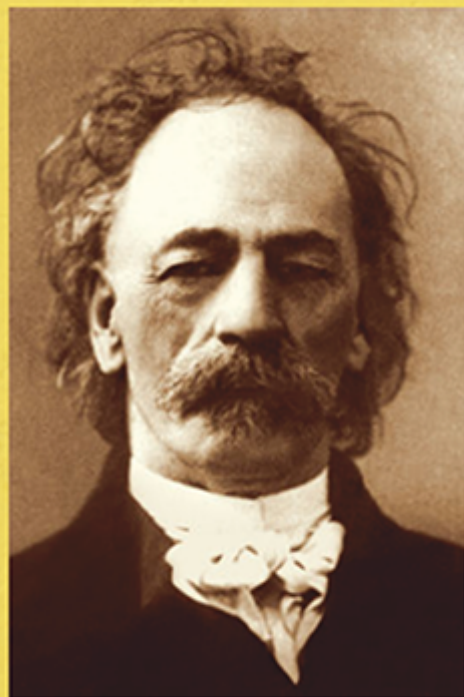


ISSN 2712-9586



**ТРУДЫ
КАРАДАГСКОЙ
НАУЧНОЙ СТАНЦИИ
им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО –
ПРИРОДНОГО
ЗАПОВЕДНИКА РАН**

Выпуск 3(19)

2021

УДК 06 (477.75)

Главный редактор: Р. В. Горбунов, канд. геогр. наук
Заместитель главного редактора: В. И. Мальцев, канд. биол. наук
Технические редакторы: Т. Ю. Горбунова, канд. геогр. наук, О. А. Миронюк

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

П. Н. Баранов, д-р геол.-минерал. наук,
д-р геол. наук
М. М. Бескаравайный, канд. биол. наук
В. А. Боков, д-р геогр. наук
Ю. И. Будашкин, канд. биол. наук
Б. А. Вахрушев, д-р геогр. наук
Ю. В. Глибин
Н. А. Давидович, д-р биол. наук
А. В. Ена, д-р биол. наук
Е. И. Ергина, д-р геогр. наук
С. П. Иванов, д-р биол. наук
В. В. Майко, д-р. ист. наук
В. А. Миноранский, д-р с.-х. наук
Е. Л. Неврова, д-р биол. наук

Э. Б. Петрова, д-р ист. наук
Ю. В. Плугатарь, чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук
Е. А. Позаченюк, д-р геогр. наук
М. А. Поляков, канд. биол. наук
В. В. Рожнов, академик РАН, д-р биол. наук
А. А. Родионов, канд. ист. наук
И. И. Руднева, д-р биол. наук
Ю. А. Силкин, канд. биол. наук
Т. Н. Смекалова, д-р ист. наук
А. А. Солдатов, д-р биол. наук
А. В. Фатерыга, канд. биол. наук
В. В. Фатерыга, канд. биол. наук
И. В. Флоринский, д-р техн. наук
А. Л. Чепалыга, д-р геогр. наук

Все материалы, подаваемые в «Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН», проходят двойное независимое анонимное рецензирование

Учредитель

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»
ОГРН 1159204018478

Издатели

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»
299011, г. Севастополь, пр-кт Нахимова, д. 2.

Адрес редакции

299011, г. Севастополь, пр-кт Нахимова, д. 2.
Телефон +7 (8692) 54-41-10
E-mail: karadag.trudy@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ имени А.О. КОВАЛЕВСКОГО РАН»
КАРАДАГСКАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ им. Т.И.ВЯЗЕМСКОГО –
ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК РАН

ТРУДЫ КАРАДАГСКОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО – ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА РАН

Научный журнал

Основан в мае 2016 г.

Периодическое издание

Выходит 4 раза в год

Выпуск 3(19)

2021

СОДЕРЖАНИЕ

Изучение биоразнообразия и экологический мониторинг

Белогурова Р. Е., Карпова Е. П. Пространственная неоднородность икhtiофауны Каркинитского залива (Чёрное море) 3–13

Ломакин П. Д., Завьялов Д. Д. Поле содержания окрашенного растворённого органического вещества и его связь с солёностью в распреснённых прибрежных водах Азовского моря ... 14–21

Троценко О. А., Ковригина Н. П., Лисицкая Е. В., Попов М. А. Суточная изменчивость термохалинных и гидрохимических показателей, фито- и меропланктона в прибрежной акватории Карадагского природного заповедника (2019 г.) 22–32

Географические, геологические и палеонтологические исследования

Горбунов Р. В. Уязвимость региональных экосистем Крымского полуострова 33–42

Шиббаев Е. А., Шиббаев И. Е. Пуццоланы и трасс Карадага. История поиска, разработок и изучения 43–57

Federal State Budget Scientific Institution
Federal Research Center
«A.O. KOVALEVSKY INSTITUTE OF BIOLOGY OF THE SOUTHERN SEAS OF RAS»
T.I. VYAZEMSKY KARADAG SCIENTIFIC STATION –
NATURE RESERVE OF THE RAS

PROCEEDINGS OF T.I. VYAZEMSKY KARADAG SCIENTIFIC STATION – NATURE RESERVE OF THE RAS

Scientific Journal

Established in May 2016

Periodical

Issued 4 times a year

Issue 3(19)
2021

CONTENT

Study of biodiversity and environmental monitoring

Belogurova R. E., Karpova E. P. Spatial heterogeneity of the ichthyofauna of the Karkinitzky gulf (Black sea) 3–13

Lomakin P. D., Zavyalov D. D. Field of colored dissolved organic matter in the Azov sea coastal waters 14–21

Troshchenko O. A., Kovrigina N. P., Lisitskaya E. V., Popov M. A. Variability of thermohaline and hydrochemical parameters, phyto- and meroplankton in the coastal water area of the Karadag Nature Reserve during the day (2019) 22–32

Geographic, geological and paleontological studies

Gorbunov R. V. Regional ecosystems vulnerability of the Crimean peninsula 33–42

Shibaev E. A., Shibaev I. E. Pozzolans and trass of the Karadag. The history of search, development and research 43–57

ИЗУЧЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

УДК [574.5.06:597.2/.5]-045.52(262.5.04-17)

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ИХТИОФАУНЫ КАРКИНИТСКОГО ЗАЛИВА (ЧЁРНОЕ МОРЕ)*

Белогурова Р. Е., Карпова Е. П.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь,
Российская Федерация,
e-mail: prishchepa.raisa@yandex.ru

В работе рассмотрена пространственная неоднородность ихтиофауны Каркинитского залива. На основе собственных данных, полученных в ходе экспедиционных исследований, для двух подрайонов залива, отличающихся биотопически и морфологически, приведён таксономический состав рыбного населения, который насчитывает 68 видов рыб из 29 семейств. Проанализирована таксономическая структура ихтиофауны Каркинитского залива и выявлено, что наибольшим видовым богатством как для глубоководной, так и для кустовой частей залива отличаются представители семейства бычковых. Отражена экологическая структура рыбного населения; отмечено, что рыбы, морские по происхождению, в целом занимают более двух третей от общего состава ихтиофауны Каркинитского залива. Установлено, что, несмотря на достаточно высокое видовое сходство рыбного населения залива на различных участках, его ихтиофауну нельзя рассматривать как единое целое: мелководная восточная его часть отличается уникальностью зарослевых биоценозов, состав ихтиофауны которых своеобразен по своему видовому богатству.

Ключевые слова: ихтиофауна, сообщества, пространственные вариации, Каркинитский залив, Чёрное море.

Введение

Находящиеся под антропогенным воздействием морские экосистемы в значительной степени нестабильны. В Чёрном море, как в обособленном водоёме Мирового океана, последствия антропогенного пресса в большей мере ощутимы, чем в морях, имеющих свободный водообмен с океаном. Наиболее остро проявляются результаты антропогенного воздействия в изолированных районах — бухтах, заливах, лагунах [Зайцев, 2006].

Экологические условия прибрежной зоны Чёрного моря неоднородны и разнообразны по качественному и количественному распределению жизни, что позволило выделить пять естественных районов в пределах Крымского полуострова [Водяницкий, 1949]. Особое место среди этих районов занимает Каркинитский залив — крупнейший в Азово-Черноморском бассейне. Уникальный по своим морфологическим и биотопическим характеристикам, Каркинитский залив разделён Бакальской банкой и Бакальской косой на два подрайона: западный (глубоководный) и восточный (мелководный), которые имеют отличающиеся экологические условия и различный состав фауны [Biological diversity..., 2012].

За последние 50 лет гидрохимические, морфологические и продукционные характеристики Каркинитского залива изменялись вследствие антропогенного воздействия на залив, масштабы которого отмечены в ряде работ [Biological diversity..., 2012; Карпова и др., 2016; Карпова, Болтачев, Прищепа, 2017; Belogurova, Karпова, Ablafov, 2020]. Видовой состав ихтиофауны залива и её экологическая структура нестабильны и главным образом зависят от деятельности человека.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Фундаментальные исследования популяционной биологии морских животных, их морфологического и генетического разнообразия», № 121040500247-0, а также по теме № 121030100028-0 «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана».

В связи с усиливающимся антропогенным воздействием на морские экосистемы и оценкой их адаптации к меняющимся условиям среды особую актуальность приобретает исследование биоразнообразия водных объектов. Ранее был установлен обобщённый состав ихтиофауны Каркинитского залива, насчитывающий за период исследований с 50-х годов XX века по настоящее время 108 видов рыб [Belogurova, Karpova, Ablyazov, 2020]. Современная ихтиофауна залива сформировалась главным образом за последние 50 лет в результате влияния различных форм хозяйственной деятельности. Обобщённый таксономический состав ихтиофауны залива даёт представление о составе рыбного населения в целом, но не отображает его пространственные вариации в зависимости от экологических особенностей западной и восточной частей залива. Таким образом, целью настоящей работы является выявление закономерностей пространственного распределения ихтиофауны Каркинитского залива.

Материалы и методы

Материал для исследований собран в ходе экспедиционных работ в Каркинитском заливе. Пробы отобраны на 34 станциях (рис. 1) с 2008 по 2018 г. Ихтиологический материал собран с использованием различных орудий лова: ручных сачков с диаметром ячеей 2–5 мм; буксируемого креветочного сака полукруглой формы площадью 1 м², оснащённого хамсаросом с ячейей 6,5 мм; жаберных сетей с размером ячеей 12–14 и 18–20 мм. Также анализировали прилов креветочных вентерей с ячейей 6,5–8,0 мм, устанавливаемых в зарослях морских трав в прибрежной зоне Каркинитского залива. Кроме этого, учитывались результаты экспертного анализа браконьерских уловов, изъятых пограничной службой ФСБ РФ по Республике Крым. Ихтиологический материал идентифицировали до вида с помощью определителей [Световидов, 1964; Васильева, 2007]. Русские наименования рыб и порядок расположения таксонов приведены в соответствии с каталогом [Парин, Евсеенко, Васильева, 2014]. Латинские названия рыб приведены по электронным каталогам [Eschmeyer's catalog of fishes, 2021; Fishbase, 2021]. Анализ видового сходства выполнен с использованием индекса Серенсена — Чекановского [Песенко, 1982].



Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб в Каркинитском заливе

Результаты и обсуждение

Особенности морфологии и характера береговой зоны Каркинитского залива предопределили различия экологических и биотопических условий его акваторий. Песчаной Бакальской косой залив поделён на два района: западный (глубоководный) и восточный (мелководный). В западной части залива имеется свободный водообмен с морем, берега открытые и не имеющие углублённых в сушу бухт, глубина достигает 38 м. Береговая линия мелководной части, максимальная глубина которой не превышает 10 м, изрезана бухтами и заливами, песчаными косами, а водообмен затруднён [Зенкович, 1960; Болтачев, Карпова, 2017].

Ещё в работах В. А. Водяницкого [Водяницкий, 1949] отмечена уникальность гидролого-гидрохимических условий Каркинитского залива: замерзание мелководных районов в восточной его части в суровые зимы соответствует климатическим факторам арктических морей, а в летний период прогрев воды на этих участках, превышающий уровень 30 °С, характерен для тропических широт. За счёт интенсивного испарения в мелководных подрайонах (Перекопский залив) солёность воды может быть повышена по сравнению с остальной акваторией залива. В среднем солёность вод Каркинитского залива составляет 17,3–18,6 ‰, но в восточной части за счёт испарения в летние месяцы может достигать значений 20,8 ‰ [Пухтяр, Ильин, Белокопытов, 2003]. При этом, если солёность вод западной части залива зависит только от влияния динамических процессов открытой части моря, то на формирование гидрохимического режима в восточной части залива на протяжении около 50 лет существенное воздействие оказывал Северо-Крымский канал (СКК) [Карпова и др., 2016]. В этот период восточная часть залива характеризовалась наличием участков, солёность в которых была распределена неравномерно: отмечались как области с солёностью, близкой к обычной черноморской, так и значительно распреснённые области олигогалинных и мезогалинных вод. Перераспределение сброса пресных вод из системы СКК в 2014 году вызвало изменения гидрохимических характеристик восточной части залива, где уже с 2015 года солёность воды в ранее распреснённых участках стала расти [Карпова и др., 2016].

Различия в биотопических и гидрохимических характеристиках Каркинитского залива определили неоднородность пространственной динамики его ихтиофауны. В западной части залива имеются участки, сходные по экологическим условиям с восточной частью, это прежде всего Ярылгачская бухта и прилегающее к ней озеро Панское — район с развитым биоценозом морских трав, характерным и для кустовой части. За последнее десятилетие для западной и восточной частей залива в целом отмечено 68 видов рыб из 29 семейств (табл. 1). Общими для двух подрайонов и Ярылгачской бухты являются 30 видов рыб, что составляет 44,1 % видового состава.

Таблица 1
Таксономический состав ихтиофауны восточной (В), западной (З) частей Каркинитского залива и Ярылгачской бухты (Я)

№ п/п	Вид	В	З	Я
Семейство Хвостоколовые – <i>Dasyatidae</i>				
1	Морской кот <i>Dasyatis pastinaca</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
Семейство Осетровые – <i>Acipenseridae</i>				
2	Осетр русский <i>Acipenser gueldenstaedtii</i> Brandt et Ratzeburg, 1833	–	+	–
3	Белуга <i>Acipenser huso</i> Linnaeus, 1758	–	+	–
Семейство Угревые – <i>Anguillidae</i>				
4	Речной угорь <i>Anguilla anguilla</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	–

Продолжение на следующей странице...

№ п/п	Вид	В	З	Я
Семейство Анчоусовые – Engraulidae				
5	Европейский анчоус <i>Engraulis encrasicolus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
Семейство Сельдевые – Clupeidae				
6	Каспийско-черноморский пузанок <i>Alosa caspia</i> (Eichwald, 1838)	+	+	–
7	Черноморско-азовская проходная сельдь <i>Alosa immaculata</i> Bennett, 1835	+	+	–
8	Черноморско-азовская морская сельдь <i>Alosa maeotica</i> (Grimm, 1901)	+	+	–
9	Европейская сардина <i>Sardina pilchardus</i> (Walbaum, 1792)	+	+	–
10	Европейский шпрот <i>Sprattus sprattus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
Семейство Карповые – Cyprinidae				
11	Уклея <i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758)	+	–	–
12	Карась серебряный <i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)	+	–	–
13	Амурский чебачок <i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck & Schlegel, 1846)	+	–	–
14	Горчак <i>Rhodeus sericeus amarus</i> (Bloch, 1782)	+	–	–
15	Плотва <i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	+	–	–
16	Краснопёрка <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758)	+	–	–
Семейство Лососевые – Salmonidae				
17	Черноморская кумжа <i>Salmo labrax</i> Pallas, 1814	+	+	–
Семейство Тресковые – Gadidae				
18	Черноморский мерланг <i>Merlangius merlangus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	–
Семейство Нитепёрые налимы – Phycidae				
19	Средиземноморский налим <i>Gaidropsarus mediterraneus</i> (Linnaeus, 1758)	–	+	–
Семейство Ошибневые – Ophidiidae				
20	Ошибень <i>Ophidion rochei</i> Müller, 1845	–	+	+
Семейство Кефалевые – Mugilidae				
21	Сингиль <i>Chelon auratus</i> (Risso, 1810)	+	+	+
22	Остронос <i>Chelon saliens</i> (Risso, 1810)	+	+	+
23	Лобан <i>Mugil cephalus</i> Linnaeus, 1758	+	+	+
24	Пиленгас <i>Planiliza haematocheilus</i> (Temminck & Schlegel, 1845)	+	+	+
Семейство Атериновые – Atherinidae				
25	Черноморская атерина <i>Atherina boyeri</i> Risso, 1810	+	+	+
26	Атлантическая атерина <i>Atherina hepsetus</i> Linnaeus, 1758	+	+	–
Семейство Саргановые – Belonidae				
27	Сарган <i>Belone belone</i> (Linnaeus, 1760)	+	+	+
Семейство Колюшковые – Gasterosteidae				
28	Трёхиглая колюшка <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758	+	+	+
29	Малая южная колюшка <i>Pungitius platygaster</i> (Kessler, 1859)	+	–	–
Семейство Игольчатые – Syngnathidae				
30	Морской конёк <i>Hippocampus hippocampus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
31	Пухлощёкая игла <i>Syngnathus abaster</i> Risso, 1827	+	+	+
32	Высокорылая игла-рыба <i>Syngnathus typhle</i> Linnaeus, 1758	+	+	+
33	Толсторылая игла-рыба <i>Syngnathus variegatus</i> Pallas, 1814	–	+	+
Семейство Скорпеновые – Scorpaenidae				
34	Морской ёрш <i>Scorpaena porcus</i> Linnaeus, 1758	–	+	+
Семейство Центарховые – Centrarchidae				
35	Солнечный окунь <i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus, 1758)	+	–	–
Семейство Луфаревые – Pomatomidae				
36	Луфарь <i>Pomatomus saltatrix</i> (Linnaeus, 1766)	–	+	+
Семейство Ставридовые – Carangidae				
37	Черноморская ставрида <i>Trachurus mediterraneus ponticus</i> Aleev, 1956	+	+	+

Продолжение на следующей странице...

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ИХТИОФАУНЫ КАРКИНИТСКОГО ЗАЛИВА
(ЧЁРНОЕ МОРЕ)

№ п/п	Вид	В	З	Я
Семейство Спаровые – Sparidae				
38	Ласкирь <i>Diplodus annularis</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	–
Семейство Смаридовые – Centranchidae				
39	Спикара <i>Spicara flexuosa</i> Rafinesque, 1810	+	+	+
Семейство Горбылёвые – Sciaenidae				
40	Тёмный горбыль <i>Sciaena umbra</i> Linnaeus, 1758	+	+	–
Семейство Султанковые – Mullidae				
41	Султанка <i>Mullus barbatus</i> Linnaeus, 1758	+	+	+
Семейство Губановые – Labridae				
42	Рябчик <i>Symphodus cinereus</i> (Bonnaterre, 1788)	+	+	+
43	Глазчатый губан <i>Symphodus ocellatus</i> (Linnaeus 1758)	+	+	+
44	Перепёлка <i>Symphodus roissali</i> (Risso, 1810)	–	+	–
45	Рулена <i>Symphodus tinca</i> (Linnaeus, 1758)	–	+	–
Семейство Собачковые – Blenniidae				
46	Морская собачка-сфинкс <i>Aidablennius sphyinx</i> (Valenciennes, 1836)	–	+	–
47	Обыкновенная морская собачка <i>Parablennius sanguinolentus</i> (Pallas, 1814)	+	+	+
48	Длиннощупальцевая морская собачка <i>Parablennius tentacularis</i> (Brünnich, 1768)	+	+	+
49	Морская собачка-павлин <i>Salaria pavo</i> (Risso, 1810)	–	+	+
Семейство Присосковые – Gobiesocidae				
50	Толсторылая присоска <i>Lepadogaster candolii</i> Risso, 1810	–	+	–
Семейство Бычковые – Gobiidae				
51	Бурый бычок <i>Gobius bucchichi</i> Steindachner, 1870	–	+	–
52	Бычок-кругляш <i>Gobius cobitis</i> Pallas, 1814	–	+	+
53	Чёрный бычок <i>Gobius niger</i> Linnaeus, 1758	+	+	+
54	Бычок-травяник <i>Gobius ophiocephalus</i> Pallas, 1814	+	+	+
55	Бычок-паганель <i>Gobius paganellus</i> Linnaeus, 1758	–	+	–
56	Бычок-мартовик <i>Mesogobius batrachocephalus</i> (Pallas, 1814)	+	+	+
57	Бычок-песочник <i>Neogobius fluviatilis</i> (Pallas, 1814)	+	+	+
58	Бычок-кругляк <i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas, 1814)	+	+	+
59	Лысун Бата <i>Pomatoschistus bathi</i> Miller, 1982	–	+	–
60	Леопардовый лысун <i>Pomatoschistus marmoratus</i> (Risso, 1810)	+	+	+
61	Бычок-губан <i>Ponticola platyrostris</i> (Pallas, 1814)	–	+	–
62	Бычок-ротан <i>Ponticola ratan</i> (Nordmann, 1840)	+	+	–
63	Бычок-сурман <i>Ponticola cephalargoides</i> (Pinchuk, 1976)	–	+	+
64	Бычок-рыжик <i>Ponticola euryccephalus</i> (Kessler, 1874)	+	+	+
65	Бычок-цуцик <i>Proterorhinus marmoratus</i> (Pallas, 1814)	+	+	+
Семейство Ромбовые – Scophthalmidae				
66	Черноморский калкан <i>Scophthalmus maeoticus</i> (Pallas, 1814)	+	+	+
Семейство Камбаловые – Pleuronectidae				
67	Глосса <i>Platichthys flesus luscus</i> (Pallas, 1814)	+	+	+
Семейство Солеевые – Soleidae				
68	Морской язык <i>Pegusa lascaris</i> (Risso, 1810)	+	+	+
ВСЕГО		50	60	38

Таксономическая структура ихтиофауны Каркинитского залива. Согласно нашим наблюдениям, наибольшим видовым богатством как в западной, так и в восточной части залива отличается семейство бычковых (15 видов в западной части, в том числе 10 в Ярылгачской бухте, и 9 видов в восточной) (рис. 2). Семейство бычковых в Азово-Черноморском бассейне в целом выделяется значительным видовым богатством среди прочих семейств [Манило, 2014]. В свою очередь, в кутовой части Каркинитского залива была велика доля карповых рыб (6 видов),

не отмеченных в двух других районах. Семейство сельдевых было представлено пятью видами рыб в западной и восточной частях залива, в то же время в Ярылгачской бухте был обнаружен только 1 вид этого семейства. Для каждого из трёх районов отмечено 4 вида кефалевых рыб. Семейства игловых, губановых и собачковых наибольшим числом видов (по 4) были закономерно представлены в западной части Каркинитского залива, в то время как в восточной части эти семейства соответственно насчитывали 3, 2 и 2 вида, а в Ярылгачской бухте обнаружено 4, 2 и 3 вида из этих семейств. В глубоководной части залива зарегистрировано 2 вида из семейства осетровых. Семейства атериновых и колюшковых насчитывали в восточной части по 2 вида, в западной — 2 и 1 вид соответственно, в Ярылгачской бухте — по одному виду. Ещё 9 семейств (хвостоколовые, анчоусовые, саргановые, ставридовые, смаридовые, султанковые, ромбовые, камбаловые и солеевые) в каждом районе были представлены одним видом каждое. Остальные семейства также насчитывали по одному виду и были отмечены либо только в западной части залива и Ярылгачской бухте (ошибневые, скорпеновые, луфаревые), либо повсеместно, кроме б. Ярылгачской (тресковые, горбылевые, угревые, лососевые, спаровые). Представители семейств нитепёрых налимов и присосковых, насчитывающие по одному виду, были характерны только для западной части залива.

Таким образом, для западной части Каркинитского залива около 68,3 % видового богатства составляют представители 8 семейств из 23, обнаруженных в этом районе. В восточной части это 9 семейств из 24 (70 %), в Ярылгачской бухте — 8 семейств из обнаруженных 20 (65,8 %).

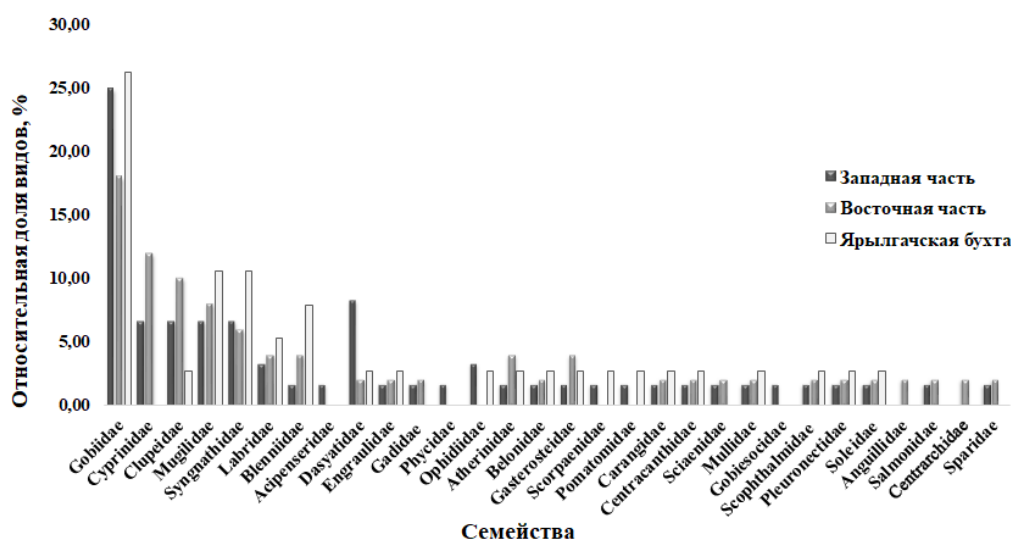


Рис. 2. Таксономическая структура ихтиофауны Каркинитского залива

Экологическая структура ихтиофауны Каркинитского залива. Экологическая структура рыбного населения Каркинитского залива в западной и восточной частях различна (рис. 3А, 3Б, 3В). Как в восточном, так и в западном подрайонах по относительному количеству в уловах лидируют рыбы, морские по происхождению. Однако в западной части залива и Ярылгачской бухте эти виды составляют больше двух третей прежде всего за счёт обилия бычков рода *Gobius*, а также представителей средиземноморско-атлантического комплекса — семейств собачковых, игловых и кефалевых. Доля представителей солоноватоводного понто-каспийского фаунистического комплекса достаточно близка во всех районах и составляет от 13 % в кутовой части до 16 % в Ярылгачской бухте. Эта группа в основном представлена бычковыми рыбами родов *Mesogobius*, *Ponticola*, *Neogobius*, разнообразие которых достаточно велико и в мелководном и в глубоководном районах Каркинитского залива [Прищепа, Болтачев, Карпова, 2018]. В восточном подрайоне также заметна доля рыб пресноводного фаунистического комплекса (13 %), места поимки которых были приурочены к участкам сброса пресной воды из системы Северо-Крымского канала.

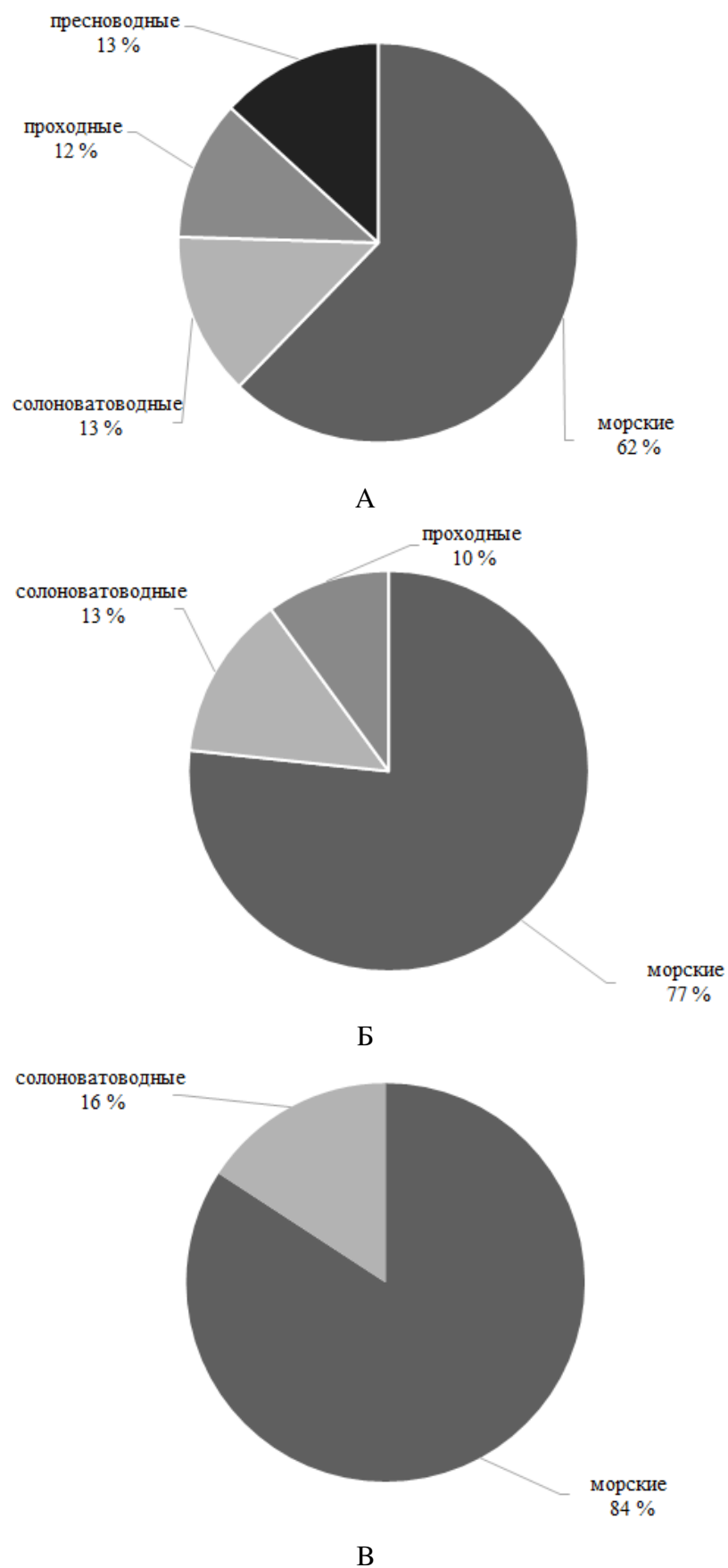


Рис. 3. Экологическая структура (по генезису) икhtiофауны восточной (А) и западной (Б) частей Каркинитского залива, а также Ярылгачской бухты (В)

Видовое сходство состава ихтиофауны Каркинитского залива. Индекс видового сходства состава рыбного населения в целом для западного (охватывающего акваторию от полуострова Тарханкут до западной оконечности Бакальской косы) и восточного подрайонов Каркинитского залива составляет 0,75, что является довольно высоким значением, учитывая различия в биотопических характеристиках двух частей залива.

Чтобы оценить пространственные вариации в составе ихтиофауны залива, нами проведён анализ состава рыбных сообществ для нескольких участков: западного, включающего акваторию северо-западного побережья полуострова Тарханкут, восточного, включающего куттовую мелководную часть Каркинитского залива, а также выделенного в пределах западной части Каркинитского залива района зарослевых сообществ, не представленных в морской прибрежной зоне, — бухту Ярылгачскую, включающую озеро Панское [Болтачев, Карпова, 2012]. При этом учитывалось, что такие виды, как бычок-песочник *Neogobius fluviatilis* и трубконосый бычок *Proterorhinus marmoratus*, предпочитают опреснённые участки и держатся преимущественно на песчано-илистом дне, поэтому были исключены из состава ихтиофауны акватории полуострова Тарханкут и в сравнении не участвовали.

В ходе сравнения выявлено, что индексы видового сходства между восточной и западной частями Каркинитского залива, а также Ярылгачской бухтой весьма близки (табл. 2).

Таблица 2

Значения индексов видового сходства Серенсена — Чекановского для различных подрайонов Каркинитского залива

Районы исследований	Восточная часть залива	Акватория полуострова Тарханкут	Бухта Ярылгачская, оз. Панское
Восточная часть залива		39**	31**
Акватория полуострова Тарханкут	0,72	—	36**
Бухта Ярылгачская	0,71	0,75	—

Примечание: ** — Показано число общих видов для попарно сравниваемых районов

При этом общими для трёх сравниваемых районов были 30 видов рыб, составлявшие 44 % видового богатства, — это пелагические мигранты (анчоусовые, сельдевые, кефалевые), эврибионтные и эвригалинные игловые, губановые и собачковые, а также представители морских по происхождению бычковых рыб (бычки родов *Gobius* и *Pomatoschistus*) и солоноватоводных понтических реликтов (бычки родов *Neogobius* и *Ponticola*). Для бухты Ярылгачской и куттовой мелководной части Каркинитского залива отмечен 31 общий вид: это, как правило, представители семейств игловых, кефалевых, бычковых, атериновых, губановых — виды, жизненный цикл которых практически на всех стадиях связан с биоценозом морских трав.

Особенностью зарослевых биоценозов является их ограниченность мелководными участками заливов и бухт (глубины около 3–5 м, иногда до 8 м), защищённость от волнения и преобладание илисто-песчаных грунтов. Биоценозы морских трав характеризуются сезонностью существования, а также зависимостью от колебаний гидрологических и гидрохимических параметров среды [Болтачев, Карпова, 2012]. В Каркинитском заливе биоценозы морских трав занимают довольно обширные акватории, особенно в мелководной его части — заливах Джарылгачский, Перекопский, Самарчик и Чатырлыкский, акватории полуострова Хорлы, а также в Ярылгачской бухте.

Несмотря на довольно высокое сходство ихтиофаун акватории полуострова Тарханкут и восточной части Каркинитского залива (здесь отмечено 39 общих видов рыб), состав рыбного населения западной части залива по видовому богатству близок к таковому у юго-западного берега Крыма. Характерными биотопами в этих районах являются твёрдые субстраты — крупные камни, валуны и обломки скал, поросшие зарослями макрофитов [Болтачев, Карпова, 2017]. Как было отмечено, видовой состав ихтиофауны в глубоководном районе Каркинитского залива складывается из морских по происхождению представителей семейств игловых, собачковых, губановых и бычковых рыб родов *Gobius* и *Pomatoschistus*. Однако характерной особенностью для этой акватории является также видовое богатство солоноватоводных понто-каспийских бычков родов *Neogobius* и *Ponticola* — эврибионтного бычка-кругляка и довольно малочисленных бычков (губана, ротана, сурмана и рыжика).

Заключение

Таким образом, ихтиофауну Каркинитского залива, несмотря на достаточно высокое видовое сходство её на различных участках, нельзя рассматривать как единое целое. С одной стороны, разрушение Бакальской косы, изменение морфологических характеристик прибрежной зоны и изменение гидрохимических условий способствует более равномерному распределению морских видов в акватории залива и снижению различий в рыбных сообществах; с другой — биотопические и экологические особенности мелководной части залива сформировали значительные по площади зарослевые биоценозы, рыбное население которых отличается своим видовым составом, наличием развитых группировок солоноватоводных, а также пресноводных видов, приуроченных к местам сброса пресных вод.

Список литературы

1. Болтачев А. Р., Карпова Е. П. Морские рыбы Крымского полуострова. – 2-е изд., уточн. и доп. – Симферополь : Бизнес-Информ, 2017. – 376 с.
2. Болтачев А. Р., Карпова Е. П. Особенности структуры ихтиоценов биоценоза морских трав Западного Крыма и Каркинитского залива // Материалы VII международной конференции «Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона, Керчь, 20–23 июня 2012 г. / гл. ред. О. А. Петренко. – Керчь : ЮгНИРО, 2012. – Т. 1. – С. 140–147.
3. Васильева Е. Д. Рыбы Чёрного моря. Определитель морских, солоноватоводных, эвригаллиных и проходных видов с цветными иллюстрациями, собранными С. В. Богородским. – Москва : ВНИРО, 2007. – 238 с.
4. Водяницкий В. А. О естественноисторическом районировании Чёрного моря и в частности у берегов Крыма // Труды Севастопольской биологической станции им. А. О. Ковалевского. – 1949. – Т. VII. – С. 249–255.
5. Зайцев Ю. П. Введение в экологию Чёрного моря. – Одесса : Эвен, 2006. – 224 с.
6. Зенкович В. П. Морфология и динамика советских берегов Чёрного моря. Т. 2. Северо-западная часть. – Москва : Изд-во АН СССР, 1960. – 216 с.

7. Карпова Е. П., Болтачев А. Р., Аблязов Э. Р., Прищепина Р. Е. Сообщества рыб Каркинитского залива // Морские биологические исследования: достижения и перспективы : сб. материалов всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроч. к 145-летию Севастоп. биол. станции (Севастополь, 19–24 сент. 2016 г.) / ред.: А. В. Гаевская [и др.]. – Севастополь : ЭКОСИ – Гидрофизика, 2016. – Т. 2. – С. 86–89.
8. Карпова Е. П., Болтачев А. Р., Прищепина Р. Е. Мониторинговые исследования ихтиофауны в районе заповедника «Лебяжий острова» (Крым, Каркинитский залив) // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий. Т. 4. Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции (1–3 ноября 2017 г., Сочи) / ред. Л. М. Шагаров. – Сочи : Природ. орнит. парк в Имерет. низменности, 2017. – С. 121–128.
9. Манило Л. Г. Рыбы семейства бычковые (Perciformes, Gobiidae) морских и солоноватых вод Украины. – Киев : Наук. думка, 2014. – 243 с.
10. Парин Н. В., Евсеенко С. А., Васильева Е. Д. Рыбы морей России : аннотир. каталог. – Москва : Т-во науч. изд. КМК, 2014. – 733 с. – (Сборник трудов Зоологического музея МГУ ; т. 53).
11. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – Москва : Наука, 1982. – 287 с.
12. Прищепина Р. Е., Болтачев А. Р., Карпова Е. П. Разнообразие бычковых рыб (Perciformes: Gobiidae) Каркинитского залива (Черноморское побережье Крымского полуострова) // Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование : материалы междунар. науч.-практ. конф., Керчь, 19-23 сент. 2018 г. / Керч. гос. мор. технол. ун-т [и др.]. – Симферополь : Ариал, 2018. – С. 259–265.
13. Пухтяр Л. Д., Ильин Ю. П., Белокопытов В. Н. Сезонная и пространственная изменчивость термохалинной структуры вод Каркинитского залива // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа / Мор. гидрофиз. ин-т РАН. – Севастополь, 2003. – № 8. – С. 48–63.
14. Световидов А. Н. Рыбы Чёрного моря. – Москва ; Ленинград : Наука, 1964. – 551 с.
15. Belogurova R. E., Karpova E. P., Ablyazov E. R. Long-term changes in the fish fauna of the Karkinitzky Gulf of the Black Sea // Russian Journal of Marine Biology. – 2020. – Vol. 46, iss. 6. – P. 452–460. – <https://doi.org/10.1134/S1063074020060036>.
16. Biological diversity of the coastal zone of the Crimean Peninsula: problems, preservations and restoration pathways / V. N. Eremeev [et al. ; ed. by V. N. Eremeev, A. R. Boltachev]. – Sevastopol : [s. n.], 2012. – 92 p.
17. Eschmeyer's catalog of fishes / California Academy of Science, Inst. for Biodiversity Science and Sustainability. – Online version, updated 4 May 2021. – San-Francisco, [20??]. – URL: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> (дата обращения: 10.06.2021).
18. Fishbase : a global information system on fishes / Quantitative Aquatic. – [S. l., 19??]. – URL: <http://www.fishbase.org> (дата обращения: 10.06.2021).

**SPATIAL HETEROGENEITY OF THE ICHTHYOFAUNA
OF THE KARKINITSKY GULF (BLACK SEA)**

Belogurova R. E., Karpova E. P.

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: prishchepa.raisa@yandex.ru*

The paper considers the spatial heterogeneity of the ichthyofauna of the Karkinitsky Gulf. Based on our own data obtained during the expedition studies, the taxonomic composition of the fish population, which includes 68 fish species from 29 families, is given for two sub-districts of the gulf that differ biotopically and morphologically. The taxonomic structure of the ichthyofauna of the Karkinitsky Gulf is analyzed and it is revealed that the representatives of the goby family differ in the greatest species richness both for the deep-water and for the cut parts of the bay. The ecological structure of the fish population is reflected; it is noted that fish of marine origin generally occupy more than two-thirds of the total composition of the ichthyofauna of the Karkinitsky Bay. It is established that despite the fairly high species similarity of the fish population of the gulf in different areas, its ichthyofauna cannot be considered as a single whole – the shallow eastern part of it is characterized by the uniqueness of the sea-grasses biocenoses, the composition of the ichthyofauna of which is unique in its species richness.

Keywords: ichthyofauna, communities, spatial variations, Karkinitsky Gulf, Black Sea.

Сведения об авторах

Белогурова Раиса Евгеньевна младший научный сотрудник, аспирант, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», prishchepa.raisa@yandex.ru

Карпова Евгения Павловна кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», karpova_jeu@mail.ru

Поступила в редакцию 27.04.2021 г.

Принята к публикации 15.06.2021 г.

УДК 551.464(262.54):519.233.5

ПОЛЕ СОДЕРЖАНИЯ ОКРАШЕННОГО РАСТВОРЁННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ЕГО СВЯЗЬ С СОЛЁНОСТЬЮ В РАСПРЕСНЁННЫХ ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ АЗОВСКОГО МОРЯ*

Ломакин П. Д., Завьялов Д. Д.

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь, Российская Федерация,
e-mail: p_lomakin@mail.ru

На основе материалов серии экспедиций, проведённых Морским гидрофизическим институтом (г. Севастополь) и Южным научно-исследовательским институтом морского рыбного хозяйства и океанографии (г. Керчь) в 2002–2015 гг., получено уравнение регрессии, свидетельствующее о наличии тесной обратной корреляционной связи между солёностью и концентрацией окрашенного растворённого органического вещества в прибрежных водах северной части Азовского моря. При помощи этого уравнения по схемам средней месячной солёности рассчитаны сезонные поля содержания исследуемого вещества для всей прибрежной акватории моря, которая испытывает влияние речного стока. Показано, что у подверженных распреснению северного и восточного берегов моря поле исследуемой величины содержит существенную терригенную составляющую, которая значительно трансформируется на стоковых фронтах впадающих в Азовское море рек. Мористее фронтов в центральной, западной и южной областях Азовского моря поле окрашенного растворённого органического вещества однородно.

Ключевые слова: окрашенное растворённое органическое вещество, солёность, загрязнение, Азовское море.

Введение

С 40-х годов прошлого столетия по настоящее время в Азово-Черноморском бассейне активно изучаются репрезентативные показатели содержания растворённого органического вещества (РОВ), РОУ — растворённый органический углерод и ВОУ — взвешенный органический углерод. Результаты этих исследований, которые в основном касаются биохимических свойств указанных величин, обобщены в монографии [Агатова, Лапина, Торгунова, 2018] и атласе [Climatic atlas..., 2006].

Известна попытка океанографического исследования поля концентрации РОУ, предпринятая сотрудниками ВНИРО. Построенные схемы распределения концентрации РОУ в Чёрном море, по мнению их авторов, оказались приближёнными. Вместе с тем они позволили получить первые представления о структуре поля содержания РОУ в прибрежной области и в кислородной зоне глубоководной части Чёрного моря [Агатова, Лапина, Торгунова, 2018].

В настоящей статье представлен результат океанологического исследования поля оптического показателя РОВ — его флуоресцирующей составляющей, определяемой оптическим методом. В англоязычной литературе данная величина (colored dissolved organic matter) имеет стандартную аббревиатуру fDOM [Shanmugam et al., 2016], которая использована в тексте статьи. Цель настоящей работы — на основе данных серии экспедиций получить уравнение регрессии, связывающее солёность с концентрацией fDOM в прибрежных водах северной части Азовского моря; при помощи этого уравнения по обеспеченным массивам солёности рассчитать и проанализировать сезонные поля содержания исследуемого вещества для всей прибрежной акватории моря, испытывающей влияние речного стока; выявить закономерности сезонных вариаций в поле fDOM.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Чёрного и Азовского морей». Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 18-45-920068.

Материалы и методы

Рассматриваемый в настоящей статье регион — прибрежные распреснённые материковым стоком воды Азовского моря, солёность которых менее 10 ЕПС. Это Таганрогский залив и смежные с ним акватории вдоль северного и восточного берегов моря (рис. 1).

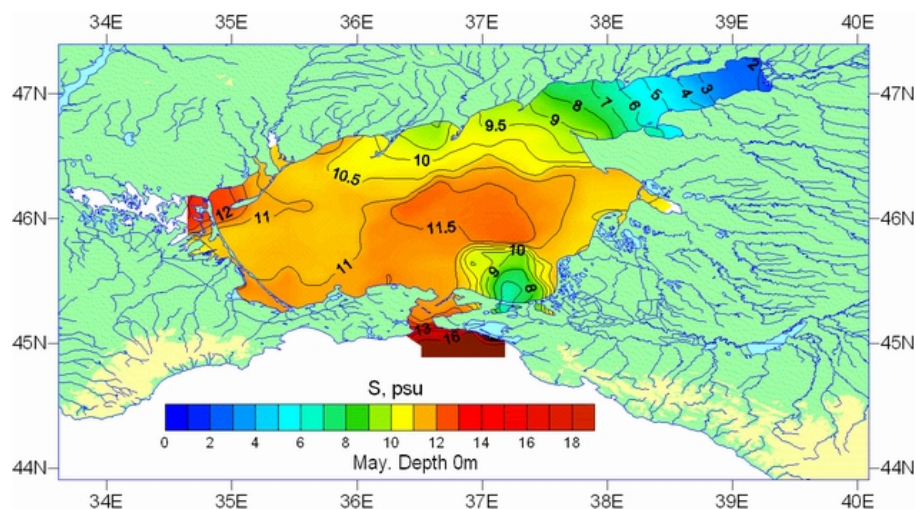


Рис. 1. Распределение средней месячной солёности, ЕПС на поверхности Азовского моря в мае [Climatic atlas..., 2006]

В данной прибрежной распреснённой области в 2002–2015 гг., в рамках программ по изучению заморных явлений и загрязнения вод, как в тёплое, так и в холодное время года велись экспедиционные исследования МГИ и ЮгНИРО. Они представляли собой отдельные разрезы и съёмки участков акватории у пролива Тонкого, в Утлюкском лимане, в Бердянском заливе, вдоль мористого берега Бердянской косы, в районе Мариуполя, в устье реки Дон (табл. 1). У восточного берега Азовского моря необходимых наблюдений нет.

Таблица 1

Данные экспедиционных исследований с синхронной фиксацией солёности и содержания fDOM в северо-восточной части Азовского моря

Район	Дата	Количество ст.	S, ЕПС
Пролив Тонкий	май 2004	8	9,8–10,0
Утлюкский залив	август 2008	9	2,2–8,1
Бердянский залив	сентябрь 2002	6	1,6–6,0
Бердянская коса	декабрь 2007	27	6,4–10,0
Мариуполь	июнь 2006	9	9,9–10,2
Устье р. Дон	июнь 2015	4	0,8–1,0
Всего	2002–2015	63	0,8–10,2

Используемый эмпирический материал — относительно небольшая по объёму выборка инструментальных наблюдений, всего 63 зондирования с синхронной фиксацией солёности и концентрации fDOM.

Все данные получены при помощи портативного оптического зондирующего комплекса «Кондор» [Комплекс гидробиофизический..., 2021]. На каждом зондировании с шагом по глубине 0,1 м синхронно *in-situ* фиксировались солёность и концентрация fDOM. Размерность исследуемой величины fDOM представлена в единицах калибровки — сульфат хинина (QSU). Диапазон исследованных глубин — от 0,5–2,6 м в устье р. Дон до 9,2–10,2 м в открытых водах.

Возможность получить представление о структуре изучаемого поля на основе недостаточно ёмкой эмпирической выборки обеспечена существованием в морской среде тесной обратной корреляционной связи между солёностью и концентрацией POУ, а также между солёностью и концентрацией fDOM. Статистические свойства подобных связей, характеризующихся высоким коэффициентом корреляции ($-0,68 \dots -0,95$) для прибрежных океанических и морских регионов, которые испытывают влияние материкового стока и расположены в различных климатических зонах, достаточно изучены и описаны в океанологической литературе [Пугач, Пипко, 2012; Kaiser et al., 2017; Kari et al., 2018; Sasaki et al., 2013; Chaichitehrani, 2012; Hopkins et al., 2013].

В анализируемом случае зависимость между солёностью и концентрацией fDOM была рассчитана методом парной корреляции. При помощи полученного уравнения регрессии средние месячные климатические поля солёности для прибрежных распреснённых акваторий Азовского моря из Атласа [Climatic atlas..., 2006], которые построены по хорошо обеспеченным выборкам фактических данных, были оцифрованы, а затем пересчитаны в поля концентрации fDOM. Пример одного из исходных полей солёности, использовавшихся для расчёта пространственного распределения fDOM на распреснённой акватории Азовского моря, приведён на рис. 1.

Результаты и обсуждение

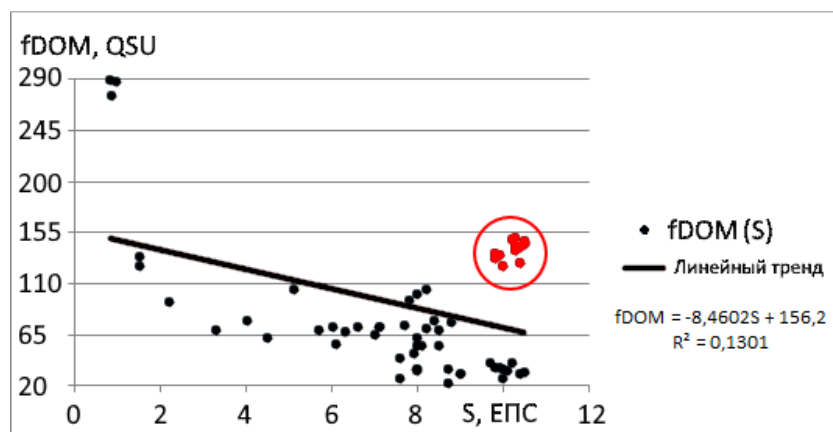
В Таганрогском заливе и вдоль северного и восточного берегов Азовского моря расположена масштабная фронтальная халинная зона. В Таганрогском заливе и у северного берега моря она формируется стоком реки Дон, а также впадающими в северное побережье Азовского моря многочисленными реками с меньшей водностью: Берда, Кальмиус, Миус, Ея, Обиточная, Молочная и др. Акватория, примыкающая к восточному берегу моря, распреснена стоком второй по водности реки региона — Кубани, дельта которой занимает почти половину восточного берега. С моря эта масштабная распреснённая область ограничена стоковым халинным фронтом, мористая граница которого примерно совпадает с изохалиной $S = 10$ ЕПС [Гидрометеорологические условия..., 2009].

Расчёт коэффициента корреляции для верхнего слоя моря по исходной суммарной выборке выявил наличие слабой обратной статистической зависимости ($R = -0,36$) между исследуемыми величинами (рис. 2А).

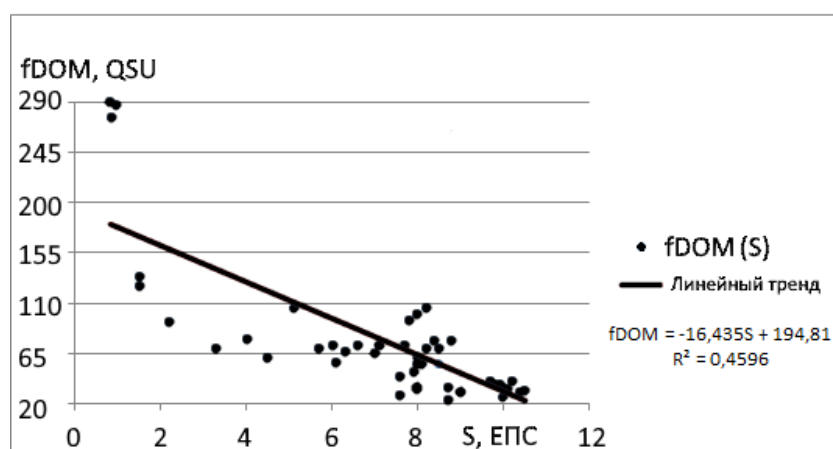
На этом же рисунке видно, что исходная выборка включает обособленное облако точек ($N = 13$) с повышенными значениями $fDOM = 128\text{--}151$ QSU. Оно обведено и находится в области координатной плоскости с максимальной солёностью $S = 9,8\text{--}10,5$ ЕПС.

Анализ мест расположения соответствующих станций показал, что они были выполнены на полигонах в окрестностях двух грунтовых свалок — в районах пролива Тонкого и Мариуполя. Первая свалка — результат дампинга грунта, изъятых в результате углубления пролива Тонкого, вторая — следствие дноуглубительных работ в порту Мариуполя.

Воды в районах свалок изъятых при углублении дна грунта насыщены растворённой органикой антропогенной природы, а сами зоны дампинга представляют собой серьёзные очаги экологической опасности [Stronkhorst et al., 2003; Simonini et al., 2005; Van der Wal et al., 2011; Donázar-Aramendía et al., 2018]. В анализируемом случае (рис. 2А) очевидно, что поле концентрации fDOM в исследуемой акватории Азовского моря содержало антропогенную составляющую, обусловленную влиянием грунтовых свалок.



А



В

Рис. 2. Графики корреляционной зависимости $fDOM(S)$ для северной части Азовского моря (А — исходная выборка; В — выборка, отфильтрованная от антропогенного $fDOM$)

На рис. 2В изображён график корреляционной зависимости $fDOM(S)$, рассчитанный по отфильтрованной в результате исключения «антропогенных» точек остаточной выборке ($N = 50$), которая соответствует природному полю концентрации $fDOM$. Данный график иллюстрирует обратную корреляционную связь средней тесноты ($R = -0,68$) между исследуемыми величинами для халинной фронтальной зоны у северного берега Азовского моря, которая описывается уравнением регрессии $fDOM = -16,43 \times S + 194,81$.

Согласно литературным данным [Пугач, Пипко, 2012; Kaiser et al., 2017; Kari et al., 2018; Sasaki et al., 2013; Chaichitehrani, 2012; Hopkins et al., 2013], аналогичные тесные обратные корреляционные зависимости концентрации POU и $fDOM$ от солёности свойственны прибрежным акваториям Балтийского и Южно-Китайского морей, северному шельфу Мексиканского залива, шельфовой зоне Атлантического океана в районе устья р. Конго, которые распреснены речным стоком.

В загрязнённом Балтийском море, у берегов Швеции, авторами статьи [Kari et al., 2018] выявлена обратная корреляционная зависимость между солёностью и концентрацией POU с коэффициентом $R = -0,68$ — связь такой же тесноты и знака, что и в анализируемой ситуации в Азовском море (рис. 2А). В прибрежных водах Восточно-Сибирского моря, не подверженных столь мощной антропогенной нагрузке, как Балтийское и Азовское моря, коэффициент корреляции между солёностью и концентрацией POU достигает $-0,93 \dots -0,95$ [Пугач, Пипко, 2012].

Литературные данные, а также результат корреляционного анализа, иллюстрируемый рис. 2, свидетельствуют о существенном влиянии антропогенной составляющей в поле исследуемой величины на тесноту корреляционной зависимости $fDOM(S)$. Тесная обратная корреляционная зависимость $fDOM(S)$ — показатель незначительного присутствия $fDOM$ (POB) антропогенного происхождения в исследуемой акватории. Слабая отрицательная связь, её отсутствие или смена знака — признак наличия растворённой органики антропогенной природы.

На рис. 3 представлены схемы распределения содержания $fDOM$, рассчитанные на основе средних месячных полей солёности из Атласа [Climatic atlas..., 2006] и уравнения регрессии (рис. 2B). Видно, что в распреснённой акватории с ростом солёности (от 1 до 10 ЕПС) от берега в сторону моря концентрация $fDOM$ уменьшается в диапазоне 300–30 QSU.

Уменьшение содержания POB ($fDOM$) с ростом солёности в распреснённых прибрежных водах связывают с процессом взаимной коагуляции, наблюдаемой при смешении морской и речной воды, когда ионы солей морской воды адсорбируются на заряженных коллоидных частицах речной воды, в результате чего происходит их коагуляция. По этой причине на дне постепенно скапливается значительное количество ила [Айлер, 1982].

Из уравнения регрессии следует, что на внешней границе области распреснения при $S = 10$ ЕПС концентрация $fDOM$ равна 31 QSU. Поэтому в качестве внешней границы распреснённых вод в поле $fDOM$ может быть принята изолиния концентрации этого вещества в 30 QSU.

Мористее границы распреснения терригенная составляющая в поле содержания $fDOM$, обусловленная речным стоком, резко уменьшается. В центральной, западной и южной частях Азовского моря поле этой величины однородно с концентрацией 20–25 QSU.

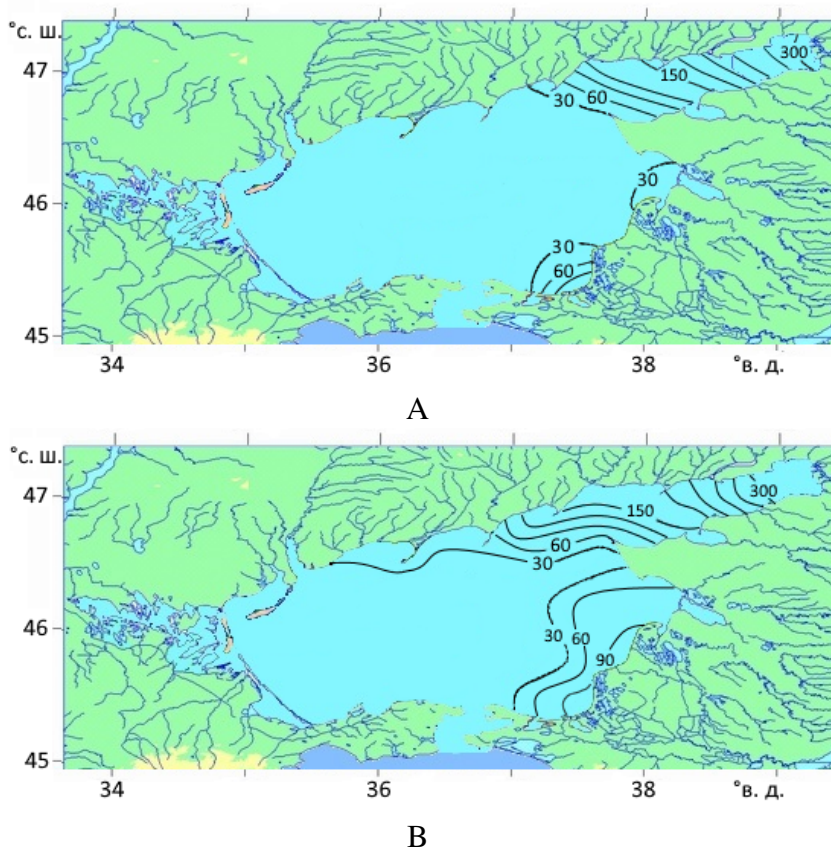


Рис. 3. Концентрация $fDOM$, QSU на поверхности Азовского моря в июне (А) и в марте (В)

По данным синхронных наблюдений за анализируемыми величинами, накопленными в ходе многочисленных экспедиций МГИ, в водах открытых акваторий Чёрного моря, у берегов Крымского полуострова, при солёности 18,2–18,4 ЕПС концентрация fDOM близка к указанным выше значениям и равна 15–20 QSU.

К югу от границы прибрежной стоковой халинной зоны, расположенной в северной части Азовского моря, до открытых вод Чёрного моря поле содержания fDOM в верхнем слое вод однородно. Это свойство обусловлено существенным уменьшением вклада терригенной составляющей в поле концентрации этого вещества.

Площадь прибрежных акваторий у северных и восточных берегов Азовского моря, характеризующихся высоким содержанием fDOM, испытывает существенные сезонные вариации, определяемые сезонным ходом объёма материкового стока.

В летние месяцы года, в межень, при минимальном распреснении прибрежных вод максимум содержания fDOM (30–300 QSU) наблюдается в Таганрогском заливе, куда впадает наиболее полноводная река бассейна Азовского моря — Дон. Другой по значимости локальный максимум содержания fDOM наблюдается на юго-востоке моря, в приустьевом районе второй по водности реки региона — Кубани. Акватория с максимальной концентрацией исследуемого вещества в это время года составляет примерно 15 % от всей площади моря (рис. 3А).

В начале весны, во время паводка, значимые максимумы концентрации fDOM формируются вдоль северного и восточного берегов моря, куда это вещество поступает со стоком менее масштабных по водности рек. Площадь региона с максимальной концентрацией исследуемого вещества во время паводка увеличивается примерно вдвое (рис. 3В).

Выводы

На основе материалов серии экспедиций, проведенных МГИ и ЮГНИРО в 2002–2015 гг., получено уравнение регрессии, свидетельствующее о наличии обратной корреляционной связи средней тесноты ($R = -0,68$) между солёностью и концентрацией fDOM в прибрежных водах северной части Азовского моря. При помощи этого уравнения по известным схемам средней месячной солёности рассчитаны и проанализированы сезонные поля содержания исследуемого вещества для всей прибрежной акватории моря, которая испытывает влияние речного стока.

Установлено, что знак и теснота корреляционной зависимости между рассмотренными величинами характеризуют степень загрязнения морской среды растворённым органическим веществом искусственного происхождения. Тесная обратная корреляционная зависимость fDOM(S) — показатель незначительного присутствия fDOM антропогенного происхождения в исследуемой акватории. Слабая отрицательная связь, её отсутствие или прямая зависимость — признак наличия растворённой органики антропогенной природы.

Показано, что у подверженных распреснению северного и восточного берегов Азовского моря полю исследуемой величины свойственна высокая концентрация fDOM (30–300 QSU), обусловленная терригенной составляющей, вклад которой скачкообразно уменьшается на стоковых фронтах впадающих в море рек. Мористее фронтов в центральной, западной и южной областях Азовского моря поле fDOM отличается однородностью. Концентрация этого вещества здесь примерно такая, как в смежной акватории Чёрного моря, 15–20 QSU.

Летом, в межень, прибрежная акватория с высоким содержанием fDOM составляет примерно 15 % от всей площади моря. Весной, во время паводка, акватория с высоким содержанием fDOM распространяется на всё северное и восточное побережье Азовского моря и увеличивается вдвое.

Список литературы

1. Агатова А. И., Лапина Н. М., Торгунова Н. И. Особенности распределения органического вещества в водах Чёрного моря // Система Чёрного моря / Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова РАН ; отв. ред. А. П. Лисицын. – Москва : Науч. мир, 2018. – С. 146–170. – <https://doi.org/10.29006/978-5-91522-473-4.2018.146>
2. Айлер Р. Химия кремнезёма: растворимость, полимеризация, коллоидные и поверхностные свойства, биохимия. Ч. 1. – Москва : Мир, 1982. – С. 113.
3. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 1. Азовское море / Ю. П. Ильин [и др.]. – Севастополь : [б. и.], 2009. – 400 с.
4. Комплекс гидробиофизический мультипараметрический погружной автономный «КОНДОР» // Hydrooptics Ltd. Development creation research : [каталог оборудования] / Ecodevice. – [Sevastopol], cop. 2021. – URL: <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor> (дата обращения: 26.10.2020).
5. Пугач С. П., Пунко И. И. Динамика растворённого окрашенного органического вещества на шельфе Восточно-Сибирского моря // Доклады академии наук. – 2012. – Т. 447, № 6. – С. 671–674.
6. Chaichitehrani N. Investigation of colored dissolved organic matter and dissolved organic carbon using combination of ocean color data and numerical model in the Northern Gulf of Mexico : master's theses / Louisiana State University, LSU Digital Commons. – 2012. – URL: https://digitalcommons.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1248&context=gradschool_theses (дата обращения: 26.10.2020).
7. Climatic atlas of the Sea of Azov / Eds.: G. Matishov, S. Levitus. – Washington : U. S. Government Printing Office, 2006. – 103 pp. – URL: <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/AZOV2006/start.html> (дата обращения: 26.01.2021).
8. Donázar-Aramendía I., Sánchez-Moyano J. E., García-Asencio I., Miró J. M., Megina C., García-Gómez J. C. Impact of dredged-material disposal on soft-bottom communities in a recurrent marine dumping area near to Guadalquivir estuary, Spain // Marine Environmental Research. – 2018. – Vol. 139. – P. 64–78. – <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.05.010>
9. Hopkins J., Lucas M., Dufau C., Sutton M., Stum J., Lauret O., Channelliere C. Detection and variability of the Congo River plume from satellite derived sea surface temperature, salinity, ocean color and sea level // Remote Sensing of Environment. – 2013. – Vol. 139. – P. 365–385. – <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.015>
10. Kaiser D., Konovalov S., Schulz-Bull D. E., Waniek J. J. Organic matter along longitudinal and vertical gradients in the Black Sea // Deep Sea Research. Part I : Oceanographic Research Papers. – 2017. – Vol. 129. – P. 22–31. – <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2017.09.006>
11. Kari E., Merkouriadi I., Walve J., Leppäranta M., Kratzer S. Development of under-ice stratification in Himmerfjärden bay, North-Western Baltic proper, and their effect on the phytoplankton spring bloom // Journal of Marine Systems. – 2018. – Vol. 186. – P. 85–95. – <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.06.004>
12. Sasaki H., Gomi Y., Asai T., Shibata M., Kiyomoto Y., Okamura K., Morinaga K., Nishiuchi K., Hasegawa T., Yamada H. Ocean color satellite-derived salinity using colored dissolved organic matter(CDOM) in river-influenced region // Journal of the Japan Society for Marine Surveys and Technology. – 2013. – Vol. 25, iss. 2. – P. 2_13-2_18. – https://doi.org/10.11306/jsmst.25.2_13
13. Shanmugam P., Varunan T., Jaiganesh S. N. N., Sahay A., Chauhan P. Optical assessment of colored dissolved organic matter and its related parameters in dynamic coastal water systems // Estuarine, Coastal and Shelf Science. – 2016. – Vol. 175. – P. 126–145. – <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.03.020>

14. *Simonini R., Ansaloni I., Cavallini F., Graziosi F., Iotti M., N'Siala G. M., Mauri M., Montanari G., Preti M., Prevedelli D.* Effects of long-term dumping of harbor-dredged material on macrozoobenthos at four disposal sites along the Emilia-Romagna coast (Northern Adriatic Sea, Italy) // *Marine Pollution Bulletin*. – 2005. – Vol. 50, iss. 12. – P. 1595–1605. – <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.06.031>
15. *Stronkhorst J., Ariese F., Van Hattum B., Postma J. F., de Kluijver M., Den Besten P. J., Bergman M. J. N., Daan R., Murk A. J., Vethaak A. D.* Environmental impact and recovery at two dumping sites for dredged material in the North Sea // *Environmental Pollution*. – 2003. – Vol. 124, iss. 1. – P. 17–31. – [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00430-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00430-X)
16. *Van der Wal D., Forster R. M., Rossi F., Hummel H., Ysebaert T., Roose F., Herman P. M. J.* Ecological evaluation of an experimental beneficial use scheme for dredged sediment disposal in shallow tidal waters // *Marine Pollution Bulletin*. – 2011. – Vol. 62, iss. 1. – P. 99–108. – <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.09.005>

FIELD OF COLORED DISSOLVED ORGANIC MATTER IN THE AZOV SEA COASTAL WATERS

Lomakin P. D., Zavyalov D. D.

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: p_lomakin@mail.ru*

On the base of series expeditions, carried out by the Marine Hydrophysical Institute (Sevastopol) and the Southern Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (Kerch) in 2002–2015, regression equation with close inverse relation between salinity and concentration of colored dissolved organic matter in the coastal Azov Sea waters is received. Using this equation on average monthly salinity schemes the seasonal fields of colored dissolved organic matter content are calculated and the first submissions of their structure in the investigated water areas are formed. It is shown that in the northern and eastern shores of the sea the studied field contain a significant component which stipulated by the river runoff. This component is completely transformed on the stock fronts of the rivers flowing into the sea. Seaward of the fronts in the central, western and southern regions of the Azov Sea, the dissolved organic matter field is homogeneous.

Keywords: colored dissolved organic matter, salinity, pollution, Azov Sea.

Сведения об авторах

Ломакин Павел Демьянович доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела океанографии, ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», p_lomakin@mail.ru

Завьялов Дмитрий Дмитриевич младший научный сотрудник отдела океанографии, ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», evilfence@ya.ru

*Поступила в редакцию 30.03.2021 г.
Принята к публикации 08.07.2021 г.*

УДК 574.5-021.388(262.5)

СУТОЧНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕРМОХАЛИННЫХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ФИТО- И МЕРОПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ КАРАДАГСКОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА (2019 г.)*

Трощенко О. А., Ковригина Н. П., Лисицкая Е. В., Попов М. А.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь,
Российская Федерация,
e-mail: oleg_tr59@mail.ru

В статье проанализированы результаты исследований суточной динамики комплекса некоторых абиотических и биотических составляющих экосистемы прибрежных вод в районе Карадагского природного заповедника. Суточную изменчивость термохалинных, гидрохимических и гидробиологических параметров изучали в мае и сентябре 2019 г. Пробы отбирали с причала Карадагской научной станции (50 м от уреза воды) с 18-00 до 18-00 следующих суток с интервалом в 6 часов. В пробах определяли температуру, солёность, растворённый кислород, биохимическое потребление кислорода на пятые сутки, силикаты, органические и минеральные формы азота и фосфора согласно общепринятым методикам. Гидробиологические исследования включали изучение таксономического состава, численности и биомассы фито- и меропланктона. Суточное распределение величин гидрохимических показателей характеризовалось понижением концентраций кислорода, БПК₅, окисляемости, нитритов, нитратов и аммонийного азота с вечера до утра и повышением с утра до вечера. В распределении концентраций остальных гидрохимических показателей чёткой зависимости от времени суток не отмечено. Максимальная численность и биомасса фитопланктона как в мае, так и в сентябре была отмечена в полдень, достигала 909 млн кл.·м⁻³ и 126 мг·м⁻³ соответственно в мае и 2 млн кл.·м⁻³ и 11 мг·м⁻³ в сентябре. Снижение численности и биомассы фитопланктона отмечено в ночное время. Количественные характеристики фитопланктона в течение суток изменялись на порядок. Таксономический состав меропланктона включал 23 вида личинок донных беспозвоночных, численность которых в течение суток изменялась в 4–8 раз. Резкое понижение температуры воды на 4,4 °С в мае, вызванное кратковременным апвеллингом, стимулировало массовый выход в планктон 3-сегментных личинок полихет *Malacoceros fuliginosus*.

Ключевые слова: температура воды, содержание кислорода, биогенные элементы, фитопланктон, меропланктон, Карадагский природный заповедник, Чёрное море.

Введение

Суточные наблюдения за абиотическими и биотическими компонентами морских экосистем проводились уже многие десятилетия, однако чаще они ограничивались данными по отдельным параметрам. Так, для представления о суточной динамике температуры и кислорода в 1977 г. нами впервые выполнены исследования у берегов Болгарии, на экспериментальной базе Института морских исследований и океанологии БАН. Было установлено, что суточное колебание величин температуры в прибрежных районах моря обусловлено близостью суши. Проникновение солнечных лучей, аэрация и другие факторы вызывали также значительное по амплитуде колебание содержания кислорода [Куфтаркова, Ковригина, Стоянов, 1980].

*Работа выполнена по теме «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса», № АААА-А18-118021350003-6.

Изменения численности и биомассы фитопланктона в течение суток были обнаружены многими исследователями ещё в 50–60-х гг. XX века [Маштакова, 1968; Морозова-Водяницкая, 1954]. На суточные флуктуации фитопланктона влияли: скорость деления и отмирания клеток, выедание микроводорослей зоопланктоном, гидрологические и метеорологические условия [Основы биологической..., 1979]. Суточная изменчивость количественных характеристик фитопланктона с минимумом ночью была отмечена в северо-западной части Чёрного моря [Георгиева, 2012].

Суточную динамику температуры, гидрохимических и гидробиологических показателей в комплексе изучали в районах водохранилищ и пресноводных озёр [Ермолаева, Зарубина, Двуреченская, 2016; Тахтеев и др., 2019]. Было отмечено, что таксономический состав и количественное обилие видов определяется температурным и гидродинамическим режимами в районе исследований, подводным ландшафтом, временем года и др. Показано, что из абиотических факторов, определяющих распределение и суточные миграции зоопланктона, наиболее важным является температура воды, которая, в свою очередь, опосредованно способствовала изменению концентраций кислорода, БПК₅, биогенных веществ, величин pH и воздействовала на численные показатели групп и отдельных видов зоопланктона [Ермолаева, Зарубина, Двуреченская, 2016]. На распределения зоопланктона, и в том числе меропланктона, включающего личинок донных беспозвоночных, влияет не только пассивное перемещение, связанное с диффузией, но и активные передвижения организмов. Природа вертикальных суточных миграций может быть разной для различных видов, стадий развития, половой принадлежности особей. Как показали модельные расчёты, суточные миграции зоопланктона оказывают влияние как на саму популяцию, так и на сообщество фитопланктона [Гиричева, 2013].

Учитывая сложную взаимосвязь и взаимозависимость гидролого-гидрохимических и гидробиологических параметров, только комплексный подход позволит изучить суточную динамику различных компонентов морских экосистем.

Цель данной работы — исследовать изменения гидрологических и гидрохимических параметров, фито- и меропланктона в течение суток в прибрежной акватории Чёрного моря на примере Карадагского природного заповедника.

Материалы и методы

Суточную изменчивость термохалинных, гидрохимических и гидробиологических характеристик в прибрежной зоне Карадагского природного заповедника изучали 13–14 мая и 23–24 сентября 2019 г. Во время проведения работ и в мае, и в сентябре была переменная облачность без осадков; ветер южных четвертей до 3 м·с⁻¹; волнение моря 0–1 балл. Температура воздуха в мае составляла 12–13 °С ночью и 16–18 °С днем; в сентябре — 10–12 °С ночью и 20–22 °С днем. Пробы отбирали с причала Биостанции (50 м от уреза воды) в течение суток, начиная с 18-00 с интервалом в 6 часов до 18-00 следующих суток. Гидрологические наблюдения проводили в основные синоптические сроки по Гринвичу — 0-00, 6-00, 12-00, 18-00 часов [Руководство..., 1977]. В течение суток было отобрано по 5 проб, в которых определяли следующие показатели: температуру, солёность, кислород, БПК₅, перманганатную окисляемость в щелочной среде, кремний, минеральные и органические формы азота и фосфора, а также содержание фито- и меропланктона. Гидролого-гидрохимические параметры определяли согласно методикам [Методические указания..., 1966; Методы гидрохимических..., 1988] в поверхностном слое 0–0,5 м.

Пробы фитопланктона отбирали в полуторалитровые пластиковые ёмкости. Обработку производили с помощью светового микроскопа Jenoval. Предварительно в «живой капле» (объём 0,01 мл) нефилтрованной воды учитывали мелких цианобактерий и флагоеллят, разрушающихся при фильтрации. Затем морскую воду сгущали методом обратной фильтрации [Суханова, 1983]

до объёма 50–70 мл, пропуская через трековые мембраны с диаметром пор 1 мкм. Полученную пробу фиксировали 5%-ным раствором Люголя, отстаивали в течение двух недель, а затем сгущали, сливая верхний слой воды через сифон до объёма 10–12 мл. Подсчёт фитопланктона размером до 20 мкм осуществляли в капле (объём 0,01 мл), крупные формы размером более 20 мкм, а также редкие виды подсчитывали в камере (объём 1 мл). Расчёт основных параметров фитопланктона производили с помощью программы «Глория», разработанной и используемой в ИнБЮМ [Лях, Брянцева, 2001].

Пробы меропланктона отбирали малой сетью Джели (диаметр входного отверстия 12 см, размер ячеек мельничного газа 100 мкм). Облавливали весь слой воды от дна до поверхности (2 м). Обработку проводили на живом материале путём тотального подсчёта личинок в камере Богорова под бинокляром МБС-10, для уточнения видовой принадлежности использовали световой микроскоп Микмед-5.

Результаты и обсуждение

Суточное распределение температуры воды поверхностного слоя 13–14 мая характеризовалось хорошо выраженным минимумом 11,8 °С в 6-00 (рис. 1). Максимальные значения наблюдали в 18-00 и первых и вторых суток, при этом значения были одинаковыми — 16,2 °С. Таким образом, диапазон суточной изменчивости температуры воды составил 4,4 °С. В мае, как правило, при бризовой циркуляции у берегов Крыма суточная изменчивость температуры поверхностного слоя не превышает 1,5 °С (например, сайт <https://watsen.info/>). Повышенный диапазон суточной изменчивости температур, по нашему мнению, связан с развитием локального апвеллинга, детально описанного в [Трощенко и др., 2020]. Об этом свидетельствует и повышение солёности (пусть и незначительное) с вечера 13 до утра 14 мая.

Суточное распределение величин гидрохимических показателей в мае характеризовалось понижением значений концентраций кислорода, БПК₅, окисляемости, нитритов, нитратов и аммонийного азота с вечера до утра и повышением — с утра до вечера (рис. 2). Распределение этих параметров было аналогично внутрисуточным изменениям температуры. Следует отметить, что максимальные значения концентрации кислорода, зафиксированные в светлое время суток,

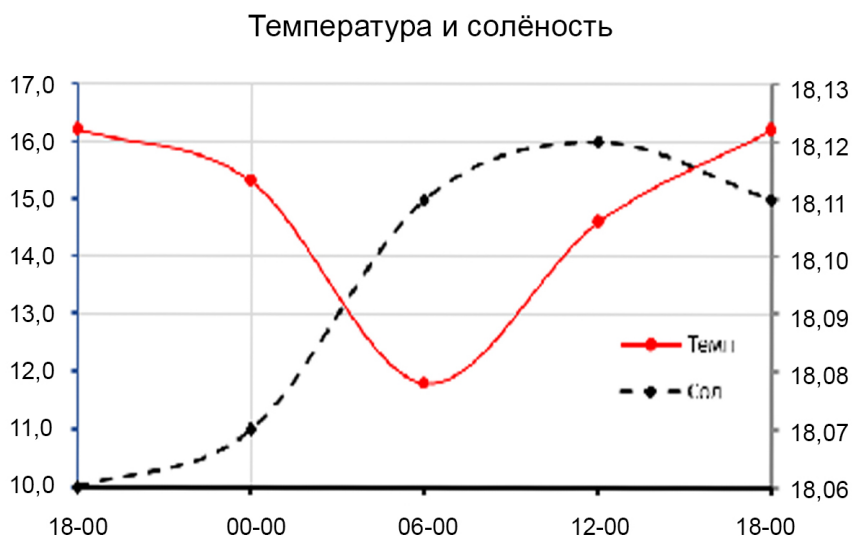


Рис. 1. Суточное распределение температуры и солёности поверхностного слоя 13–14 мая 2019 г.

вероятно, связаны с активной фотосинтетической деятельностью фитопланктона. В ночные часы кислород активно расходуется и это приводит к значительному снижению его концентрации в воде. Суточные изменения значений БПК₅ практически повторяют суточные изменения значений концентрации кислорода. В распределении концентраций кремния, фосфатов, органического фосфора и органического азота чёткой зависимости от времени суток не отмечено. Величины кремния уменьшались с 18-00 до 0-00 часов, затем плавно увеличивались до 18-00 часов следующего дня. Концентрация фосфатов сначала повышалась, затем понижалась до начальной величины. Органический фосфор и азот чёткой закономерности в суточном распределении их величин не показали.

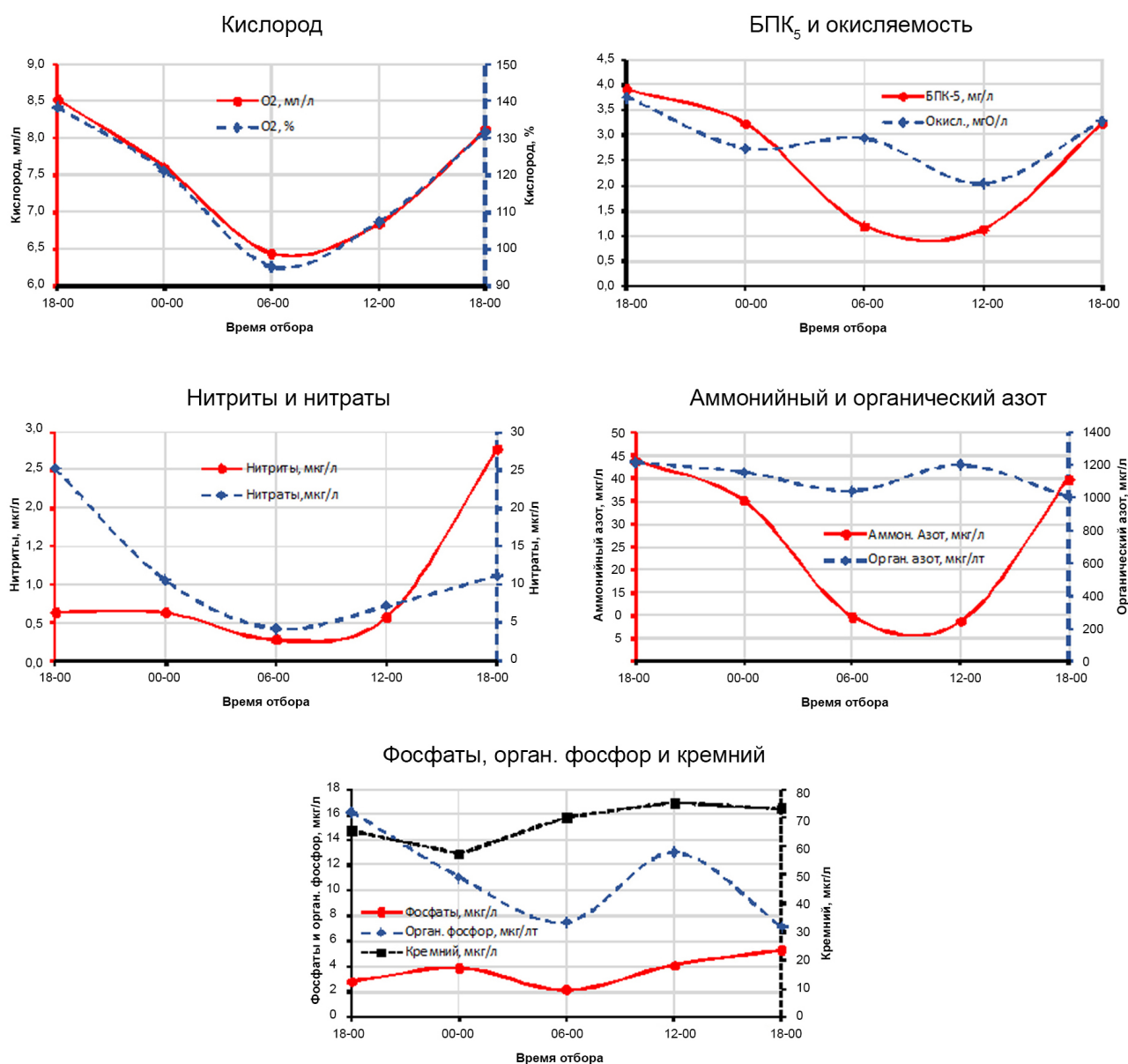


Рис. 2. Суточное распределение концентраций основных гидрохимических показателей в акватории заповедника (13–14 мая 2019 г.)

В фитопланктоне в течение суток по численности (60–90 % суммарного фитопланктона) доминировала мелкоклеточная диатомовая водоросль *Pseudo-nitzschia delicatissima*. По биомассе она также преобладала (55–65 % суммарного фитопланктона) во все часы наблюдения, кроме 18-00, когда на первое место выходили динофитовые водоросли *Dinophysis odiosa* (44 % суммарного фитопланктона) и *Prorocentrum micans* (56 % суммарного фитопланктона). В вечерние и ночные часы количество фитопланктона было минимальным и не превышало 35 млн кл. \cdot м⁻³ по численности и 12 мг \cdot м⁻³ по биомассе. К утру за счёт возрастания доли *Ps. delicatissima* количественные показатели увеличивались. Максимальные значения численности и биомассы общего фитопланктона приходились на полуденное время и составляли 909 млн кл. \cdot м⁻³ и 126 мг \cdot м⁻³ соответственно (рис. 3). В это время в фитопланктоне наибольшей численности (865 млн кл. \cdot м⁻³) и биомассы (82 мг \cdot м⁻³) достигала *Ps. delicatissima*.

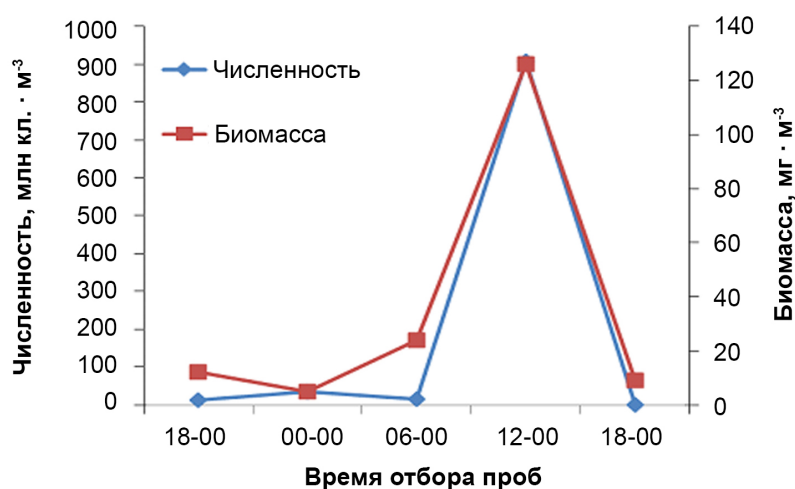


Рис. 3. Численность и биомасса фитопланктона на суточной станции 13–14 мая 2019 г.

Суточный ход распределения численности и биомассы фитопланктона не соответствовал суточной изменчивости гидролого-гидрохимических параметров. По результатам суточной съёмки, выполненной 13–14 мая 2019 г., установлено, что плотность меропланктона существенно изменялась в течение суток (рис. 4). Максимальная численность (480 экз. \cdot м⁻³) зарегистрирована в 0-00 часов, минимальная (115 и 110 экз. \cdot м⁻³) — в 6-00 и 12-00 часов соответственно. В вечернее время (18-00) количество личинок составляло 225–295 экз. \cdot м⁻³.

Видовой состав меропланктона был беден — идентифицированы личинки 23 видов донных беспозвоночных, тогда как в аналогичный период 2018 г. в прибрежных водах Карадагского природного заповедника зарегистрированы пелагические стадии 52 таксонов донных беспозвоночных [Лисицкая, 2019]. Личинки двустворчатых моллюсков не встречались. Велигеры брюхоногих моллюсков семейства Rissoidae отмечены в течение суток, их максимальная численность (205 экз. \cdot м⁻³) зарегистрирована в 18-00 часов, минимальная (15 экз. \cdot м⁻³) — в 12-00. Личинки усонного рака *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854) встречались во всех пробах, их численность колебалась от 15 до 65 экз. \cdot м⁻³. Отмечено существенное колебание численности личинок полихет. В 0-00 часов численность личинок *Malacoceros fuliginosus* (Claparède, 1868) составляла 240 экз. \cdot м⁻³, тогда как в светлое время суток не превышала 35 экз. \cdot м⁻³. Причём все личинки находились на ранней стадии развития. Можно предположить, что резкое понижение температуры воды на 4,4 °С вызвало массовый выход в планктон 3-сегментных личинок *M. fuliginosus*. Влияние температуры воды на репродуктивную стратегию указано для многих видов беспозвоночных.

У митилид изменение температурного режима стимулирует половую активность, однако воспринимается как сигнал к нересту только особями со зрелыми гонадами. Так, резкие колебания температуры воды в летний период, вызванные сгонно-нагонными явлениями в бухте Ласпи, явились природным стимулятором нереста мидий [Холодов, Пиркова, Ладыгина, 2017].

Во время исследований в сентябре ситуация во многом отличалась от распределения в мае. Профиль суточной изменчивости температуры воды, с одной стороны, по форме такой же, как и в мае, с минимальными значениями в 6-00 (20,2 °С) и максимумом в 18-00 (21,4 °С 23.09 и 21,2 °С 24.09), однако амплитуда колебаний составляла 1,2 °С, что соответствует среднестатистическим показателям (рис. 5).

Суточные изменения солёности в сентябре были противоположны майским. Так, с 0-00 до 6-00 происходило заметное понижение значений с 18,27 ‰ до 17,99 ‰, а далее солёность плавно повышалась до 18,09 ‰ в 18-00. С чем это связано, однозначно ответить сложно. Возможно, с поступлением хозяйственных стоков, на что указывает повышение значений окисляемости (выше ПДК для рыбохозяйственных водоёмов), нитратов и органического фосфора (рис. 6).

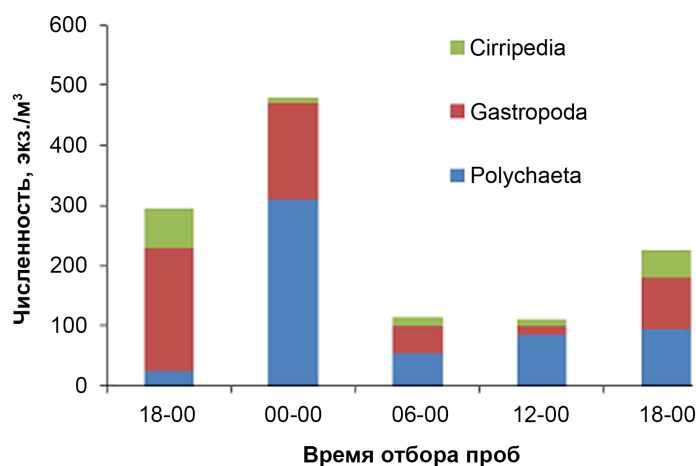


Рис. 4. Суточная динамика численности меропланктона 13–14 мая 2019 г.

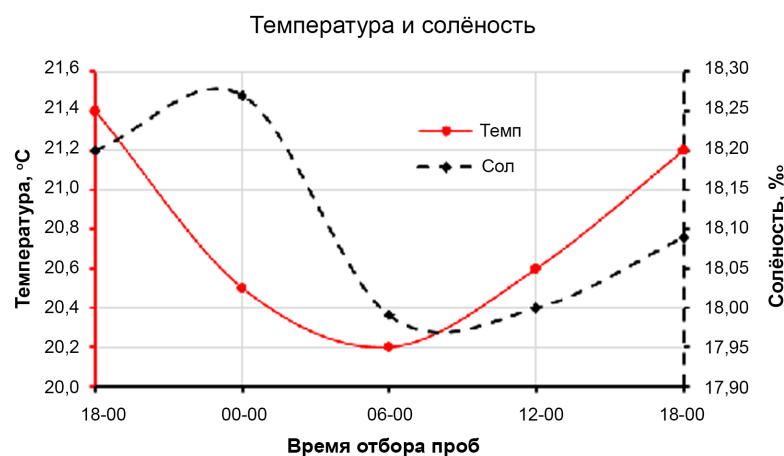


Рис. 5. Суточное распределение температуры и солёности поверхностного слоя 23–24 сентября 2019 г.

Суточная изменчивость содержания растворённого кислорода в сентябре была аналогична распределению в мае. Кривые суточных изменений концентраций нитритов, нитратов, азота аммонийного и органического характеризовались повышением их концентраций с вечера до утра и снижением — с утра до полудня. Распределение величин минерального фосфора и кремния характеризовалось наличием максимума в полночь, снижением их концентраций до минимума с полуночи до полудня и дальнейшим повышением их концентраций практически до первоначальных величин. Суточное распределение фосфора органического не совпадало с распределением фосфора минерального: отмечено два минимума, в полночь и в полдень, и небольшой максимум в 6-00 часов. Аналогий с майским суточным распределением этих показателей не отмечено.

Осенняя съёмка показала, что развитие фитопланктона в этот период значительно уступало по абсолютным показателям весенней съёмке. Максимальная численность не превышала 2 млн кл.·м⁻³, а биомасса — 11 мг·м⁻³. Доминировала по численности динофитовая водоросль *Prorocentrum micans* (33–40 % суммарного фитопланктона), кроме ночного отбора проб, когда в фитопланктоне был обнаружен только один вид — примнезиевая

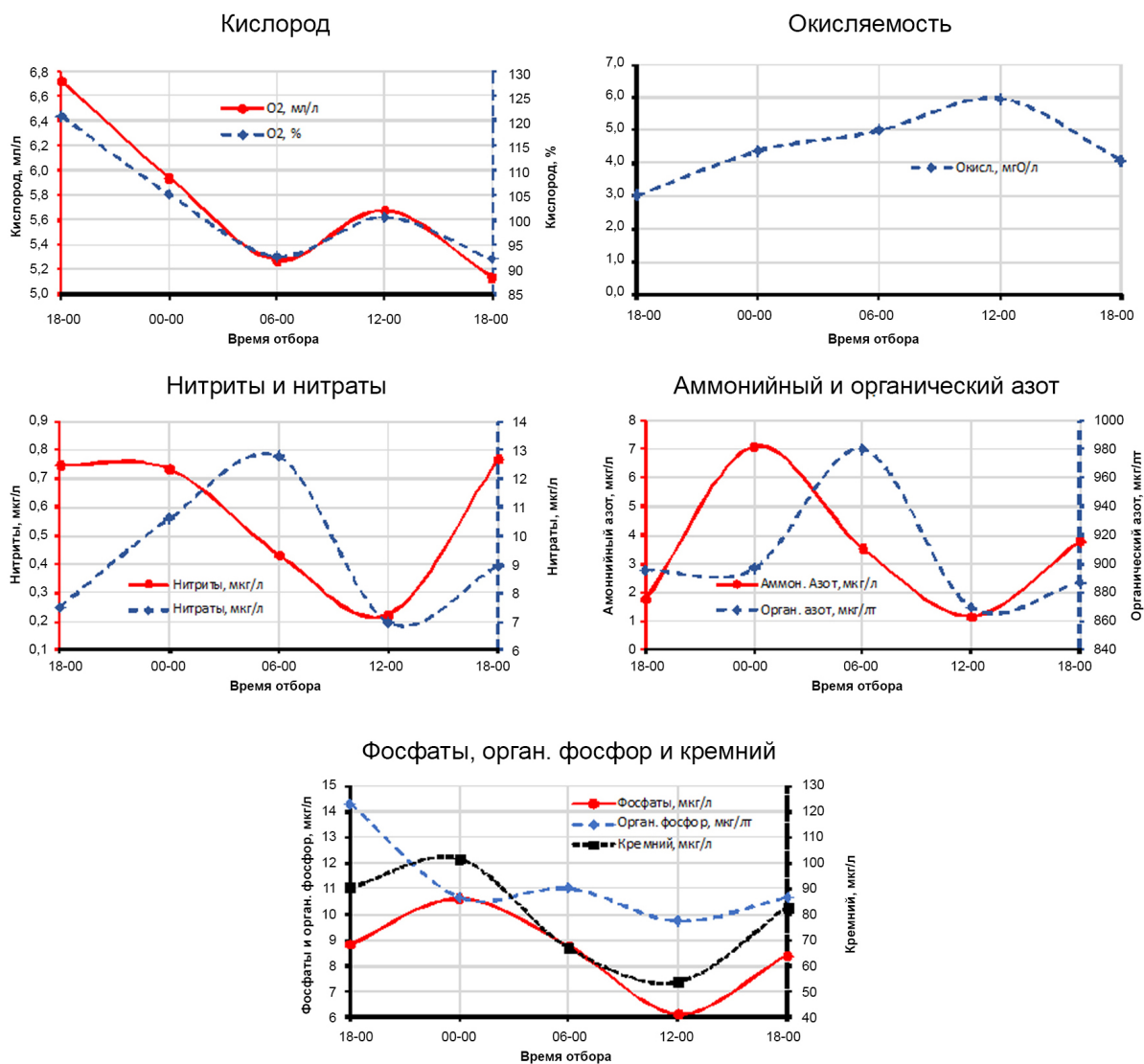


Рис. 6. Суточное распределение величин основных гидрохимических показателей 23–24 сентября 2019 г.

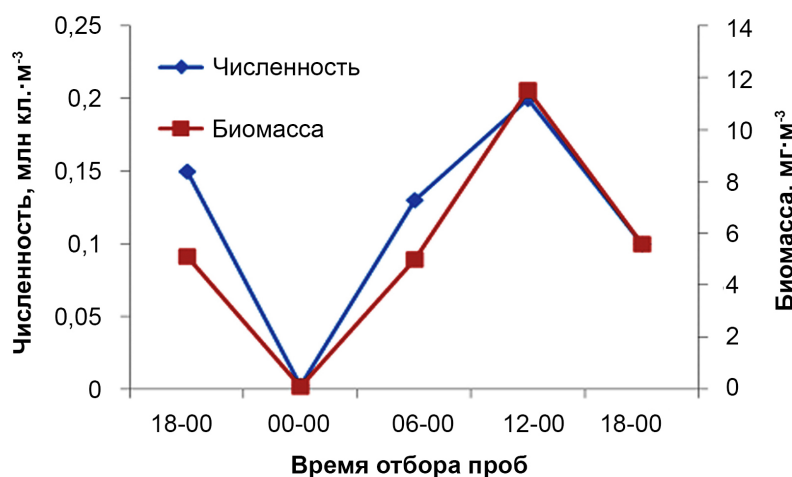


Рис. 7. Численность и биомасса фитопланктона на суточной станции 23–24 сентября 2019 г.

водоросль *Pontosphaera nigra* (100 %). По биомассе доминировали крупноклеточные одиночные микроводоросли (*Entomoneis alata* (61 %), *Pontosphaera nigra* (81–100 %) *Protoperidinium divergens* (81 %), *Coscinodiscus sp.* (80 %)). Эти виды встречались в меньшем количестве по отношению к *P. micans*, но за счёт объёма клеток давали большую биомассу. Максимумы количественных показателей фитопланктона в осеннюю съёмку приходились так же, как и весной, на дневные часы.

Полученные результаты показали значительные колебания численности и биомассы фитопланктона. Так, максимальные количественные показатели приурочены к весенней съёмке. Несмотря на различия в абсолютных показателях численности и биомассы, общая картина их суточных изменений схожа.

Весеннюю вспышку численности диатомовой водоросли *Ps. delicatissima* можно объяснить локальным апвеллингом, о чём говорилось выше. За счёт подпитки биогенными веществами и увеличения солнечной инсоляции максимальное развитие *Ps. delicatissima* произошло в 12-00 часов. Минимальной численности фитопланктон достигал в ночное время, когда увеличивалась численность меропланктона — потребителя микроводорослей.

В сентябре 2019 г. суточная динамика численности меропланктона отличалась от данных, полученных в мае. Максимальная плотность (125 экз.·м⁻³) отмечена в 6-00 часов, минимальная (15 экз.·м⁻³) — в 18-00 (рис. 8). Как и в мае, в пробах встречались личинки балянуса *A. improvisus*, но их численность не превышала 35 экз.·м⁻³ (в 6-00), причём кроме науплиусов отмечены и ципривидные стадии, что указывает на готовность личинок к оседанию. Личинки брюхоногих моллюсков были представлены в основном велигерами *Bittium reticulatum* (da Costa, 1778) и *Rissoa parva* (da Costa, 1778) с численностью до 45 экз.·м⁻³. В пробах появились и личинки двустворчатых моллюсков, хотя численность их была невелика. Единично встречались великонхи митилястера *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791), анадары *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) и представители семейства Veneridae. Необходимо отметить, что в планктоне зарегистрированы личинки мидии на стадии великонха «с глазком», их количество достигало 30 экз.·м⁻³. Учитывая, что все личинки мидии находились на поздней стадии развития, можно предположить, что они были вынесены с водными массами из глубинных слоёв моря, где происходило размножение мидий в иловых поселениях.

Сравнивая суточные изменения численности меропланктона в мае и сентябре, можно отметить следующее: во-первых, общая численность личинок в сентябре была заметно ниже, чем в мае; во-вторых, в мае, в 6-00, наблюдался минимум численности, а в сентябре — максимум. Таким образом, в мае профиль изменения численности меропланктона во многом соответствовал

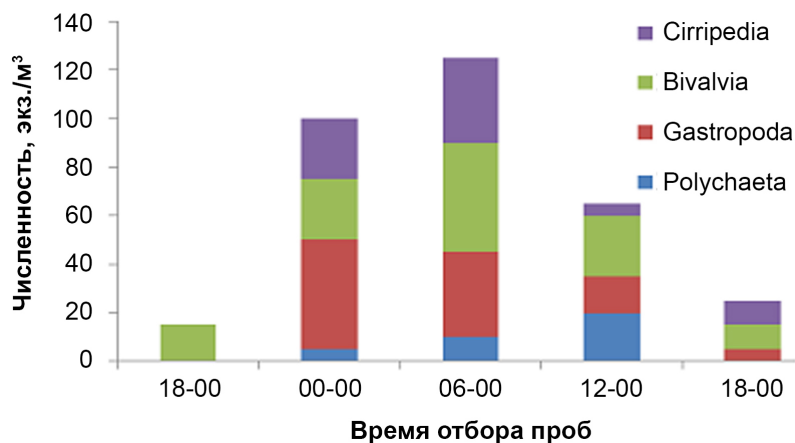


Рис. 8. Суточная динамика численности меропланктона (Биостанция, 23–24 сентября 2019 г.)

профилю изменения температуры. В сентябре наблюдалось обратное распределение: с понижением температуры воды количество меропланктона увеличивалось. В то же время сентябрьское распределение можно оценить по-другому: с 18-00 до 6-00 (тёмное время суток) численность меропланктона увеличивалась, а в светлое время понижалась. Вероятно, это происходило за счёт суточных миграций, характерных для многих видов беспозвоночных. Увеличение числа видов в тёмный период суток вызвано подъёмом в поверхностный слой личинок многощетинковых червей семейства Spionidae. По опубликованным данным, в Чёрном море в течение суток численность гидробионтов в гипонейстоне и слое воды до 65 см находилась в динамическом состоянии: суточная амплитуда колебания численности изменялась от сотен экз. $\cdot\text{м}^{-3}$ или полного отсутствия в дневные часы до десятков тысяч экз. $\cdot\text{м}^{-3}$ в тёмное время [Полищук, 1972].

Заключение

Рассмотрев суточные изменения некоторых абиотических и биотических показателей в прибрежной зоне Карадагского природного заповедника, можно отметить:

- чётких взаимозависимостей в суточной динамике большинства исследуемых параметров установить не удалось; некоторые общие черты обнаружены в изменениях температуры, кислорода, БПК₅, нитратов и меропланктона;

- несмотря на качественные и количественные отличия, максимальная численность и биомасса фитопланктона как в мае, так и в сентябре была отмечена в 12-00 и достигала 909 млн кл. $\cdot\text{м}^{-3}$ и 126 мг $\cdot\text{м}^{-3}$ в мае и 2 млн кл. $\cdot\text{м}^{-3}$ и 11 мг $\cdot\text{м}^{-3}$ в сентябре, при этом в другие часы наблюдений количество фитопланктона было на порядок ниже;

- таксономический состав меропланктона включал 23 вида личинок донных беспозвоночных, их численность в течение суток изменялась в несколько раз; резкое понижение температуры воды на 4,4 °С, вызванное кратковременным апвеллингом, простимулировало массовый выход в планктон 3-сегментных личинок полихет *Malacoceros fuliginosus*.

Полученные данные показали, что для изучения суточной динамики комплекса абиотических и биотических компонентов шестичасовой интервал наблюдений слишком велик, так как теряются фазовые переходы (особенно для фитопланктона). Поэтому при дальнейших подобных исследованиях рекомендуется проводить наблюдения с интервалом в три часа.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам отдела Богдановой Т. А., Еремину И. Ю., Родионовой Н. Ю. за помощь в сборе и обработке материала, а также администрации Карадагского природного заповедника за предоставленную возможность проводить исследования.

Список литературы

1. Георгиева Е. Ю. Особенности суточной изменчивости фитопланктона северо-западного шельфа Чёрного моря в осенний период // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2012. – Вып. 7. – С. 191–197.
2. Гиричева Е. Е. Влияние суточных вертикальных миграций зоопланктона на состояние планктонного сообщества // Информатика и системы управления. – 2013. – № 3 (37). – С. 3–13.
3. Ермолаева Н. И., Зарубина Е. Ю., Двуреченская С. Я. Суточная динамика гидрохимических показателей и зоопланктона в литорали Новосибирского водохранилища // Поволжский экологический журнал. – 2016. – № 2. – С. 155–166. – <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2016-2-155-166>
4. Кюфтаркова Е. А., Ковригина Н. П., Стоянов С. С. Гидрохимические исследования поверхностного слоя моря // Взаимодействие атмосферы, гидросферы и литосферы в прибрежной зоне моря : результаты междунар. эксперимента «Камчия 77» / редкол.: З. К. Белберов [и др.]. – София : Изд-во Болгар. акад. наук, 1980. – С. 300–306.
5. Лисицкая Е. В. Таксономический состав и структура меропланктона в прибрежных водах Карадагского природного заповедника в мае и сентябре 2018 г. // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского — природного заповедника РАН. – 2019. – Вып. 2 (10). – С. 3–11.
6. Лях А. М., Брянцева Ю. В. Компьютерная программа для расчёта основных параметров фитопланктона // Экология моря. – 2001. – Вып. 58. – С. 87–90.
7. Маштакова Г. П. Суточная динамика фитопланктона в Чёрном море // Океанографические исследования в Чёрном море : [сб. ст.] / ред. совет: Я. К. Гололобов [и др.]. – Москва : Пищ. пром-сть, 1968. – С. 60–71. – (Труды АзчерНИРО ; вып. 27).
8. Методические указания № 30 / под ред. А. С. Пахомовой. – Москва : Гидрометеиздат, 1966. – 139 с.
9. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т мор. рыб. хоз-ва и океанографии. – Москва : ВНИРО, 1988. – 119 с.
10. Морозова-Водяницкая Н. В. Фитопланктон Чёрного моря. Ч. II // Труды Севастопольской биологической станции имени А. О. Ковалевского. – 1954. – Т. VIII. – С. 11–99. – Раздел ст.: Суточные изменения численности и биомассы фитопланктона в Чёрном море. – С. 40–97.
11. Основы биологической продуктивности Чёрного моря / под общ. ред. В. Н. Грезе. – Киев : Наук. думка, 1979. – 391 с.
12. Полищук Л. Н. Вертикальное микрораспределение массовых форм зоопланктона у поверхности южных морей СССР : автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 1972. – 25 с.
13. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях / Гос. океаногр. ин-т ; сост.: А. Н. Овсянников [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. – 725 с.
14. Суханова И. М. Концентрирование фитопланктона в пробе // Современные методы количественной оценки распределения морского планктона / АН СССР, Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова ; [отв. ред. М. Е. Виноградов]. – Москва : Наука, 1983. – С. 97–105.
15. Тахтеев В. В., Карнаухов Д. Ю., Говорухина Е. Б., Мишарин А. С. Суточные вертикальные миграции гидробионтов в прибрежной зоне оз. Байкал // Биология внутренних вод. – 2019. – № 2. – С. 50–61. – <https://doi.org/10.1134/S0320965219020141>
16. Троценко О. А., Ковригина Н. П., Лисицкая Е. В., Родионова Н. Ю., Капранов С. В., Еремин И. Ю. Абиотические и биотические характеристики прибрежных вод района Карадага в мае 2019 г. // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского — природного заповедника РАН. – 2020. – № 1 (13). – С. 10–19.
17. Холодов В. И., Пиркова А. В., Ладыгина Л. В. Выращивание мидий и устриц в Чёрном море. – 2-е изд., доп. – Воронеж : Издат-принт, 2017. – 508 с.

**VARIABILITY OF THERMOHALINE AND HYDROCHEMICAL PARAMETERS,
PHYTO- AND MEROPLANKTON IN THE COASTAL WATER AREA
OF THE KARADAG NATURE RESERVE DURING THE DAY (2019)**

Troshchenko O. A., Kovrigina N. P., Lisitskaya E. V., Popov M. A.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,

e-mail: oleg_tr59@mail.ru

The article presents the analysis of the daily dynamics of abiotic and biotic components of the coastal water ecosystem in the Karadag Nature Reserve area. The diurnal variability of the thermohaline, hydrochemical and hydrobiological parameters was studied in May and September 2019. The samples were taken on the Biostation pier (50 m from the water edge) since 18-00 till 18-00 of the next day with an interval of 6 hours. The samples were analyzed for temperature, salinity, dissolved oxygen, five-day biochemical oxygen demand (BOD₅), silicate, and organic and mineral nitrogen and phosphorus, according to generally accepted methods. The hydrobiological studies included the investigation of the taxonomic composition, abundance and biomass of phyto- and meroplankton. The values of dissolved oxygen, BOD₅, oxidizability, nitrite, nitrate, and ammonium concentrations decreased from evening to morning and increased from morning to evening. In other hydrochemical parameters, no clear dependence on the time of day was noted. The maximum abundance and biomass of phytoplankton, both in May and September, was recorded at noon and reached, respectively, $909 \cdot 10^6$ cells·m⁻³ и 126 mg·m⁻³ in May and $2 \cdot 10^6$ cells·m⁻³ and 11 mg·m⁻³ in September. The quantitative characteristics of phytoplankton changed by an order of magnitude during the day. The taxonomic composition of meroplankton included 23 species of larvae of benthic invertebrates, the number of which changed several times during the day. A sharp decrease of water temperature by 4.4 °C in May caused by a short-term upwelling stimulated the mass release of 3-segment larvae of the polychaete *Malacoceros fuliginosus* into plankton.

Keywords: water temperature, dissolved oxygen, nutrients, phytoplankton, meroplankton, Karadag Nature Reserve, Black Sea.

Сведения об авторах

Трощенко Олег Александрович	кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела аквакультуры и морской фармакологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», e-mail: oleg_tr59@mail.ru
Ковригина Неля Петровна	кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела аквакультуры и морской фармакологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», e-mail: maricultura@mail.ru
Лисицкая Елена Васильевна	кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела аквакультуры и морской фармакологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», e-mail: e.lisitskaya@gmail.com
Попов Марк Александрович	кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела аквакультуры и морской фармакологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», e-mail: maricultura@mail.ru

*Поступила в редакцию 14.01.2021 г.
Принята к публикации 14.04.2021 г.*

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 911.9:[574:551.581/.583](292.471)

УЯЗВИМОСТЬ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ
КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА*

Горбунов Р. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь,
Российская Федерация,
e-mail: karadag_station@mail.ru

На основе данных о потенциальном биологическом разнообразии Крымского полуострова и региональных проявлениях изменения климата получены картографические модели уязвимости региональных экосистем Крымского полуострова к антропогенному воздействию и климатическим изменениям. Описаны пространственные особенности уязвимости региональных экосистем Крымского полуострова.

Ключевые слова: уязвимость, устойчивость, региональные экосистемы, изменение климата, Крымский полуостров.

Введение

Региональные экосистемы Крымского полуострова в настоящее время испытывают сильнейшую нагрузку как со стороны антропогенного воздействия, так и со стороны изменения климата. В предыдущих наших работах было показано, что в Крыму существует сильная пространственно-временная дифференциация изменения полей основных метеоэлементов [Gorbunov et al., *Spatiotemporal aspects...*, 2020; Горбунов и др., 2020], происходит изменение внутриландшафтной дифференциации факторных пространств, что формирует индивидуальные ландшафтные стратегии [Горбунов и др., 2021]. Вместе с тем вопросы уязвимости региональных экосистем Крымского полуострова к внешним воздействиям в настоящее время рассмотрены не достаточно. При этом следует отметить ряд публикаций, посвящённых вопросам изучения реакции экосистем на климатические изменения [Трансформация ландшафтно-экологических..., 2010; Трансформация структуры водного..., 2011; Корсакова, Корженевский, 2018; Корсакова, Анализ временной..., 2018; Табунщик, Горбунов, Даниленко, 2019; Зуев, Летухова, Зуева, 2020; Gorbunov, 2020], иллюстрирующие отдельные аспекты данного вопроса. В то же время при наличии достаточно большого количества публикаций, посвящённых изучению изменения климата в Крыму [Ильин, Репетин, 2006; Парубец, 2009; Трансформация ландшафтно-экологических..., 2010; Трансформация структуры водного..., 2011; Глущенко, 2012; Куклин и др., 2012; Вышкваркова, Воскресенская, 2014; Кононова, 2014; Косоветц, Доніч, 2014; Холопцев, Астафьева, 2014; Лемешко, Евстигнеев, Наумова, 2014; Climate change 2014..., 2014; Hatzaki, Wu, 2015; Нестеренко, 2016; Cordova, 2016; Climate change, impacts..., 2017; Fedorov et al., 2017; Корсакова, Реакция феноиндикаторов..., 2018; Global warming..., 2018; Ergina, Zhuk, 2019; Gorbunov et al., Integrated model..., 2020], в настоящее время практически отсутствуют работы, направленные на системное изучение уязвимости экосистем к климатическим изменениям, что определяет актуальность данного исследования. В связи с этим цель данной работы — выполнить оценку и построить картографические модели уязвимости региональных экосистем Крымского полуострова.

* Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий», номер гос. регистрации 121040100327-3.

Методика исследований

В качестве исходных данных для проведения исследований были использованы: интегральная модель потенциального биологического разнообразия Крымского полуострова, а также данные об изменении климата в Крыму, полученные в предыдущих работах автора [Gorbunov et al., *Spatiotemporal aspects...*, 2020; Gorbunov et al., *Integrated model...*, 2020; Горбунов и др., 2020].

Одним из перспективных направлений является оценка уязвимости региональных экосистем к антропогенным нагрузкам, осуществляемая на основании интегральной модели биологического разнообразия, и возможность её внедрения на территории Крыма.

Важное значение имеет общее развитие теоретических и методологических представлений относительно подходов к моделированию величин биологического разнообразия на локальном и региональном уровнях с выделением потенциально устойчивых экосистем с точки зрения разнообразия местоположений и местообитаний. С методической точки зрения принимается положение о том, что разнообразие условий местообитания определяет разнообразие видов, которые в совокупности определяют степень устойчивости и уязвимости конкретных территорий с точки зрения сохранения биологического разнообразия и условий местообитания. Чем меньше разнообразие условий местообитания, тем более уязвимым представляется каждый конкретный участок с точки зрения сохранения биологического разнообразия, и наоборот: чем разнообразнее условия местообитаний, тем шире экологическая ниша каждой конкретной экосистемы. По сути, данное положение является отображением одного из ключевых и устоявшихся законов экологии, который звучит так: «Разнообразие — признак устойчивости».

Также необходимо учитывать поправку на дифференциацию зональных типов экосистем, которые существенно отличны и разнообразны, и расчёт уязвимости нужно осуществлять для каждой конкретной зоны. Мы будем использовать наиболее общую дифференциацию территории Крыма с выделением равнинных и горных экосистем. Для каждой зоны определяется представленный интервал разнообразия условий местообитания и величины биоразнообразия. В каждом данном интервале может быть выделен диапазон средних значений величин, максимальных и минимальных. При этом здесь могут быть разные подходы к выделению интервалов, что представляется с научной точки зрения отдельной задачей и требует глубокой проработки и осмысления. В наиболее общем случае возможно разбиение диапазона на равные интервалы, что является наиболее простым с точки зрения методического обоснования. Возможно построение интервала по естественным границам или с использованием гауссова распределения.

С технической точки зрения необходимо осуществление процедур с классификатором растровых изображений и разбиение соответствующего растра на необходимые интервалы с возможностью его последующего анализа и векторизации (при необходимости). Далее возможно выявление зон совмещения уязвимых типов местообитаний с точки зрения снижения биологического разнообразия и совмещения их с зонами существующего и перспективного антропогенного воздействия при территориальном планировании. Также подход может быть использован с целью развития зонирования рекреационно-ландшафтных парков и других объектов ООПТ, выделения заповедных и потенциально опасных для биологического разнообразия зон, потенциально устойчивых зон.

Результаты исследований

На рисунке 1 приведены результаты выделения наиболее уязвимых и устойчивых экосистем с точки зрения разнообразия. Нами был выбран для дифференциации величин интервал, построенный на основе гауссова распределения, отдельно для равнинного и для горного Крыма. Большая часть диапазона входит в состав потенциально устойчивых условий местообитания, и далее в каждом подинтервале выделяются экстремально низкие и экстремально высокие значения. В итоге нами получена шкала, на основе которой возможно рекогносцировочно оценить степень устойчивости и уязвимости экосистем Крыма с позиции разнообразия условий местообитания и выделить своеобразные зоны уязвимости биологического разнообразия и относительной устойчивости.

Всего было выделено 11 позиций, отличающихся по величине разнообразия условий местообитания, сформированных на основе сочетаний разнообразия базовых местоположений и величины потенциального и фактического биологического разнообразия.

На рисунке 1 можно выделить явно отличающиеся по рассматриваемому параметру зоны, дифференциация которых является достаточно дробной и мозаичной, что открывает возможности для последующего анализа, а также позволяет сравнивать различные экосистемы в различных природных зонах.

Функционирование и динамика региональных экосистем осуществляется в условиях региональных проявлений климатических изменений, это влияет на формирование уязвимости региональных экосистем. Основная задача при этом состоит в оценке степени устойчивости и уязвимости экосистем в условиях изменения показателей температуры и осадков и построении соответствующей картографической модели. С практической точки зрения необходимым является выделение экосистем, в которых особенности изменения климата проявляются наиболее ярко и, следовательно, имеют наибольшие значения при оценке уязвимости экосистем в условиях изменения климата.

За период 1979–2013 гг. были получены растровые изображения средних значений рассматриваемых показателей. Далее для каждого года были определены отклонения показателей.

Затем были определены величины среднего отклонения средних многолетних сумм температур за период март — август (рис. 2) и величины среднего отклонения средних многолетних сумм осадков (рис. 3). Данные модели показывают пространственную структуру экосистем по степени контрастности изменения и отклонения гидротермических состояний от средних значений и фактической нормы. Выделенные зоны, по сути, показывают, насколько глубоко и контрастно происходит изменение климатических показателей, а следовательно, и меняются условия функционирования и динамики экосистем, что в итоге оказывает влияние на их уязвимость. Рассмотрим более подробно построенные модели.

Величина среднего отклонения средних многолетних сумм температур за период март — август в своём пространственном рисунке в определённой мере повторяет схемы континентальности климата. Отметим, что диапазон отклонений здесь лежит только в положительном спектре, что говорит об общем повышении температур в динамике за период вегетации и формировании зон, в которых суммы данных температур в будущем будут выше, а следовательно, и смещение сезонных состояний в сторону смены зимы весной, весны — летом будет происходить раньше, а наступление календарных сроков с данными состояниями будет всё чаще не совпадать.

Диапазон отклонений показателя средних многолетних сумм температур за период март — август лежит в пределах 99–142 °С. При этом минимальные диапазоны в пределах 99–109 °С пространственно привязаны к юго-западной части горного Крыма и ЮБК, где показатель отклонений будет обеспечивать определённую устойчивость сезонных состояний, а следовательно, и устойчивость экосистем как таковых к реакции на изменение температур.

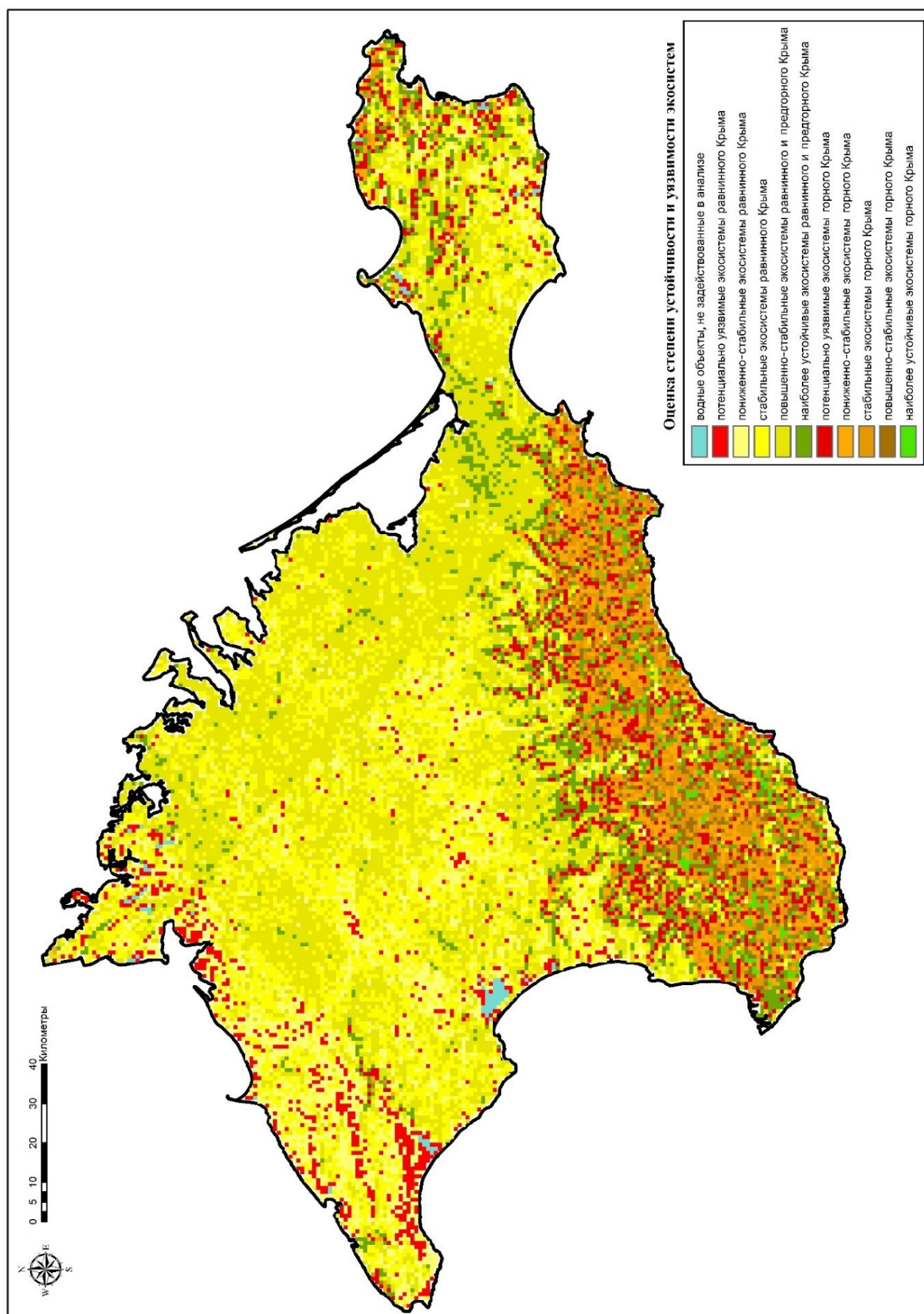


Рис. 1. Оценка степени устойчивости и уязвимости экосистем

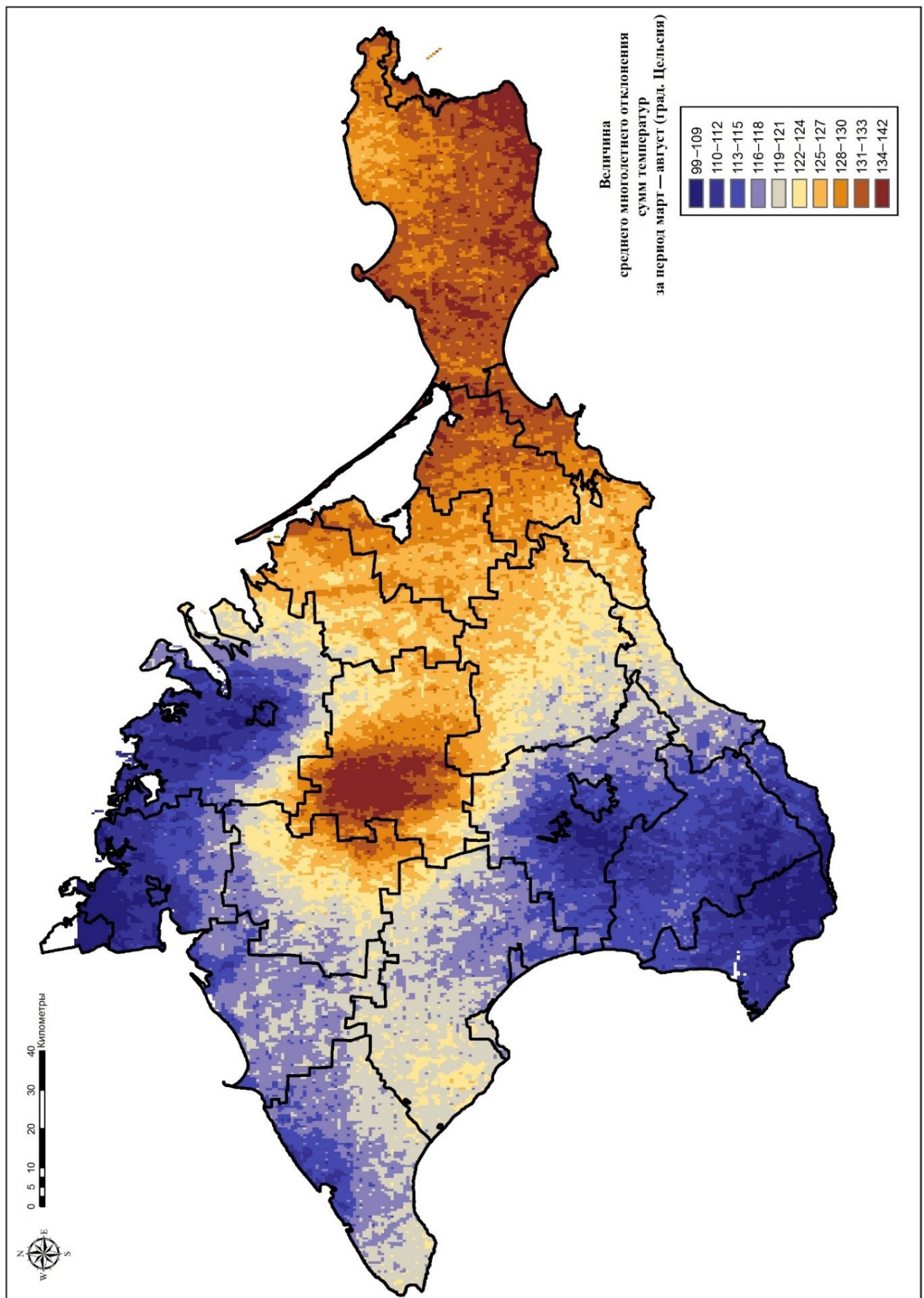


Рис. 2. Величина среднего отклонения средних многолетних сумм температур за период март — август

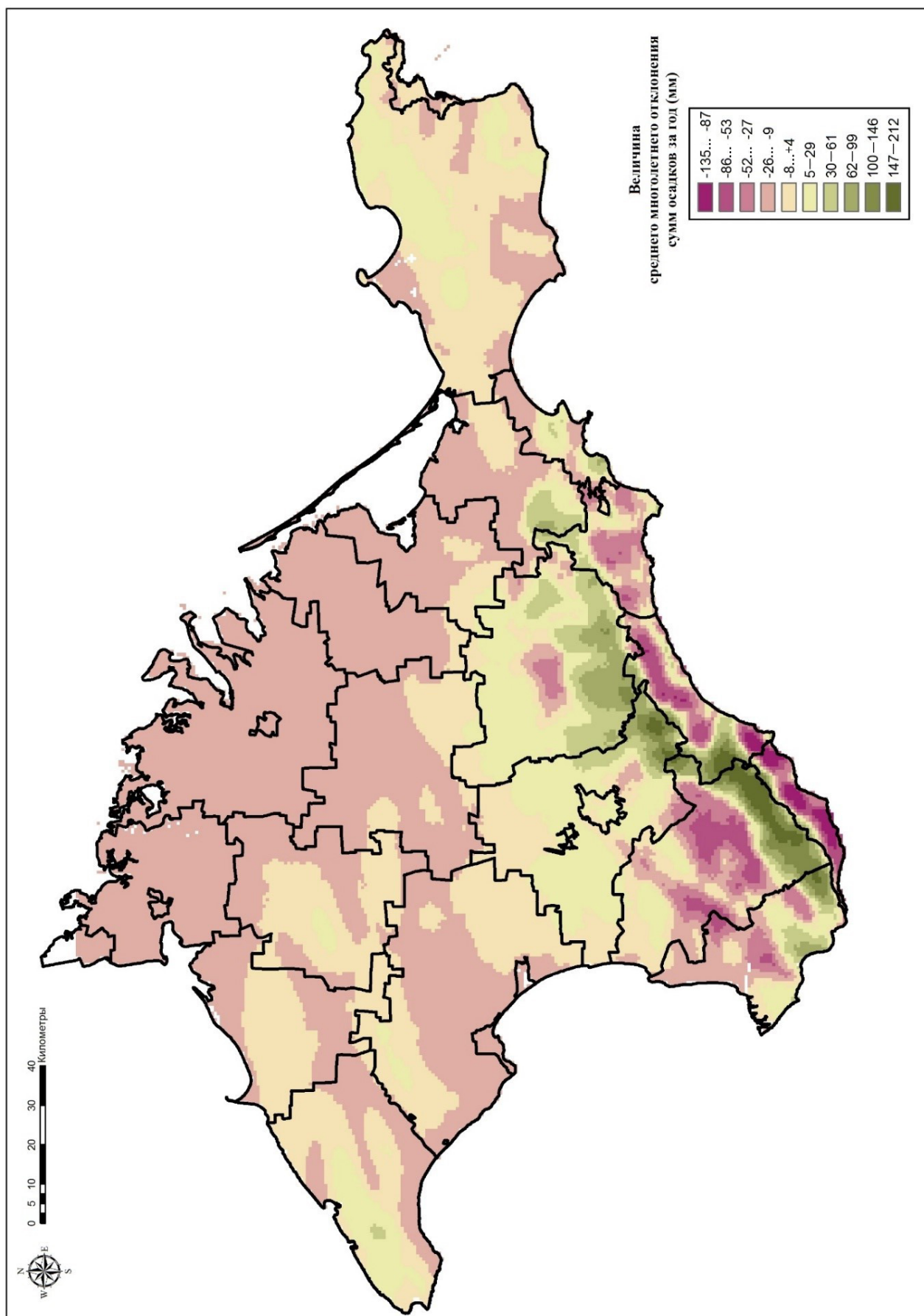


Рис. 3. Величина среднего отклонения средних многолетних сумм осадков

Наименее устойчивыми по показателю термической обеспеченности выступают экосистемы Керченского полуострова, где отклонение сумм температур достигает 134–142 °С, что говорит о возможной «разбалансировке» устойчивости наступления внутрисезонных состояний. Вторым резким ядром понижения степени устойчивости выступает центральная часть равнинного Крыма, где выделяется также участок весомых значений отклонения в пределах 131–142 °С.

Северная часть равнинного Крыма и Тарханкутский полуостров лежат в пределах высокой устойчивости сезонных состояний и их смены по температурному показателю. Величина отклонения соответствующего показателя находится в диапазоне 110–115 °С. Зоны несколько более пониженной устойчивости выделяются в пределах восточной части предгорного Крыма, Центрального Присивашья, где величины среднего отклонения средних многолетних сумм температур за период март — август составляют 121–127 °С.

Величина среднего отклонения средних многолетних сумм осадков показывает достаточно яркую и пространственно отличную картину дифференциации с выделением достаточно пространственно «оформленных» и чётких зон, в пределах которых формирование состояний экосистем происходит в условиях увлажнения с высокой долей отличий от средних многолетних норм.

Данная величина имеет ключевое значение при формировании состояний экосистем и их устойчивости, что ещё раз подтверждает факт недостаточности увлажнения экосистем полуострова и ведущую роль влаги в их функционировании и уязвимости.

В пространственном распределении показателя чётко выделяются зоны, в пределах которых отклонение имеет весомые значения, проявляется более умеренно или имеет слабое значение. Интервал колебания отклонений находится как в положительном, так и в отрицательном диапазоне. Отрицательный диапазон имеет пределы от –135 до 0 мм осадков, а положительный — от 0 до 212 мм.

Чёткими зонами, в пределах которых отклонение сумм осадков имеет отрицательный диапазон, являются центральная часть ЮБК, восточная часть Главной гряды Крымских гор и предгорная зона в пределах западной и центральной её частей. Экосистемы центральной части ЮБК, в районе линии г. Аю-Даг — п. Мисхор, имеют максимальные величины отклонений по данному показателю в пределах –135... –87 мм. Восточная часть Главной гряды Крымских гор имеет отклонение в пределах –86... –53 мм. Предгорная зона в пределах западной и центральной её частей имеет диапазон в пределах –86... –27 мм.

Данная картина обуславливает формирование зон потенциально уязвимых экосистем с точки зрения оценки степени их устойчивости и уязвимости в условиях изменения величин осадков, что отображено на соответствующих картографических моделях.

Контрастной выступает зона северного макросклона Крымских гор, в пределах которой, особенно в западной её части, отклонения величин имеют положительные значения, что в условиях недостаточного увлажнения экосистем полуострова приводит к формированию здесь зоны с потенциально стабильными состояниями с точки зрения оценки степени устойчивости и уязвимости экосистем в условиях изменения величин осадков. Величины отклонений здесь составляют 146–122 мм.

Средние и промежуточные значения отклонений с пространственной точки зрения по показателю осадков приводят к формированию зон пониженно-стабильных и стабильных показателей состояний. Так, например, подобная зона выделяется в пределах восточной части предгорного Крыма, где величины отклонений лежат в пределах 30–61 мм. Экосистемы равнинного Крыма в центральной части Крымского полуострова и Керченского полуострова имеют незначительные отрицательные и частично положительные значения отклонений в пределах –8... +4 мм и 5–29 мм, что обуславливает определённую стабильность данных экосистем. Зона Присивашья формирует менее устойчивый характер величины уязвимости экосистем по гидроклиматическим показателям. Здесь величина отклонения повышается до –27... –52 мм.

Заключение

Таким образом, в результате работы на основе интегральной модели потенциального биологического разнообразия Крымского полуострова и данных об изменении климата в Крыму были построены пространственные модели уязвимости региональных экосистем. Описана пространственная дифференциация уязвимости экосистем.

Полученные модели имеют широкий спектр использования как в научной, так и в практической деятельности за счёт наложения на них других тематических слоёв. Это может быть схема современного или перспективного использования территории, схемы территориального планирования конкретных административных единиц, схемы генеральных планов развития территорий муниципальных образований, конкретные проекты, например в рамках программ социально-экономического развития регионов, материалы оценок воздействия на окружающую среду для отдельных промышленных или хозяйственных объектов.

Важное значение имеет научная составляющая. Например, может быть проведено сравнение со схемами неблагоприятных физико-географических процессов и неблагоприятных природных экологических факторов, возможно сравнение и анализ с тематическими слоями и картами компонентов ландшафта, ландшафтной структуры как таковой, парадинамическими и парагенетическими структурами ландшафтов. Имеет место и использование моделей при геоботанических исследованиях, исследованиях по ренутарализации территорий, лесоразведению и лесоводству, мелиорации ландшафтов, агроэкологических исследованиях.

Список литературы

1. *Вьшкваркова Е. В., Воскресенская Е. Н.* Пространственное распределение экстремальных осадков на территории Крымского полуострова // Системы контроля окружающей среды. – 2014. – № 20. – С. 136–139.
2. *Глуценко И. В.* Методические проблемы подготовки данных для построения SWAT-модели на территорию Крыма // Учёные записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: География. – 2012. – Т. 25 (64), № 1. – С. 38–47.
3. *Горбунов Р. В., Горбунова Т. Ю., Дрыгваль А. В., Табуницкий В. А.* Изменение температуры воздуха в Крыму // Социально-экологические технологии. – 2020. – Т. 10, № 3. – С. 370–383. – <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2020-10-3-370-383>
4. *Горбунов Р. В., Табуницкий В. А., Горбунова Т. Ю., Сафонова М. С.* Динамика температуры воздуха в основных типах региональных экосистем равнинного Крыма // Социально-экологические технологии. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 121–138. – <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2021-11-1-121-138>
5. *Зуев А. В., Летухова В. Ю., Зуева Е. А.* Климатические изменения как фактор трансформации растительного покрова на примере Карадагского ландшафтно-экологического стационара // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского — природного заповедника РАН. – 2020. – Вып. 1 (13). – С. 77–98.
6. *Ильин Ю. П., Репетин Л. Н.* Вековые изменения температуры воздуха в Черноморском регионе и их сезонные особенности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2006. – № 14. – С. 433–448.
7. *Кононова Н. К.* Циркуляция атмосферы в Европейском секторе Северного полушария в XXI веке и колебания температуры в Крыму // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, вып. 1. – С. 633–639.

8. Корсакова С. П. Анализ временной изменчивости характеристик термического режима на Южном берегу Крыма // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2018. – Вып. 128. – С. 100–111. – <https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.128.2018.13>
9. Корсакова С. П., Корженевский В. В. Оценка экологического режима местообитаний растений в условиях изменения климата // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского — природного заповедника РАН. – 2018. – № 4 (8). – С. 26–33.
10. Корсакова С. П. Реакция феноиндикаторов умеренных широт на изменение климата в сухих субтропиках: моделирование и прогноз // Учёные записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Серия: Биология. Химия. – 2018. – Т. 4 (70), № 3. – С. 109–124.
11. Косовець О. О., Доніч О. А. Зміни клімату Криму у порівнянні зі змінами клімату в континентальній Україні // Геополітика і екогеодинаміка регіонів. – 2014. – Т. 10, № 1. – С. 657–659.
12. Куклин А. К., Куклина Н. Я., Шабалина О. А., Майборода С. А. Экстремальные значения температуры воздуха и морской воды в прибрежной зоне Южного берега Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2012. – № 26-1. – С. 284–290.
13. Лемешко Н. А., Евстигнеев В. П., Наумова В. А. Изменения температуры воздуха в Азово-Черноморском бассейне и на территории Крыма // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7, Геология. География. – 2014. – Вып. 4. – С. 131–143.
14. Нестеренко В. П. Закономерности формирования климатических изменений и их прогноз на территории Крыма // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2016. – № 18 (239). – С. 115–122.
15. Парубец О. В. Анализ климатических рядов Крымского полуострова // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2009. – № 20. – С. 154–164.
16. Табуницкий В. А., Горбунов Р. В., Даниленко А. А. Оценка вегетационного индекса NDVI на территории города федерального значения Севастополь в 2017 году по результатам анализа космических снимков Sentinel-2 // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского — природного заповедника РАН. – 2019. – Вып. 4 (12). – С. 56–70.
17. Трансформация ландшафтно-экологических процессов в Крыму в XX веке — начале XXI века / под ред. В. А. Бокова. – Симферополь : Доля, 2010. – 304 с.
18. Трансформация структуры водного баланса в Крыму в XX веке — начале XXI века и её оптимизация / под ред. В. А. Бокова. – Симферополь : Крым. науч. центр, 2011. – 227 с.
19. Холопцев А. В., Астафьева Д. А. Изменения климатических норм месячных сумм атмосферных осадков в Юго-Западном и Западном Крыму, а также аномалий поверхностных температур регионов Чёрного моря в зимние месяцы, в 1950–2012 гг. // Учёные записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: География. – 2014. – Т. 27 (66), № 1. – С. 95–105.
20. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Vol. II. Regional aspects / Edited by С. В. Field [et al.]. – New York : Cambridge University Press, 2014. – 688 p. – <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386>
21. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 : an indicator-based report / European Environmental Agency. – Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2017. – 419 p. – (EEA Report ; no. 1/2017).
22. Cordova С. E. The Mediterraneanization of Crimea. Physical and cultural processes in landscape transformation // Méditerranée. – 2016. – Iss. 126. – P. 25–36. – <https://doi.org/10.4000/mediterranee.8179>

23. Ergina E. I., Zhuk V. O. Spatiotemporal variability of the climate and dangerous hydrometeorological phenomena on the Crimean Peninsula // Russian Meteorology and Hydrology. – 2019. – Vol. 44, iss. 7. – P. 494–500. – <https://doi.org/10.3103/S1068373919070082>
24. Fedorov V. M., Gorbunov R. V., Gorbunova T. Y[u], Kononova N. K. Long-term air temperature variability on the Crimean Peninsula // Geography and Natural Resources. – 2017. – Vol. 38, iss. 1. – P. 86–92. – <https://doi.org/10.1134/S1875372817010115>
25. Global warming of 1.5 °C : IPCC special report / The Intergovernmental Panel of Climate Change. – [S. l.], 2018. – URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (accessed on: 10.03.2021).
26. Gorbunov R., Gorbunova T., Kononova N., Priymak A., Salnikov A., Drygval A., Lebedev Ya. Spatiotemporal aspects of interannual changes precipitation in the Crimea // Journal of Arid Environments. – 2020. – Vol. 183, art. 104280. – <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104280>
27. Gorbunov R. V., Plugatar Yu. V., Smyrnov V. O., Gorbunova T. Yu., Snegur A. V., Drygval A. V., Priymak A. S. Integrated model of potential biodiversity of the Crimean Peninsula // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 579, [art.] 012062. – <https://doi.org/10.1088/1755-1315/579/1/012062>
28. Gorbunov R. Productivity dynamics of oak forests of the Crimean Peninsula // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 169, [art.] 03007. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016903007>
29. Hatzaki M., Wu R. The south-eastern Europe winter precipitation variability in relation to the North Atlantic SST // Atmospheric Research. – 2015. – Vol. 152. – P. 61–68. – <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.10.008>

REGIONAL ECOSYSTEMS VULNERABILITY OF THE CRIMEAN PENINSULA

Gorbunov R. V.

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: karadag_station@mail.ru*

Based on data on the potential biological diversity of the Crimean peninsula and regional manifestations of climate change, cartographic models of the regional ecosystems vulnerability of the Crimean peninsula to anthropogenic impact and climatic changes were obtained. The spatial features of regional ecosystems vulnerability of the Crimean peninsula are described.

Keywords: vulnerability, stability, regional ecosystems, changing of the climate, Crimean peninsula.

Сведения об авторе

Горбунов	кандидат географических наук, директор ФГБУН ФИЦ «Институт биологии
Роман	южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», karadag_station@mail.ru
Вячеславович	

*Поступила в редакцию 23.05.2021 г.
Принята к публикации 14.07.2021 г.*

УДК 553.53(234.86)

ПУЦЦОЛАНЫ И ТРАСС КАРАДАГА. ИСТОРИЯ ПОИСКА, РАЗРАБОТОК И ИЗУЧЕНИЯ

Шибает Е. А., Шибает И. Е.

Студия камня «Colored Rocks», г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: colored_rocks@bk.ru

Посвящается светлой памяти Натальи Спиридоновны Костенко, десять лет назад вдохновившей нас на написание первых статей о Карадаге

В статье на основе большого количества первоисточников представлена история поиска и добычи на Карадаге активных минеральных добавок, необходимых для получения гидротехнических бетонов. Рассмотрены основные этапы научных исследований пуццоланы и трасса, показано изменение взглядов на понимание их образования и состава. Статья содержит фотографии описываемых горных пород в виде шаров, которые максимально передают текстуру камня.

Ключевые слова: Карадаг, гора Святая, пуццоланы, трасс, карьер на горе Святой, черноморит.

Введение

В начале XX века портовое строительство в России остро нуждалось в минеральных добавках, придающих цементам гидравлические свойства, то есть способность затвердевать под водой после некоторой выдержки на воздухе. Применение гидравлических добавок в вяжущих растворах давало целый ряд преимуществ изготовленным на их основе бетонам: увеличивало их плотность и водонепроницаемость, придавало повышенную сопротивляемость воздействию отрицательных температур и химическому воздействию кислот и солей. Все эти свойства в итоге обеспечивали повышенную прочность морских сооружений, значительно увеличивали срок их службы. В то время наука только приближалась к пониманию процессов, в результате которых растворы приобретали гидравлические свойства. Соответственно, отсутствовали достоверные критерии выбора природных веществ, обладающих этими качествами. Ни по внешним признакам, ни путём петрографического и химического анализа не удавалось определить пригодность той или иной горной породы как гидравлической добавки. О наличии этих свойств можно было судить главным образом по результатам механических испытаний различных смесей уже после их затвердевания.

Горные породы, обладавшие перечисленными свойствами, были широко известны в мире, но все они добывались за пределами России. Рыхлые породы получили название «пуццолана», а твёрдые — «трасс». Основная добыча пуццоланы осуществлялась в Италии, в окрестностях городов Рим и Неаполь, а также у вулкана Везувий; в Греции, на острове Санторини; во Франции, в провинции Овернь. Трасс добывался в Германии, в районе города Андернах на Рейне. Главным и старейшим производителем пуццолановых материалов была Италия. Слабосцементированный вулканический материал «пуццолана» (от итальянского «pozzolana») был назван так по месту его древнейших разработок у города Поццуоли, расположенного на побережье Неаполитанского залива. Римская пуццолана считалась самой лучшей. По качеству она подразделялась на три сорта, визуально отличавшихся цветом: тёмно-красным, чёрным и серым. Неаполитанская пуццолана, имевшая желтоватый цвет с зелёным оттенком, уступала ей в качестве, зато имела выгодное местоположение, залегая мощным сорокаметровым пластом вдоль всего Поццуолийского залива. Все итальянские пуццоланы представляют собой пеплы вулканических извержений молодого возраста. Термин «трасс» образовался, по всей видимости, от латинского слова «terra» — «земля»

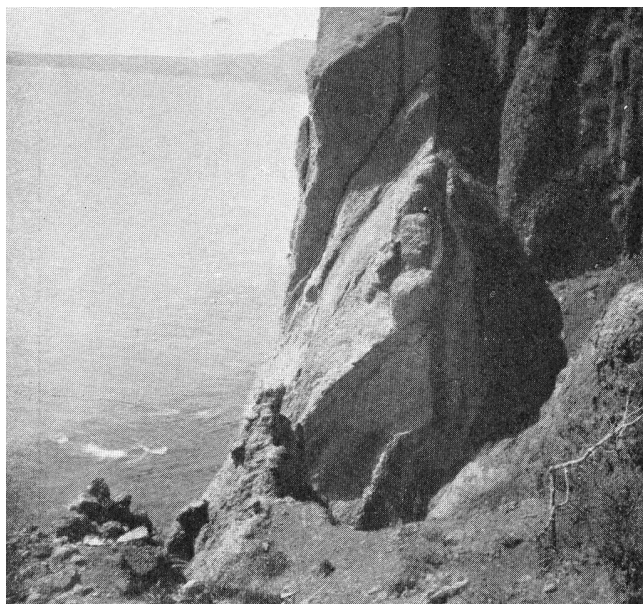
и с древних времён применялся в Германии как название твёрдого вулканического туфа, обладающего гидравлическими свойствами [Гинзберг, 1927; Малюков, 1928]. Отсутствие собственных месторождений минерального сырья, обладающего свойствами гидравлических добавок, побудило отдел торговых портов Министерства торговли и промышленности организовать их поиск на территории России.

Цель работы: воссоздать историю поиска, исследования и добычи пуццолан и трасса на Карадаге; описать направления научных работ по изучению трасса в условиях заповедного режима Карадага; рассмотреть вопрос об использовании эстетических свойств природного камня в популяризации научных знаний, экологическом просвещении и познавательном туризме в Карадагском природном заповеднике.

Результаты и обсуждение

Впервые о распространении в Крыму, в горном массиве Карадаг, вулканических пород, заслуживающих исследования на предмет их применения в качестве добавок к гидравлическим цементам, сообщает профессор К. И. Богданович в 1905 году [Богданович, 1905]. В том же году изыскания пуццолан путём взятия проб из заложенных на склонах горы Святой 65 разведочных шурфов были произведены инженерами Н. Н. Лямыным и В. Круссером. Сообщение об этом, включающее данные химических анализов из отдельных шурфов, было сделано в 1908 году. В этом сообщении исследованные породы были названы пуццоланами [Круссер, 1908].

Осенью 1910 года Т. И. Вяземский по рекомендации профессора Императорского Московского университета А. П. Павлова приглашает на строящуюся под Карадагом научную станцию геолога А. Ф. Слудского. Уже в марте 1911 года А. Ф. Слудский сделал в Московском обществе испытателей природы предварительное сообщение на тему: «Гора Карадаг в Крыму и её геологическое прошлое». А в 1912 году он опубликовал в «Записках Крымского общества естествоиспытателей» статью с тем же названием, в которой, в частности, писал: «Строение Карадага представляет интерес не только теоретический, но и практический: уже несколько лет назад было указано присутствие на Карадаге пуццолановых туфов. По поручению доктора Т. И. Вяземского я принял на себя производство разведок на пуццолановые туфы в его имении «Карадаг», расположенном на склонах хребта Карагач. Произведённые анализы показали, что часть туфов, залегающих в данном имении, непригодна, как пуццолановое вещество, но другая часть, напротив, является превосходным материалом. <...> для этих анализов были взяты образцы из пласта рыхлого туфа наибольшей, сравнительно с другими пластами, мощности и благонадёжности залегания. Высота выхода этого пласта над уровн. моря 15–25 саженей в среднем. Что касается до площади выходов пуццолановых туфов, то она весьма значительна, но трудно поддаётся точному определению, вследствие неприступности многих частей хребта. Положение всех пластов вертикальное» [Слудский, 1912, с. 10]. На основании данных, представленных в статье А. Ф. Слудского «Карадаг (в Крыму), его естественноисторическое значение, научная и промышленная будущность», можно установить, на каком участке автор обнаружил выгодное расположение залежей пуццолан у берега моря. А. Ф. Слудский иллюстрирует это фотографией, из которой следует, что пуццолановый туф залегает между скалой Левинсона-Лессинга и склоном хребта Карагач (рис. 1).



Выходъ рыхлаго пуццолановаго туфа на хребтъ Карагачъ. Слева пласть твердаго туфа. Высота около 20 с. надъ уровнемъ моря.

Рис. 1. Фотография из статьи А. Ф. Слудского «Карадаг (в Крыму), его естественноисторическое значение, научная и промышленная будущность» [Слудский, 1913, с. 31]

В феврале 1913 года на заседании Императорского Санкт-Петербургского общества архитекторов А. Ф. Слудский делает доклад под названием «О карадагской пуццолане в Крыму». Изложив своё понимание строения Карадага, он полагал ошибочным поиск пуццолановых пород в районе горы Святой, предпринятый Ляминим и Круссером. По мнению А. Ф. Слудского, исследованные залежи представляют собой наносы, то есть современные образования — продукты выветривания и разрушения соседних пород, в которых перемешаны туфовые обломки, глинистые частицы и валуны андезита. Эти залежи не могут быть названы месторождением пуццоланового туфа, так как носят случайный характер, зависящий от рельефа местности. Пуццолана, как следует из доклада, представляет собой горную породу, выброшенную из вулканического очага в виде рыхлой массы, отложившейся на склонах вулкана, и залегает на Карадаге совершенно в другом месте. А. Ф. Слудский настаивал на необходимости дополнительного изучения геологии Карадага, считая, что делать выводы о площади залегания и мощности предполагаемых залежей только на основании данных, полученных из шурфов, неправильно. Принявшие участие в прениях учёные вынуждены были согласиться с тем, что имеющиеся результаты лабораторных исследований крымской пуццоланы противоречивы, должны быть подтверждены практическими испытаниями и требуют дополнительных изысканий. Итогом этого заседания, в связи с недостаточной проработанностью вопросов добычи русской пуццоланы, стало решение о применении при строительстве порта в Туапсе импортного и отечественного сырья: одной трети итальянской пуццоланы и двух третей крымской [Эвальд, 1913].

Независимые лабораторные исследования, проведённые профессором Н. М. Абрамовым, заведующим Станцией испытания материалов при Алексеевском Донском политехническом институте, показали, что примесь карадагских вулканических туфов в качестве гидравлических добавок в одних случаях даёт благоприятные результаты, в других — весьма сомнительные. Он же указывал на необходимость продолжать планомерные изыскания вулканических туфов для их детального изучения [Абрамов, 1913]. Позже профессор П. Н. Чирвинский покажет полную несостоятельность химических анализов пуццолан, представленных в статье Круссера [Чирвинский, 1916].

Но, не дожидаясь окончания лабораторных и практических исследований качества бетонов, изготовленных с применением карадагской пуццоланы, акционерное общество «Русская пуццолана» приступило к её разработкам на Карадаге. Карьер был заложен на северо-западном подножье горы Святой (рис. 2).



Рис. 2. Гора Святая, вид на западный склон. Фотография А. Ф. Слудского (архив семьи Слудских)

От карьера к обрывам над бухтой, расположенной к западу от здания научной станции Т. И. Вяземского, была построена подвесная канатная дорога. Во время её строительства выяснилось, что рельеф дна участка бухты, который предназначался для строительства причала, не пригоден для захода судов. Строительство причала перенесли к западу от Нижних Отуз (современный посёлок Курортное), но не завершили его. По мнению профессора П. Н. Чирвинского, разрабатываемая порода состояла главным образом из угловатых кусков андезита и его туфа [Чирвинский, 1916].

На южных склонах хребта Карагач также начались работы, их возглавил инженер Козловский. «Пуццолана эта состоит из кусков андезитовой лавы, напоминающей скопления лапиллей и вулканического песка» [Чирвинский, 1916, с. 128]. Две фотографии, сделанные летом 1914 года и представленные П. Н. Чирвинским, иллюстрируют район разработок. На первом снимке запечатлена скала Иван-Разбойник с находящимися у её основания домиками для рабочих. На втором снимке изображена восточная часть скалы Левинсона-Лессинга и прилегающий к ней склон хребта Карагач. П. Н. Чирвинский сообщает, что к июню 1914 года на шести пароходах было отправлено в Туапсе до 100 000 пудов пуццоланы, а число рабочих, занятых на месторождении летом того же года, составляло двадцать человек [Чирвинский, 1916].

Ещё одно подтверждение проходивших на Карагаче работ — воспоминания Е. А. Слудского (сына А. Ф. Слудского): «В Разбойничьей бухте на перевальчике, ведущем в следующую к востоку бухту, стоял почерневший от непогоды большой деревянный сарай, а к западу от него шли в горные кручи длинные лестницы из жердей и столбов. Такие же лестницы были и на неприступной круче сзади скалы, я её условно назвал про себя «Пласт», позднее она получила название «Скала Левинсона-Лессинга». Папа сказал, что это имущество брошено пуццолановой фирмой...» [Слудский, 2004] (рис. 3, 4, 5).

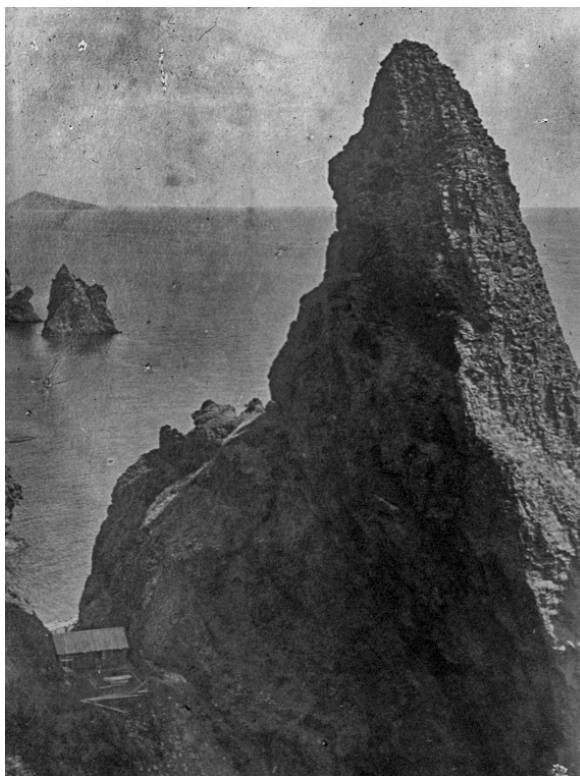


Рис. 3. Скала Иван-Разбойник с деревянной постройкой на перевале между Разбойничьей и Пуццолановой бухтами. Фотография А. Ф. Слудского (архив семьи Слудских)



Рис. 4. Восточная часть скалы Левинсона-Лессинга с лестницами, ведущими к выходу пуццоланового туфа. Фотография А. Ф. Слудского (архив семьи Слудских)



Рис. 5. Южные склоны хребта Карагач, на которых производилась добыча пуццоланы. Слева — скала Левинсона-Лессинга (фотография сделана в наши дни)

Существует интересная старая фотография издательства И. Вессермана, на которой запечатлён вид с того самого перевальчика над скалой Иван-Разбойник на Пуццолановую бухту и Золотые ворота. В нижней части фотографии виден временный причал, уходящий от берега Пуццолановой бухты в море, за восточную часть скалы Иван-Разбойник [Лихотворик, 2007]. По всей видимости, эта фотография сделана во время описываемого периода и причал построен для швартовки у хребта Карагач упоминавшихся выше пароходов и погрузки на них добытой пуццоланы.

Для определения параметров прочностных характеристик изделий с применением пуццоланы в реальном производственном процессе понадобились годы. В результате проведённые прочностные испытания изделий, изготовленных из карадагской пуццоланы, показали, что их сопротивление деформациям практически вдвое уступает аналогичным, изготовленным из неаполитанской пуццоланы. В связи с этим применение карадагских добавок было ограничено только внутренними частями портовых сооружений в Туапсе [Гинзберг, 1927]. Д. В. Соколов так подводит итог всей этой эпопеи: «Вопрос о нахождении на Карадаге пуццолановых пород, принадлежащих к рыхлым вулканическим туфам, решался в отрицательном смысле, и эксплуатация их не получила дальнейшего развития; к тому же опыты их практического применения не были удачными». И конкретно о разработках на Карагаче: «... это даже не рыхлый туф, каким должна быть настоящая пуццолана и каких на Карадаге вообще нет, но лишь менее плотная и сильно разрушенная разность всё той же шаровой лавы» [Соколов, 1926, с. 12] (рис. 6, 7).

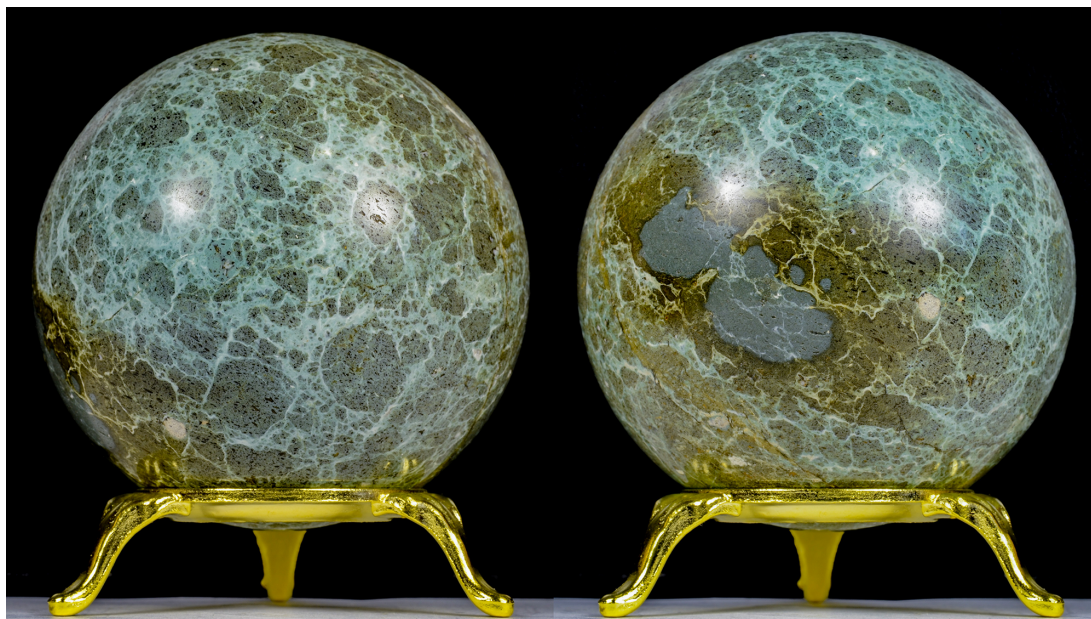


Рис. 6. Зеленокаменный лапиллиевый туф хребта Карагач, предположительно добывавшийся в качестве пуццолан. Изготовление: Студия камня «Colored Rocks»



Рис. 7. Голубовато-зелёная галька с пляжа Пуццолановой бухты — наиболее прочные фрагменты лапиллиевых туфов, попавшие в береговую зону

В 1914 году на северо-восточном склоне горы Святой представителем АО «Русская пуццолана» В. В. Экземпляровым были найдены залежи плотных зелёных вулканических туфов [Чарномский, 1915]. Уже к концу 1914 года эти залежи, по ходатайству АО «Русская пуццолана», были исследованы специальной комиссией под председательством знатока гидравлических цементов в России, инженера В. И. Чарномского. Первый вывод комиссии был таков: по всей видимости, осмотренные горные породы слагают всю гору Святую и имеют мощность в несколько миллиардов пудов [Соколов, 1926; Чарномский, 1915]. Химический анализ состава образцов пород, отобранных на южном и северном склонах, а также на вершине горы Святой, был сразу же

сделан в лаборатории Петроградского политехнического института профессором А. А. Байковым и показал их однородность. Карадагский трасс в смеси с известью и песком затвердевал как в пресной, так и в морской воде [Эвальд, 1915; Байков, 1923]. В 1915 году по программе исследований, разработанной особой комиссией, профессор С. И. Дружинин в Петроградском политехническом институте начинает проводить механические испытания бетонных образцов, изготовленных с применением карадагского трасса. Полученные результаты по первым образцам, испытанным в срок до шести месяцев после их изготовления, показали аналогичность карадагского материала андернахскому трассу [Черномский, 1915]. В 1922 году А. А. Дружинин сообщает: исследованный трасс по своим качествам является прекрасной гидравлической добавкой, добавление её к портландцементу в разных весовых пропорциях улучшает качество раствора [Дружинин, 1922].

В 1924 году «Новоросцементом» было добыто и вывезено 83 тонны трасса для проведения заводских опытов и выяснения вопроса о возможности использования этой горной породы в большом, производственном масштабе [Григорьев, 1926]. После получения успешных результатов промышленных испытаний на горе Святой был заложен карьер, работы в котором возглавил инженер А. И. Спасокукоцкий. В 1927 году карьер начал промышленную отгрузку трасса на новороссийские цементные заводы. В устье Коктебельской балки (к западу от посёлка Коктебель) строятся причал и дробилка. Транспортирование породы вначале осуществлялось на подводах, запряжённых лошадьми, а с начала 1930-х годов — по грузовой воздушно-канатной дороге.

В 1924–1925 гг. детальную геологическую съёмку всего Карадагского района осуществляет Д. В. Соколов [Соколов, 1926; Соколов, 1948]. Изучение горных пород Карадага с 1924 по 1929 г. проводит академик Ф. Ю. Левинсон-Лессинг. Он рассматривает трасс как своеобразное образование, занимающее промежуточное положение между лавами и туфами и описанное в геологической литературе того времени под названием «пиперно» или «туфовая лава». При описании центральной части трассового массива высказывается предположение о том, что трасс передвигался во время извержения в густом состоянии, близком к затвердеванию [Левинсон-Лессинг, Дьяконова-Савельева, 1933].

Трасс изучается как добавка при изготовлении кислотоупорного бетона для обмуровки котлов, предназначенных для варки целлюлозы; для устранения жёсткости воды; как сырьё с высоким содержанием щелочей для стекольной промышленности [Григорьев, 1926; Григорьев, 1927; Лакоза, 1935]. В 1930–1931 гг. разведку месторождения трасса проводит Институт неметаллических полезных ископаемых Главного геолого-разведочного управления [Марков, 1934; Соколов, 1948]. Последняя довоенная разведка трасса была произведена в 1938–1939 гг. Крымским институтом стройматериалов. В 1939 году запасы трасса были утверждены в количестве 3162 тыс. м³*. Добыча трасса на горе Святой продолжалась вплоть до начала Великой Отечественной войны. Длина карьера достигла 300 м; высота забоя, состоявшего из четырёх уступов, дошла до 50 м [Строительные материалы..., 1965]. Всего с 1927 по 1941 г. было добыто около 0,6 млн м³ (1,5 млн т) горной породы [Клюкин, 2007]. Больше работа карьера не возобновлялась, новороссийские заводы перешли на местное сырьё — трепел. При этом планы по добыче трасса и организации производства трассовых цементов путём установки помольных агрегатов в Феодосии и других местах Крыма продолжали существовать [Полякова, 1957]. Вид на северо-восточную часть горы Святой с заброшенным карьером на склоне показан на рис. 8.

*Кол-во указано так же, как в первоисточнике



Рис. 8. Заброшенный карьер трасса (слева на снимке) на северо-восточном склоне горы Святой (фотография сделана в наши дни)

В послевоенное время изучение состава, условий залегания, образования и возможностей использования трасса продолжалось. Исследованиями по изучению магматизма Горного Крыма в 1957–1960 гг. было установлено, что трасс является пирокластической породой типа сваренного туфа, все обломки которого настолько пластичны, что полностью спаялись между собой без какого-либо дополнительного цемента [Лебединский, Макаров, 1962]. В. И. Лебединский приходит к мнению, что благодаря высокому содержанию кремнезёма трасс можно рассматривать как производную риолитовой лавы [Лебединский, 1977].

Полезные свойства трасса одни исследователи связывали со сложением его аморфной массы опалом. Другие, объясняя высокие потери при прокаливании, связывали их с цеолитным характером воды, но при этом доказательств наличия в трассе цеолитов не имели. Изучение состава трасса современными методами позволило уточнить его минералогический состав и определить, что основным пороодообразующим минералом является морденит — высококремнезёмистый цеолит с большим содержанием воды. Именно этим минералом обусловлены активные гидравлические и сорбционные свойства трасса. Данные количественного рентгеновского анализа свидетельствуют о том, что содержание в трассе морденита достигает 70–90 % и трасс (за исключением окремельных разностей) представляет собой халцедон-мордернитовую породу [Шитовкин, Михайлов, Супрычев, 1975; Супрычев, 1976].

Поисковую и технологическую оценку цеолитсодержащих пород горы Святой в 1975–1978 гг. осуществляли специалисты «Крымморгеологии». Е. П. Черепановой были составлены геолого-технологические карты трассового массива и карьера горы Святой, подробно изучен характер всех залеганий трасса. Согласно этим данным небольшие линзовые тела трасса встречаются на западной части горы Святой и Малого Карадага; выходы трасса прослеживаются к югу от источника Гяур-Чесме; блок трасса находится в юго-восточной части горы Святой; центральная и западная части этой горы полностью сложены трассом. Выделены следующие разности трасса: брекчиевидные, с обильными обломками ксенолитов (рис. 9); брекчиевидные, пемзовые,

с редкими обломками ксенолитов; алевроито-псаммитовые, литоидные. Вскрытое карьером однородное тело трасса (рис. 10) на контакте с вмещающими породами окружено брекчиевидным трассом с включениями ксенолитов. Максимальное содержание морденита установлено в алевроито-псаммитовом литоидном трассе и достигает 50–70 % [Байраков, 1980].

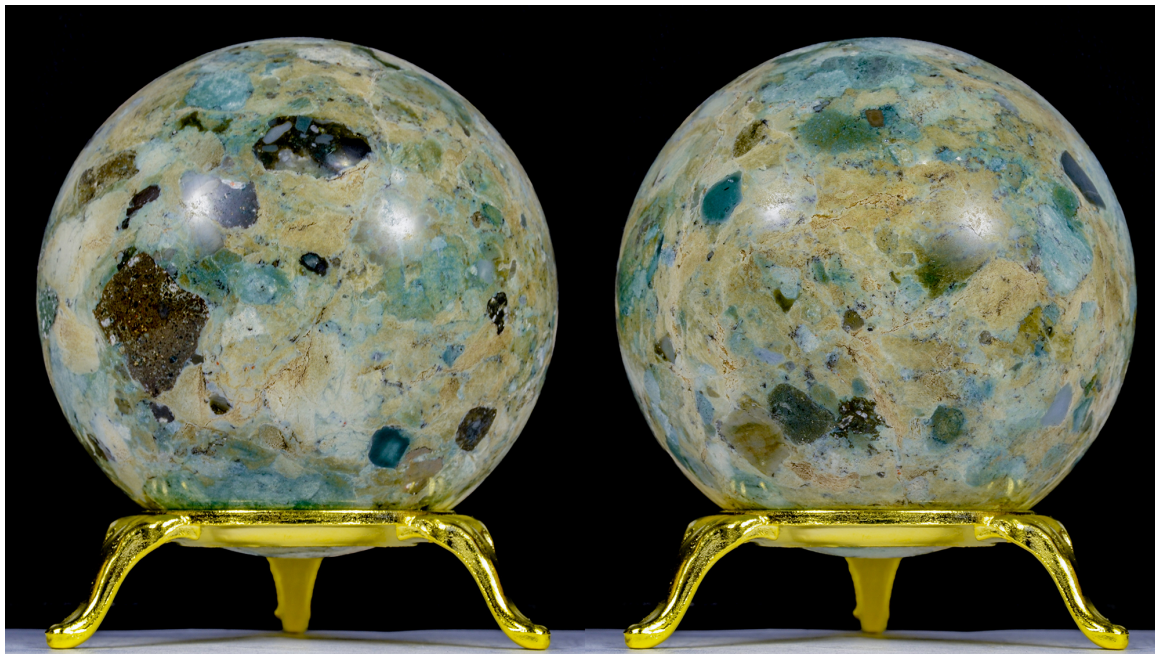


Рис. 9. Трасс брекчиевидный с обильным включением ксенолитов.
Изготовление: Студия камня «Colored Rocks»

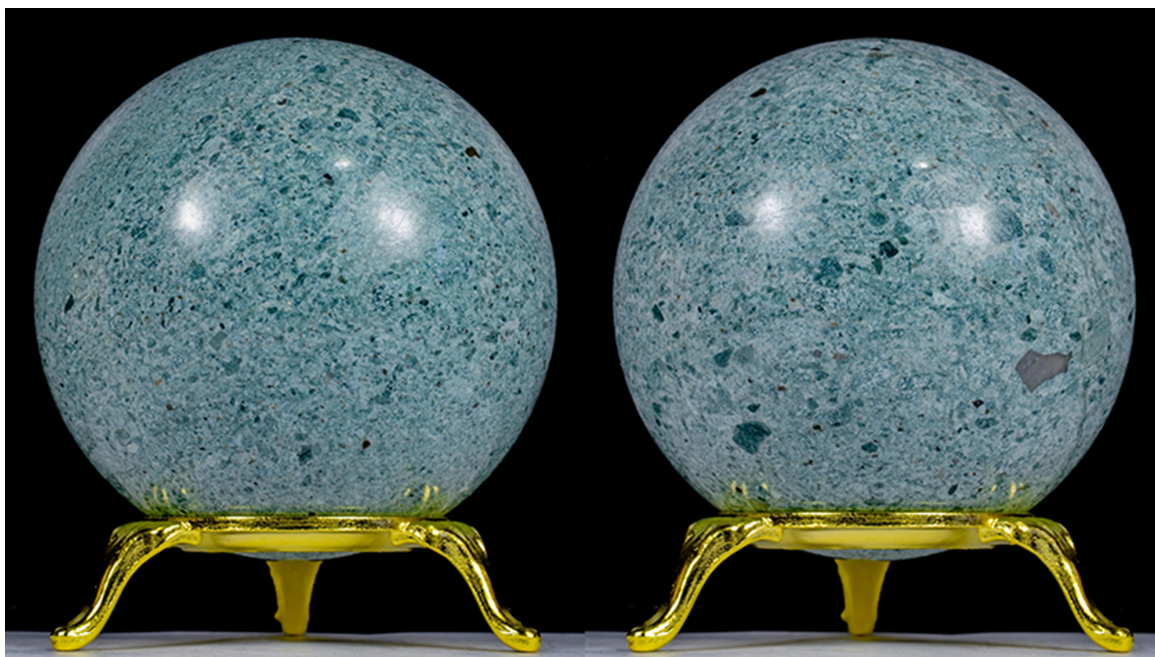


Рис. 10. Трасс с верхнего яруса карьера на северо-восточном склоне горы Святой.
Изготовление: Студия камня «Colored Rocks»

Создание Карадагского природного заповедника в 1979 г. закрыло вопрос не только о возможной добыче трасса, но и о проведении изысканий, подготавливающих эти работы. В 1981–1987 гг. по плану АН УССР на Карадаге проводились палеовулканологические исследования. Развёрнутая информация о залегании горных пород Карадага, в том числе и строении горы Святой, была представлена в монографии «Вулканы Карадага» её авторами [Вулканы Карадага, 1991]. В этой работе кремнекислые породы горы Святой рассматриваются как риолиты и риодациты (слагающие субвулканические тела и отходящие от них лавовые потоки); лавокластиты риодацитов (близкие по составу к лавам, но сформировавшиеся за счёт дробления последних); спёкшиеся туфы и туфы, в различной степени цеолитизированные. При этом авторы монографии полностью поддерживают мнение Е. П. Черепановой, которая в своём отчёте «справедливо отмечает несовершенство широко укоренившегося в литературе термина трасс, которым обозначаются туфы и лавы, обладающие свойствами гидравлических добавок, и не отражает ни геологических, ни петрографических признаков породы» [Вулканы Карадага, 1991, с. 56].

Сводные данные обо всех когда-либо обнаруженных на Карадаге минералах, в том числе на горе Святой, были опубликованы А. И. Тищенко [Тищенко, 2015; Тищенко, Касаткин, 2020].

Трасс являлся предметом совместного изучения геологов и археологов. На поселениях античной эпохи Крымского полуострова неоднократно находили зернотёрки из вулканических горных пород, в том числе из карадагского трасса, что подтвердил их минералого-петрографический анализ. По предположению археологов, именно зернотёрки, изготовленные из трасса, создавали максимальный истирающий эффект при помоле [Гаврилов, 2004]. Это происходило за счёт образования мелкой бугристости на поверхности жерновов из-за особенностей строения трасса — прочно спечённых мелких частиц, имеющих различную твёрдость.

Трасс рассматривался как декоративно-облицовочный камень [Солонинко и др., 1966; Цветные камни Украины, 1974]. Окремнелые разности трасса были отнесены к поделочным камням и описывались как яшмы [Супрычев, Сырьевые..., 1973; Киевленко, Сенкевич, 1983]. В. А. Супрычёв в научно-популярных изданиях называет яшмовидные разности камня с горы Святой трассом-черноморитом [Супрычев, Крымские..., 1973; Супрычев, 1975]. Красивое неофициальное название «черноморит» настолько удачно передаёт текстуру этой горной породы, что широко закрепилось среди геологов и любителей камня. С 2007 года геммологические исследования на Карадаге проводил П. Н. Баранов. Участником его маршрутов и работ по изучению эстетических свойств карадагского трасса и яшм был один из авторов этой статьи Е. А. Шibaев [Цветные камни Крыма, 2016].

С 2019 г. нами осуществляется проект по созданию коллекции карадагского камня, некоторыми изделиями из которой проиллюстрирована эта статья. В соответствии с современной классификацией горных пород и в результате их изучения на горе Святой установлено, что черноморит — это яшмоид, состав риолитовый, происхождение лавовое. Рассматривать эту горную породу как трасс неверно, никакими свойствами гидравлических добавок она не обладает, зато, вне всякого сомнения, является одним из самых красивых природных образований Крыма (рис. 11). При работе карьера на горе Святой и транспортировке породы к побережью Коктебельского залива для дробления этот материал отбрасывался и накапливался рядом с береговой линией [Отчёт о маршрутных..., 1941]. Именно этому обстоятельству мы обязаны тем, что красивые гальки с флюидальным рисунком и невероятным сочетанием разнообразных оттенков зелёного, серого, белого и коричневого цветов можно найти на протяжении десятков километров пляжей к западу и к востоку от Карадага.

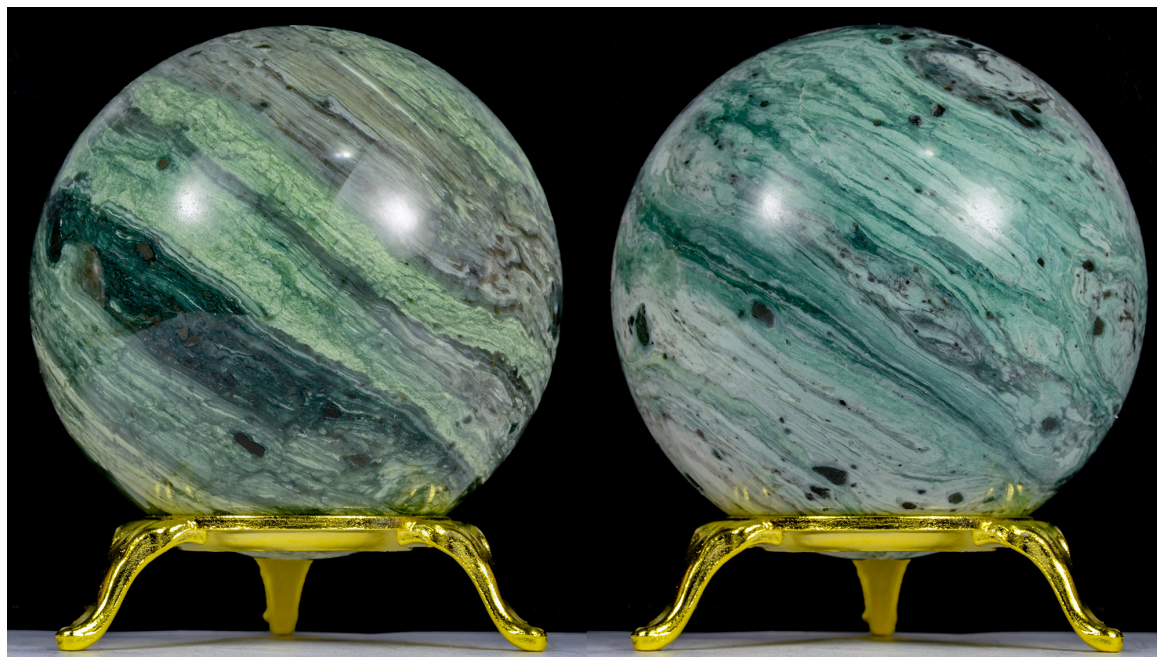


Рис. 11. Яшма черноморит. Изготовление: Студия камня «Colored Rocks»

Выводы

Поиск и разработка промышленных месторождений пуццоланы и трасса в XX веке послужили локомотивом геологического изучения горного массива Карадаг. Однако его природоохранный статус требует других подходов. Накопленные знания о горных породах должны быть использованы для популяризации науки, в экологическом просвещении и познавательном туризме. По нашему мнению, перспективным направлением совершенствования Музея истории и природы Карадага может быть созданная на более высоком уровне экспозиция горных пород, не только знакомящая со строением горного массива, но и раскрывающая художественные образы, созданные в камне природой.

Благодарности. Выражаем благодарность руководству Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского — природного заповедника РАН за предоставленную возможность изучения горных пород на территории Карадагского природного заповедника и поддержке проводимой нами работы.

Список литературы

1. *Абрамов Н. М.* К вопросу об изучении крымской пуццоланы // Известия Станции испытания материалов при Алексеевском Донском политехническом институте в Новочеркасске. – 1913. – Вып. 3. – С. 29–44.
2. *Байков А. А.* Трассы, пуццоланы (вулканические пеплы и туфы) // Химико-технический справочник. Вып. 1. Ископаемое сырье. Ч. 1. Виды сырья / под ред. А. Е. Ферсмана и Д. И. Щербакова при ближайшем участии отд. Комис. по изучению естеств. производ. сил России при Рос. акад. наук. – 2-е изд., испр. и доп. – Петроград : Науч. хим.-техн. изд-во, 1923. – С. 192–195.
3. *Байраков В. В.* Геологические особенности локализации морденитовой минерализации в трассах Святой горы (Карадаг, Крым) // Природные цеолиты / АН СССР, Междувед. литол. комис. ; отв. ред. А. Г. Коссовская. – Москва : Наука, 1980. – С. 140–146.

4. *Богданович К. И.* Литературная справка о распространении в Закавказье и Крыму вулканических пород, заслуживающих исследования на применение их в качестве прибавок к гидравлическим цементам // Известия Геологического комитета. – 1905. – Т. 24. – С. 26–29.
5. Вулканы Карадага / Ю. М. Довгаль [и др.] ; отв. ред. В. В. Науменко. – Киев : Наук. думка, 1991. – 104 с.
6. *Гаврилов А. В.* Об использовании карадагского трасса и других пород камня в античную эпоху // Карадаг : сб. науч. тр., посвящ. 90-летию Карадаг. науч. станции им. Т. И. Вяземского и 25-летию Карадаг. природ. заповедника / НАН Украины, Карадаг. природ. заповедник ; науч. ред.: А. Л. Морозова, В. Ф. Гнубкин. – Симферополь : Сонат, 2004. – Кн. 1 : История, геология, ботаника, зоология. – С. 108–122.
7. *Гинзберг А. С.* Трасс и пуццоланы // Нерудные ископаемые / АН СССР, Комис. по изучению естеств. производит. сил Союза. – Ленинград : Изд-во АН СССР, 1927. – Т. 3. – С. 359–374.
8. *Григорьев П. Н.* Использование карадагских трассов // Минеральное сырьё и его переработка. – 1926. – № 7/8. – С. 601–605.
9. *Григорьев П. Н.* Опыты по получению стекла из карадагских трассов и липарита // Керамика и стекло. – 1927. – № 2. – С. 69–70.
10. *Дружинин С. И.* Русские трассы // Вестник силикатной промышленности. – 1922. – № 3/4. – С. 45–55.
11. *Киевленко Е. Я., Сенкевич Н. Н.* Геология месторождений поделочных камней. – 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Недра, 1983. – 263 с.
12. *Клюкин А. А.* Экзогеодинамика Крыма. – Симферополь : Таврия, 2007. – 320 с.
13. *Круссер В.* Об изысканиях и топографической съемке горы Карадаг в месторождениях вулканических туфов, имеющих свойства пуццоланических веществ // Цемент, его производство и применение. – 1908. – № 1. – С. 2–8.
14. *Лакоза Д.* Карадагские трассы как водоумягчители // Экономика и культура Крыма. – 1935. – № 2. – С. 47–51.
15. *Лебединский В. И.* Пирокластические породы Крыма // Пирокластические породы Украины / АН УССР, Ин-т геохимии и физики минералов ; отв. ред. Л. Г. Ткачук. – Киев : Наук. думка, 1977. – С. 98–120.
16. *Лебединский В. И., Макаров Н. М.* Вулканизм горного Крыма. – Киев : Изд-во АН УССР, 1962. – 208 с.
17. *Левинсон-Лессинг Ф. Ю., Дьяконова-Савельева Е. Н.* Вулканическая группа Карадага в Крыму. – Ленинград : Изд-во АН СССР, 1933. – 151 с.
18. *Лихотворик Л. М.* Путешествие со старой открыткой. Феодосия, Старый Крым, Коктебель, Отузы, Кизилташ, Судак, Карасубазар на рубеже XIX–XX столетий. – Феодосия : Арт-Лайф, 2007. – 172 с.
19. *Малюков Н. П.* Пуццоланы и трассы // Годовой обзор минеральных ресурсов СССР / Геол. ком. ; ред. М. М. Тетяев. – Ленинград : Изд-во Геол. ком., 1928. – [Т.] 2 : За 1926/1927 гг. – С. 792–794.
20. *Марков А. К.* Некоторые новые данные о трассах Карадага в Крыму // Известия Московского геолого-разведочного треста. – 1934. – Т. 2, вып. 3/4. – С. 80–91.
21. *Полякова М. Н.* Природные строительные материалы Крыма // Изучение и освоение минеральных богатств Крыма за годы Советской власти / АН УССР, Ин-т минерал. ресурсов ; редкол.: Ю. Ю. Юрк [и др.]. – Симферополь : [б. и.], 1957. – С. 173–198.
22. Отчёт о маршрутных обследованиях месторождения цветных камней и опытной добычи их на горе Карадаг и её окрестностях / Азово-Черномор. геол. упр., Крым. геол. бюро ; Руманова Д. А. – Симферополь, 1941. – 66 с.

23. *Слудский А. Ф.* Гора Карадаг в Крыму и её геологическое прошлое // Записки Крымского общества естествоиспытателей и любителей природы. – 1912. – Т. 1. – С. 33–43.
24. *Слудский А. Ф.* Карадаг (в Крыму), его естественноисторическое значение, научная и промышленная будущность : докл., прочитан. на годич. общ. собрании О-ва содействия успехам опытных наук и их практ. применений им. Х. С. Леденцова 2 дек. 1912 г. – Москва : Рус. печатня, 1913. – 31 с.
25. *Слудский Е. А.* Карадаг. Воспоминания (1917–1926 гг.). – Симферополь : Сонат, 2004. – 111 с.
26. *Соколов Д. В.* Карадаг в Крыму (геологическое описание) // Материалы Азово-Черноморского геологического управления по геологии и полезным ископаемым. – Ростов-на-Дону : [б. и.], 1948. – Сб. 23. – С. 67.
27. *Соколов Д. В.* О трассах Карадага в Крыму // Труды Государственного экспериментального института силикатов / Науч.-техн. отд. Высш. совета нар. хоз-ва. – Москва : НТО ВСНХ, 1926. – Вып. 22, № 175. – С. 3–18.
28. *Солонинко Н. С., Семенченко Ю. В., Гаврусевич Б. А., Геращенко Л. И.* Декоративно-облицовочные, поделочные и ограночные камни Украинской ССР // Бюллетень научно-технической информации. Сер.: Геология месторождений полезных ископаемых, региональная геология / М-во геологии СССР, Всесоюз. науч.-исслед. ин-т экономики минер. сырья и геологоразведоч. работ. – Москва : ВИЭМС, 1966. – № 1. – С. 28–33.
29. Строительные материалы Крымской области : (минерально-сырьевая база) / сост.: Р. М. Артемова [и др.]. – Киев : Будівельник, 1965. – 200 с.
30. *Супрычев В. А.* Крымские самоцветы. – Симферополь : Таврия, 1973. – 72 с.
31. *Супрычев В. А.* Сказание о камне-самоцвете : Самоцветы Украины. – Киев : Реклама, 1975. – 174 с.
32. *Супрычев В. А.* Сырьевые ресурсы самоцветных и поделочных камней Крыма и пути их практического применения // Драгоценные и цветные камни как полезное ископаемое : [сб. ст.] / АН СССР, Отд-ние геологии, геофизики и геохимии, Науч. совет по рудообразованию ; отв. ред. В. И. Смирнов. – Москва : Наука, 1973. – С. 201–212.
33. *Супрычев В. А.* Цеолитовая природа активных гидравлических свойств крымского трасса // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1976. – № 3. – С. 116–120.
34. *Тищенко А. И.* Минералы Крыма. – Симферополь : Бизнес-Информ, 2015. – 304 с.
35. *Тищенко А. И., Касаткин А. В.* Минералы и минеральные комплексы Крыма : монография. – Симферополь : Бизнес-Информ, 2020. – 468 с.
36. Цветные камни Крыма / П. Н. Баранов [и др.] ; под ред. П. Н. Баранова – Симферополь : Н. Орианда, 2016. – 169 с.
37. Цветные камни Украины / Ю. В. Семенченко [и др.] ; под ред. И. И. Машкары. – Киев : Будівельник, 1974. – 188 с.
38. *Чарномский В. И.* О действии сернокислых почвенных вод на цементные растворы сооружений. – Петроград : [б. и.], 1915. – 39 с. – (Труды Отдела торговых портов ; вып. 45).
39. *Чирвинский П. Н.* Изверженные горные породы, вулканические брекчии и туфы Карадага в Крыму // Известия Алексеевского Донского политехнического института в Новочеркасске. – 1916. – Т. 5, вып. 1. – С. 88–138.
40. *Шитовкин Н. Т., Михайлов А. С., Супрычев В. А.* Юрские морденитовые породы вулканической группы Карадага (Крым) // Доклады АН СССР. – 1975. – Т. 222, № 1. – С. 189–192.
41. *Эвальд В. В.* В Императорском СПБ Обществе архитекторов // Зодчий. – 1913. – № 7. – С. 79–80.
42. *Эвальд В. В.* В Императорском СПБ Обществе архитекторов // Зодчий. – 1915. – № 4. – С. 40–43.

**POZZOLANS AND TRASS OF THE KARADAG.
THE HISTORY OF SEARCH, DEVELOPMENT AND RESEARCH**

Shibaev E. A., Shibaev I. E.

*The Stone Studio «Colored Rocks», Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: colored_rocks@bk.ru*

The history of the search and mining of active mineral additives in the Karadag, which are necessary to obtain hydro-technical concretes are presented in this article based on a large number of primary sources. The main stages of the scientific researches of pozzolans and trass are reviewed, the change in views on the understanding of their formation and composition is shown. The article contains photographs of the described rocks in the form of balls, which maximally are conveyed the texture of stone.

Keywords: Karadag, Holy Mountain, pozzolans, trass, quarry at Holy Mountain, chernomorit.

Сведения об авторах

Шibaев
Евгений
Аркадьевич организатор проекта «Студия камня "Colored Rocks"», evshibaev@mail.ru

Шibaев
Илья
Евгеньевич исполнитель проекта «Студия камня "Colored Rocks"», colored_rocks@bk.ru

*Поступила в редакцию 25.03.2021 г.
Принята к публикации 20.04.2021 г.*

Для заметок

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ имени А.О. КОВАЛЕВСКОГО РАН»
КАРАДАГСКАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ им. Т.И.ВЯЗЕМСКОГО –
ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК РАН**

ТРУДЫ КАРАДАГСКОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО – ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА РАН

Основан в мае 2016 г.

**Основатель журнала –
ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т.И.Вяземского –
природный заповедник РАН»**

Научное издание

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Сер. ПИ № ФС77-76870 от 11 октября 2019 г.**

Утверждено к печати научно-техническим советом Карадагской научной станция им.
Т.И.Вяземского – природного заповедника РАН – филиалом Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии
южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»
(протокол № 4 от 06.08.2021 г.)

Главный редактор: Р. В. Горбунов, канд. геогр. наук
Заместитель главного редактора: В. И. Мальцев, канд. биол. наук
Технические редакторы: Т. Ю. Горбунова, канд. геогр. наук, О. А. Миронюк

Подписано к печати: 06.09.2021 г.

Дата выхода: 15.09.2021 г.

Формат 60x84/8 Усл. печ. л. 10,9 Тираж: 100 экз.

Распространяется бесплатно.

Отпечатано в типографии: ИП Ермолов М. П., ОГРНИП 314920436710081 от 26.12.2014;
ул. Кулакова, д. 59, г. Севастополь, 299011;
тел.: +7 978 70-45-111; e-mail: print-e@yandex.ru

ISSN 2712-9586



9 772712 958009 >