

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ, ПРОВОДИМЫЕ
В СЕКТОРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ МОРЯ И
АТМОСФЕРЫ ИНСТИТУТА ГЕОФИЗИКИ ИМ. М.З. НОДИА
И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ**

Деметрашвили Д. И.

*Институт геофизики им. М. З. Нодиа Тбилисского государственного университета
им.Ив. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. Алексидзе, 1.эл.почта:demetr_48@yahoo.com*

В октябре 1989 года в Институте геофизики Академии наук Грузии был основан отдел динамики моря (в дальнейшем Сектор математического моделирования геофизических процессов моря и атмосферы; ныне Сектор моделирования динамики моря и атмосферы) под руководством доктора физико-математических наук Автандила Александровича Кордзадзе. Функционирование отдела положило основу сравнительно новому направлению для института – изучению динамики и экологических процессов Черного моря и атмосферы на основе математического моделирования. Обзор научной деятельности, проводимый в секторе в 1989-2013 гг. дается в работе [1]. В настоящей статье внимание сосредоточено в основном на тех аспектах деятельности сектора, которые в меньшей степени отражались в работе [1].

Основными научными направлениями в секторе являются:

- математическое моделирование динамических процессов Черного моря;
- разработка улучшенных версий региональной системы прогноза Черного моря для грузинской прибрежной зоны и прилегающей акватории;
- математическое моделирование гидротермодинамических процессов в атмосфере Кавказского региона и Черного моря;
- изучение закономерностей распространения антропогенных примесей в природной среде (море, атмосфера, почва) на основе математического моделирования;

В рамках этих направлений в секторе разработан и реализован ряд математических задач, именно:

- баротропная модель динамики Черного моря [2, 3];
- бароклинная модель динамики Черного моря с пространственными разрешениями 37, 10 и 5 км [4-14];
- региональная модель динамики Черного моря с высоким разрешением (пространственный шаг 1 км) для грузинского сектора Черного моря и прилегающей акватории [15-18];
- нестационарные гидродинамические модели крупномасштабных и мезомасштабных атмосферных процессов для ограниченной территории [19-23];
- двумерные и трехмерные модели распространения неконсервативных загрязняющих веществ в Черном море [24-27];
- нестационарная пространственная численная модель распространения твердого наноса р. Риони в акватории г. Поти [28, 29];
- математический метод определения положения источника загрязнения в морской среде (двумерный и трехмерный случаи) [30-33];

- нестационарные численные модели распространения антропогенных примесей в атмосфере, реках и почве [34-37];

Разработаны теоретические основы и структура математической модели единой гидротермодинамической системы Черное море-атмосфера-почва [38, 39].

Решение всех задач по моделированию динамики Черного моря и распространению примесей в морском бассейне, основывается на едином методологическом подходе, именно, на использование двуциклического метода расщепления, разработанного Г. И. Марчуком для решения задач динамики атмосферы и океана [40, 41]. Предложенный численный метод решения дифференциальных уравнений позволяет свести решение сложных нестационарных задач к решению более простых одномерных и двумерных уравнений [42].

На начальном этапе функционирования сектора была разработана двумерная нестационарная баротропная модель динамики Черного моря, описывающая циркуляционные процессы, возбудимые ветром, в Ω области с постоянной глубиной H . На основе этой модели с использованием аппарата сопряженных уравнений [41] был построен алгоритм по уточнению коэффициента турбулентной вязкости и был реализован для всего бассейна Черного моря с пространственным шагом 37 км [2].

Разработанная баротропная модель была использована также для проведения численного исследования влияния разных климатических режимов ветра, действующих над Черным морем, на циркуляционные процессы в морском бассейне [3].

Очевидно, что в рамках баротропной модели невозможно описать сложные термодинамические процессы, протекающие в Черном море, и их влияние на динамику моря. Кроме того, баротропное приближение не позволяет учесть термическое воздействие со стороны атмосферы, влияние баланса “атмосферные осадки-испарение” на поле солёности моря и вертикальную структуру гидрофизических полей. В дальнейшем, разработанная в Секторе моделирования динамики моря и атмосферы нестационарная бароклинная прогностическая модель динамики Черного моря, основанная на решение полной системы уравнений гидротермодинамики океана в гидростатическом приближении, обеспечила учет все перечисленные факторы. Следует отметить, что первая численная модель Черного моря, основанная на полной системе уравнений гидротермодинамики, была разработана в начале 70-х годов прошлого века в Вычислительном центре Сибирского отделения Академии наук СССР (г. Новосибирск, Академгородок) [43-45]. Разработанная нами в секторе модель, которую можно считать продолжением работ, начавшихся в 70-х годах, отличалась от “сибирской” версии по учету некоторых физических факторов (напр., поглощение коротковольновой радиации в верхнем слое моря, обмен вод между Средиземным и Черным морями через Босфорский пролив и др.). Несмотря на сходность алгоритмов у этих моделей, по определенным причинам программное обеспечение модели динамики моря Института геофизики пришлось разработать заново на алгоритмическом языке Fortran.

Вычислительные эксперименты по бароклинной прогностической модели с целью изучения среднегодовой циркуляции и ее сезонной изменчивости были проведены с использованием многолетних средних климатических данных [4, 5]. Полученное среднегодовое поле течения было использовано в двумерных и трехмерных задачах моделирования распространения нефтяного загрязнения и других примесей по всему Черному морю [24-27]. В основе этих моделей распространения примесей лежит нестационарное уравнение переноса-диффузии для неконсервативной примеси. В работах [28, 29] рассматривается комплексная пространственная нестационарная задача распространения и седиментации речного твердого наноса от р. Риони в акватории порта г. Потти. Модель состояла из гидродинамического и диффузионного блоков. Гидродинамический блок содержал модель динамики Черного моря и модель прибрежной динамики высокого разрешения с пространственным шагом 100 м. Область решения в окрестности порта

имела размеры 7 x 12 км, где рассчитывалась локальная циркуляция и дисперсия и седиментация малых твердых частиц .

Следует отметить, что ресурсы вычислительной техники, имеющие в распоряжении сектора в 1990-х годах, не позволяли провести расчеты с нужным пространственным разрешением и поэтому все вышеупомянутые расчеты гидрофизических полей и полей концентраций загрязнения по всему Черному морю осуществлялись с использованием грубой расчетной сетки с горизонтальным шагом 37 км. В дальнейшем, по мере улучшения вычислительной техники, удалось реализовать бароклинную модель динамики Черного моря с использованием расчетной сетки с пространственными шагами 10 и 5 км. На основе этой модели исследовался гидрологический режим Черного моря при непрерывной смене атмосферных циркуляционных режимов. Изменчивость ветрового воздействия в модели выражалась в непрерывном чередовании 24-х типов ветра, характерных для бассейна Черного моря в течение всего года [6, 8, 9, 11]. Термохалинное воздействие атмосферы учитывалось путем задания внутригодового хода температуры и солености на поверхности моря, воспроизводимого по их ежемесячным среднемесячным значениям. Результаты вычислительного эксперимента показали, что под влиянием сильной нестационарности атмосферных процессов циркуляция вод в верхнем слое Черного моря претерпевает значительные качественные и количественные изменения. Особенно чувствителен по отношению к изменчивости атмосферной циркуляции верхний 20-30 метровый слой моря; каков бы ни был характер атмосферной циркуляции, примерно ниже этого верхнего слоя циркуляция Черного моря почти всегда получает циклонический характер с внутренними основными циклоническими вращениями в западной и восточной частях бассейна.

В работах [10, 12, 13] проведены достаточно детальные исследования вертикальной гидрологической структуры Черного моря при разных климатических условиях, с использованием бароклинной модели [6, 11]. Исследования были проведены при двух видах верхних граничных условий – Дирихле и Неймана на поверхности моря с целью учета термохалинного воздействия атмосферы. Кроме того, значительное внимание уделялось изучению процессов, происходящих в верхнем слое турбулентного смешения и их сезонной изменчивости в условиях нестационарности атмосферных процессов.

Разработанные в секторе численные модели динамики и распространения примесей в Черном море подготовили основу для создания и последующего развития системы регионального морского прогноза для восточной части Черного моря. Следует отметить, что разработка такой прогностической системы для грузинского сектора Черного моря и прилегающей акватории является большим научным достижением сектора за последнее десятилетие [15-18, 46-50]. Область регионального прогноза отделена от открытой части моря условной жидкой границей, совпадающей с меридианом (39.08⁰E), проходящим около г. Туапсе. Региональная прогностическая система, которая является одной из компонентов общей системы диагноза и прогноза Черного моря в масштабах всего бассейна, разработана в рамках международных научно-технических проектов Евросоюза ARENA и ECOOP [51, 52], а в дальнейшем была усовершенствована в рамках гранта Национального научного фонда им. Шота Руставели.

На рис. 1 представлена структура и схема функционирования региональной системы прогноза. Ядром региональной системы является региональная модель динамики Черного моря Института геофизики им. М. З. Нодиа (РМ-ИГ), которая получена путем адаптации модели [6,11] к восточной акватории Черного моря и одновременным повышением пространственной разрешающей способности от 5 км до 1 км. РМ-ИГ вставлена в модель общей циркуляции Черного моря Морского гидрофизического института (МГИ, г. Севастополь). Все необходимые входные данные поступают из МГИ ежедневно в режиме, близком к оперативному через ftp сайт.

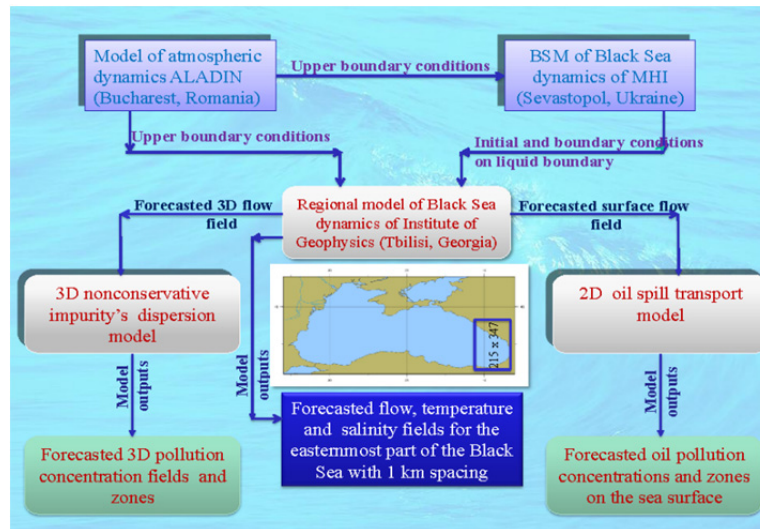


Рис.1. Область прогноза, структура и схема функционирования региональной системы прогноза для грузинского сектора Черного моря и прилегающей акватории [48].

Экологический блок системы состоит из двумерного и трехмерного численных моделей распространения неконсервативной примеси, использующих нестационарное поле течения, рассчитанное по региональной модели динамики моря. Система регионального прогноза позволяет рассчитать прогноз на 3 суток основных гидрофизических полей – течения, температуры, солености и плотности, а в случае необходимости – прогноз распространения зон, загрязненных нефтепродуктами и другими антропогенными примесями в грузинской прибрежной зоне и прилегающей акватории с разрешающей способностью 1 км.

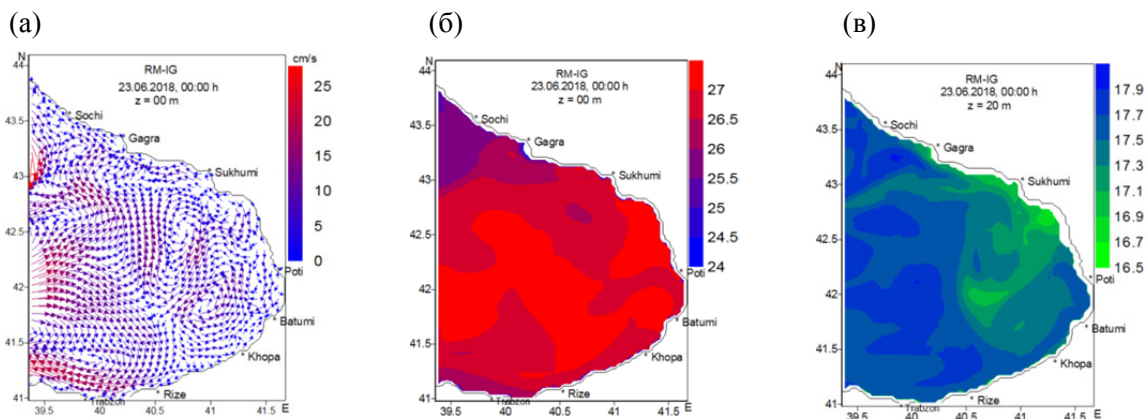
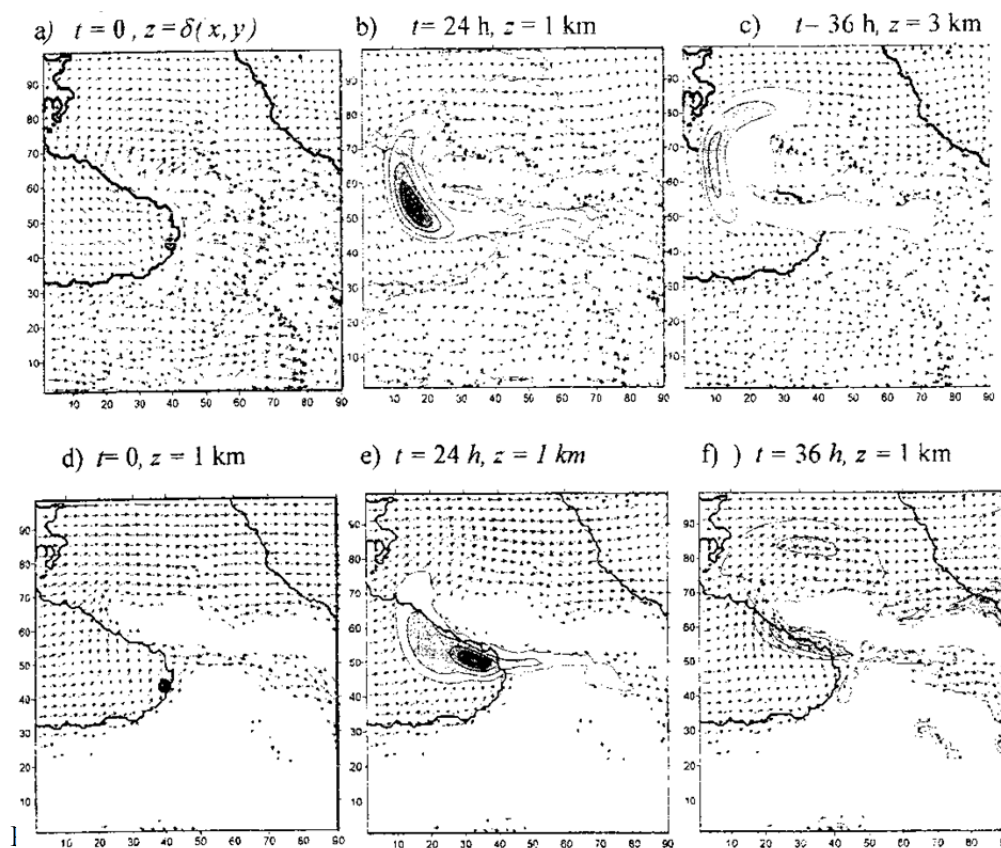


Рис.2. рассчитанные прогностические поля течения (а), температуры (б) и солености (в) 23 июня 2018 при $t = 48$ ч после начала прогноза (прогностический интервал: 00 : 00 GMT, 21-24 июня 2018). Течение и температура представлены на поверхности $z = 0$, а соленость на глубине $z = 20$ м.

В качестве примера на рис.2 представлены прогностические поля течения, температуры и солености к моменту 23 июня 2018 г в грузинской прибрежной зоне и прилегающей акватории. Из этого рисунка хорошо видно несколько субмезомасштабных вихревых образований циклонического и антициклонического характеров. Температура в большей части акватории прева-лирует 27°C , сравнительно холодные воды наблюдаются в северо-западной части региональной акватории.

В течение функционирования сектора велась интенсивная научная работа по моделированию и изучению синоптических и мезомасштабных атмосферных процессов и распространения примесей над территорией Черного моря и Кавказа, а также над более расширенной территорией. Часть результатов этих исследований представлены в работах [19-23]. С целью иллюстрации на рис.3 представлены поля ветра и концентраций гипотетической примеси над территорией восточной части Черного моря и Грузии в случае западного фонового ветра.



t = 0, 24 и 36 ч на приземном уровне (a, b, c) и на высоте z = 1 км (d, e, f) в случае западного фонового ветра [37].

Дальнейшая научная деятельность Сектора моделирования динамики атмосферы и океана связана с усовершенствованием уже разработанных моделей и постановкой и реализацией новых задач, связанных с динамикой и экологией жидкой среды Земли. В числе научных проблем, стоящих перед коллективом сектора, следует отметить, в первую очередь, дальнейшее развитие и усовершенствование существующей региональной системы прогноза путем включения в систему некоторых экологических задач и модели прогноза поверхностных волн, индуцированных ветром, что существенно повысит практическую ценность прогностической системы. Кроме того, планируется разработать прогностическую систему очень высокого разрешения (с пространственным шагом 200-250 м) для прибрежной акватории Аджарии и Поти-Анаклия, которая подвергается наибольшей антропогенной нагрузке, а в ближайшем будущем ожидается усиление такой нагрузки из-за ожидаемого роста туристов и построения глубоководного Анаклийского порта. Такая прогностическая подсистема будет составным компонентом существующей региональной системы прогноза и обеспечит краткосрочный прогноз динамических полей – течения, температуры, солёности и плотности с пространственным шагом 200-250 м в прибрежной зоне, испытывающей более интенсивное антропогенное воздействие. На рис. 4 изображена область регионального прогноза, включающая в качестве подсистемы, подобласть

прогнозирования, охватывающая самую близлежащую к берегам акваторию. Таким образом, будет создана комплексная региональная система прогноза, которая объединит уже существующую систему с пространственным разрешением 1 км для грузинской и прилегающей акватории и прибрежную прогностическую систему для Аджара-Поти-Анаклия акватории.

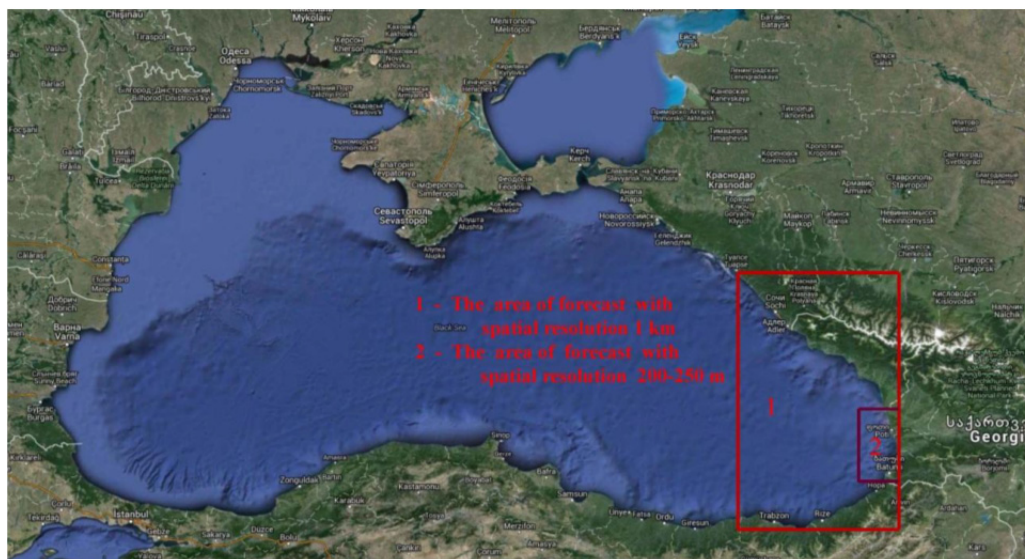


Рис.4. Области прогноза с разрешением 1 км и 200-250 м в восточной части Черного моря [50].

В результате функционирования региональной прогностической системы нами создана достаточно богатая база данных трехмерных динамических полей – течения, температуры и солености для восточной части Черного моря с 2010 года по сей день с пространственным разрешением 1 км. Большое научное и практическое значение представляет использовать эту базу данных с целью исследования гидротермодинамических процессов и их изменчивость в восточной акватории Черного моря. Важность исследования таких процессов связана с тем фактом, что Черное море и атмосфера представляют собой единую гидротермодинамическую систему и динамические процессы верхнего слоя моря в значительной степени влияют на формирование погоды и на распределение климатических характеристик в черноморском регионе. Глубокий научный анализ этого материала будет способствовать лучшему пониманию механизмов формирования и эволюции гидротермодинамических процессов и тренда изменчивости температуры и солености за последнюю декаду в одном из динамически активных регионов Черного моря и обогащению наших знаний об этих процессах. После проведения таких исследований наше знание о гидрофизических процессах, протекающих в грузинской акватории Черного моря станет более совершенным. Следует отметить, что некоторые исследования в этом направлении проведены в работах [46, 47], которые показывают, что юго-восточная акватория Черного моря представляет собой динамически активную зону, где непрерывно происходят формирование разных циркуляционных процессов, включающих генерирование и трансформацию разных вихревых образований мезо и субмезомасштабных размеров.

Научные интересы Сектора моделирования динамики моря и атмосферы в ближайшие годы будут фокусироваться также на дальнейшее развитие системы моделирования атмосферных процессов, развивающихся над Черным морем и Кавказом, изучению закономерностей процессов рассеяния разных антропогенных примесей в природной среде и объединению моделей динамики Черного моря и атмосферы с учетом взаимодействия этих двух сред.

Литература

1. Кордзадзе А. А. О текущей и будущей научно-исследовательской деятельности, проводимой в секторе математического моделирования геофизических процессов моря и атмосферы Института геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили. Труды научной Конференции “Актуальные проблемы геофизики“, посвященной 80-летию основания Института геофизики им. М. З. Нодиа, 2014, с.21-57 (на Груз.).
2. Kordzadze A., Kvaratskhelia D., Demetrashvili D. On the specification of the eddy viscosity coefficient in the Black Sea. J. Georgian Geophys. Soc., 1998, vol.3B, pp. 59 – 65, published 2000. www.bss.oceaninfo.ru/library/files/39284.pdf.
3. Kvaratskhelia D. Numerical investigation of surface currents of the Black Sea in cases of nonstationarity of atmospheric circulation in framework of a barotropic model. J. Georgian Geophys. Soc., ISSN 1512-1127, 2001, vol.6B, pp. 23 – 32.
4. Kordzadze A., Demetrashvili D. Numerical modeling of seasonal variability of large-scale hydrophysical processes in the Black Sea. J. Georgian Geophys. Soc., Tbilisi, 1998, v.3b, pp.49-58.
5. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Численные эксперименты по модели динамики Черного моря, учитывающей поглощение солнечной радиации. Вычислительная математика и математическое моделирование. Труды международной конференции, посвященной 75-летию акад. Г. И. Марчука и 20-летию основания Института Вычислительной математики Российской АН. Москва, 2000, т. 1, с.125-134.
6. Kordzadze A., Demetrashvili D. Numerical modeling of inner-annual variability of the hydrological regime of the Black Sea with taking into account of alternation of different types of the wind above its surface. Proceed. of Intern. Conference: “A year after Johannesburg-Ocean Governance and Sustainable Development: Ocean and Coasts – a Glimpse into theFuture”.Kiev, Ukraine, October 27-30, 2003. pp. 495-505.
7. Demetrashvili D. Modeling of hydrophysical fields in the Black Sea. J. Georgian Geophys. Soc., 2003, v.8b, pp.19-27.
8. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Численное моделирование влияния нестационарных атмосферных процессов на гидрологический режим Чёрного моря. В кн: Труды междуна. конференции по математическим методам в геофизике “ММГ-2003“, Часть II. Новосибирск, 8-12 октября, 2003, с. 353-357.
9. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д.И., Сурмава А. А. О реакции гидрологического режима Чёрного моря на изменчивость атмосферных процессов. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, Украина, 2004, вып. 10, с. 265-277.
10. Demetrashvili D., Kvaratskhelia D., Gvelesiani A. On the vortical motions in the Black Sea by the 3-D hydrothermodynamical numerical model. Advances in Geosciences, 14, 2007 , pp.295-299, www.adv-geosci.net/14/295/2008/.
11. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. Численное моделирование гидрофизических полей Черного моря в условиях чередования атмосферных циркуляционных процессов. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2008, № 2, с. 227-238.
12. Demetrashvili D. I., Kvaratskhelia D. U., Kukhalashvili V. G. Numerical study of the vertical drological structure of the Black Sea under January atmospheric climatological forcing. J. Georgian Geophys. Soc., 2010, 14b, pp. 75-84.
13. Demetrashvili D. I., Kvaratskhelia D. U. Numerical study of the vertical hydrological structure of the Black Sea under Transitive Climatic Forcing Conditions. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences. 2012, vol.6, № 2, pp. 83-88.

14. Кордзадзе А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. О циркуляции в Чёрном море при очень сильных и слабых ветрах. *Метеорология и гидрология*, 2007, № 9, с. 58-64.
15. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Моделирование и прогноз основных гидрофизических полей в Черном море. *Тр. Института геофизики им. М. З. Нодиа*, 2009, т. LXI, с. 145-157.
16. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Operational forecast of hydrophysical fields in the Georgian Black Sea coastal zone within the ECOOP. *Ocean Science*, 2011, 7, pp.793-803, www.ocean-sci.net/7/793/2011/.
17. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Региональная оперативная система прогноза состояния восточной части Чёрного моря. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. Севастополь/Украина, 2011, вып.25, т.2, с.136-147.
18. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Coastal forecasting system for the easternmost part of the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2012, 12, pp.471-477, doi: 10.4194/1303-2712-v12_2_38. www.trjfas.org.
19. Kordzadze A., Surmava A. The numerical investigation of the meteorological fields distribution in the Caucasian region in the presence of the background western wind. I. The pressure, the temperature fields of the atmosphere, the soil and seas. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2002, v.7, pp. 20-31.
20. Kordzadze A., Surmava A. The numerical investigation of the meteorological fields distribution in the Caucasian region in the presence of the background western wind. II. The wind and vertical velocity fields. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2002, v.7, pp. 32-45.
21. Surmava A. A., Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Kukhalashvili V. G., Kacharava G. G. Numerical modeling of air motion over the Black Sea. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2005, v.10, pp.21-27.
22. Кордзадзе А., Сурмава А. А., Деметрашвили Д. И., Кухалашвили В. Численное исследование влияния рельефа Кавказского региона на распределение гидрометеорологических полей. *Изв. РАН, Физика атмосферы и океана*, 2007, т.43, № 6, с.722-730.
23. урмава А. А., Кварацхелия Д. У. Численное исследование влияния восточной части Средиземного моря, Черного, Каспийской морей и окружающего их рельефа на распределение метеорологических полей в крупномасштабных вихрях атмосферы. *Тр. Института геофизики им. М. З. Нодиа*, т. LXI, 2009, с.172-178.
24. Kordzadze A., Demetrashvili D. 3D numerical model of distribution of nonconservative admixture in the Black Sea. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2000, v. 5b, pp. 3-11.
25. Kordzadze A., Demetrashvili D. Numerical modeling of distribution of the oil pollution in the Black Sea. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2000, v. 5b, pp.12-20.
26. Demetrashvili D., Kordzadze A. Numerical modeling of distribution of pollution substances in the BlackSea. *Reports of enlarged sessions of the seminar of I. Vekua Institute of applied mathematics.vol. 17, № 3, 2002, pp. 44-57.*
27. КордзадзеА., Demetrashvili D., About the forecast of distribution of anthropogenesis impurity and about an establishment of coordinates of a source of pollution in the Black Sea. *Proceed. of the 2st Intern. Silk Road Symposium “BSEC Studies”*, Tbilisi, 6-7 May, 2005, pp.103-109.
28. Kordzadze A., Demetrashvili D., Surmava A., Kacharava G. Numerical modeling of local circulation and sedimentation of Rioni River alluvium in the Georgian Black Sea coast (water area of Poti city). *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2004, vol. 9b, pp.3-17.
29. Kiknadze A., Kordzadze A., Demetrashvili D., Surmava A., Kacharava G. Simulation of diffusion and sedimentation of the Rioni river alluvium in the Georgian Black Sea coast (water are of Poti city). *Bulletin of the Georgian National Academy of sciences*. 2006, v.173, № 3, pp.504-506.

30. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Результаты моделирования распространения примесей в Черном море. Тр. Института геофизики им. М. Нодиа, т. LXI, 2009, с. 158-171.
31. Kordzadze A., Demetrashvili D. Numerical experiments on the determination of the pollution source location in the Black Sea. 3D problem. J. Georgian Geophys. Soc., 2001, v. 6b, pp. 3-12.
32. Kordzadze A., Demetrashvili D. Numerical experiments on the determination of the pollution source location in the Black Sea. 2D problem. J. Georgian Geophys. Soc., 2001, v. 6b, pp. 13-22.
33. Demetrashvili D., Kordzadze A. Determination of the pollution source location in the Black Sea on the basis of conjugate equations theory. Reports of enlarged sessions of the seminar of I. Vekua Institute of applied mathematics. vol. 17, N 3, 2002, pp. 58-70.
34. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. Численное моделирование распространения примеси в Чёрном море и в атмосфере Кавказа. Экология окружающей среды и безопасность жизнедеятельности. Киев, Украина, 2004, № 6, с. 31-41.
35. Kordzadze A., Demetrashvili D., Surmava A. A numerical study of spreading of the oil pollution in the natural environment. Экология окружающей среды и безопасность жизнедеятельности. Киев, Украина, 2005, N 2, pp. 77-84.
36. Mirtskhulava Ts., Kordzadze A., Demetrashvili D., Surmava A. Numerical modeling of a soil pollution by oil from an open rectangular pit. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences. 2006, v.173, N 2, pp. 295-297.
37. Surmava A. A., Mishveladze B. A., Davitashvili T. P. Numerical modeling of the pollution transfer in the Caucasus atmosphere emitted from hypothetical source in the case of the background western wind. J. Georgian Geoph. Soc., 2009, v. 13B, pp.15-21.
38. Kordzadze A., Demetrashvili D. About coupling modeling of hydrodynamic processes in the Black Sea and atmosphere. J. Georgian Geophys. Soc., 2009, v. 13b, pp. 3-14.
39. Kordzadze A., Demetrashvili D. About coupled regional modeling system the Black Sea-atmosphere. Journal of Environmental Protection and Ecology (JEPE), 2011, vol.12(1), pp. 317- 327.
40. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1974, 303 с.
41. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. Москва, Наука, 1982, 319 с.
42. Саркисян А. С., Залесный В. Б., Дианский Н. А., Ибраев Р. А., Кузин В. И., Мошонкин С. Н., Семенов Е. В., Тамсалу Р., Яковлев Н. Г. Математические модели циркуляции океанов и морей. В кн.: Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования. Москва, Наука, 2005, т.2, с.176-278.
43. Марчук Г. И., Кордзадзе А. А., Скиба Ю. Н. Расчет основных гидрологических полей Черного моря. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1975, т.11, № 4, с. 379-393.
44. Кордзадзе А. А. Численное моделирование циркуляции вод Черного моря. В кн.: Моделирование гидрофизических процессов и полей в замкнутых водоемах и морях. Москва, 1988, с. 24-45.
45. Кордзадзе А. А. Математическое моделирование динамики морских течений (теория, алгоритмы, численные эксперименты). Москва, ОВМ АН СССР, 1989, 218 с.
46. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А., Кухалашвили В. Г. Некоторые особенности динамического режима восточной части Черного моря по результатам моделирования и прогноза гидрофизических полей за 2010-2013 гг. Труды Института геофизики им. М. З. Нодиа. 2013, т. LXIV, с. 117-130.
47. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Краткосрочный прогноз гидрофизических полей в восточной части Чёрного моря. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2013, т. 49, N 6, с. 733-745.

48. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Kukhalashvili V. G. The easternmost Black Sea regional forecasting system. Proceed. Of the 12th Intern. Conference on the Mediterranean coastal environment-MEDCOAST 2015, 6-10 October 2015, Varna, Bulgaria, pp. 769-780.
49. Kordzadze A., Demetrashvili D. Operational forecasting for the eastern Black Sea. Proceed. of the 13th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 2017, 30 October – 4 November, 2017, Mellieha, Malta, t.2, pp.1215-1224.
50. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Океанография Черного моря в прошлом и на современном этапе. Издательство Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили, 2017, 187 с (на Груз.).
51. Korotaev G. K., Oguz T., Dorofeev V. L. et al. Development of Black Sea nowcasting and forecasting system. Ocean Science. 2011, v.7, pp. 629-649, doi:10.5194/os-7-629-2011.
52. Kubryakov A., I., Korotaev G., K., Dorofeev V. L. et al. Black Sea coastal forecasting system. Ocean Science. 2012, v.8, pp.183-196, doi:10.5194/os-8-183-2012.

**მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და
ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში ჩატარებული
სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები და მათი შემდგომი
განვითარების პერსპექტივები**

დემეტრაშვილი დ.

რეზიუმე

სტატია ეძღვნება გამოკვლევებს, რომლებიც ჩატარებულია ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში მისი დაარსებიდან 1989 წ. დღემდე. მოკლედ განიხილება შავი ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკისა და ბუნებრივ გარემოში მინარევების გავრცელების კვლევების ცალკეული მიმართულებები და მათი შემდგომი განვითარების პერსპექტივები.

**Научно-исследовательские работы, проводимые в секторе
моделирования динамики моря и атмосферы Института геофизики
им. М. З. Нодиа и перспективы их дальнейшего развития**

Деметрашвили Д. И.

Реферат

Статья посвящена исследованиям, проводимым в Секторе моделирования динамики моря и атмосферы Института геофизики им. М. З. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили со дня основания сектора с 1989 г. по сей день. Кратко рассматриваются отдельные направления исследований в области динамики Черного моря и атмосферы и распространения примесей в окружающей среде и перспективы их дальнейшего развития.

Researches carried out in the sector of modeling the sea and atmosphere dynamics of M. Nodia institute of geophysics and prospects for their further development

Demetrashvili D.

Abstract

The article considers to the researches carried out by the Sector of Modeling the Sea and Atmosphere Dynamics of M. Nodia Institute of Geophysics at I. Javakhishvili Tbilisi State University since the foundation of the Sector in 1989 to the present day. It briefly consider separate directions of researches in the sphere of the Black Sea and atmosphere dynamics and the spread of impurities in the environment. The prospects for further research are under discussion.