



О. Ю. ЛАВРОВА, М. И. МИТЯГИНА, А. Г. КОСТЯНОЙ

СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

**МОСКВА
2022**

УДК 528.88; 551.465; 551.463.8; 551.463.6; 528.873.044.1; 629.78
Л13

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук С. А. Ермаков, д-р техн. наук Е. А. Лупян

Л13 *Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Костяной А. Г.* Спутниковые методы исследования изменчивости Каспийского моря. М.: ИКИ РАН, 2022. 250 с. : табл., ил., цв. ил.

ISBN 978-5-00015-058-0

Монография посвящена исследованию изменения экологического состояния Каспийского моря на протяжении текущего столетия под воздействием природных и антропогенных факторов с помощью спутниковых данных и средств дистанционного зондирования Земли. Представленные материалы базируются на результатах, полученных в ходе выполнения проекта Российского научного фонда (РНФ) № 19-77-20060 «Оценка изменчивости экологического состояния Каспийского моря в текущем столетии по данным спутникового дистанционного зондирования», который выполнялся в 2019–2022 гг. Данные исследования проводились объединённой командой учёных из Института космических исследований РАН (Москва) и Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН (Москва). Обсуждаются цели и задачи исследований, состояние проблемы, методы и средства, используемые для выполнения работ. Особое внимание уделено результатам, полученным в ходе выполнения проекта.

Монография адресована широкому кругу специалистов в области дистанционного зондирования океанов и морей из космоса, океанологии, экологии, защиты окружающей среды, а также преподавателям, аспирантам и студентам профильных высших учебных заведений. Книга будет интересна работникам морской нефтегазовой отрасли, которые занимаются освоением морских нефтегазовых месторождений, оценками воздействия на окружающую среду, производственным экологическим мониторингом и контролем на стадии проектирования, строительства и эксплуатации различных объектов отрасли на шельфе Каспийского моря. Полученные результаты будут также интересны лицам, принимающим решения, особенно в свете развития евразийских транспортных коридоров на Каспии. В книге приведено большое количество иллюстративного материала и обширный список литературы, посвящённой различным аспектам дистанционного зондирования Земли из космоса.

O. Yu. Lavrova, M. I. Mityagina, A. G. Kostianoy
Satellite methods in the study of the Caspian Sea variability

The monograph is devoted to the study of changes in the ecological state of the Caspian Sea over the course of the current century under the influence of natural and anthropogenic factors using satellite data and remote sensing of the Earth from space. The presented materials are based on the results obtained during the implementation of the project of the Russian Science Foundation (RSF) No. 19-77-20060 "Assessing ecological variability of the Caspian Sea in the current century using satellite remote sensing data" carried out in 2019–2022. These studies were performed by a team of scientists from the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow) and Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (Moscow). The book discusses the purpose and objectives of the research, state of the art, methods and tools used to perform the work. Particular attention is paid to the results obtained in the course of the project.

The book is addressed to a wide range of experts in the field of remote sensing of oceans and seas from space, oceanography, ecology, environmental protection, as well as professors, graduate students and students of higher educational institutions. The book will be interesting to offshore oil and gas industry professionals who are engaged in the development of offshore oil and gas deposits, assessment of the impact on the environment, ecological monitoring during the design, construction and operation of ports, terminals, oil/gas platforms and pipelines in the Caspian Sea. The results obtained will also be of interest to decision makers, especially in light of the development of the Eurasian transport corridors in the Caspian. The book contains a lot of illustrations and an extensive list of references on various aspects of remote sensing of the Earth from space.

Монография подготовлена и издана при финансовой поддержке гранта РНФ № 19-77-20060 «Оценка изменчивости экологического состояния Каспийского моря в текущем столетии по данным спутникового дистанционного зондирования».

Компьютерная верстка: Комарова Н. Ю.
Дизайн обложки: Кобеи Д. А., Захаров А. Н.

ISBN 978-5-00015-058-0

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Литература	12
ГЛАВА 1	
ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ	13
Литература	28
ГЛАВА 2	
СРЕДСТВА И МЕТОДЫ РАБОТЫ С ДАННЫМИ СПУТНИКОВОГО	
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	31
2.1. Спутниковые данные.	31
2.1.1. Исследования океана из космоса в видимом диапазоне спектра	32
2.1.2. Исследования океана из космоса в тепловом инфракрасном диапазоне спектра	39
2.1.3. Спутниковая радиолокация морской поверхности	40
2.1.4. Спутниковая альтиметрия	45
2.2. Спутниковые сенсоры	47
2.3. Искусственные спутники Земли	48
2.3.1. Спутники серии Sentinel	48
2.3.1. Спутники серии Landsat	51
2.4. Спутниковый информационный сервис See the Sea	51
2.4.1. Особенности построения системы See the Sea	53
2.4.2. Основные данные входящие в систему See the Sea	53
2.4.3. Возможности работы с данными	55
2.4.4. Перспективы развития	58
Литература	59
ГЛАВА 3	
НЕФТЯНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ	62
3.1. Район нефтедобычи Нефтяные Камни	69
3.2. Выходы естественных углеводородов со дна Каспийского моря в районе иранского и туркменского шельфов	84
3.3. Загрязнение морской поверхности Южного Каспия, обусловленное грязевым вулканизмом	99
3.4. Нефтяное загрязнение морской поверхности, обусловленное нефтесодержащими судовыми сбросами	105
3.5. Оценка вкладов различных типов загрязнений, выявленных по спутниковым данным, в интегральное нефтяное загрязнение поверхности Каспийского моря	109
Литература	110
ГЛАВА 4	
МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В СЕВЕРНОМ КАСПИИ	115
Введение	115
4.1. Используемые данные	118
4.2. Сумма градусо-дней мороза	124
4.3. Суровость зимы	126

4.4. Продолжительность ледяного покрова	131
4.5. Максимальная годовая площадь ледяного покрова	135
Выводы.....	139
Литература.....	141
ГЛАВА 5	
ЦВЕТЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА.....	144
5.1. Сезонная и межгодовая изменчивость концентрации хлорофилла <i>a</i>	146
5.2. Сезонная изменчивость и пространственное распределение концентрации хлорофилла <i>a</i> в 2022 г.	150
5.3. Аномально интенсивное цветение фитопланктона в Южном Каспии	153
Литература.....	167
ГЛАВА 6	
КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ	169
6.1. Температура воздуха.....	169
6.2. Температура поверхности моря.....	172
6.2.1. Тренды температуры поверхности моря в районах Каспия и заливе Кара-Богаз-Гол в период с июля 2002 г. по ноябрь 2022 г.....	173
6.2.2. Гистограммы распределения ТПМ в Каспийском море за 2003, 2010 гг. и за период с июля 2002 г. по ноябрь 2022 г.	176
6.2.3. Пространственно-временная изменчивость температуры поверхности моря	176
6.3. Осадки	185
6.4. Облачность	186
6.5. Скорость ветра.....	187
6.6. Влажность.....	189
6.7. Уровень моря	190
Литература.....	192
ГЛАВА 7	
ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ	195
7.1. Сгонно-нагонные явления	195
7.1.1. Данные и методы.....	197
7.1.2. Сгонно-нагонные явления в 2019 г.....	199
7.1.3. Сгонно-нагонные явления в 2020 г.....	202
7.2. Исследование выносов рек Терек и Сулак дистанционными и контактными методами.....	208
7.2.1. Физико-географические характеристики рек Терек и Сулак	209
7.2.2. Данные и методы.....	210
7.2.3. Зависимость между мутностью воды и концентрацией взвеси, определёнными по данным натурных измерений	214
7.2.4. Сравнение результатов измерения мутности воды по данным спутникового зондирования и подспутниковых измерений	217
7.2.5. Качественный и количественный минеральный состав взвеси в пробах воды рек Терек и Сулак	219
7.3. Вихревые процессы	222
7.3.1. Пространственно-временная изменчивость проявлений вихревых процессов на радиолокационных изображениях.....	223
7.3.2. Пространственно-временная изменчивость проявлений вихревых процессов на спутниковых изображениях оптического диапазона	227
Литература.....	232
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	238
Литература.....	245
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	247