она состоит из одного или нескольких макропространств.

Макро-пространство, по А.В.Крашенинникову, представляет собой социально-пространственный комплекс макроуровня городской среды, имеющий событийную окраску и территориальную принадлежность, например: центр города, район станции метро, соседний квартал, парк культуры [4, с.3]. В этом смысле макропространство сближается с вернакулярным районом [9].

Заметим, если микро- и мезопространства представляют собой прежде всего общественные пространства и расположены соответственно между зданиями (в своего рода полых пространствах), то макропространства в силу своей величины включают уже как пустые, так и «заполненные» пространства города.

С другой стороны подходит к вопросу фрагментации городского пространства Д.Б.Веретенников, который выделяет три группы городских территорий с различными линейными и плоскостными параметрами структурно-планировочных элементов (кварталов, микрорайонов, промышленных площадок), среди которых мелкочаистые (площадь элементов 0,3–4,4 га); среднечастые (4,4–9,4 га); крупнечастые (площадь элементов 8,3–183,8 (и более) га). Чаистость территорий определяется соответствующей плотностью улично-дорожной сети» [2, с.14]. Таким образом, выделяемые автором планировочные ячейки изначально заполнены строениями. На примере Самары можно видеть соотношение трёх типов структурно-планировочных элементов (см. рис. 1).



Р и с. 1. Картограмма величины структурно-планировочных элементов Самары на конец XX века [3]

Случай городов на полуостровах. Очевидно, что для выделения *экстической* ячейки (т.е. имеющей отношение к системе расселения) следует обратиться к планировочным особенностям городов. Современные города в процессе роста сливаются друг с другом, образуют агломерации (если понимать под последними зону непрерывной застройки), в связи с чем выделить границы городов становится почти невозможно. На этом этапе развития процессы аккреции городов преобладают над процессами выделения отдельных районов внутри агломераций, которые и являются своеобразной ячейкой.

В связи с этим более показательна «вписанность» города в ландшафт как своеобразный компромисс между физико-географическими ограничениями и процессами интеграции городского пространства. Крайним примером такой обусловленности являются акватории. В отдельных случаях города располагаются на полуостровах, при этом речь может идти о «классических» полуостровах, выдающихся в море, а также о территориях при слиянии крупных рек. Представим себе полуостров в виде буквы Л. Город может занять какую-то его часть¹, при этом ключевое значение будет иметь в этой схеме улица, соединяющая

¹ В отдельных случаях полуостров оказывается слишком мал, чтобы вместить весь город.

оба побережья (представим её в виде черточки в букве А), дальняя от вершины буквы, но при этом проходящая в черте города. Длина этой улицы показательна в том смысле, что позволит выявить, на каком расстоянии будут использоваться оба берега и одновременно в пределах какой площади будет наблюдаться цельность городской планировки. Собственно, получившийся треугольник (в букве А) и будет урбанистической ячейкой.

Рассмотрим примеры некоторых городов (см. табл.).

Т а б л и ц а

Длина ограничивающей улицы для городов на полуостровах

Города	Улицы	Протя- жённость, км
Ейск	Свердлова	3,08
Кинешма	им. Фрунзе	0,63
Н.Новгород	Окский съезд - ул. Белинского - станция канатной дороги на Бор	6,08
	Почтовый съезд – Октябрьская – Нестерова	2,95
Севастополь	Портовая – Котовского – Олега Кошевого – Руднева – Меньшикова – Шелкунова – пр. Ю.Гагарина	5,85
	Пожарова – Стерлецкий спуск – Адм.Октябрьского – Б.Морская – Ленина	2,62
Таганрог	Гоголевский пер.- Б.Садовый пер.	3,26
Тобольск ¹	Ленина – Розы Люксембург	4,14
	Ленина - Краснофлотская - Пролетарская стрелка	3,69

Отметим, что в приведённых городах выявление «замыкающей» улицы может выполняться несколькими способами: в более узких и в более широких пределах. Альтернативы видны в таблице. В целом можно отметить, что среднее значение протяженности 3-3,5 км. Это значит, что площадь выделяемого треугольника составляет от 3 до 8 км² (учитывая остроту угла от 60 до 30 градусов).

Многое зависит от формы полуострова (далеко не всегда он классической формы), от расположения улиц (которые не всегда переходят одна в другую на одном уровне). Для одних городов выделение «замыкающей» улицы единственно, в других много

¹ В случае Тобольска на собственно полуострове, образованном изгибом реки, располагаются только окраины города.

вариантов. Например, для Севастополя есть вариант с выделением большого полуострова по железной дороге от Инкермана до Балаклавы протяженностью 14 км. Однако в этом случае непрерывной застройки к западу от этой линии не наблюдается, т.е. внутри этого полуострова образуются несколько ячеек.

Районы как ячейки. В основополагающем документе по планировке и застройке городских и сельских поселений – СНиП 2.07.01-89 – указано, что площадь района не должна превышать 250 га (т.е. 2,5 км²), а сам район формируется как группа кварталов (микрорайонов), как правило, в пределах территории, ограниченной городскими магистралями, линиями железных дорог, естественными рубежами (река, лес и др.)¹.

Район можно считать ячейей верхнего уровня (макропространства), но необязательно он выделяется так отчётливо, как ячей. Это же соображение относится к формальным административным городским районам. Можно пойти путём выделения усреднённой их площади и выявить на этой основе искомую площадь «урбанистической» ячейки. Однако границы многих из этих формальных районов проведены в силу определённых политических и административных соображений, а также часто обладают столь значительными внутренними отличиями, что в действительности многие из них сложно признать целостными территориальными образованиями. Кроме того, районы в городах разной людности будут существенно отличаться по своей площади.

Выходом здесь может являться выделение вернакулярных районов, однако, подсчёт площадей последних – непростая и не решённая до настоящего времени задача. При этом можно говорить о вернакулярном районе низового уровня как о ячейке восприятия, коммуникации – своеобразном месте встречи у городской доминанты; а также выделять район более высокого уровня, где преобладают уже социальные связи и жителям присуща определённая общность, исторически сложившаяся или благоприобретённая.

На фоне относительно медленно меняющихся очертаний городов, его архитектурной ткани, социальные практики людей могут изменяться существенно быстрее (11, с.180). С позиций формирования культурного пространства города [10], трансформации его хронотопа [12] также можно подходить к фрагментации городского пространства на ячей.

Пешеходная доступность как способ вычленения ячейки. К определению площади ячей можно подойти с несколько другой стороны, представив процессы интеграции и дифференциации городского пространства в зависимости от связности последнего, которая в свою

¹ СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* (с Поправкой): <http://docs.cntd.ru/document/1200084712>.

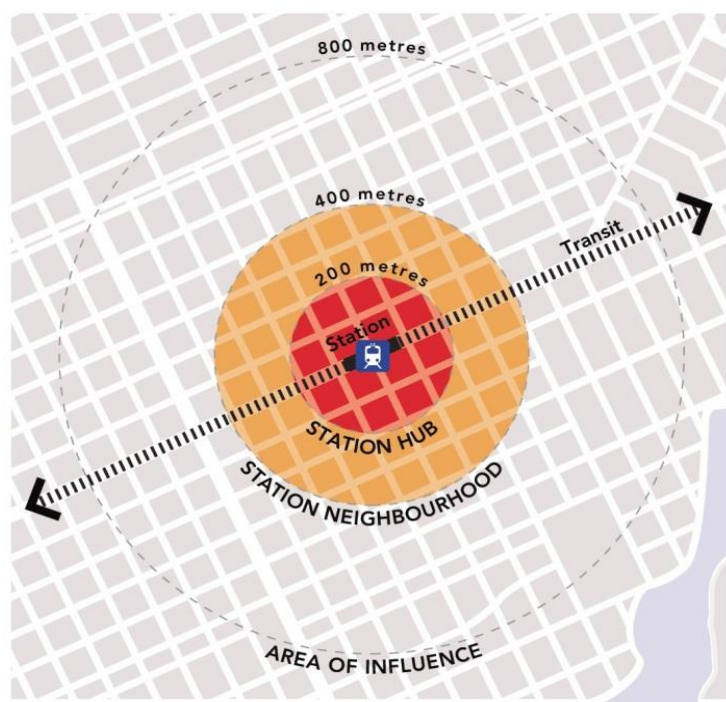
очередь определяется ограничениями пешего перемещения индивидов. «Согласно этому подходу более компактные макро-пространства, то есть пространства с более коротким временем внутренней связи, являются и более интегрированными, а пространства с более продолжительным временем связи имеют тенденцию к разделению, что ведет к закреплению специализированных функций, то есть, к функциональной специализации назначения, оснащения и оборудования участков территории» [4, с.4].

В ходе таких процессов интеграции и дифференциации возникает то, что отдельные авторы называют «клеточной структурой» города, представленной «городскими районами, каждый из которых имеет структуру клетки, состоящей из центрального культурно-общественного ядра, эффективной транспортной артерии и атомов жилой и общественной застройки» [1, с.52].

Плотность застройки разных районов во многом определяет степень развития транспорта, ориентацию на общественный или личный транспорт. В зарубежной литературе активно развивается представление о двух типах районов: т.н. транзитно ориентированные районы (TOD - transit-oriented development)(см., например, [15]) и COD (car-oriented development). Площадь первого определяется временем и расстоянием пешеходной доступности до транспортного узла (станции метро или автобусной остановки), которое составляет 600–800 метров (см. рис. 2).

Если принять радиус такого района за 800 метров, то его площадь составит 2 км², кроме того в случае покрытия территории кругами возникает известная проблема неохваченных участков, которые тем не менее станут тяготеть к той или иной станции (центру района), в результате чего площадь увеличится (вероятно, до 2,5–3 км²).

Клеточная, полицентрическая структура города, которая по мнению многих урбанистов должна являться целью развития города далеко не всегда функционирует соответственно (т.е. с относительно высокой степенью замкнутости потоков людей в пределах таких клеток). Так. С.Б.Поморов, Р.С.Жуковский отмечают, что «полицентрическая система ведёт себя не так просто, как это предполагалось в модели «большой деревни» или «соседства с работой». Вместо ожидаемой федерации самодостаточных районов складывается довольно запутанная картина многих центров, привлекающих не столько локальное население, сколько со всего города – так же, как и ядро при моноцентризме [8, с.71].

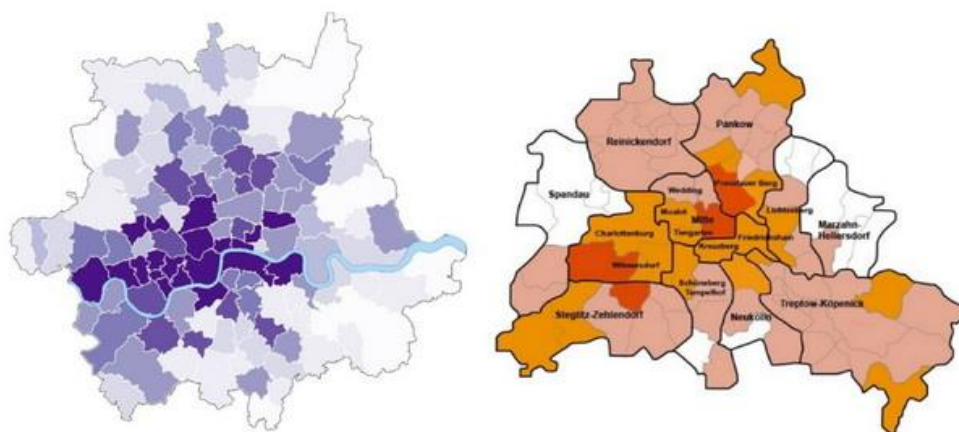


Р и с. 2. Схема транзитно ориентированного района¹

Стоимость недвижимости также может являться маркером «ячеистости» города. В моноцентричном городе стоимость квадратного метра уменьшается при удалении от центра города [8, с.69]. В теории, высокая стоимость квадратного метра жилья может свидетельствовать о его близости к центру определённой ячейки города, чем больше таких пиков цен на карте городе – тем больше ячеек в нём можно выделить. В действительности же, в большинстве городов выделяется один центр, от которого стоимость метра снижается по радиально-кольцевому или ортогональному (от реки или побережья) градиенту (см. примеры на рис. 3). Видимо, такие пики можно отследить только на более подробной карте.

Заключение. Таким образом, мы показали, что процессы территориальной самоорганизации приводят к формированию относительно обособленных экистических ячеек площадью 2,5-3 км². Такая размерность проистекает, во-первых, из физиологических возможностей человека по преодолению пространства, а, во-вторых, из процесса интеграции близко расположенных элементов городского пространства.

¹ http://www.somervillebydesign.com/wp-content/uploads/2013/08/TOD_Diagram.jpg



Р и с. 3. Различия в стоимости недвижимости по территории Лондона¹ (слева) и Берлина (справа) (чем интенсивнее цвет, тем стоимость квадратного фута больше) [2,3]

Перспективен вопрос о соотношении выделяемых ячеистых структур (морфоструктур городского пространства) с формальными и неформальными городскими районами.

Список литературы

1. Вавринчук П.А., Иванова А.П. Общественные пространства как необходимая часть живого города // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2014. №1. С. 50–53.
2. Веретенников Д.Б. Метод преобразования сложившихся планировочных структур крупнейших городов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. №4(21). С. 13–22.
3. Веретенников Д.Б. Закономерности формирования и исторического развития планировочных структур крупнейших поволжских городов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство сборник статей. под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, Е.А. Ахмедовой; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Самара, 2015. С. 28-33.
4. Крашенинников А.В. Макро-пространства городской среды // Architecture and Modern Information Technologies. 2016. № 3 (36). С. 12.
5. Крашенинников, А.В. Мезо-пространства городской среды // Международный электронный научно-образовательный журнал "AMIT". Электронный ресурс. URL:

¹ Приведено деление на основе почтовых индексов

² <https://www.findproperly.co.uk/price-per-square-foot.php#.W1q678J9g5d>

³ <https://www.firstcitiz.com/about-berlin/berlin-property-prices.html>

- <http://www.marhi.ru/AMIT/2015/4kvart15/krash/abstract.php> (дата обращения: 03.07.2018).
6. Крашенинников, А.В. Микро-пространства городской среды // Международный электронный научно-образовательный журнал "АМИТ". Электронный ресурс. URL: <http://www.marhi.ru/eng/AMIT/2014/4kvart14/krash/abstract.php> (дата обращения: 05.07.2018).
 7. Минц А.А., Преображенский В.С. Функция места и ее изменение // Известия Академии наук СССР. Серия географическая и геофизическая. 1970. № 6. С.118–131.
 8. Поморов С.Б., Жуковский Р.С. Анализ современных представлений о полицентрической структуре города // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1 (54). С. 67-79.
 9. Преображенский Ю.В., Арутюнян Н.А., Галстян Г.А. Вернакулярные районы Еревана и Саратова: морфологические различия городских пространств // Социология города. 2018. № 2. С. 46—54.
 10. Преображенский Ю.В., Маканцева Л.В. Территориальные аспекты и принципы трансформации культурного пространства города (на примере Саратова) // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 1. С. 22–26.
 11. Преображенский Ю.В. Перцепционная география на локальном уровне: некоторые методы выявления топофильных и топофобных мест // Общество. Человек. Риски Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 179-181.
 12. Преображенский Ю.В. Хронотоп в современном географическом дискурсе // Вестник Тверского государственного университета. Серия: География и геоэкология. 2017. № 3. С. 65-73.
 13. Скопин А.Ю. Введение в экономическую географию: Базовый курс для экономистов, менеджеров, географов и регионоведов: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. – 272 с.
 14. Социально-экономическая география: понятия и термины. Словарь-справочник. Отв. ред. А.П. Горкин. – Смоленск: Ойкумена, 2013. – 328 с.
 15. Samuelson, Michael (2009) "Reducing Cars and Increasing Development: How the Creation of a Viable Transit Oriented Development Corridor in Arlington, Virginia has Sparked Growth," Cities in the 21st Century: Vol. 1: Iss. 1, Article 4. <http://digitalcommons.mcalester.edu/cities/vol1/iss1/4>
 16. Tuan Yi-Fu. Space and Place: The Perspectives of Experience. Minneapolis, University of Minnesota Press, 1977, and London: Edward Arnold's 1977, 227 pp.

THE ECUMENICAL DIMENSION OF SPACE ON THE EXAMPLE OF IDENTIFY URBAN SPACE CELL

Yu.V. Preobrazhenskiy¹

¹Saratov State University, Saratov

In this paper an attempt is made to determine the dimension of the economic cell (urban space cell). For this purpose it is proposed to rely on the physiological characteristics of the person, including the radius of his communication and movement (walking distance). The basic concepts related to this dimension are analyzed. Modern approaches to the identification of urban space cells among architects and urbanists are considered. The examples of cities located on the peninsulas for clarity of the study of the location on their territory of the settlement are led. The size of the residential area and its connection with the formal and informal areas of the city are also considered. The question is raised about the possibility of identifying urban cells on maps of the cost of housing. These areas of study revealed the size of settlement cells ca. 2.5-3 km².

Keywords: *ekistics, an ecumenical space, the city, the peninsula, macrospace, cellular city, dimension*

Об авторе:

ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ Юрий Владимирович – к.г.н., доцент, кафедра экономической и социальной географии СГУ им. Н.Г. Чернышевского, e-mail: topofag@yandex.ru

УДК 911.373.4

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-246-260>

ИСТОРИЯ МАЛОЙ ДЕРЕВНИ

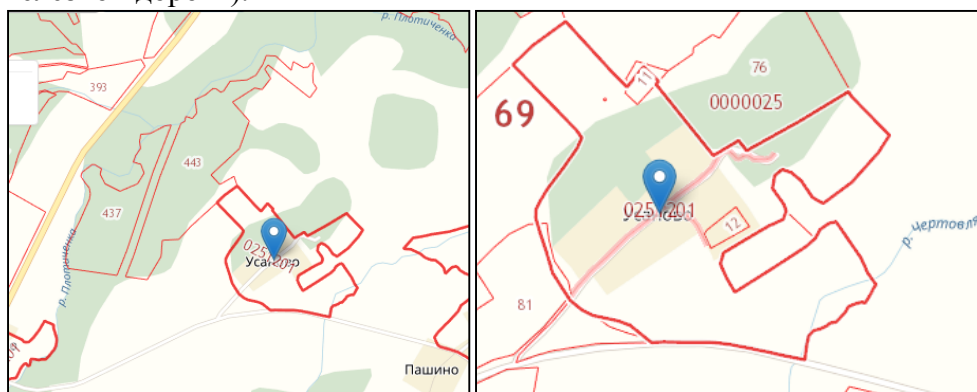
С.И. Яковлева

Тверской государственный университет, г.Тверь

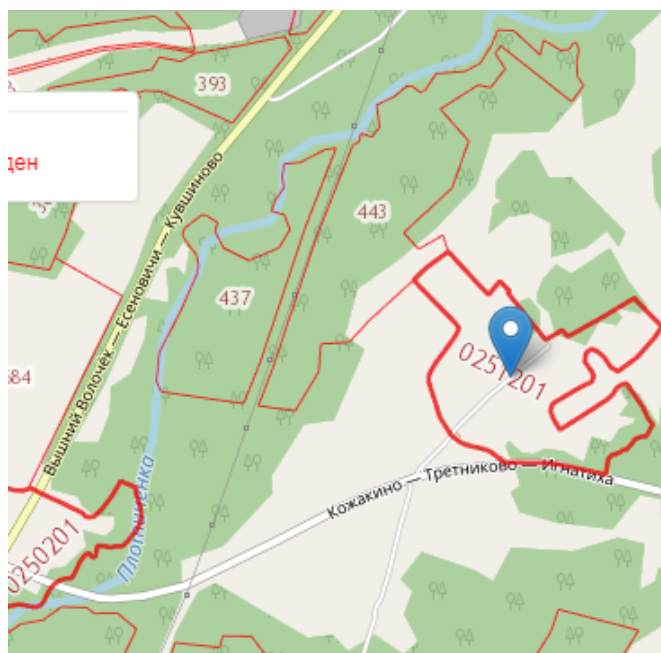
Представлено историко-географическое исследование малой деревни с конца XV в. Исследование базируется на данных писцовых книг, анализе старых и современных карт, статистике и представляет собой многолетнее исследование автора.

Ключевые слова: *деревня, междуречье малых рек, ареал сельского расселения.*

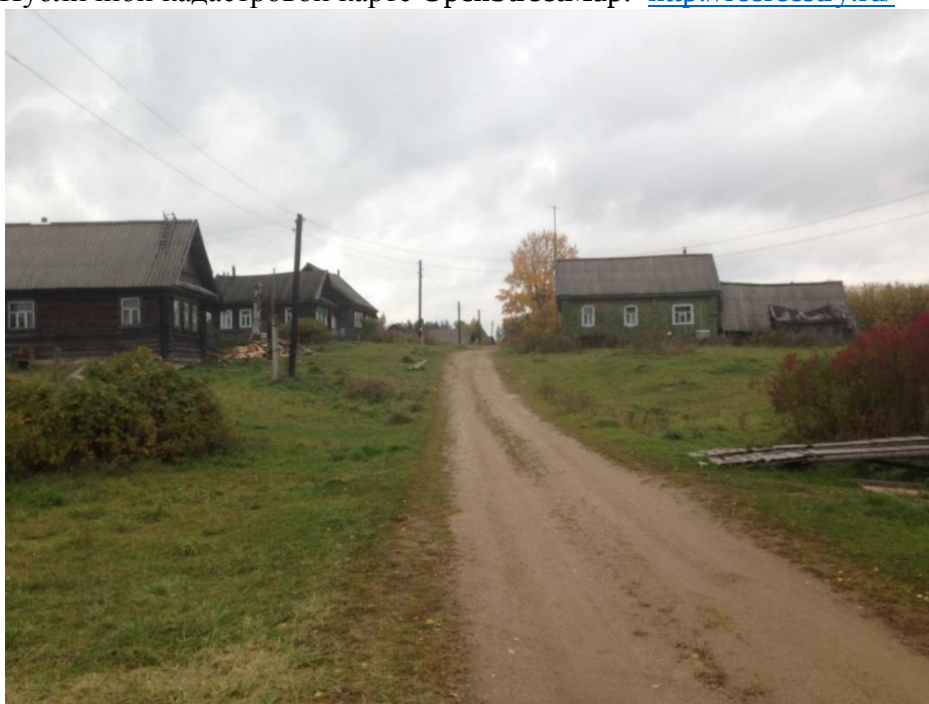
Наше исследование проведено на примере старой крошечной деревеньки – Усаново (рис.1–3) [13]. Первоначальное название – *Пепелково*, известна с XV в., позднее и до начала 1970-х гг. – *Пипиково* – название, вероятно с трансформацией буквы «е» на «и» и потерей корневой буквы «л» первого имени). Этот населенный пункт расположен в крупном сельском ареале расселения в соседстве с такими же и более крупными деревнями *староосвоенного междуречья* малых рек *Садва и Шегра* [14], в его внутреннем междуречье *Плотиченки и Чертовли* (рис.1–2) в окружении лесов и болот на одном из холмов *Вышневолоцкой гряды Цнинской возвышенности* (210 м). По автодорогам деревня имеет выход к шоссе *Кувшиново – Вышний Волочек* (районный центр, железнодорожная станция *Октябрьской железной дороги*).



Р и с.1. Деревня Усаново в междуречье Плотиченки и Чертовли на современной карте Росреестра Яндекс-карта: <http://rosreestry.ru>



Р и с. 2. Транспортно-географическое положение деревни Усаново на Публичной кадастровой карте OpenStreetMap: <http://rosrestry.ru/>



Р и с. 3. Юго-западный склон холма – живая часть старой деревни Усаново (фото автора)

По шоссе через Кувшиново можно очень быстро доехать до озера Селигер – основной рекреационной зоны Тверской области. Своё нынешнее имя деревня получила в честь героя Советского Союза –

Константина Яковлевича Усанова¹, здесь в деревне с 1930-х гг. жила его семья (родители).

История деревни: краткая хронология

- **Конец XV в.:** деревня Пепелково указана в Писцовой книге 1495 г. [5, с.4] в составе Заборовского погоста (рис.4) Деревской пятины [4,11]:

[ЗАБОРОВСКОЙ ПОГОСТЪ].

Въ Заборовѣ же великого князя волостка оброчная, что была Аркажского монастыря за кормленщикомъ.

Д. Кокоткино: дв. Осташъ да Олешка Похлебаевы, сѣютъ ржи пол-3 коробки, а сѣна косятъ 15 копенъ, обжа; доходъ четыре денги съ четверетцою, пол-2 четки ржи, пол-2 четки овса. Д. Пепелково: дв. Захарко Микулкинъ, дв. Степанко Малашевъ, сѣютъ ржи 3 коробки, а сѣна косятъ 13 копенъ, обжа; дохода 4 денги, четка ржи, четка овса. Д. Обелцова: дв. Микитка Ёмкинъ, дв. Ми-

В 1495 г. в деревне было всего 2 двора. Можно предположить, что эти две семьи ушли на новое более безопасное место (Пепелково) из д. Кожакино, стоявшей на дороге Новгород – Есеновичи – Торжок. Вероятно, и первоначальное название Пепелково – пепел/зола от сожженного леса под пашню. Крестьяне деревни выращивали рожь, заготавливали сено. Оброком должны были отдать рожь, овес и деньги. Вероятно, овес, который сами не выращивали, обменивали на ближайшем «торге» в Забровье (7 км от Пепелково) или в Есиновичах (на ярмарках). До этих местных «рынков» можно было добраться по двум дорогам от «перекрестка» в д. Кожакино (1,5 км от Пепелково): до Есенович – по сухопутной дороге Торжок – Новгород, а до Забровья по подъездной дороге через Бухолово и Гарусово в Забровье. На рынке

¹ <http://www.history.tver.ru/sr/Her02/UKYa.htm>.

крестьяне Пепелково (как и соседних деревень), вероятно, продавали/меняли свой «товар» – рыбу (её было много в речках), меха, шкуры диких животных (медведь, зайцы, бобры, лисы), лесные ягоды и грибы и др.

Общая площадь земли двух дворов деревни составляла обжа (старая мера площади – обжа¹ = 5 десятин² = 5,45 га). Это соответствует почти четверти площади современной деревни.



Р и с. 4. Реконструкция средневековой новгородской деревни³.
Такой же могла быть и деревня Пепелково.

¹ По В.И. Далю «обжу местами считают в 125 саженой длины, в 32 саженой ширины, а в новг. обжа пять десятин; ·стар. 15 десятин, по пяти в поле, словом, в разных местах обжа была разная». Толковый словарь Даля. В.И. Даль. 1863-1866. Источник: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc2p/284858>

² Десятина – старая русская единица земельной площади = 109,25 соток = **1,09 га**, использовалась в России до введения метрической системы.

³ Фото: В. Мальцев на сайте: <http://russiantourism.ru/report/drevnerusskaja-derevnja.html>. См. подробно на сайте <http://lubturism.ru/muzej.html> раздел: экспозиция Любытинского краеведческого музей под открытым небом (пгт Любытино Новгородской области) – точная копия поселения славян X века, состоящая из комплекса жилых и хозяйственных построек (клети, амбара, погреба, гумна, хлебной печи), известных по материалам археологических раскопок.



Р и с. 5. Справочно: реконструкция и классической курной избы (без дымовой трубы) средневековой новгородской деревни ¹

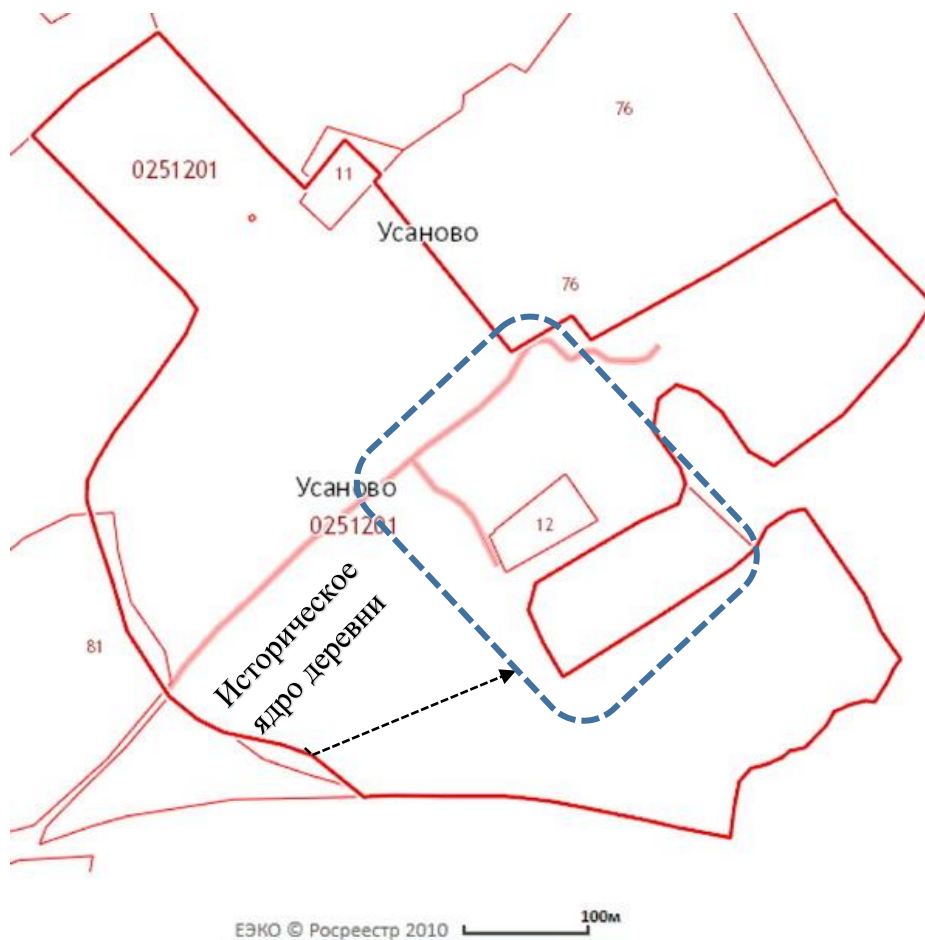
*Справка*²: изба рублена из бревен и покрыта берестой и дерном. В некоторых регионах крыши таких же изб крыли соломой, а где-то щепой. Перед входом в дом крытая площадка – сени. Топится изба по-черному, то есть дымовой трубы печь не имеет, дым выходит через маленькое оконце под крышей и через дверь. Дверь высотой всего лишь около метра. Это сделано для того, чтобы не выпускать тепло из избы. У бедных людей избы были позёмными, т. е. установленные прямо на земле без всякого фундамента, нижние венцы просто опираются на несколько крупных камней. Каменный очаг устанавливался на постаменте из обмазанных глиной бревен. К XV в. в избах стали получать распространение примитивные печи, которые также топились по-черному. В период до XVII в. печи не имели ни труб, ни иных приспособлений для отвода дыма, затем стали появляться устройства для вывода дыма сверху: в верхней части, в потолке делалось отверстие, откуда горизонтально вел деревянный короб, называемый боров. Этот боров далее выводил дым наверх. В период с XVII по XIX век, у зажиточных людей и в городах,

¹ Фото: В. Мальцев на сайте: <http://russiantourism.ru/report/drevnerusskaja-derevnja.html>. См. подробно на сайте <http://lubturism.ru/muzej.html>.

² <http://russiantourism.ru/report/drevnerusskaja-derevnja.html>;
<https://otvet.mail.ru/question/182263738>; <http://golden-ring.drugiegoroda.ru/culture/11555-izba/>.

стали получать распространение печи с трубами. Однако избы многих крестьян вплоть до конца XIX века топились по-чёрному.

Историческое ядро современной д. Усаново – это земли юго-западного склона – нынешние «ворота» деревни (рис.3 и 6).



Р и с. 6. Деревня Усаново (и историческое ядро – д. Пепелково) на современной карте Росреестра: <http://pkk5.rosreestr.ru>

В качестве доказательства верности этой гипотезы, предлагаем обратить внимание на густую сеть пешеходных троп (старых сухопутных дорог), радиально расходящихся по всем сторонам – до соседних деревень (таких же старых по возрасту как Пепелково/Усаново). Главной осью этой сети дорог была сухопутная дорога **от Новгорода до Торжка** (рис.7–8). Она проходила через с. Есеновичи (Есиновичский погост) – Кузлово – Плотично – Кожакино – Иваньково на В.Волочек. Относительно этой важнейшей древней дороги деревня Пепелково была совсем рядом (1,5

км до Кожакино). Это значит, что пойти/доехать до д.Пепелково ближе всего можно было только с ее юго-западной части.

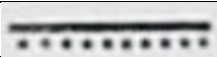
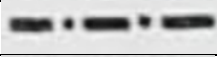
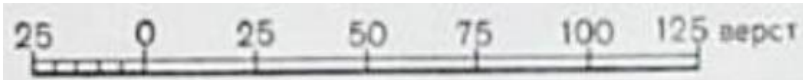


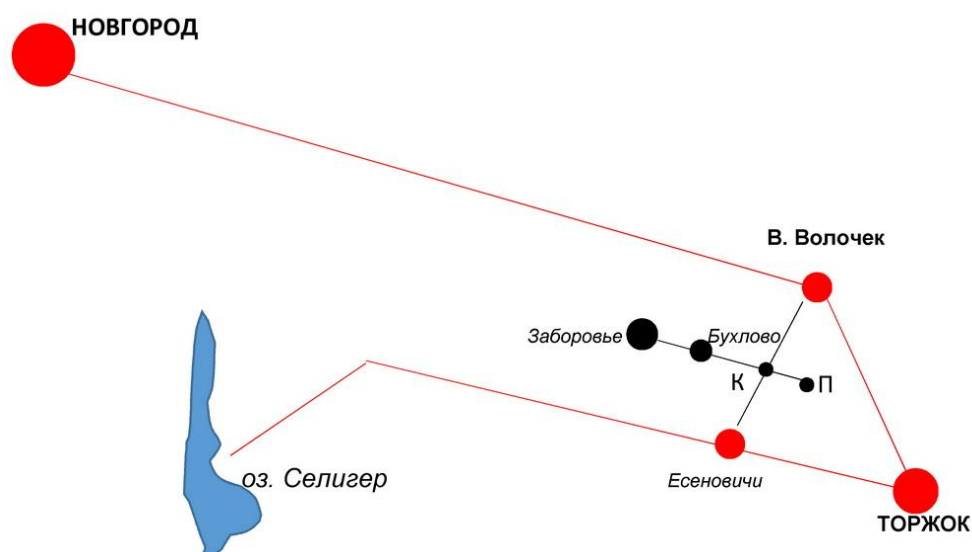
Р и с. 7. Фрагмент карты «Пути сообщения в бывших землях Великого Новгорода в XVI-XVII веках (по «выписи» из Новгородских изгонных книг)». (Составил И.А.Голубцов) в статье [3]

Условные знаки карты:

Пути сообщения в бывших землях Великого Новгорода в XVI-XVII веках (по «выписи» из Новгородских изгонных книг) (Составил И.А.Голубцов)

	Населенные пункты (города, погосты, ямы)
	Ямы, точное расположение которых не установлено
	Сухопутные дороги с более или менее установленным направлением
	Сухопутные дороги и их участки, направление которых обозначено лишь примерно, схематически
	Отмененная в 1597 г. старая ямская дорога до Корелы
	Водные пути (по рекам, озерам и морю)

	Ямские дороги (сухопутные и водные)
	Границы Русского государства в 1600 г.
	Границы пятин Новгородских в XVI в. (по Неволину): I – Водская пятина II – Обонежская пятина III – Шелонская пятина IV – Деревская пятина V – Бежецкая пятина
МАСШТАБ 	



Р и с. 8. Схема старых сухопутных дорог (составлено по рис.7 и дополнено)*

Схема старых сухопутных дорог **Новгород – Торжок**; Вышний Волочек – Есеновичи – оз. Селигер (дороги указаны на карте – рис.1) и ответвление от Кожакينو (К) на Бухолово и Заборовье. Деревня **Пепелково/Пипиково/Усаново** (П) – между двумя важнейшими дорогами и на «линии» дороги до центра погоста – Заборовье (7 км), несколькими радиальными тропами/дорогами деревня соединена с соседними поселениями. Это историческое транспортно-географическое положение можно считать доказательством версии развития деревни с западной стороны (со стороны д.Кожакينو на участке с.Есеновичи – В.Волочек на старой дороге к Селигеру).

• XVI-XVII вв. в деревню пришли карелы. Они остались здесь надолго. И даже в списках населенных пунктов Вышневолоцкого уезда Тверской губернии **сер. XIX в.** деревня названа карельской по составу ее жителей (121 чел., 26 дворов в 1859 г. [7]). На родниковых речках вокруг деревни было 3 водяных мельницы (рис.9–10). В деревне до начала XX в. действовала православная часовня, работали кузнецы. Распахивались поля вокруг холма и на самом холме.



Р и с. 9. Фрагмент карты А. Менде [1,10] на участке деревень Пипикова (Пепелково) и Бухлово (Бухлово) и погоста Заборовье

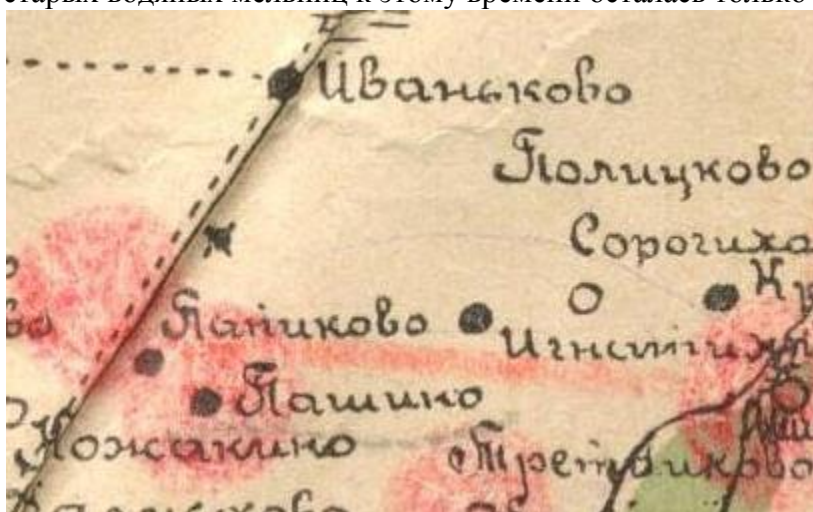


Р и с. 10. Водяные мельницы на хуторах: 1 – на реке Плотиченка (местный топоним – Рудына мельница), на р. Чертовля притоке

Плотиченки: 2 – *Тетлова мельница*, 3 – *Карлова мельница*. На р.Шегра – мельница севернее деревни *Полицкое*.

(фрагмент карты А. Менде (1853) дополнен пунсонами – для усиления яркости условных знаков водяных мельниц)

- К началу XX в. деревня несколько выросла: в 1859 г. – было 26 дворов, а в 1915 г. – 31 двор [8–9]. На карте 1910 г. (рис.11) деревня отмечена по людности в категории 101–250 чел. Можно предположить, что людность деревни в 1915 г. была 140–150 чел. при условии, что семьи были по 4–5 чел. (не будем увеличивать размер семей, учитывая прошедшую I мировую войну, в которой участвовали местные жители). Из трех старых водяных мельниц к этому времени осталась только одна.



Р и с. 11. На карте¹ 1910-е гг., ред.1918 (лист 9) показана водяная мельница севернее д. Пипиково в сторону Иваньково на р.Плотиченка (эта мельница показана и на карте 1853 г.). Это значит, что все три мельницы в районе Пипиково – Пашино старые, из них к началу XX в. осталась только одна – северная мельница (Руда) //

<http://clubklad.ru/maps/5560/#map>

¹ Карта Тверской губернии 1910-х гг. <http://clubklad.ru/maps/5560/#map> и дублированная на отредактированном её издании 1918 г., хранится в СКМ (Спирово). См. фрагменты карт: <http://of.putnik.ru/of/viewtopic.php?f=25&p=9459>. Карты уездов Тверской губернии составлены Губернским статистическим бюро по данным исследований 1886-1890 и 1915 гг. Точная дата составления карт не известна. Карты уездов Тверской губернии составлены в масштабе 5 верст в дюйме. На картах нанесены: поселки (с указанием численности, проживающего населения), сторожки, усадьбы, хутора, села и погосты, фабрики, заводы, мельницы и прочие объекты. На картах показаны границы: губернские, уездные и волостные. http://www.etomesto.ru/img_map.php?id=1856

- **1920-1930-е гг.** Отметим период **НЭПа** (новой экономической политики) 1924–1931 гг.: <http://www.calend.ru/event/4132/>.

С 1 января 1923 года был введен в действие Гражданский кодекс РСФСР, который, в частности предусматривал, что каждый гражданин имеет право организовывать промышленные и торговые предприятия. В период НЭПа рядом с деревней Пипиково были заново на прежних местах (они отмечены на карте А. Менде, 1853 – рис.9–10) построены 3 водяные мельницы. Документально подтверждено, что одна из мельниц построена в 1928 г. *Смирновым* Егором Васильевичем (перестроена из новой маслобойки). В период коллективизации мельница была передана колхозу, а в 1931 г. большая семья Смирнова Е.В. (10 чел.) была «раскулачена» и выслана на Урал. Судьба других семей мельников нам не известна, хотя, наверное, такая же трагичная. Массовое раскулачивание крестьян прошло по всей стране, в том числе и в соседних деревнях и соседних районах. Например, из **Нурмекунде** – ареала этнического расселения эстонцев (нынешний Фировский район – соседний с Вышневолоцким районом) репрессированные семьи ушли в Вышний Волочек и в сторону деревень междуречья Садва и Шегра. В д. Пипиково пришли 3 семьи. Вероятно, имея опыт работы на мельницах (в Нурмекунде работали мельницы), они получили разрешение жить и работать на колхозных мельницах вокруг д. Пипиково. Эти три мельницы работали во время войны и далее до 1948 г. Практически все переселенцы вернулись в Эстонию. Подробно нами написано о Нурмекунде в ряде работ: см. [13].

- В начале **1930-х гг.** в деревне (=колхоз) работали товарные фермы (молочная, овчарня (овцы), конеферма), работал *молочный завод*. Первым директором молокозавода был Яков Егорович Усанов (см. фотографию дома, в котором он жил). Это в честь его сына – героя Советского Союза – Константина Яковлевича¹ в 1970-х гг. деревня была переименована в д. Усаново.

- Заккрытие молочного заводика в начале 1960-х гг. – это потеря возможности переработки на месте скоропортящегося продукта. Для жителей деревни – это и потеря рабочих мест рядом с домом, потеря рынка сбыта излишков молока ЛПХ.

2. Заккрытие в начале 1970-х гг. маленьких товарных ферм в деревне означало потерю мест работы рядом с домом. Дояркам пришлось ездить по несколько раз в день на животноводческий комплекс в центральный поселок. Когда транспорта не было – ходили пешком (4 км в одну сторону). Прежде малым деревенским фермам хватало воды, места для выпаса скота. С созданием крупного

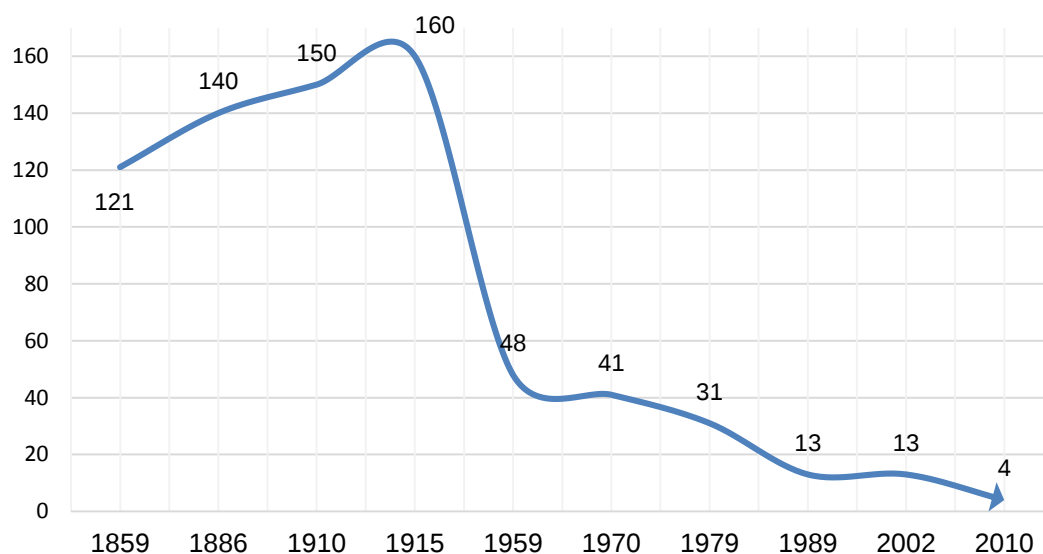
¹ <http://www.history.tver.ru/sr/Hero2/UKYa.htm>.

животноводческого комплекса в одном месте (Бухолово) возникли сложные проблемы с кормами, обслуживанием, выпасом и водопоем скота. Появились невиданные прежде эколого-аграрные проблемы в связи с чрезмерной концентрацией скота и животноводческих помещений на ограниченных площадках, при мелкоконтурности и дальнеземелье сельскохозяйственных угодий.

3. В начале 1970-х гг., в период проведения активной политики сселения неперспективных деревень, угроза дальнейшему существованию деревни была “остановлена” категорическим отказом местных жителей переехать в центральный поселок. Люди отказались оставить свои дома и землю, деревня сохранилась.

4. В начале 1990-х гг. для усадьбы местного фермера был выделен участок за пределами сложившейся застройки – в излюбленном и традиционном месте отдыха и прогулок местных жителей. Оказалось, недоступным – потерянным – место, с которого открывался великолепный вид на ближайшие деревни и их окрестности. Кроме того, в ведении фермера оказался и маленький лесок, где обычно гуляли, играли и собирали ягоды ребятишки.

5. В начале 1990-х гг. незавершенное строительство полотна железнодорожной ветки от Кузловского карьера (территория соседнего сельского округа) до Вышнего Волочка нанесло огромный ущерб природе и жителям деревни: поваленный техникой лес перегородил подходы к традиционным местам сбора грибов и ягод, многие участки местности стали непроходимыми, лесные дороги превратились в глубокие колеи. И такие примеры можно продолжать...



Р и с. 12. Многолетнее сокращение численности населения деревни Усаново – до обезлюдения к началу 2000-х гг. и превращение в дачную деревню

*в 1886 г. – людность около 140 чел. рассчитано по средней динамике роста населения в Заборовской волости в период 1859–1886 г. (менее 20%)¹; в 1910 г. д. Пипиково (Усаново) на карте показана в категории 101–250 чел., предположительно около 150 чел. (см. карту²); в 1915 г. в деревне 31 двор, людность примерно 160 чел.

В конце 1990-х гг. прекратилась распашка полей, окружающих деревню со всех сторон, не регулируются и не расчищаются, как прежде, русла малых рек, заброшены многочисленные колодцы, заилены родники. Сейчас деревню окружает подрастающий вторичный лес на полях (сосны, береза). Осталось всего 6 жилых домов, остальные стоят в руинах. Постоянных жителей осталось 3 чел., остальные (4 семьи) – возрастные сезонные дачники (из Твери и В.Волочка). В новом генеральном плане Есиновического СП никаких планов развития этой деревни и её окрестностей не предложено....

Список литературы

1. Двухверстная топографическая межевая карта Тверской губернии А.И. Менде (1853).
2. Карта Вышневолоцкого уезда Тверской губернии 1910-х гг. URL: http://www.etomesto.ru/img_map.php?id=1856.
3. Карта «Пути сообщения в бывших землях Великого Новгорода в XVI-XVII веках (по «выписи» из Новгородских изгонных книг)». (Составил И.А.Голубцов) в статье: Голубцов И.Л. Пути сообщения в бывших землях Новгорода Великого в XVI-XVII веках и отражение их на русской карте середины XVII века // Вопросы географии. М., 1950. С6.20. URL: https://lib.rgo.ru/reader/flipping/Resource-3510/004_R/index.html.
4. Неволин К. А. О пятинах и погостах новгородских в XVI веке, с приложением карты. Санкт-Петербург: Тип. императорской Академии Наук, 1853. URL: http://www.reglib.natm.ru/book/book_10/ (Приложение 8-10), http://www.reglib.natm.ru/book/book_10/page.htm?num=0528 (Приложение 11); карта: <http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/80/Piatiny.jpg>.
5. Новгородские писцовые книги, изданные Археографической комиссией. Т.1. Переписная оброчная книга Деревской пятины около 1495 года. 1-я половина. СПб.: Издательство: типография

¹ Сборник статистических сведений о Тверской губернии. Том III. Вышневолоцкий уезд. 1889 [6]. Картограммы. URL: http://docs.tverlib.ru/kraevedenie/stat_sborniki/vishnevolocky_uezd/.

² Карта Тверской губернии 1910-х гг. <http://clubklad.ru/maps/5560/#map>.

- В.Безобразова и Комп., 1859. – 461 с. URL: http://history-fiction.ru/books/all_1/time_17_1/book_2824/. (здесь оглавления томов).
6. Сборник статистических сведений о Тверской губернии. Том III. Вышневолоцкий уезд. 1889. URL: http://docs.tverlib.ru/kraevedenie/stat_sborniki/vishnevolocky_uezd/.
 7. Списки населенных мест Российской империи, составленные и издаваемые Центральным статистическим комитетом Министерства внутренних дел. – Санктпетербург: в типографии Карла Вульфа: 1861-1885. – 26–27 см. Тверская губерния: по сведениям 1859 года / обработан ред. И. Вильсоном. – 1862. – XL, 454 с., [1] л. цв. карт. URL: <http://leb.nlr.ru/edoc/322909/Списки-населенных-мест-Российской-империи-составленные-и-издаваемые-Центральным-статистическим-комитетом-Министерства>.
 8. Справочник волостного деления Тверской губернии. Оценочно-статистический отдел Тверской земской управы, 1915 год (число дворов по сельским нас. пунктам уездов). URL: <http://www.tverarchive.ru/archive/political-division/volost/>.
 9. Тверской епархиальный статистический сборник. Сост. Добровольский И. Тверь: Типо-литография Ф.С. Муравьева, 1901. 407 с. URL: https://vk.com/doc184908928_340660117?hash=edc177c0c539670971.
 10. Топографическая межевая карта Вышневолоцкого уезда Тверской губернии (издана в 1853) из атласа, составленного в 1848-1849 гг. Под рук. А. Менде. URL: <http://clubklad.ru/maps/5768/#map>.
 11. Фролов А.Л., Пиотух Н.В. Исторический атлас Деревской пятины Новгородской земли (по писцовым книгам письма 1495–1496 гг.). М.; СПб., 2008. Т. 2. Атлас и справочные материалы. URL: <http://igh.academia.edu/AlexeyFrolov>; <http://www.diary.ru/~haermaunne/p204202159.htm?oam#more2>.
 12. Яковлева С.И. Крупномасштабные исследования территориальных интересов на конкретных примерах (сел. округ, деревня) // Территориальные интересы: Сб. научн. тр. Тверь, 1999. С. 93–109.
 13. Яковлева С.И. Эстонский ареал расселения «Нурмекунде» в Тверской области: географическая реконструкция // Вестн. Твер. гос. ун-та. Сер. «География и геоэкология». 2011. № 10. С. 19-26, http://eprints.tversu.ru/1864/1/Yakovleva2011_1.pdf
 14. Яковлева С.И. Историческая устойчивость расселения в междуречье Садвы и Шегры // Вестн. Твер. гос. ун-та. Сер. «География и геоэкология». 2017. Выпуск 4. С.6–22.

HISTORY OF A SMALL VILLAGE

S.I. Yakovleva

Tver State University, Tver

The historical-geographical study of a small village from the end of the 15th century is presented. The study is based on data from tax books, analysis of old and modern maps, statistics and represents a multi-year study of the author.

Keywords: *village, interfluve of small rivers, area of rural settlement, interfluve.*

Об авторе:

ЯКОВЛЕВА Светлана Ивановна – доктор экономических наук, кандидат географических наук, доцент, профессор кафедры туризма и природопользования ТвГУ, e-mail: Sv_Yakowleva@mail.ru

Туризм: междисциплинарные исследования

УДК 911.9:502

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-262-271>

ПРИРОДООХРАННАЯ ФУНКЦИЯ И СОСТОЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА В ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

А.А. Дорофеев, Е.Р. Хохлова

Тверской государственный университет, г. Тверь

В статье дано определение экологического туризма. Кратко описаны его основные особенности и функции. Обосновывается, что особо охраняемые природные территории являются главным объектом экотуризма. Приводятся современные данные о структуре и количестве ООПТ в России и в Тверской области. Оцениваются перспективы развития экологического туризма в связи с наличием ООПТ. Охарактеризован, в том числе в форме картосхемы природный потенциал развития экотуризма на территории Тверской области. Отдельное внимание уделено истории неудавшегося создания национального парка в окрестностях озера Селигер.

Ключевые слова: *экологический туризм, особо охраняемая природная территория, национальный парк, зонирование, Тверская область.*

Экологический туризм (экотуризм) – это форма путешествий в природе, которая, с одной стороны, успешно реализует главную цель туризма – отдых человека, восстановление его физических и духовных сил, а с другой – выполняет природоохранную функцию, способствуя поддержанию устойчивого равновесия в природе. Поэтому во многих регионах России среди возможных направлений активизации туристского хозяйства особая надежда возлагается на развитие экологического туризма.

Природно-ориентированные путешествия, конечно, имеют давнюю историю. Однако на рубеже XX и XXI веков они получили новое теоретическое осмысление, явную экологическую направленность и необычайную популярность. Только в 1981 г. мексиканец Гектор Цебаллос-Ласкурейн впервые начал использовать устный испаноязычный термин "turismo ecologico". В письменной форме термин экотуризм впервые появился в 1984 г. в журнале «Американские Птицы». Наконец, в 1987 г. появилось первое определение экотуризма. Сам Цебаллос-Ласкурейн определил экотуризм как «путешествие по относительно ненарушенным и незагрязненным природным территориям с целью изучения, восхищения и наслаждения пейзажем, его дикими

растениями и животными, так же, как и любыми существующими культурными проявлениями (как прошлого, так и настоящего), найденными на этих территориях» [4].

За прошедшие три десятилетия появилось много новых определений и трактовок ставшего популярным термина. Однако все они могут быть сведены к нескольким главным особенностям и принципам экологического туризма.

- Экотуризм основан на прямом использовании преимущественно природных рекреационных ресурсов.

- Для экотуризма необходима дикая природа, чистая среда обитания, малоизмененные, естественные пространства, объекты и обитатели природы, сохранившиеся в первозданном виде.

- Экотуризм построен на использовании экологических технологий и соблюдении определенных правил поведения, поэтому он не наносит большого ущерба природе, не подрывает устойчивость природной среды.

- Экотуризм является экономически эффективным видом природопользования, стимулирующим устойчивое развитие регионов, в которых он осуществляется.

- Аттрактивными объектами экотуризма в первую очередь являются уникальные природные объекты (водопады, скалы, каньоны, гейзеры, пещеры и т.д.), редкие и экзотические представители фауны и флоры, высоко эстетичные ландшафты.

- Главная социальная функция экотуризма – познавательная, реализуемая в форме природоведческого просвещения, экологического образования, воспитание бережного отношения к природе.

- К числу важных функций экотуризма также относят пионерную роль в освоении территорий. Большое значение придается исследовательским возможностям экологических туров, особенно в плане изучения биоразнообразия территорий. Некоторые специалисты считают, что экотуризмом будет только такое путешествие, в ходе которого туристы выявляют и ликвидируют нарушения, вызванные в природе человеком.

Принципы экологического туризма, указанные ниже, ясно показывают значение успешного развития эколого-туристских путешествий для охраны природы и ее биологического разнообразия:

- сведение к минимуму негативных последствий экологического и социально-культурного характера, поддержание экологической устойчивости среды;

- содействие охране природы и местной социокультурной среде;

- развитие экологического образования и природоохранного просвещения;

- участие местных жителей и получение ими доходов от туристской деятельности, что создает для них экономические стимулы к охране природы.

Таким образом, экологический туризм – такое направление в индустрии туризма, которое кровно заинтересованное в сохранении своего главного ресурса – естественной природной среды, её отдельных элементов и биологического разнообразия животных и растений. Экологический туризм способствует сохранению природного наследия еще и потому, что власти регионов, развивающих туризм, вынуждены прилагать усилия для охраны интересных природных объектов, в т. ч. используя доходы, полученные от туризма.

В настоящее время в регионах и странах мира применяются две основные модели в организации экологического туризма – «северо-американская» и «западно-европейская». Первая – «северо-американская» – узкая, конкретная, прагматическая модель экотуризма, родилась в США и в наибольшей степени распространилась в англоязычных странах и государствах Африки. Здесь под экологическим туризмом понимается вид путешествий, совершаемых небольшими группами под руководством опытных проводников, по маршрутам, проложенным среди особо охраняемых природных территорий (ООПТ), в ходе которых туристы знакомятся с уникальными объектами, явлениями и обитателями природы с целью экологического воспитания и природоохранного образования. Подобные путешествия, начиная с 1872 г., когда был создан Йеллоустонский национальный парк, проводятся в национальных и природных парках, либо в государственных ООПТ других категорий.

Вторая – «западно-европейская» – модель экотуризма в наибольшей степени распространилась в странах Европы. В этом случае используется широкое понимание термина, согласно которой экологический туризм может развиваться на любых природных территориях, в том числе в пределах культурных ландшафтов, и представляет собой совокупность видов туризма и рекреационных занятий, непосредственно связанных с пользованием природой, целями которых являются познание природы, наблюдения за ее обитателями, оздоровление природными средствами, физическое совершенствование путем преодоления сил природы. Маршруты экологического туризма проложены среди слабоизмененных или девственных ландшафтов. Экотуризм не наносит вреда природе, а его воздействие на компоненты ландшафтов сведено к минимуму [1]. «Западно-европейская модель» экотуризма предполагает, что экологические маршруты могут проходить на любых территориях. Более того, территорией экотуризма могут быть даже сформированные человеком культурные ландшафты и находящиеся в их пределах исторические и культовые объекты.

По какому пути идет или должна идти Тверская область – рассмотрим оба варианта.

В основе северо-американской модели еще с 1870-х гг. лежит следующее положение. В пределах ООПТ государственного уровня (национальных парков) находятся наиболее интересные и даже уникальные природные объекты, сама природа остается практически ненарушенной, а окружающая среда – экологически чистой. По своему законодательному режиму именно национальные парки предназначены для приема туристов. Здесь создается специальная инфраструктура для обслуживания туристов – прокладываются экологические маршруты и тропы, функционируют музеи и визит-центры, создаются условия для размещения туристов на ночлег, строятся подъездные транспортные пути и т.д. В штате национальных парках имеются обученные проводники (гиды), способные провести туристов по маршруту, показать и увлекательно рассказать об объектах живой и неживой природы. Наконец, самих парков и других государственных ООПТ, как правило много. Данная модель «экотуризма» удобна для туроператоров, так как четко очерчивает комплекс услуг, включаемых в создаваемый «экотуристский продукт», облегчает разработку маршрутов и программ пребывания. Она конкретизирует круг возможных клиентов и оптимизирует работу по обслуживанию маршрутов. Реализация данной модели в таких странах как США, Канада, Австралия, Новая Зеландия дает ощутимые результаты.

Скромнее достижения в Российской Федерации. Здесь к 2018 г. создано 272 ООПТ федерального значения: государственные заповедники – 105, национальные парки – 52, государственные заказники – 65, федеральные памятники природы – 39, другие федеральные ООПТ – 22. По данным Федеральной службы государственной статистики в прошедшем 2017 г. туристские маршруты и экологические тропы в заповедниках и национальных парках прошли около 4,4 млн человек [6]. Очевидно, согласно северо-американской традиции, именно их и следует считать экологическими туристами.

Т а б л и ц а

Количество особо охраняемых территорий разного уровня в Российской Федерации [7]

Год	Количество ООПТ - всего, ед.	в том числе		
		ООПТ федерально го значения	ООПТ регионального значения	ООПТ местного значения
2014	12942	280	11474	1188
2015	12993	277	11466	1250
2016	11935	272	10473	1190
2017	11995	272	10473	1250

Немного другие данные приводит портал «ООПТ России» ([URL: http://oopt.aari.ru/filter/reset](http://oopt.aari.ru/filter/reset)). По их данным в конце 2017 года на территории РФ насчитывалось 13035 существующих охраняемых природных территорий, из которых 360 – ООПТ федерального значения (включая 107 природных заповедников, 52 национальных парка, 60 государственных природных заказников, 17 памятников природы, 68 дендрологических парков и ботанических садов, 56 лечебно-оздоровительных местностей и курортов).

Тверская область имеет разветвленную сеть особо охраняемых природных территорий. К категории «особо охраняемых» отнесено 992 объекта регионального значения. Еще несколько лет назад их было более тысячи. В ее состав входят: 573 заказника, 417 разнообразных памятников природы и один ботанический сад. Кроме того, в этом списке не учтены 8 лечебно-оздоровительных местностей, а также две заповедные территории федерального уровня – «Центральный лесной биосферный заповедник» и государственный комплекс «Завидово». В сумме все ООПТ занимают около 13 % от площади области [5]. По количеству ООПТ Тверская область входит в число самых передовых регионов России.

Однако ни один из объектов, формирующих областную сеть ООПТ, не обеспечен специальной инфраструктурой для приема и обслуживания больших потоков туристов (кроме объектов федерального уровня). Из тысячи объектов, только два из них имеют федеральный статус и, следовательно, достаточное для развития финансирование. На них также нет людей, подготовленных для работы с возможными гостями. Исключение составляет Центральный лесной заповедник, однако поток посетителей, прибывших с экотуристскими целями исчисляется всего первыми сотнями человек в год. Особая ситуация складывается в Государственном комплексе «Завидово». В положении о Госкомплексе, утвержденном президентом РФ, в пункте 2 сказано: «С учетом особенностей режима особо охраняемой природной территории, на которой находится Комплекс, эта территория считается национальным парком. В связи с этим Комплекс является природоохранным, эколого-просветительским и научно-исследовательским учреждением». Далее, в пункте 16, в числе прочих разрешенных на территории Комплекса видов деятельности, указаны «...познавательный туризм, экскурсионные экологические маршруты, проведение фото-, кино- и видеосъемок для ознакомления с достопримечательностями Комплекса...» [6]. Однако особый режим посещения Госкомплекса «Завидово» не позволяет надеяться на значительный рост контингента истинных экологических туристов.

В то же время у Тверской области был шанс сформировать на своей территории ООПТ федерального значения для развития экологического туризма. В 1989 г. по заданию союзного Министерства

лесного хозяйства Воронежским филиалом проектного института «Союзгипролесхоз» были подготовлены «Схема генерального плана организации государственного природного национального парка «Селигер» и необходимая для организации национального парка документация. Площадь первой очереди парка устанавливалась в 125,1 тыс. га. По оценке проектантов, число отдыхающих за год составило бы 200–220 тыс. чел. В основном это были бы жители Московской, Ленинградской, Тверской областей. Большинство туристов, которые приезжали бы в национальный парк, – неорганизованные отдыхающие, концентрирующиеся вдоль прибрежной полосы у самой воды озера Селигер. По общепринятой методике проведено рекреационное зонирование парка – выделены территории разного назначения. С учетом величины допустимой рекреационной нагрузки определена единовременная максимальная туристская емкость парка – 15,2 тыс. чел. При проектировании национального парка основной задачей ставилось создание условий для перевода неорганизованного потока туристов в организованный. Проектом предполагалось строительство нескольких групп туристских комплексов в разных местах на побережье озера. Считалось, что 12,2 тыс. чел. будут размещаться в стационарных средствах размещения разного типа. Другие туристы (примерно 3 тыс. чел.) могли бы размещаться на рыболовно-охотничьих базах (5 баз по 20 мест), на 24 бивуачных полянах и в 25 палаточных лагерях сезонного пользования.

К сожалению, этот интересный и актуальный до сих пор проект был отклонен местными жителями на специальном референдуме по вопросу об организации национального парка. Таким образом, получается, что на сегодняшний день Тверская область не имеет подходящего объекта, где можно было бы развивать классический экологический туризм по «северо-американской» модели. В то же время все соседи Тверской области, являющиеся конкурентами в плане успешного развития экотуризма, располагают такими возможностями. В окружающих Тверской регион областях существуют национальные парки «Валдайский» (Новгородская обл.), «Смоленское Поозерье» (Смоленская обл.), «Плещеево озеро» (Ярославская обл.), «Себежский» (Псковская обл.).

Западно-европейская модель экотуризма в наибольшей степени распространилась в развитых европейских странах. Во многих регионах России традиционно также более предпочтительна европейская модель развития экотуризма. Для того чтобы оценить возможности Тверской области с позиций развития экологического туризма по западно-европейской модели, нами проведено специальное исследование [2, 3].

Было высказано предположение, что для экотуризма первостепенными являются три группы факторов: наличие крупных малоизмененных природных пространств с определенными

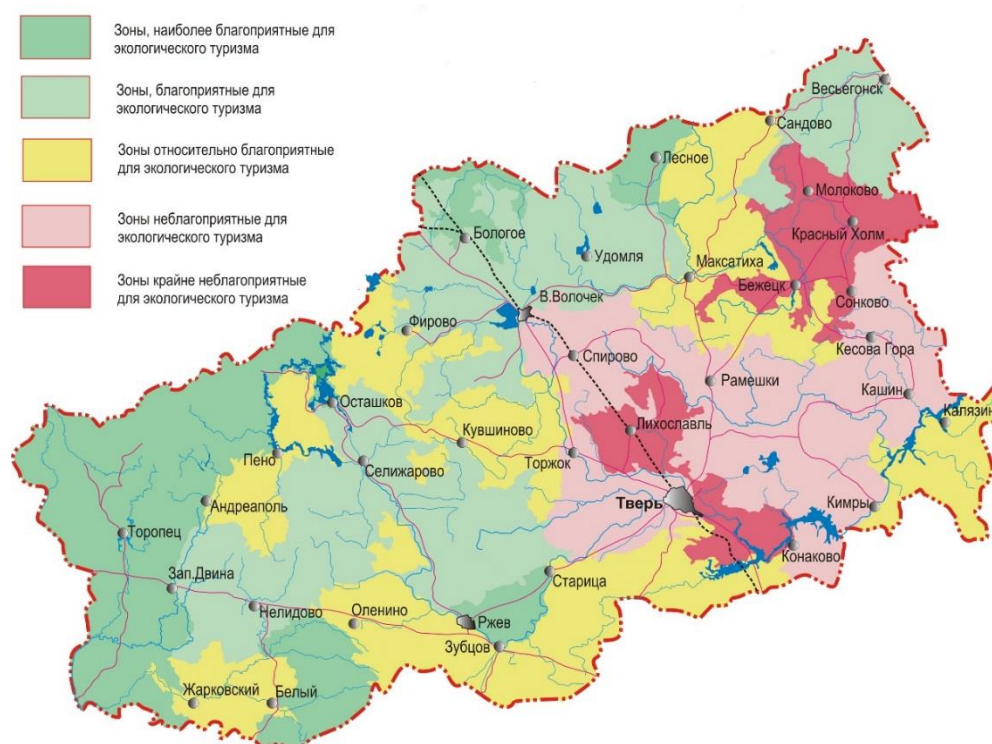
параметрами, визуально-эстетические качества имеющихся ландшафтов и экологическое состояние территорий, используемых для экотуризма. Для каждой из этих трех групп определен набор конкретных критериев, по которым проведена оценка всей территории области. В частности, для оценки использовались следующие критерии.

Особенности природной среды: тип и характер рельефа, механический состав пород, слагающих поверхность, глубина и густота расчленения рельефа, озерность и обводненность территории, степень увлажнения доминирующих природных комплексов, заболоченность территории, лесистость территории, преобладающий породный состав леса, продолжительность периода благоприятного для летней рекреации, количество часов солнечного сияния в течение года, количество дней с осадками, степень ветровой нагрузки, относительная влажность воздуха.

Визуально-эстетический потенциал: плотность встречающихся памятников природы и других интересных природных объектов, плотность фокусных пунктов, коэффициент ландшафтной неоднородности территории, комплексный показатель, характеризующий особенности природной среды.

Экологическое состояние территории: степень освоенности территории, величина годового выброса загрязняющих веществ в атмосферу, величина годового сброса загрязняющих веществ в водоемы, плотность распределения населенных пунктов по территории, густота транспортной сети, рейтинг уровня заболеваемости населения, количество экологически опасных объектов на территории.

Для каждого из вышеназванных критериев были найдены количественные характеристики, позволяющие ранжировать тот или иной показатель и для каждого критерия разработана система балльной оценки. Затем на всей территории Тверской области в границах выделенных нами индивидуальных ландшафтов было проведена оценка в баллах по каждому из вышеназванных критериев. После получения всех оценок последние складывались и получен комплексный балльный показатель, характеризующий величину ландшафтно-рекреационного потенциала. На основании этого показателя проведено зонирование территории области по степени благоприятности для развития экологического туризма по «западно-европейской модели». Результаты зонирования представлены на рис. 1.



Р и с. 1. Зонирование территории Тверской области по степени благоприятности для развития экологического туризма

Как видно из схемы зонирования, в Тверской области выделяются несколько зон (регионов), в которых экологический туризм может успешно развиваться и стать ведущим вариантом туристско-рекреационного хозяйствования, – это зоны, наиболее благоприятные для развития экологического туризма. Прежде всего это большая территория на западе области, включающая территории Пеновского, Андреапольского, Торопецкого муниципальных районов и частично территории Осташковского и Западнодвинского районов. Небольшие по размерам зоны, наиболее благоприятные для развития экотуризма, локализуются на юге Тверской области, в пределах Бельского района, а также на севере области – в Бологовском и Лесном районах. Проведенное исследование позволило выявить три достаточно хорошо выраженных ареала, в которых условия для развития экологического туризма как по природным, так и по геоэкологическим оценкам можно считать благоприятными. Прежде всего это большая территория в центре Валдайской возвышенности (центральная часть западной половины Тверской области). Эта зона территориально совпадает с Нелидовским,

Селижаровским районами и частично с Осташковским, Старицким, Кувшиновским районами. Второй большой и компактный ареал, благоприятный для развития экологического туризма, находится на севере Тверской области и занимает территории Вышневолоцкого, Удомельского и частично Максатихинского районов. На северо-востоке области в пределах Весьегонского и Сандовского районов расположена еще одна небольшая зона, благоприятная для развития экологического туризма.

На основании проведенных исследований выделяются несколько зон, условия в которых лишь относительно благоприятны для развития экологического туризма. Эти зоны расположены на крайнем юго-востоке области (Калязинский и частично Кимрский районы), на северо-востоке области (частично Сандовский, Молоковский, Лесной районы), на юге области в пределах Ржевско-Старицкого Поволжья (частично Старицкий и Зубцовский районы). Последняя подобная зона располагается в самом центре Тверской области и частично совпадает с Кувшиновским и Торжокским районами. Большая единая зона с неблагоприятными для экологического туризма условиями расположена в восточной части Тверской области. Она охватывает целый ряд административных районов, окружающих областной центр и расположенных на востоке области: Калининский, Конаковский, Рамешковский, Лихославльский, Спировский, Сонковский и др.

Наконец, исследования показали, что есть по крайней мере два весьма крупных по площади участка, где условия для развития экологического туризма крайне неблагоприятны. Это территории, непосредственно примыкающие к двум крупным индустриальным центрам: к областному центру Твери и городу Бежецку, располагающемуся на северо-востоке области в регионе интенсивного сельскохозяйственного освоения.

Список литературы

1. Дорофеев А.А. К вопросу об определении понятия «экологический туризм» // Туризм и региональное развитие. Сб. материалов конференции. Смоленский гуманитарный университет. Смоленск, 2002. С. 369–373.
2. Дорофеев А.А. Ландшафтно-рекреационный анализ территории для целей экологического туризма. Автореф. дисс. соиск. степ. канд. геогр. наук. Смоленск, 2003. С.29.
3. Дорофеев А.А. Проблемы оценки рекреационного потенциала территории для целей экологического туризма // Географические основы рекреации и туризма: теория, образование, практика. Сб. науч. трудов. Тверь, Тверская усадьба, 2008. С.105–114.

4. Лукичев А.Б. Краткий очерк истории экотуризма // Российский журнал экотуризма, № 5. Бийск, 2013, С. 36–37.
5. Наумов А.В., Дементьева С.М., Воробьев С.А. оценка современного состояния и направления развития системы ООПТ регионального значения тверской области // Вестник ТвГУ, Сер. «Биология и экология», 20017, №1. С. 237–245.
6. Указ Президента РФ № 1217 «О Государственном комплексе «Завидово» Федеральной службы охраны России», 18 августа 1996 г.
7. Эколого-просветительская и туристическая деятельность на территории государственных природных заповедников и национальных парков по РФ. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/environment/ (Дата обращения: 08.08. 2018).

NATURE PROTECTION FUNCTION AND STATUS OF ECOLOGICAL TOURISM IN TVER REGION

A.A. Dorofeev, E.R. Khokhlova

Tver State University

The article gives the definition of ecological tourism and its brief characteristic features and functions. It is proved that specially protected nature territories (SPNT) are main object of ecotourism. Modern data of structure and quantity of SPNT in Russia and Tver region are given in this work. The authors evaluate development perspectives of ecological tourism in connection with the existence of SPNT. Nature potential of ecotourism development at the territory of Tver region is characterized. The history of the failure of the creation of national park around lake Seliger is given special attention.

Keywords: *ecological tourism, specially protected nature territory (SPNT), national park, zoning, Tver region.*

Об авторах:

ДОРОФЕЕВ Александр Александрович – к.г.н, доцент кафедры туризма и природопользования ТвГУ, e-mail: Dorofeev.AA@tversu.ru

ХОХЛОВА Елена Револьдовна – к.г.н., доцент, декан факультета Географии и геоэкологии ТвГУ, e-mail: revoldovna@gmail.com

Журнал «Вестник Тверского государственного университета, Серия: География и геоэкология» включён в Перечень российских рецензируемых научных журналов.

**Контактные данные редакционной коллегии
ВЕСТНИК ТвГУ. Серия: География и геоэкология**

170021, г. Тверь, ул. Прошина, д. 3, корп. 2, комн. 207.

Тверской госуниверситет, тел.: (4822) 77-84-21.

Ответственные за выпуск № 2 – доктор эконом. наук, профессор С.И. Яковлева, e-mail: Sv_Yakowleva@mail.ru. Тематика: дистанционное зонирование земли; история тверской географии; физическая география Тверской области; социально-экономическая география; туризм: междисциплинарные исследования; информация. Адрес для отправки печатных материалов: 170021, Тверь, ул. Прошина, д. 3, корп. 2. ТвГУ, факультет географии и геоэкологии, Яковлевой С.И.

**Вестник Тверского государственного университета
Серия: География и геоэкология** **№ 3, 2018**

Подписной индекс: 80208 (каталог российской прессы «Почта России»)

Подписано в печать 20.09.2018. Выход в свет 21.09.2018.?

Формат 70 x 108 ¹/₁₆. Бумага типографская № 1.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,2.

Тираж 500 экз. Заказ № 484.

Издатель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет». Адрес: Россия, 170100, г. Тверь, ул. Желябова, д.33.

Отпечатано в редакционно-издательском управлении
Тверского государственного университета.

Адрес: Россия, 170100, г. Тверь, Студенческий пер., д.12, корпус Б.

Тел. РИУ: 8 (4822) 35-60-63.

Цена свободная