



УДК 620.91; 911.9

РАЗРАБОТКА ВЕБ-АТЛАСА ДОСТУПНОЙ ЭНЕРГИИ ВОЛН И ВЕТРА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ МОРЕЙ РОССИИ: ВЕБ-ИНТЕРФЕЙС И АНАЛИТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ****С.А. Мысленков^{1,2,3}, Т.Е. Самсонов^{1,3}, А.А. Шурыгина¹, С.В. Киселева¹, В.С. Архипкин¹, А.А. Шестакова⁴, Г.В. Суркова¹, К.П. Сильвестрова², П.М. Умнов¹***¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет
д. 1, Ленинские горы, Москва, 119991, Россия

тел.: +7(495) 939-42-57; e-mail: k_sophia_v@mail.ru

²ФГБУ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
д. 36, Нахимовский проспект, Москва, 117997, Россия

тел.: +7(499) 124 59 96

³Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации
д. 11–13, Большой Предтеченский переулок, Москва, 123242, Россия

тел.: +7(499) 252-34-48

⁴ИФА им. А.М. Обухова РАН

д. 3, Пыжевский пер., Москва, 119017, Россия; тел.: +7(495) 951-55-65

doi: 10.15518/isjaee.2020.07-18.44-59

Заключение совета рецензентов: 05.03.20 Заключение совета экспертов: 21.04.20 Принято к публикации: 12.05.20

Данная статья отражает развитие проекта разработки «Веб-атласа доступной энергии волн и ветра прибрежной зоны морей России». Атлас включает акватории и побережья Черного, Азовского, Каспийского, Балтийского, Белого, Баренцева, Карского и Охотского морей. Для составления атласа использованы результаты расчета параметров ветрового волнения, в том числе величины и направления потока энергии. Данные о скорости ветра получены из реанализов высокого разрешения. Веб-атлас базируется на классической трехзвенной (трехуровневой) модели, включающей подсистему хранения данных (сервер баз данных), подсистему анализа и публикации данных (непосредственно ГИС-сервер) и подсистему веб-приложений, обеспечивающую пользовательский интерфейс для взаимодействия с данными и картографическими сервисами (веб-сервер).

В статье приведены результаты второго этапа разработки веб-атласа волновой и ветровой энергии для прибрежной зоны морей РФ. На этом этапе были решены задачи дополнения баз данных и развития картографического веб-интерфейса, позволяющего осуществлять доступ к загруженной в базу данных информации, визуализировать параметры волнения и ветра, рассчитывать основные статистические характеристики и строить графики по временным рядам данных в точках.

Ключевые слова: волновая энергия; ветровая энергия; моря России; веб-атлас; геоинформационная система; реанализ; моделирование.

DEVELOPMENT OF WEB-ATLAS OF WIND AND WAVE AVAILABLE ENERGY IN THE COASTAL ZONES OF THE RUSSIAN SEAS: WEB INTERFACE AND ANALYTIC FUNCTIONS***S.A. Myslenkov¹, T.E. Samsonov^{1,3}, A.A. Shurygina¹, S.V. Kiseleva¹, V.S. Arkhipkin¹, A.A. Shestakova⁴, G.V. Surkova¹, K.P. Silvestrova², P.M. Umnov¹***

*Мысленков С.А., Самсонов Т.Е., Шурыгина А.А., Киселева С.В., Архипкин В.С., Шестакова А.А., Суркова Г.В., Сильвестрова К.П., Умнов П.М. Разработка веб-атласа доступной энергии волн и ветра прибрежной зоны морей России: веб-интерфейс и аналитические функции // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2020;07-18:44-59.



¹Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

1 Leninskie Gori, Moscow, 119991, Russia

tel: +7(495) 939 42 57, e-mail: k_sophia_v@mail.ru

²P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (IO RAS)

36 Nakhimovski Ave., Moscow, 117997, Russia

tel.: +7(499) 124 59 96

³Hydrometeorological Research Centre of the Russian Federation, Marine Forecast Division

11–13 B. Predtechensky Lane., Moscow, 123242, Russia

tel.: +7(499) 252 34 48

⁴A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics Russian Academy of Sciences

3 Pyzhyovskiy Lane, Moscow, 119017, Russia

tel.: +7(495) 951 55 65

doi: 10.15518/isjaee.2020.07-18.44-59

Referred 5 March 2020 Received in revised form 21 April 2020 Accepted 12 May 2020

This article reflects the development of the project “Web Atlas of the Available Wave and Wind Energy of the Coastal Zone of the Russian Seas”. The Atlas includes the waters and coasts of the Black, Azov, Caspian, Baltic, White, Barents, Kara and Okhotsk seas. In order to compile the atlas, we have used the results of calculating the parameters of wind waves, including the magnitude and direction of the energy flow. Wind speed data is obtained from high-resolution reanalyses.

The web atlas is based on the classic three-tier model, which includes a data storage subsystem (database server), a data analysis and publishing subsystem (GIS server), and a web-application subsystem that provides a user interface for interacting with data and map services (web server).

The article presents the results of the web atlas development second stage. At this stage, we have solved the tasks of supplementing the databases and developing the cartographic web interface, which made it possible to access the information loaded into the database, visualize the wave and wind parameters, calculate the main statistical characteristics, and plot the time series of data in points.

Keywords wave energy; wind energy; Russian seas; web atlas; geographic information system; reanalysis, modeling.



Станислав Александрович
Мысленков
Stanislav Myslenkov

Сведения об авторе: канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник кафедры океанологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Образование: географический факультет МГУ (2007 г.).

Область научных интересов: морское волнение; морские течения; экспериментальная океанография.

Публикации: 135, в том числе 2 государственных свидетельства о регистрации на базы данных по волнению.

H-index 11 (по РИНЦ)

ORCID 0000-0002-7700-4398

Research ID E-5811-2014

Scopus Author ID 47561699800

Information about the author: Ph. D. in Physics and Mathematics, Senior Researcher at Department of Oceanology, Faculty of Geography, MSU.

Education: Faculty of Geography, MSU, 2007.

Research interests: wind waves; ocean currents; experimental oceanography.

Publications: 135, including 2 state certificates of registration on wave databases.



Тимофей Евгеньевич
Самсонов
Timofey Samsonov

Сведения об авторе: канд. географ. наук, ведущий научный сотрудник кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Образование: географический факультет МГУ (2007 г.).

Область научных интересов: картография; геоинформатика; ГИС.

Публикации: 85.

H-index 9 (по РИНЦ)

ORCID 0000-0001-5994-0302

Research ID D-6892-2012

Scopus Author ID 25626786500

Information about the author: Ph.D. in Geography, Leading Researcher, Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography, MSU.

Education: Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, 2007.

Research interests: cartography; geoinformatics; GIS.

Publications: 85.





Анастасия Алексеевна
Шурыгина
Anastasia Shurygina

Сведения об авторе: студент магистратуры кафедры картографии и геоинформатики Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Образование: географический факультет МГУ (2018 г.).

Область научных интересов: картография; геоинформатика; ГИС.

Публикации: 11.

Information about the author: Post Graduate Student, Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography, MSU.

Education: Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, 2018.

Research interests: cartography; geoinformatics; GIS.

Publications: 11.



Софья
Валентиновна Киселева
Sofia Kiseleva

Сведения об авторе: канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Образование: физический факультет МГУ (1987 г.) и аспирантура того же факультета (1990 г.).

Область научных интересов: возобновляемые источники энергии: оценка ресурсов ВИЭ, эколого-географические аспекты возобновляемых источников энергии; лабораторное моделирование динамических процессов в океане.

Публикации: более 200, в том числе патентов на изобретения.

H-index 12 (по РИНЦ)

ORCID 0000-0001-5836-8615

Information about the author: Ph.D. in Physics and Mathematics, Senior Researcher at Renewable Energy Sources Laboratory (Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography).

Education: Faculty of Physics Lomonosov Moscow State University, 1987.

Research interests: renewable energy sources: resource evaluation, ecological and geographical aspects of renewable energy; laboratory modeling of ocean and atmosphere's dynamical process.

Publications: more than 200, including patents.

ID E-3324-2014

Scopus Author ID 57201352245



Виктор Семенович Архипкин
Victor Arkhipkin

Сведения об авторе: канд. географ. наук, доцент кафедры океанологии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Образование: географический факультет МГУ (1976 г.).

Область научных интересов: физические свойства морской воды; прибрежная океанография; гидрология внутренних морей; моделирование ветрового волнения и прибрежной циркуляции вод.

Публикации: более 150, включая 9 монографий и учебных пособий, 2 государственных свидетельства о регистрации на базы данных по волнению.

H-index 12 (по РИНЦ)

ORCID 0000-0002-1736-5618

Research ID E-4748-2014

Scopus Author ID 7004109467

Information about the author: Ph.D. in Geography, Assistant Professor at Department of Oceanology, Faculty of Geography, MSU.

Education: Faculty of Geography, MSU, 1976.

Research interests: physical properties of seawater; coastal oceanography; hydrology of inland seas; wind waves modeling; coastal currents modeling

Publications: more than 150, including 9 monographs, 2 state certificates of registration on wave data bases patent.



Анна Андреевна Шестакова
Anna Shestakova

Сведения об авторе: канд. географ. наук, инженер в Институте физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН.

Образование: географический факультет МГУ (2014 г.).

Область научных интересов: мезометеорология; горная метеорология; численное моделирование.

Публикации: 26.

H-index 6 (по РИНЦ)

ORCID 0000-0001-9026-4576

Information about the author: Ph.D. in Geography, Engineer, Obukhov Institute of Atmospheric Physics.

Education: Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, 2014.

Research interests: mesometeorology; mountain meteorology; numerical modeling.

Publications: 26.

Research ID G-5174-2016

Scopus Author ID 56328743900





Галина Вячеславовна
Суркова
Galina Surkova

Сведения об авторе: д-р географ. наук, доцент, профессор кафедры метеорологии и климатологии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Образование: географический факультет МГУ.

Область научных интересов: изменение климата; взаимодействие атмосферы и океана; экстремальные метеорологические явления

Публикации: более 100, среди них 14 монографий, учебных пособий и учебников, свидетельство о регистрации прав на программное обеспечение.

H-index 9 (по РИНЦ)

ORCID 0000-0001-6096-0749

Information about the author: D.Sc. in Geographic Sciences, Professor of the Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Geography, MSU.

Education: Faculty of Geography, MSU.

Research interests: climate change; atmosphere-ocean interaction; meteorological extremes.

Publications: more than 100, including 14 monographs and textbooks, 1 scientific soft patent.

Research ID M-2937-2015

Scopus Author ID 6603986062



Ксения Петровна
Сильвестрова
Ksenia Silvestrova

Сведения об авторе: канд. географ. наук, научный сотрудник в лаборатории экспериментальной физики океана Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Образование: географический факультет МГУ (2011 г.).

Область научных интересов: океанология; морские течения; апвеллинг.

Публикации: 33.

H-index 6 (по РИНЦ)

ORCID 0000-0002-7515-6398

Research ID E-8929-2014

Scopus Author ID 57024208000

Information about the author: Ph.D. in Geography, Researcher, Shirshov Institute of Oceanology RAS.

Education: Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, 2011.

Research interests: oceanography; ocean circulation; upwelling.

Publications: 33.



Павел Михайлович Умнов
Pavel Umnov

Сведения об авторе: начальник отдела ИТ географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Образование: радиотехнический факультет МЭИ (1992 г.).

Область научных интересов: морское волнение; разработка и производство приборов для измерения волнения.

Публикации: 4, 1 НИР.

H-index 2 (по РИНЦ)

Information about the author: Head of IT Department, Faculty of Geography, MSU.

Education: Radio Engineering Faculty of MPEI, 1992.

Research interests: wind waves; development and production of equipment for wave measurements.

Publications: 4, member of 1 scientific research.

1. Введение

В настоящее время наблюдается устойчивый интерес к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ). В прибрежной зоне морей и океанов такими источниками являются солнечная, ветровая и волновая энергия. Пространственно-временная изменчивость ресурсов ВИЭ обуславливает необходимость применения геоинформационных технологий для выполнения первичного анализа эффективности использования того или иного источника энергии для конкретной территории. С технической точки зрения наиболее современной формой реализации таких технологий являются веб-сервисы (геоинформационные ресурсы).

Согласно ранее проведенным оценкам, побережья России обладают высоким потенциалом волновой и ветровой энергии [1–5], поэтому исследование этих ресурсов является весьма актуальным [6], в то же время они остаются малоизученными. Наиболее де-

тально в работах представлены характеристики волнового и ветрового режима Балтийского и Черного морей, в первую очередь благодаря тому, что эти моря входят в зарубежные атласы европейского и национального охвата [7, 8]. Ряд зарубежных исследовательских центров возобновляемой энергетики инициировал создание электронных атласов и баз данных для территории России (например, атлас ВИЭ Арктики, в том числе ее российской части [9]). Однако для морей Северного Ледовитого океана и Дальнего Востока картографические представления потенциала волновой энергии в Атласах отсутствует.

В 2018 г. был разработан прототип веб-атласа доступной ветровой и волновой энергии для прибрежной зоны морей России [10]. На первом этапе реализации веб-атласа в базы данных были загружены данные о доступной ветровой и волновой энергии для прибрежной зоны Черного моря. При помощи созданного прототипа веб-атласа визуализированы карты распределения среднесезонных параметров



ветровых волн, а также карты распределения волновой и ветровой энергии. В настоящей статье представлены итоги второго этапа разработки атласа, в

рамках которого осуществлено его развитие в части информационного и картографического обеспечения, веб-интерфейса и функций анализа.

Список обозначений	
<i>Буквы греческого алфавита</i>	
σ	Среднеквадратичное отклонение
<i>Буквы латинского алфавита</i>	
C_v	Коэффициент вариации
H_s	Высота значительных волн, м
N	Мощность, Вт/м ²
R	Язык программирования
v	Скорость ветра, м/с
<i>Аббревиатуры</i>	
ArcGIS for Desktop 10.5	Программное обеспечение ArcGIS
ECMWF	The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды)
IRENA	International Renewable Energy Agency (Международное агентство по возобновляемой энергетике)
NCEP/CFSR, NCEP/CFSv2	Реанализы: The National Centers for Environmental Prediction/ Climate Forecast System Reanalysis
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Национальное управление океанических и атмосферных исследований США)
NREL	The National Renewable Energy Laborator (Национальная лаборатория возобновляемой энергетике, США)
QGIS	Программное обеспечение QGIS
SMS	Surface Water Modeling System
SWAN	Simulating Waves Nearshore (модель для расчета волновых характеристик)
БД	База данных
ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
ГИС	Геоинформационная система
МГУ	Московский государственный университет
РАН	Российская академия наук
СКО	Среднеквадратичное отклонение

2. Теоретическая часть

Открытая информация о ресурсах ветровой и волновой энергии в Мировом океане и отдельных акваториях публикуется в «сыром» виде: на порталах Energydata.info [11], Национальной лаборатории возобновляемой энергии США (NREL [12]), Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF [13]), Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA [14]) и др. Отдельно отметим базу данных о климате Copernicus Climate Data Store [15], подготовленную под руководством Европейской комиссии. Портал предоставляет пользователям не только данные, но и инструменты для построения графиков и даже карт на их основе.

Следующий уровень представления – картографический, внутри которого выделяются три группы источников: растровые тематические карты, веб-атласы и веб-атласы с аналитическими функциями.

Первую группу иллюстрирует Атлас ветров над акваторией Нидерландов [16] и его предшественник Атлас ветров королевского метеорологического института Нидерландов [17, 18], Атлас энергии волн Черного моря [7], Атлас энергии волн Мирового океана [19], Атлас морской возобновляемой энергии Великобритании [20] и Атлас морей Европы с разде-

лом «Энергия» [8] Европейской комиссии по морским делам. В последнем большая часть карт описывает существующую инфраструктуру для получения энергии из возобновляемых источников, однако есть информация о скорости и направлении ветра на высоте 100 м, амплитуде приливов, высоте волн. Данные можно скачать в формате хранения пространственных данных.

Под веб-атласом мы понимаем веб-приложение для просмотра тематической картографической информации в виде слоев на базовой карте. Обычно такой атлас сопровождается функциями приближения/удаления, включения/отключения слоев, просмотра легенды и метаданными или текстовым описанием картографических слоев. Примером является Карта (атлас) энергии волн Чили [21], состоящая из шести разделов. Первый посвящен описанию ресурсов волновой энергии, остальные пять – возможных потребителей данного вида энергии и ограничений его использования. В Атласе возобновляемой энергии Арктики [22] можно найти информацию о ветре и приливах акваторий, находящихся севернее 40° с.ш., в Атласе возобновляемых источников энергии мира [23] Международного агентства по возобновляемой энергии (IRENA) – карту приливных течений мирового охвата. Атлас морей Европы доступен и в формате веб-атласа [8].

Из отечественных онлайн-разработок отметим геоинформационную систему «Возобновляемые источники энергии России» (ГИС ВИЭР), созданную специалистами МГУ имени М.В. Ломоносова и Объединенного института высоких температур РАН [24]. ГИС предоставляет доступ к широкому перечню карт, таблиц и баз данных по ресурсам солнечной и ветровой энергии, биоэнергетики. В состав ГИС ВИЭР входят базы данных и интерактивные карты энергетических станций и установок возобновляемой энергетики, действующих на территории России. Картографический компонент атласа включает возможность просмотра статичных и интерактивных карт соответствующих тематик без возможности выполнения анализа на основе заложенных в них данных. В ГИС ВИЭР не отражены ресурсы ветровой и волновой энергетики над акваториями и в прибрежной зоне морей России, что делает актуальным создание такого веб-ресурса.

Информационную основу атласов и ГИС возобновляемых источников составляют результаты спутниковых наблюдений, математического моделирования и реанализов [25–29]. Эти данные характеризуются большим пространственным и временным охватом, поэтому наибольший интерес вызывают информационные ресурсы, снабженные инструментами для анализа исходных данных и позволяющие получить больше информации, чем представлено на картах атласов без аналитических функций. К таким веб-атласам относятся Атлас ветра [30], Атлас ресурсов морских возобновляемых источников энергии Великобритании [31], Атлас ресурсов ветровой энергии США [32], Атлас энергии моря и гидроэнергии США [33], Атлас волновой энергии Австралии [34], разрабатываемый Новый атлас ветра Европы [35].

В перечисленных атласах представлена информация о распределении энергетических характеристик ветра (скорость ветра на разных высотных уровнях), приливов (плотность энергии, средняя скорость приливного течения, величина) и волн (высота значительных волн, энергия, период, направление, спектральная ширина). Для представления карт, как правило, выбирается одна из разновидностей проекции Меркатора. Исключение составляет Атлас возобновляемой энергии Арктики с возможностью переключения в режим глобуса (косая азимутальная проекция). Данные в атласах публикуются в растровом формате или по ячейкам регулярной сети (пример – Атлас энергии моря и гидроэнергии США [33]).

В некоторые атласы включены элементы геоинформационного анализа – функции пространственного и атрибутивного запроса. В Атласе ветра [30] и Атласе волновой энергии Австралии [34] пользователям предоставлена возможность строить розыдиаграммы, графики временного хода показателей и их двумерного распределения. Предусмотрен инструмент расчета потенциальной энергии, которая может быть выработана в заданной точке конкретной энергетической установкой (Атлас ветров [30]). Ис-

ходную, а также картографическую или графическую информацию в большинстве случаев можно скачать любому пользователю. Сравнение карт атласа реализуется настройкой прозрачности отдельных слоев или инструментом «шторка» (Атлас волновой энергии Австралии [34]).

3. Материалы и методы исследований

3.1. Информационное обеспечение

Для проведения расчетов параметров волнения и волновой энергии в Каспийском, Баренцевом и Карском морях авторами использована модель WaveWatch III, так как она позволяет моделировать волнение и на глубокой воде, и в прибрежной зоне, в том числе с учетом сплоченности льда. Для Черного и Балтийского моря применялась модель SWAN. В этих моделях приток энергии к волнам осуществляется за счет энергии ветра, а ее диссипация – за счет обрушения волновых гребней вследствие донного трения и обрушения волн на критических глубинах.

Для каждого из морей была выполнена отдельная реализация, поэтому несколько отличаются временные периоды моделирования. Для Черного моря период моделирования с 1979 г. по 2016 г., для Каспийского, Баренцева и Карского морей – с 1979 г. по 2017 г., для Балтийского моря – с 1979 г. по 2015 г.

Для всех морей, кроме Балтийского, вычисления производились с помощью неструктурных сеток, созданных в программе Surface Water Modeling System (SMS Aquaveo). Пространственное разрешение неструктурных сеток варьирует от $10 \div 12$ км в открытом море до $500 \div 1\,000$ м в прибрежной зоне. Для Балтийского моря использовалась регулярная сетка с шагом 5 км. Шаг сетки для открытого моря был выбран $10 \div 12$ км, поскольку это соответствует масштабу однородности ветрового волнения. Для получения результатов высокого качества в прибрежных районах необходимы сетки высокого разрешения, и тут выбор был обусловлен только ограничениями в вычислительных мощностях, так как слишком большое количество узлов требует больших вычислительных ресурсов. Более подробное описание конфигурации волновых моделей и оценки их качества изложены в работах [36, 37].

В качестве вынуждающей силы были использованы данные о ветре на высоте 10 м из реанализа NCEP/CFSR для периода с 1979 г. по 2010 г. с шагом по пространству $\sim 0,3^\circ$. Для периода с 2011 г. по 2017 г. использован реанализ NCEP/CFSv2 с разрешением $\sim 0,2^\circ$. Шаг по времени в этих реанализах составляет 1 час.

Ежесуточные поля сплоченности льда в Каспийском море с шагом 12,5 км были взяты из спутниковой базы данных OSI-450 (EUMETSAT). Сплоченность льда предоставляется в долях от 0 до 1. Данные интерполировались на регулярную сетку $0,2^\circ$ для волновой



модели. Для Карского и Баренцева морей использовались поля льда из реанализа NCEP/CFRS/CFsv2.

В результате проведенных расчетов для каждого узла вычислительной сетки получены характеристики ветрового волнения за каждые 3 часа с 1979 г. по 2015–2017 гг.: высота значительных волн H_s (среднее значение высот от 1/3 наиболее высоких волн в спектре волнения или 13 % обеспеченности), средний период волн, средняя длина волны и поток волновой энергии в кВт/м (на метр фронта волны). На основе этих данных были рассчитаны среднееголетние и максимальные значения высоты волн, среднееголетний поток волновой энергии, среднееголетние значения длины волн и периода. Среднеквадратическая ошибка расчета высоты волн составляет $0,2 \div 0,3$ м.

Однако для проектирования волновых электростанций наиболее важно иметь данные о стабильности потока волновой энергии во времени. Для этих целей была рассчитана обеспеченность волновой энергией для следующих критериев: $>0,5$ кВт/м, 1 кВт/м, 2 кВт/м волнового фронта, согласно методике [38, 39]. Обеспеченность представляет собой отношение количества значений ряда, когда поток волновой энергии превышал заданный критерий, к общему количеству значений всего ряда.

Данные о скорости ветра и ее повторяемости были рассчитаны согласно методике, приведенной в работе [40]. В качестве основы использованы данные реанализа высокого разрешения NCEP/CFRS на высотах изобарических поверхностей 1 000 гПа (около 110 м) и 975 гПа (около 300 м) с пространственным разрешением $0,5^\circ$ и шагом по времени 6 ч. По этим данным выполнены оценки повторяемости скорости ветра и рассчитаны средние значения скорости на высотах 50 м и 110 м для побережья Черного моря

за период 1979–2010 гг. Ветроэнергетический потенциал (средняя удельная мощность ветрового потока, равная потоку энергии воздушной струи единичной площади сечения на заданной высоте над уровнем земли, Вт/м²) для побережья и прибрежных акваторий рассчитывалась по формуле (см., например, [5]):

$$N = 0,613\bar{v}^{-3} (1 + 3C_v^2 - 0,9C_v^3 + 2,9C_v^4),$$

где $C_v = \sigma / \bar{v}$ – коэффициент вариации; \bar{v} – средняя скорость ветра; σ – среднеквадратическое отклонение (СКО) скорости.

3.2. Подготовка данных для картографических представлений полей распределения характеристик волнения и ветра

После получения данных о параметрах волнения и ветра в точках средствами ArcGIS for Desktop 10.5 были восстановлены триангуляционные модели их распределения исследуемых полей и на их основе получены изолинии с послойной окраской для следующих показателей:

- максимальная высота значительных волн, сечение 1 м (рис. 1);
- максимальная высота волн, сечение 2 м;
- средняя высота волн, сечение 0,1 м;
- средняя энергия волн, сечение $0,5 \div 2$ кВт/м;
- средняя длина волн, сечение $2 \div 5$ м;
- средний период волн, сечение 0,5 с;
- обеспеченность волновой энергией более 1 кВт/м, 2 кВт/м волнового фронта, сечение 5 %.

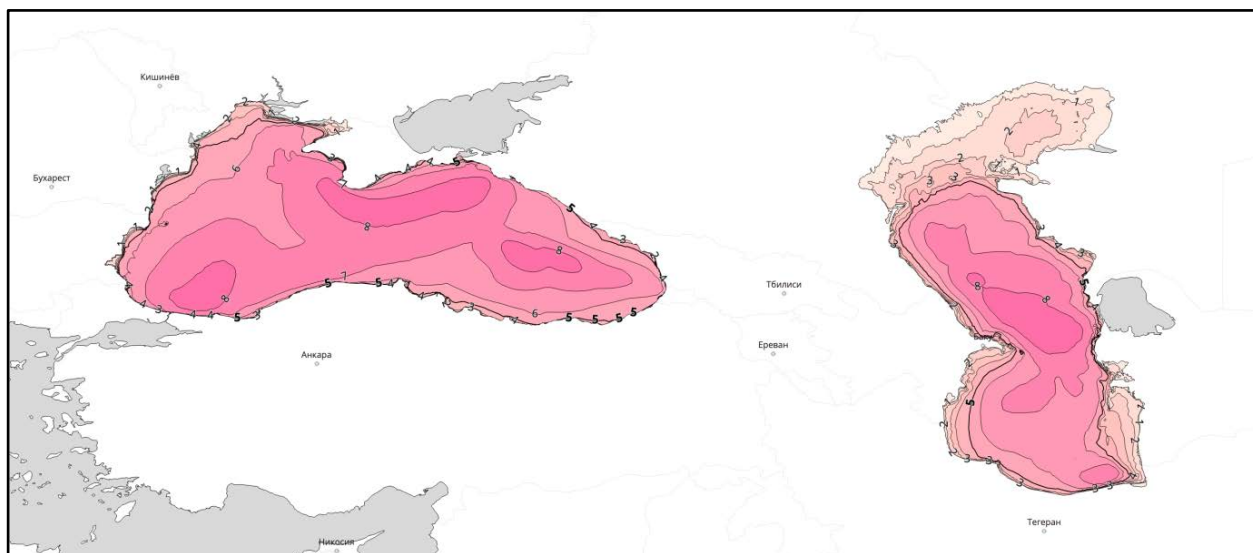


Рис. 1 – Представление показателей волнения способом изолиний с послойной окраской в веб-атласе (на примере максимальной высоты значительных волн, Черное и Каспийское море)

Fig. 1 – Presentation of wave indices in a web atlas by isoline method with layered coloring (maximum height of significant waves, Black and Caspian Sea)

Необходимость отображения данных по всем морям в единой шкале сечения изолиний для их сопоставимости вызывает трудности, поскольку масштабы характеристик могут значительно отличаться. Так, например, средняя энергия волн в западной части Баренцева моря может превышать 30 кВт/м, в то время как для Черного моря она не превышает 4,5 кВт/м. Использование малого интервала, подходящего для Черного моря, приведет к перегрузке изображения на акватории Баренцева моря. В свою очередь применение крупного интервала, подходящего для Баренцева моря, на акватории Черного моря приведет к пустому и неинформативному изображению. Для разрешения ситуации был применен следующий графический прием: основную информационную нагрузку на карте играет цветовая шкала, которая соответствует крупному интервалу изолиний. А на акваториях морей с малой амплитудой характеристик в каждом интервале проводятся дополнительные изолинии на половине или четверти основного сечения. При этом цвет в пределах основного (крупного) интервала сохраняется постоянным.

Для обеспечения интерактивных запросов к данным по точкам исходной триангуляционной сети

построена диаграмма Вороного с внешней границей вдоль береговой линии (рис. 2). Каждая ячейка диаграммы хранит характеристики волнения, а также принадлежности к определенному морю. Это – вспомогательный слой, атрибутивные данные которого отображаются при клике на любой точке карты в пределах моделируемой области.

Данные о параметрах ветра над акваториями представлены на регулярной сетке с шагом 0,5 градуса. Восстановление непрерывной поверхности и изолиний по столь разреженным данным не позволяет получить картографически выразительное представление. В таком случае более целесообразно построить ступенчатую поверхность методом ближайшего соседа (Natural Neighbour), то есть перейти от точечного к растровому представлению регулярно-сеточных данных. Соответствующие построения и вычисления выполнены в программном продукте QGIS. Получена растровая сетка, покрывающая акватории морей России с разрывами над сушей. В атрибутивной таблице этой сетки находятся поля с характеристиками энергии и скорости ветра. Получены данные для отображения способом картограмм (рис. 3).

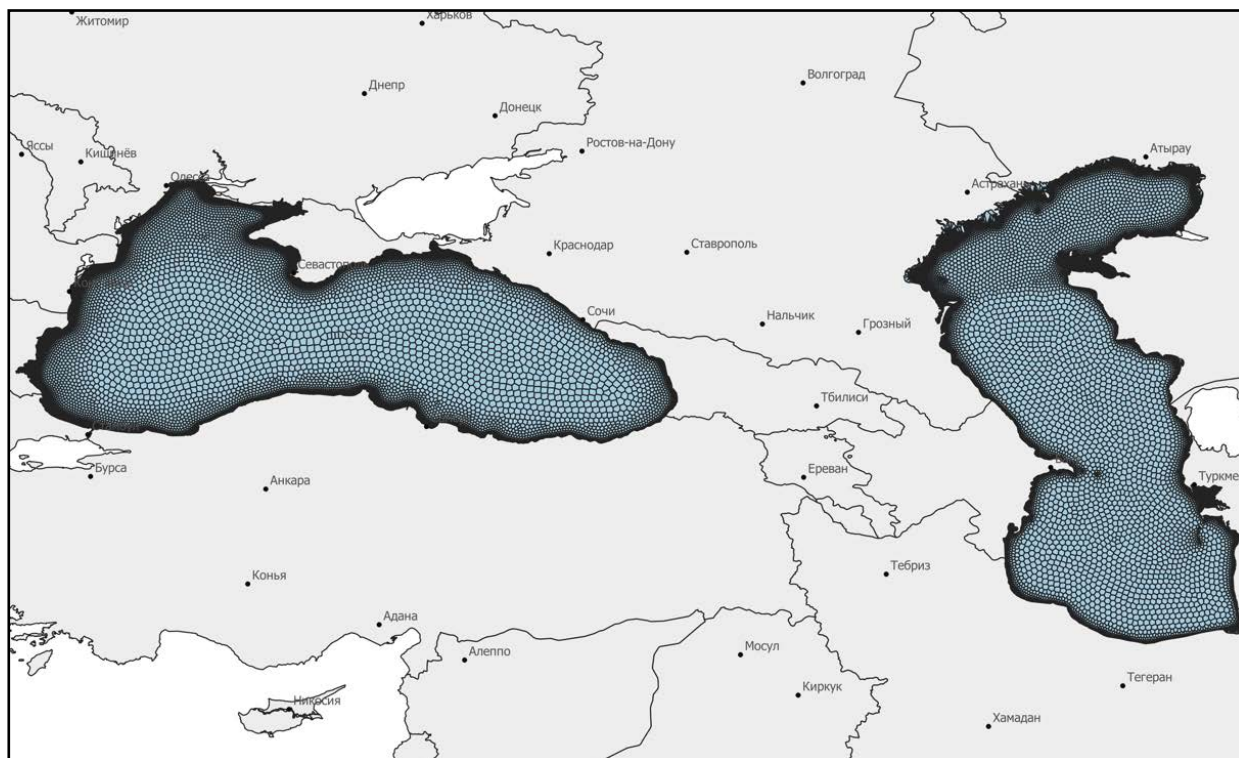


Рис. 2 – Сетка ячеек диаграммы Г.Ф. Вороного, используемых в веб-атласе для выполнения запросов показателей волнения в точках (на примере Черного и Каспийского морей)

Fig. 2 – Cells of the Voronoi diagram used in a web atlas for querying wave indices at points (Black and Caspian Sea)

Для последующей картографической визуализации полученных слоев выполнено проектирование их стилей отображения. Цветовые шкалы были записаны в формате SLD (StyledLayerDescriptor, OGC) [41] на ос-

нове системы цветовых палитр ColorBrewer [42]. Все картографируемые показатели униполярные, изменяются от минимума к максимуму без перехода через критическое значение (ноль), для них характерно ис-



пользование шкал изменения светлоты и насыщенности. Эти показатели использованы для базовых физических характеристик волн и ветра с разными цвето-

выми тонами: зеленый, синий, красный, оранжевый, фиолетовый. Более сложные характеристики, например, энергия волн, показаны с преломлением цвета.

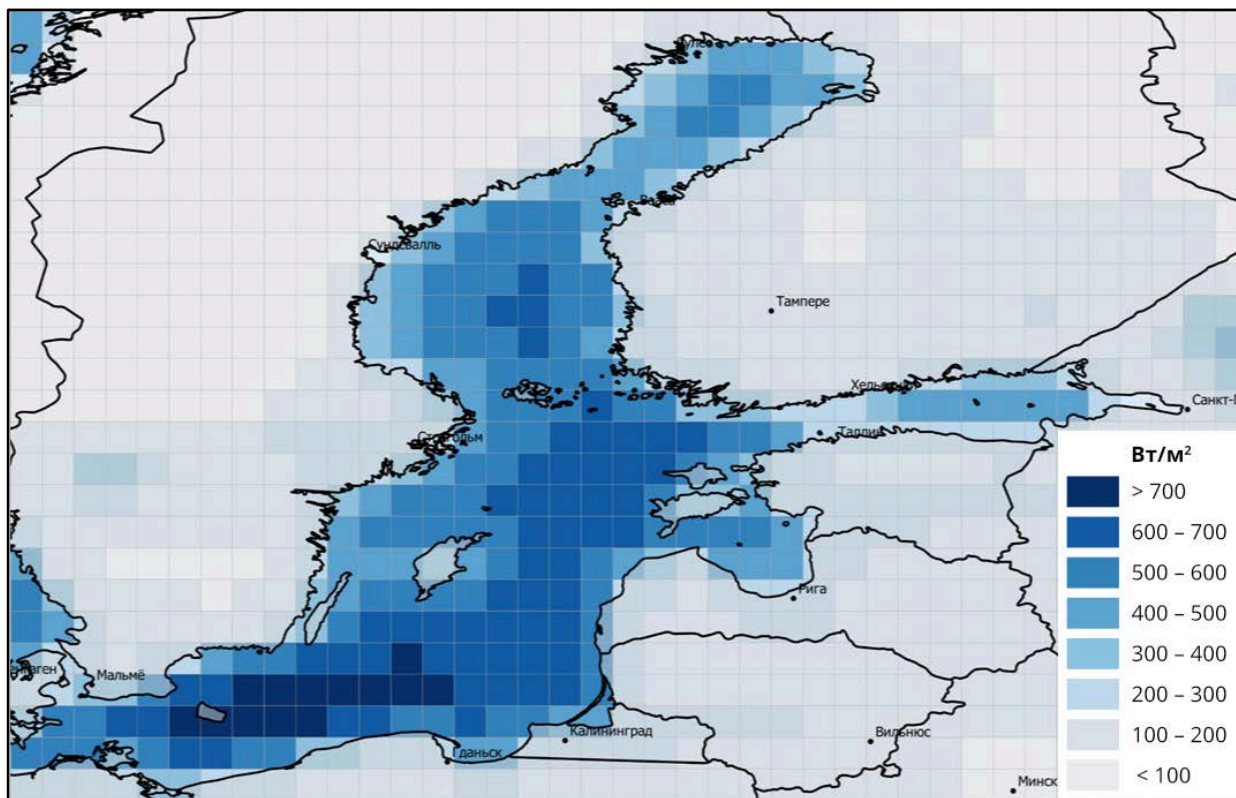


Рис. 3 – Представление показателей ветровой энергии способом картограмм в веб-атласе (на примере валового потенциала ветровой энергии на высоте 50 м, Балтийское море)
Fig. 3 – Presentation of wind energy indicators in a web atlas by means of cartograms (gross potential of wind energy at an altitude of 50 m, Baltic Sea)

4. Результаты и их обсуждение

Картографический веб-ресурс имеет клиент-серверную архитектуру (рис. 4). Сервер построен по классической трехзвенной архитектуре [43], состоящей из подсистемы хранения данных (сервер баз дан-

ных – PostgreSQL [44]), анализа и публикации картографических данных (ГИС-сервер – Geoserver 45]) и подсистемы веб-приложений (веб-сервер – Apache [46] и NodeJS [47]). Физически все три звена размещены на одном сервере.

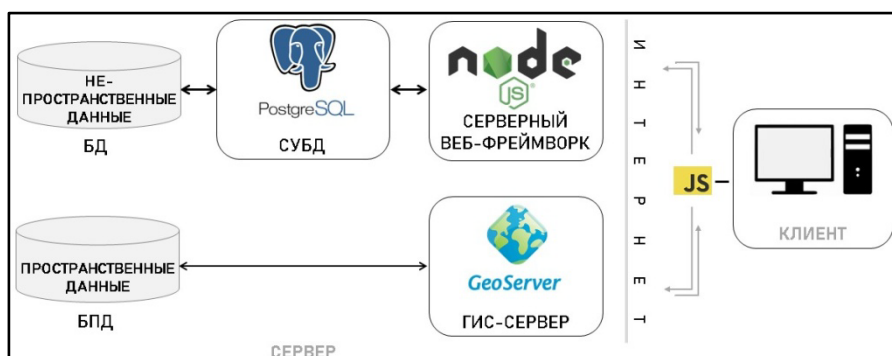


Рис. 4 – Архитектура веб-приложения
Fig. 4 – Web-application architecture

Все данные разделены на две базы данных: пространственную и непространственную (см. рис. 4). В пространственной базе данных, реализуемой в формате GeoPackage, в виде изолинейных и растровых пред-

ставлений хранятся отображаемые на карте среднеклиматические величины характеристик волнения и ветра.

Временные ряды показателей волнения, а также данные о повторяемости направлений и скорости ветра отображаются в графической или табличной форме и хранятся в базе данных PostgreSQL (рис. 5). Чтение их текстовых источников и загрузка в БД происходит при помощи скриптов на языке программирования R. Конвертированию подвергаются таблицы трех типов данных:

- 1) о повторяемости ветра по направлениям;
- 2) о повторяемости скорости ветра на высотах 50 м и 110 м по сезонам года;
- 3) о базовых параметрах волн за 37 лет (высота значительных волн, период, длина, энергия волн).

Данные о повторяемости скорости и направления ветра относятся к тем же ячейкам 0,5-

градусного раstra, что и данные средноклиматических параметров валового потенциала энергии и скорости ветра. В базе данных (рис. 5) они имеют отношение «1 к 10», поскольку на одну запись о направлении ветра приходится десять записей о повторяемости скорости: среднегодовое значение и сезонные на двух высотах. Таблица с данными о параметрах волнения имеет логическую связь с атрибутивной таблицей слоя диаграммы Г.Ф. Вороного, которая применяется для выполнения точечных запросов на карте. Каждой ячейке диаграммы соответствует временной ряд значений каждого параметра волн, их связь происходит по идентификатору ячейки и моря, и имеет отношение «один ко многим».

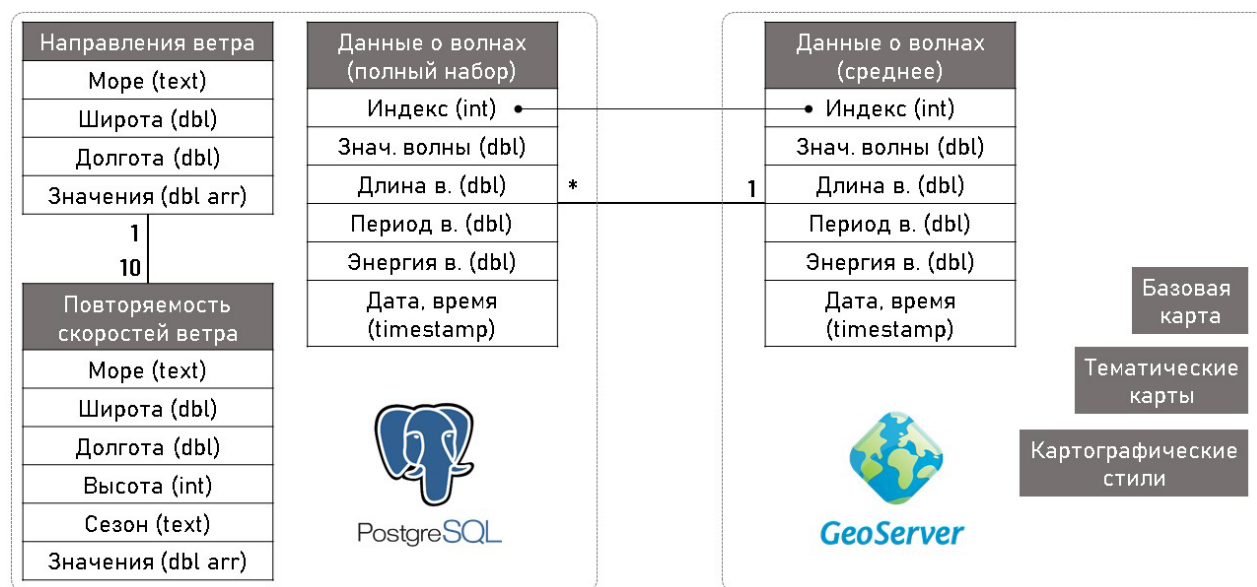


Рис. 5 – Схема базы данных веб-приложения
Fig. 5 – Web-application database schema

Клиентская сторона приложения сделана в виде одностраничного веб-сайта. В верхней части экрана (header) размещены главные управляющие и информационные элементы: ниспадающее меню со списком разделов и карт атласа, название карты, которая открыта в настоящий момент, легенда к этой карте (рис. 6).

Остальное пространство экрана занято картографическим изображением. В левом верхнем углу карты пользователь имеет возможность выбрать

отображаемый на карте показатель волнения или ветра. Реализована навигация по карте (масштабирование, перемещение). По клику в произвольной точке (красная отметка на рис. 7) выполняется запрос к базе данных, и на клиентскую сторону возвращаются данные для визуализации розыдиаграммы повторяемости направлений ветра (рис. 7А), гистограмм повторяемости скорости ветра по сезонам (рис. 7Б), а также заполнения таблицы параметров волнения (рис. 7В).



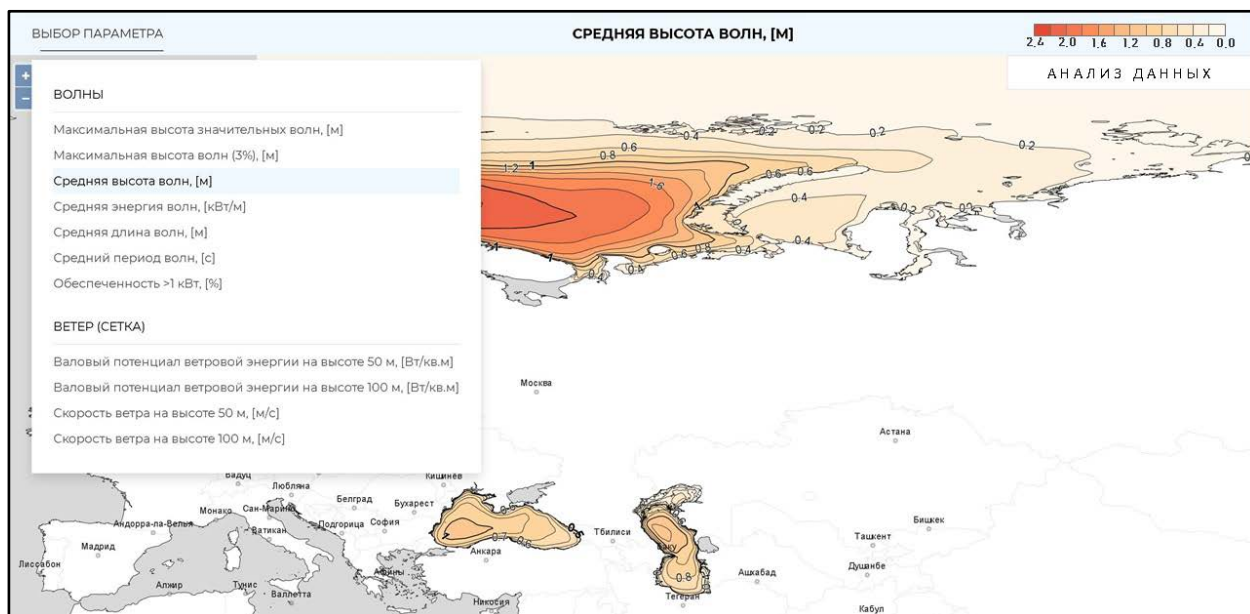


Рис. 6 – Интерфейс веб-атласа (общий вид)
Fig. 6 – Web-atlas interface (general view)

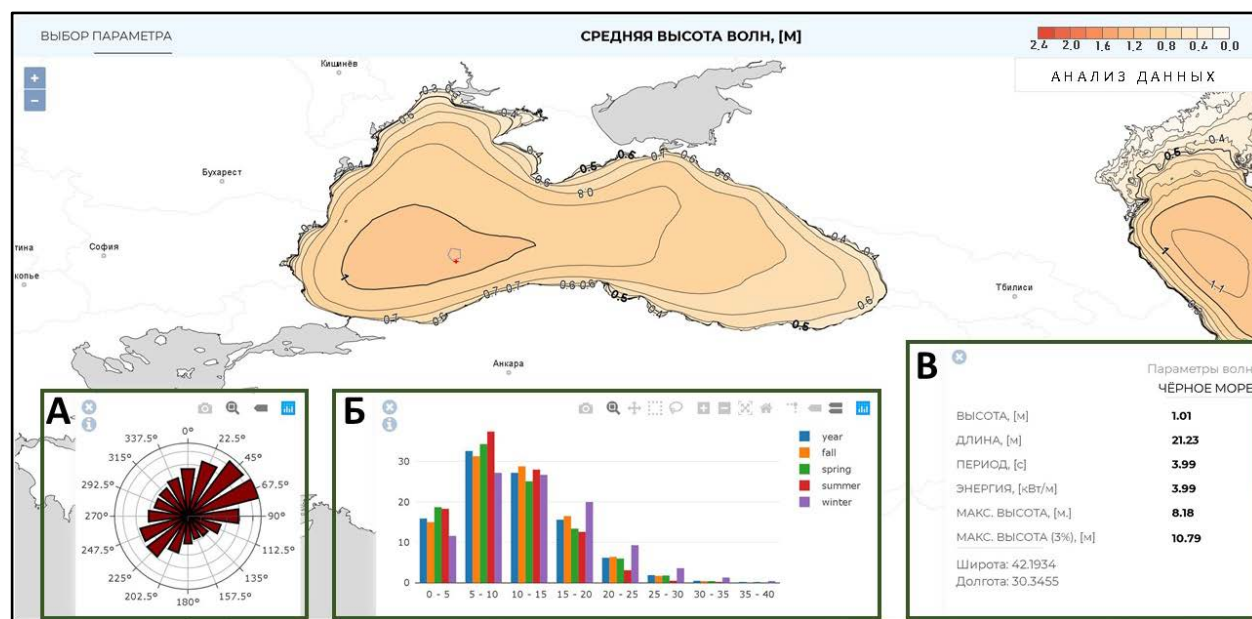


Рис. 7 – Интерфейс веб-атласа при выборе точки в море: А – роза-диаграмма повторяемости направлений ветра; Б – гистограмма повторяемости скорости ветра; В – сводная таблица параметров волн
Fig. 7 – Web-atlas interface when selecting a point in the sea: "А" is a wind directions repeatability; "Б" is a wind speed frequency histogram; "В" is a wave parameter summary table.

В веб-приложении реализованы аналитические функции для параметров волн. Открыв меню «Анализ данных», пользователь может указать точку акватории, установить временной диапазон в пределах 01.01.1979. – 31.12.2016. и получить статистики по выбранным рядам (среднее, максимальное, минимальное, медианное значение и стандартное отклонение по усеченному ряду высоты значительных волн, периоду, длине и энергии волн). Кроме того, открывается окно расчета обеспеченности по пере-

численным характеристикам, которое предоставляет возможность интерактивно формировать запросы вида: «Какая доля значительных волн из ряда меньше/больше критерия?». Ответ дается в процентах от анализируемого ряда чисел (рис. 8).

Кроме табличных данных можно получить графики динамики волновых и ветровых характеристик, построенные по пользовательским настройкам: дискретности данных (3 ч, день, месяц, год, конкретный месяц в году), характеристикам (пери-

од, энергия волн и др.) и способам обобщения выбранного ряда (среднее, максимальное, минимальное, медианное значение или СКО). После этого

система возвращает график, где по оси абсцисс отложено время, а по оси ординат – результат запроса по указанным настройкам.

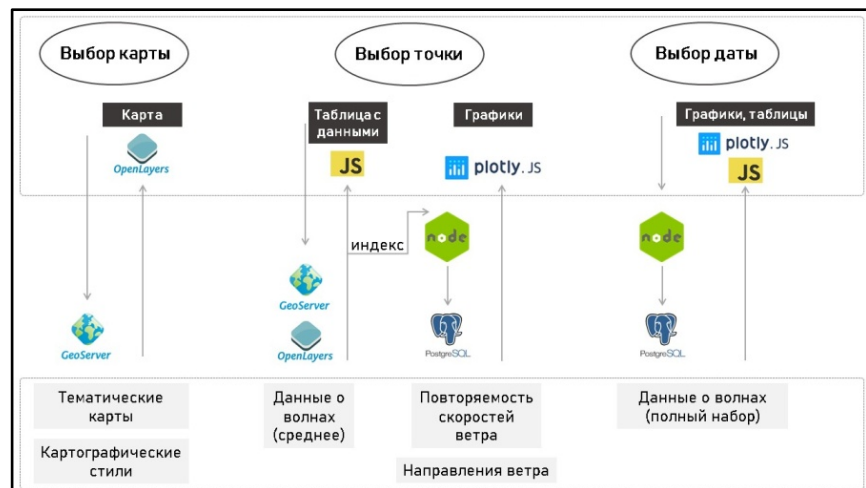


Рис. 8 – Настройка параметров и результат запроса данных о волнении
Fig. 8 – Setting parameters and the result of the request for wave data

Для реализации клиентской части приложения использовались общие для веб-разработки инструменты, специальные библиотеки и плагины: язык разметки HTML5, каскадные таблицы стилей CSS3 и CSS-фреймворк Uikit3 [48], язык программирования JavaScript. Так, взаимодействие с ГИС-сервером и отображение картографических материалов выполняет JavaScript-библиотека OpenLayers [49], по-

строение графиков – библиотека Plotly.js [50], некоторые анимации и асинхронные запросы к серверу – библиотека JQuery [51]. Виджет календаря реализован на основе JavaScript-библиотеки Foopicker [52]. Запросы к базе данных от клиента осуществляются через фреймворк NodeJS [46]. Сценарии использования приложения и задействованные технологии представлены на рис. 9.

Рис. 9 – Сценарии использования картографического веб-приложения. Взаимодействие клиентской и серверной частей (овалами обозначены действия пользователя, в черных прямоугольниках – ответ системы)
Fig. 9 – Scenarios for using a cartographic web-application. Interaction of client and server parts (ovals indicate user actions, black rectangles – the response of the system)



5. Заключение

В настоящей работе представлены результаты разработки веб-атласа доступной энергии волн и ветра прибрежной зоны морей России. На текущий момент времени в веб-атлас загружены данные для Черного, Каспийского, Балтийского, Карского и Баренцева морей. При помощи веб-атласа визуализированы карты распределения среднесуточных параметров ветровых волн, а также карты распре-

ления волновой и ветровой энергии. По данным картам возможен географический анализ распределения физических параметров, определяющих ресурсы ветровой и волновой энергии.

Дано описание информационной основы атласа (данные о волновом и ветроэнергетическом потенциале). Технологическая схема подготовки исходных данных моделирования и реанализа для их автоматизированной загрузки в базу данных атласа и картографического отображения позволит осуществлять

дополнение атласа новыми данными. Дальнейшее развитие исследования предполагает постепенное дополнение базы данных сведениями о волновой и ветровой энергии в прибрежной зоне других морей России. После тестирования и отладки данные веб-атласа будут размещены в открытом доступе в сети интернет на странице проекта <https://www.researchgate.net/project/Web-atlas-of-wind-and-wave-available-energy-in-the-coastal-zones-of-the-Russian-Seas>.

Благодарности

Работы по созданию веб-атласа выполнены при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» договор №20/2019/РГО-РФФИ (проект РФФИ № 17-05-41153). Расчеты волновой энергии выполнены К.П. Сильвестровой в рамках темы Госзадания № 0149-2019-0004. Подготовка полей ветра выполнялась В.С. Архипкиным и А.А. Шестаковой при частичном финансировании РФФИ (проект № 18-05-60083), расчет энергии ветра выполнен Г.В. Сурковой в рамках темы Госзадания (номер ЦИТИС: АААА-А16-116032810086-4).

Acknowledgments

Web-atlas was developed with the financial support of the All-Russian public organization "Russian Geographical Society", agreement №20/2017/RGS-RFBR (RFBR No. 17-05-41153). Data analysis funded by the Ministry of Science and Higher Education of Russia, theme 0149-2019-0004 (Silvestrova K.P.). The preparation of the wind fields was carried out by V.S. Arkhipkin and A.A. Shestakova participatory financing of the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-05-60083), calculation of the wind energy was performed by G.V. Surkova in the framework of the theme of the State Assignment (CITIS number: АААА-А16-116032810086-4).

Список литературы

[1] Минин, В.А. Перспективы освоения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии на Кольском полуострове / В.А. Минин, Г.С. Дмитриев. – Мурманск: Беллона, 2007.

[2] Мысленков, С.А. Сезонная и межгодовая изменчивость потока волновой энергии в Баренцевом море / С.А. Мысленков [и др.] // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2017. – № 19–21. – С. 36–48.

[3] Борисенко, М.М. Атласы ветрового и солнечного климатов России / М.М. Борисенко, В.В. Стадник. – СПб.: Изд-во ГГО им. А.И. Воейкова, 1997.

[4] Старков, А.Н. Атлас ветров России / А.Н. Старков [и др.]. – М.: Можайск-Терра, 2000.

[5] Николаев, В.Г. Национальный кадастр ветроэнергетических ресурсов России и методические основы их определения / В.Г. Николаев, С.В. Ганага, Ю.И. Кудряшов. – М.: «Атмограф», 2008.

[6] Горлов, А.А. Научная и экспериментальная инфраструктура развития морских ВИЭ / А.А. Горлов // Энергия: экономика, техника, экология. – 2017. – № 4. – С. 21–31.

[7] Aydoğ an B., Ayat B., Yüksel Y. Black Sea wave energy atlas from 13 years hindcasted wave data // Renewable energy. – 2013. – Т. 57. – С. 436–447.

[8] European Atlas of the Seas. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/atlas/maritime_atlas. – (Дата обращения: 05.12.19.).

[9] Сайт проекта Arctic Renewable Energy Atlas. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rcinet.ca/eye-on-the-arctic/2016/06/08/focus-on-green-energy-in-the-arctic/>. – (Дата обращения: 24.04.18.).

[10] Мысленков, С.А. Разработка веб-атласа доступной энергии волн и ветра прибрежной зоны морей России: информационное и картографическое обеспечение / С.А. Мысленков [и др.] // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2018. – № 16–18. – С. 39–54.

[11] ENERGYDATA.INFO. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energydata.info/dataset>. – (Дата обращения: 13.12.19.).

[12] NREL. Marine and Hydrokinetic Data. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nrel.gov/gis/data-marine.html>. – (Дата обращения: 11.12.19.).

[13] ECMWF.ERA-Interim global atmospheric reanalysis. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim>. – (Дата обращения: 10.12.19.).

[14] Environmental modeling center. Wavewatch III Hindcast and Reanalysis Archives. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://polar.ncep.noaa.gov/waves/hindcasts/>. – (Дата обращения: 10.12.19.).

[15] Copernicus Climate Data Store. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>. – (Дата обращения: 12.12.19.).

[16] Dutch offshore wind atlas. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dutchoffshorewindatlas.nl>. – (Дата обращения: 12.12.19.).

[17] KNMI North Sea Wind Atlas. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://projects.knmi.nl/knw/data/>. – (Дата обращения: 10.12.19.).

[18] Sterl, A. Climatology, variability and extrema of ocean waves: The Web-based KNMI/ERA-40 wave atlas / A. Sterl, S. Caires // International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society. – 2005. – Т. 25. – №. 7. – С. 963–977.

[19] Arinaga R. A., Cheung K. F. Atlas of global wave energy from 10 years of reanalysis and hindcast data // Renewable Energy. – 2012. – Т. 39. – №. 1. – С. 49–64.

[20] Energy Marine Map, EMMap. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emmap.cl/index>. – (Дата обращения: 10.12.19.).

[21] AREA Arctic Renewable Energy Atlas. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:



<http://arcticrenewableenergy.org/map>. – (Дата обращения: 05.12.19.).

[22] Global Atlas for Renewable Energy. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://irena.masdar.ac.ae/gallery>. – (Дата обращения: 20.11.19.).

[23] Mer A.B.P. Atlas of UK marine renewable energy resources: Atlas pages // A strategic environmental assessment report, Department for Business Enterprise and Regulatory Reform. – 2008.

[24] Геоинформационная система «Возобновляемые источники энергии России» (ГИС ВИЭР). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gisre.ru/>. – (Дата обращения: 29.01.20.).

[25] Попель, О.С. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России / О.С. Попель, С.Е. Фрид, Ю.Г. Коломиец и др. – М.: Изд-во МФТИ, 2010.

[26] Игнатъев, С.Г. Анализ современной методологии определения энергетических характеристик ветра / С.Г. Игнатъев // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAE). – 2013. – № 12. – С. 22–34.

[27] Joint Research Centre Scientific and Policy Reports (2013), “Overview of European Innovation Activities in Marine Energy Technology”. Report EUR 26342 EN.

[28] Progress in Renewable Energies Offshore: Proceedings of the 2nd International Conference on Renewable Energies Offshore (RENEW2016), Lisbon, Portugal, 24–26 October 2016 – CRC Press Book.

[229] Андреевко, Т.И. Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории и России: научное издание / Т.И. Андреевко [и др.]. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015.

[30] Global Wind Atlas. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://globalwindatlas.info>. – (Дата обращения: 05.12.19.).

[31] The Atlas of UK Marine Renewable Energy Resources. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.renewables-atlas.info/explore-the-atlas>. – (Дата обращения: 05.12.19)

[32] Wind Prospector. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://maps.nrel.gov/wind-prospector>. – (Дата обращения: 10.12.19)

[33] Marine and Hydrokinetic Atlas. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://maps.nrel.gov/mhk-atlas>. – (Дата обращения: 10.12.19.).

[34] Australian Renewable Energy Mapping Infrastructure/Australian Wave Energy Atlas. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nationalmap.gov.au/renewables>. – (Дата обращения: 10.12.19.).

[35] New European Wind Atlas. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.neweuropeanwindatlas.eu/>. – (Дата обращения: 11.12.19.).

[36] Мысленков, С.А. Прогноз ветрового волнения в Черном море с использованием прогностических полей ветра различного пространственного разрешения / С.А. Мысленков, Е.В. Столярова // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2016. – № 362. – С. 55–65.

рологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2016. – № 362. – С. 55–65.

[37] Myslenkov, S. Comparing wave heights simulated in the Black Sea by the swan model with satellite data and direct wave measurements / S. Myslenkov, A. Chernyshova // Russian Journal of Earth Sciences. – 2016. – Т. 16. – № 5. – С. 1–12.

[38] Мысленков, С.А. Система прогноза ветрового волнения в Черном море с детализацией в шельфовых зонах / С.А. Мысленков, Е.В. Столярова, В.С. Архипкин // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2017. – № 44. – С. 126–135.

[39] Архипкин, В.С. Оценка потенциала волновой энергии прибрежной акватории полуострова Крым / В.С. Архипкин [и др.] // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAE). – 2015. – № 20. – С. 25–35.

[40] Киселева, С.В. Оценка ветроэнергетического потенциала черноморского побережья Кавказа с использованием реанализа CFSR / С.В. Киселева [и др.] // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAE). – 2016. – № 15–18. – С. 75–85.

[41] Open Geospatial Consortium (OGC). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.opengeospatial.org/standards/sld>. – (Дата обращения: 22.11.19.).

[42] Harrower, M.A. ColorBrewer.org: An Online Tool for Selecting Color Schemes for Maps / M.A. Harrower, C.A. Brewer // The Cartographic Journal. – 2003. – Vol. 40. – No. 1. – P. 27–37.

[43] Fu, P. Web GIS: principles and applications / P. Fu, J. Sun. – Esri Press, 2010.

[44] PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.postgresql.org/>. – (Дата обращения 20.01.20.).

[45] GeoServer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geoserver.org>. – (Дата обращения 20.01.20.).

[46] The Apache HTTP Server Project. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://httpd.apache.org/>. – (Дата обращения: 20.01.20.).

[47] Node.js. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nodejs.org>. – (Дата обращения: 11.11.19.).

[48] Uikit-3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://getuikit.com/v2>. – (Дата обращения: 25.11.19.).

[49] OpenLayers. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://openlayers.org/>. – (Дата обращения: 12.11.19.).

[50] Plotly JavaScript Open Source Graphing Library. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://plot.ly/javascript/>. – (Дата обращения: 15.11.19.).

[51] jQuery. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://jquery.com>. – (Дата обращения: 12.11.19.).



[52] FooPicker – PureJavaScriptDatepicker. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.npmjs.com/package/foopicker>. – (Дата обращения: 20.12.19.).

References

[1] Minin V.A., Dmitriyev G.S. Prospects for development of non-traditional and renewable energy sources on the Kola Peninsula (Perspektivy osvoeniya netraditsionnykh i возобновляемых источников энергии на Колском полуострове), Bellona, 2007; 93p. (in Russ.).

[2] Myslenkov S.A., Stolyarova E.V., Markina M.Yu., Kiseleva S.V., Arkhipkin V.S., Gorlov A.A., Umnov P.M. Seasonal and interannual variability of the wave energy flux in the Barents Sea (Sezonnaya i mezgodovaya izmenchivost' potoka volnovoi ehnergii v Barentsevom more). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2017;19–21:36–48 (in Russ.).

[3] Borisenko M.M., Stadnik V.V. Atlases of wind and solar climates in Russia (Atlasy vetrovogo i solnechnogo klimatov Rossii). SPb: Izd-vo GGO named after AI Voeikov, 1997 (in Russ.).

[4] The Atlas of the Winds of Russia (Atlas vetrov Rossii)/ A.N. Starkov, L.Landberg, P.P. Bezrukhikh, M.M. Borisenko. Ministry of Fuel and Energy of Russia, National Lab. Riso (Denmark), Ros.-Dat. Institute of Energy Efficiency. – Moscow: Mozhaik-Terra, 2000; 551 p (in Russ.).

[5] Nikolaev V.G., Ganaga S.V., Kudryashov Yu.I. National cadastre of wind power resources of Russia and methodical bases of their definition (Nacional'nyi kadastr vetroehnergeticheskikh resursov Rossii i metodicheskie osnovy ih opredeleniya). Moscow: Atmosgraph Publ., 2008 (in Russ.).

[6] Gorlov A.A. Scientific and experimental infrastructure for development of marine renewable energy (Nauchnaya i eksperimental'naya infrastruktura razvitiya morskikh VIE). *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*, 2017;4:21–31(in Russ.).

[7] Aydoğan B., Ayat B., Yüksel Y. Black Sea wave energy atlas from 13 years hindcasted wave data. *Renewable energy*, 2013;57:436–447.

[8] European Atlas of the Seas. Layers [E-resource]. Available on: https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/atlas/maritime_atlas/mindmap_en.html#Energy (12.05.19.).

[9] Arctic Renewable Energy Atlas [E-resource]. Available on: <http://www.rcinet.ca/eye-on-the-arctic/2016/06/08/focus-on-green-energy-in-the-arctic/> (04.24.18.).

[10] Myslenkov S., Samsonov T., Kiseleva S., Arkhipkin V., Shestakova A., Umnov P. Development of Web-atlas of wind and wave available energy in the coastal zones of the Russian seas: information and cartographic support (Razrabotka veb-atlasy dostupnoy energii voln i vetra pribrezhnoy zony morey Rossii: informatsionnoye i kartograficheskoye obespecheniye). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2018;16–18:39–54 (in Russ.).

[11] ENERGYDATA.INFO [E-resource]. Available on: <https://energydata.info/dataset> (12.13.19.).

[12] NREL. Marine and Hydrokinetic Data [E-resource]. Available on: <https://www.nrel.gov/gis/data-marine.html>. (12.11.19.).

[13] ECMWF.ERA-Interim global atmospheric reanalysis [E-resource]. Available on: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim>. (12.10.19.).

[14] Environmental modeling center. Wavewatch III Hindcast and Reanalysis Archives [E-resource]. Available on: <https://polar.ncep.noaa.gov/waves/hindcasts/>. (12.10.19.).

[15] Copernicus Climate Data Store [E-resource]. Available on: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>. (12.12.19.).

[16] Dutch offshore wind atlas [E-resource]. Available on: <https://www.dutchoffshorewindatlas.nl>. (12.12.19.).

[17] KNMI North Sea Wind Atlas [E-resource]. Available on: <http://projects.knmi.nl/knw/data/> (12.10.19.).

[18] Sterl A., Caires S. Climatology, variability and extrema of ocean waves: The Web-based KNMI/ERA-40 wave atlas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 2005;25(7):963–977.

[19] Arinaga R.A., Cheung K.F. Atlas of global wave energy from 10 years of reanalysis and hindcast data. *Renewable Energy*, 2012;39(1):49–64.

[20] Energy Marine Map, EMMMap [E-resource]. Available on: <https://www.emmap.cl/index>. (12.10.19.).

[21] AREA Arctic Renewable Energy Atlas [E-resource]. Available on: <http://arcticrenewableenergy.org/map>. – (12.05.19.).

[22] Global Atlas for Renewable Energy [E-resource]. Available on: <https://irena.masdar.ac.ae/gallery>. (11.20.19.).

[23] Mer A.B.P. Atlas of UK marine renewable energy resources: Atlas pages. A strategic environmental assessment report, Department for Business Enterprise and Regulatory Reform, 2008.

[24] GIS renewable energy sources of Russia (GIS RESR) [E-resource]. Available on: <http://gisres.ru/> (01.29.20.).

[25] Popel O.S., Frid S.E., Kolomiets Yu.G., Kiseleva S.V., Terekhova E.N. Atlas of solar energy resources in Russia (Atlas resursov solnechnoi ehnergii na territorii Rossii). Moscow: Publishing House of MIPT, 2010, 83 p. (in Russ.).

[26] Ignatiev S.G. Analysis of the modern methodology for determining the energy characteristics of wind (Analiz sovremennoi metodologii opredeleniya energeticheskikh harakteristik vetra). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2013;12:22–34 (in Russ.).



- [27] Joint Research Centre Scientific and Policy Reports (2013), "Overview of European Innovation Activities in Marine Energy Technology". Report EUR 26342 EN.
- [28] Progress in Renewable Energies Offshore: Proceedings of the 2nd International Conference on Renewable Energies Offshore (RENEW2016), Lisbon, Portugal, 24–26 October 2016 – CRC Press Book.
- [29] Andreenko T.I., Gabderakhmanova T.S., Danilova O.V. et al. Atlas of Renewable Energy Resources on the Territory and Russia: scientific edition (Atlas resursov vozobnovlyaemoy ehnergii na territorii Rossii: nauchnoe izdanie). RCTU them. D. I. Mendeleev. Moscow, 2015; 160 p. (in Russ.).
- [30] Global Wind Atlas [E-resource]. Available on: <https://globalwindatlas.info>. (12.05.19.).
- [31] The Atlas of UK Marine Renewable Energy Resources [E-resource]. Available on: <https://www.renewables-atlas.info/explore-the-atlas> (12.05.19.).
- [32] Wind Prospector [E-resource]. Available on: <http://maps.nrel.gov/wind-prospector> (12.10.19.).
- [33] Marine and Hydrokinetic Atlas [E-resource]. Available on: <http://maps.nrel.gov/mhk-atlas> (12.10.19.).
- [34] Australian Renewable Energy Mapping Infrastructure/Australian Wave Energy Atlas [E-resource]. Available on: <https://nationalmap.gov.au/renewables> (12.10.19.).
- [35] New European Wind Atlas [E-resource]. Available on: <http://www.neweuropeanwindatlas.eu/>. (12.11.19.).
- [36] Myslenkov S.A., Stolyarova E.V. Forecast of wind waves in the Black Sea using predictive wind fields of different spatial resolution (Prognoz vetrovogo volneniya v Chernom more s ispol'zovaniem prognosticheskikh polei vetra razlichnogo prostranstvennogo razresheniya). *Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation*, 2016;362:55–65 (in Russ.).
- [37] Myslenkov S., Chernyshova A. Comparing wave heights simulated in the Black Sea by the swan model with satellite data and direct wave measurements. *Russian Journal of Earth Sciences*, 2016;16(5):1–12.
- [38] Myslenkov S.A., Stolyarova E.V., Arkhipkin V.S. Wind wave forecasting system in the Black Sea with details in the shelf zones (Sistema prognoza vetrovogo volneniya v Chernom more s detalizaciei v shel'fovyh zonah). *Results of testing new and improved technologies, models and methods of hydrometeorological forecasts*, 2017;44:126–135 (in Russ.).
- [39] Arkhipkin V.S., Vaskov A.G., Kiseleva S.V., Myslenkov S.A., Temeyev S.A. Temeyev A.A., Umnov P.M. Estimation of the wave energy potential of the coastal water area of the Crimea peninsula (Otsenka potentsiala volnovoio ehnergii pribrezhnoi akvatorii poluostrova Krym). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2015;20:25–35 (in Russ.).
- [40] Kiseleva S.V., Shestakova A.A., Toropov P.A., Myslenkov S.A. Assessment of the wind energy potential of the Black Sea coast of the Caucasus using the CFSR reanalysis (Otsenka vetroehnergeticheskogo potentsiala chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza s ispol'zovaniem reanaliza CFSR). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2016;15–18:75–85 (in Russ.).
- [41] Open Geospatial Consortium (OGC) [E-resource]. Available on: <http://www.opengeospatial.org/standards/sld> (11.22.19.).
- [42] Harrower M.A., Brewer C.A. ColorBrewer.org: An Online Tool for Selecting Color Schemes for Maps. *The Cartographic Journal*, 2003;40(1):27–37.
- [43] Fu P., Sun J. Web GIS: principles and applications. – Esri Press, 2010.
- [44] PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database [E-resource]. Available on: <https://www.postgresql.org/> (01.20.20.).
- [45] GeoServer [E-resource]. Available on: <http://geoserver.org>. (01.20.20.).
- [46] The Apache HTTP Server Project [E-resource]. Available on: <https://httpd.apache.org/>. (01.20.20.).
- [47] Node.js [E-resource]. Available on: <http://nodejs.org>. (11.11.19.).
- [48] Uikit-3 [E-resource]. Available on: <https://getuikit.com/v2>. (11.25.19.).
- [49] OpenLayers [E-resource]. – Available on: <http://openlayers.org/>. (11.12.19.).
- [50] Plotly JavaScript Open Source Graphing Library [E-resource]. Available on: <https://plot.ly/javascript/> (11.15.19.).
- [51] jQuery [E-resource]. Available on: <https://jquery.com>. (11.12.19.).
- [52] FooPicker – PureJavaScriptDatepicker [E-resource]. Available on: <https://www.npmjs.com/package/foopicker>. (12.20.19.).

Транслитерация по BSI

