

Органический углерод и гранулометрический состав литоральных донных отложений бухты Ласпи (Черное море)

Н. А. Орехова*, Е. И. Овсяный

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**E-mail: natalia.orekhova@mhi-ras.ru*

Поступила в редакцию 01.11.2019 г.

Цель. Целью работы является оценка содержания органического углерода в донных осадках литоральной зоны в современный период в связи с состоянием макрозообентоса в прибрежных акваториях Севастопольского региона с разным уровнем антропогенной нагрузки (на примере бухты Ласпи).

Методы и результаты. Сбор материалов проводился в сентябре 2017 г. в динамически активной прибрежно-шельфовой зоне (до глубин ~ 20 м) бухты Ласпи. Две пробы взяты при выполнении экспедиционных работ в 103-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (сентябрь 2018 г.). Исследовался геохимический состав донных отложений. Анализировались осадки натуральной влажности в соответствии с требованиями нормативных документов. В алевритовых осадках центральной части бухты Ласпи (ст. 4) содержание органического углерода $C_{\text{орг}}$ закономерно возрастает до 0,46 %, однако не превышает максимальные значения, характерные для литологически сходных осадков южнобережного мелководья (1,14 %). В мористой части бухты, занятой алеврито-пелитовыми илами, содержание $C_{\text{орг}}$ составляет более 2 %. Отсутствие накопления $C_{\text{орг}}$ в пределах исследованных глубин обусловлено, прежде всего, гранулометрическим составом донных отложений, гидродинамическим фактором и морфометрическими особенностями этого берегового участка. Присутствие в донных отложениях алеврито-пелитовой фракции в незначительной доле также не способствует накоплению органического углерода. Таким образом, пространственное распределение органической и неорганической форм углерода определяется особенностями латеральной миграции вещества, обусловленной зависимостью химической и дисперсионной структуры донных отложений от морфодинамических условий среды.

Выводы. Установлено, что литоральные осадки характеризуются невысоким содержанием органического вещества ($C_{\text{орг}} = 0,16 \%$), не превышающим значения геохимического фона поверхностных донных осадков шельфовых зон Черного моря. В настоящее время накопление органического вещества определяется особенностями морфодинамических условий среды (сносом мелкодисперсных фракций в приглубые зоны) и дисперсным составом донных отложений.

Ключевые слова: донные отложения, органический углерод, зообентос, бухта Ласпи, Черное море.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Морского гидрофизического института РАН (тема № 0827-2019-0004 «Прибрежные исследования») и проекта РФФИ № 18-05-80028 «Исследование и оценка роли гидрофизических и биогеохимических процессов в формировании зон дефицита кислорода и сероводородного заражения прибрежных районов Крымского полуострова и Керченского пролива».

Для цитирования: Орехова Н. А., Овсяный Е. И. Органический углерод и гранулометрический состав литоральных донных отложений бухты Ласпи (Черное море) // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 3. С. 287–299. doi:10.22449/0233-7584-2020-3-287-299

Organic Carbon and Particle-Size Distribution in the Littoral Bottom Sediments of the Laspi Bay (the Black Sea)

N. A. Orekhova*, E. I. Ovsyany

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

*e-mail: natalia.orekhova@mhi-ras.ru

Purpose. The work is aimed at estimating the present organic carbon abundance in the bottom sediments of the littoral zone in connection with the state of macrozoobenthos in the Sevastopol region coastal waters with different levels of the anthropogenic load (by the example of the Laspi Bay).

Methods and Results. The samples were taken in the dynamically active coastal-shelf zone (up to the depths ~ 20 m) of the Laspi Bay in September, 2017. Two samples were taken during the 103rd cruise of R/V "Professor Vodyanitsky" (September, 2018). The geochemical composition of bottom sediments was investigated. The bottom sediments of natural humidity were analyzed in accordance with the requirements of the regulatory documents. In the sediments containing the alevrite fraction in the central part of the Laspi Bay (station 4), the organic carbon content (C_{org}) increased its natural course up to 0.46 %, but did not exceed its maximum values characteristic of the similar lithological sediments in the shallow-water part of the Crimea Southern Coast (1.14 %). In the deep part of the bay occupied with the alevrite-pelitic silt, the C_{org} content exceeded 2 %. Absence of the C_{org} accumulation within the depths under study is conditioned primarily by the grain-size composition of the bottom sediments, the hydrodynamic factor and the morphometric features of this coastal site. Presence of a small portion of the alevrite-pelitic fraction in the bottom sediments also does not promote the organic carbon accumulation. Thus, spatial distribution of the carbon organic and inorganic forms is conditioned by the features of the matters' lateral migration, which, in its turn, is governed by dependence of the bottom sediments' chemical and dispersion structure upon the environmental morphodynamic conditions.

Conclusions. The littoral sediments were found to be characterized by a low organic content ($C_{org} = 0.16$ %) not exceeding the geochemical background values of the surface bottom sediments in the Black Sea shelf zones. At present, the organic matter accumulation is determined by the features of the environmental morphodynamic conditions (transition of fine particles to the deep zones) and by the dispersed composition of the bottom sediments.

Keywords: bottom sediment, organic carbon, zoobenthos, the Laspi Bay, the Black Sea.

Acknowledgements: the investigation was carried out within the framework of theme No. 0827-2019-0004 and the RFBR project No. 18-05-80028 Hazardous phenomena "Studies and scaling of water dynamics and biogeochemical processes in development of oxygen deficit and sulfidic conditions in coastal regions of Crimea and Kerch Strait".

For citation: Orekhova, N.A. and Ovsyany, E.I., 2020. Organic Carbon and Particle-Size Distribution in the Littoral Bottom Sediments of the Laspi Bay (the Black Sea). *Physical Oceanography*, [e-journal] 27(3), pp. 266-277. doi:10.22449/1573-160X-2020-3-266-277

Органическое вещество (ОВ) морских донных отложений – важнейший экологический показатель, определяющий трофическую основу развития донных сообществ и условия их обитания. В то же время избыточное поступление и, как результат, накопление органического углерода ($C_{орг}$) негативно влияют как на бентосное сообщество (приводя к сокращению численности

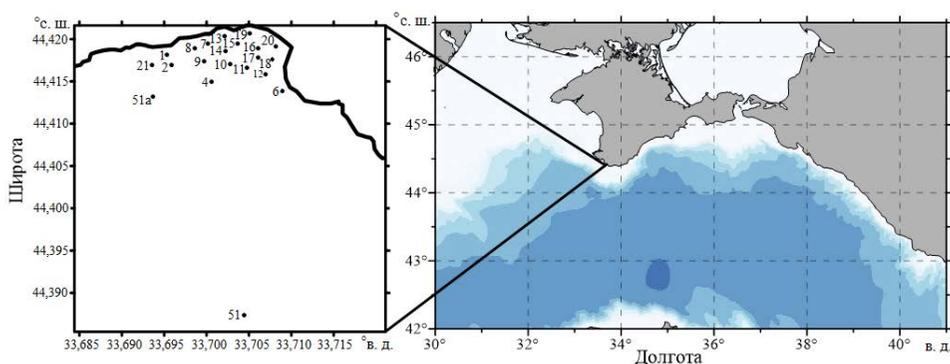
и видового разнообразия), так и на условия среды его обитания. Ранее были рассмотрены влияние накопления ОБ в донных отложениях (ДО) на бентосное сообщество [1, 2] и изменение характеристик морской среды прибрежных акваторий Севастополя при усилении антропогенной нагрузки [3–5].

Бухта Ласпи (Черное море) длительное время рассматривалась как одна из наиболее чистых морских акваторий Севастопольского региона [6]. Однако усиление антропогенной нагрузки, особенно в последнее десятилетие, при отсутствии системного подхода к рациональному использованию и надлежащих мер экологической защиты привело к существенному изменению характеристик экосистемы бухты, в частности донных биоценозов¹. В условиях увеличившегося поступления органических загрязнений в прибрежные экосистемы отмечаются структурные изменения зообентоса рыхлых грунтов б. Ласпи [7].

Основная цель настоящей работы – оценка содержания органического углерода в донных осадках литоральной зоны в современный период в связи с состоянием макрозообентоса в прибрежных акваториях Севастопольского региона с разным уровнем антропогенной нагрузки (на примере б. Ласпи).

Материалы и методы исследования

Сбор материалов проводился в сентябре 2017 г. в динамически активной прибрежно-шельфовой зоне (до глубин ~ 20 м) б. Ласпи при выполнении бентосной съемки отделом экологии бентоса ИнБИОМ им. А. О. Ковалевского РАН. Пробы ДО (слой 0–5 см) отобраны ручным пробоотборником при выполнении легководолазных работ. Две пробы взяты в ходе экспедиционных работ в 103-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (сентябрь 2018 г.). Схема станций отбора проб представлена на рис. 1, сведения о сборе материала и общая характеристика донных осадков залива – в табл. 1. Исследовался геохимический состав ДО. Отбор и подготовка проб донных осадков выполнялись в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01-80, ISO 5667-12:1995 и ISO 5667-19:2001.



Р и с. 1. Схема станций отбора проб донных отложений в б. Ласпи
F i g. 1. Scheme of the bottom sediment sampling stations in the Laspi Bay

¹ *Заскоков Г.* Ласпи, Коктебель и Большая Ялта лидируют по сливу неочищенных канализационных стоков в море // Новый день. 2017. 27 сентября. URL: <https://newdaynews.ru/crimea/615881.html> (дата обращения: 14.05.2020).

Т а б л и ц а 1
T a b l e 1

Общая характеристика поверхностного слоя (0–5 см) донных осадков бухты Ласпи
Overall description of the surface layer (0–5 cm) characteristics of the Laspi Bay
bottom sediments

Номер станции / Station number	Глубина, м / Depth, m	Координаты / Coordinates		Влажность, % / Humidity, %	Характеристика фракционного состава донных осадков / Characteristics of the grain-size composition of bottom sediments
		с. ш. / N	в. д. / E		
1	2	3	4	5	6
1	14,5	44°25'50"	33°41'40"	29,4	песок (91)* темно-серый с алевритом (8) и примесью гравия (1) / dark-grey sand (91)* with alevrite (8) and gravel admixture (1)
2	18,0	44°25'01"	33°41'45"	23,3	песок (52) крупнозернистый с гравием (47) и примесью алеврита (1) / coarse-grained sand (52) with gravel (47) and alevrite admixture (1)
4	28,0	44°24'54"	33°42'02"	52,0	песок (53) с алевритом (46) и примесью гравия (1) / sand (53) with alevrite (46) and gravel admixture (1)
6	13,0	44°24'50"	33°42'32"	6,8	гравий (99) каменный с примесью песка (1) / stone gravel (99) with sand admixture (1)
7	10,0	44°25'12"	33°41'58"	26,1	песок (95) темно-серый мелкозернистый с алевритом (5) / dark-grey fine-grained sand (95) with alevrite (5)
8	13,0	44°25'08"	33°41'55"	31,4	песок (87) темно-серый мелкозернистый с алевритом (12) и примесью ракушечного гравия (1) / dark-grey fine-grained sand (87) with alevrite (12) and shell gravel admixture (1)
9	21,0	44°25'03"	33°41'59"	26,3	песок (57) темно-серый с алевритом (42) и примесью ракушечного гравия (1) / dark-grey sand (57) with alevrite (42) and shell gravel admixture (1)
10	14,0	44°25'01,5"	33°42'10"	27,6	песок (75) темно-серый с алевритом (28) и примесью ракушечного гравия (3) / dark-grey sand (75) with alevrite (28) and shell gravel admixture (3)
11	14,0	44°25'00"	33°42'17"	27,7	песок (75) темно-серый мелкозернистый с алевритом (25) / dark-grey fine-grained sand (75) with alevrite (25)
12	15,0	44°24'57"	33°42'25"	25,1	песок (80) темно-серый мелкозернистый с алевритом (16) и примесью ракушечного гравия (4) / dark-grey fine-grained sand (80) with alevrite (16) and shell gravel admixture (4)

Продолжение табл. 1
Continuation of table 1

1	2	3	4	5	6
13	6,0	44°25'14"	33°42'08"	21,6	песок (98) с примесью гравия (1) и алеврита (1) / sand (98) with gravel (1) and alevrite (1) admixture
14	12,0	44°25'07"	33°42'08"	21,4	песок (98) с примесью гравия (1) и алеврита (1) / sand (98) with gravel (1) and alevrite (1) admixture
15	9,0	44°25'10"	33°42'13"	22,9	песок (98) темно-серый среднезернистый с примесью алеврита (2) / dark-grey medium-grained sand (98) with alevrite admixture (2)
16	8,0	44°25'08"	33°42'21"	22,5	песок (86) темно-серый мелкозернистый с алевритом (13) и примесью гравия (1) / dark-grey fine-grained sand (86) with alevrite (13) and gravel admixture (1)
17	10,0	44°25'04"	33°42'22"	27,4	песок (64) темно-серый мелкозернистый с алевритом (35) и примесью гравия (1) / dark-grey fine-grained sand (64) with alevrite (35) and gravel admixture (1)
18	9,0	44°25'04"	33°42'28"	21,2	песок (84) темно-серый крупнозернистый с гравием (15) и примесью алеврита (1) / dark-grey coarse-grained sand (84) with gravel (15) and alevrite admixture (1)
19	4,0	44°25'15"	33°42'19"	25,0	песок (99) темно-серый среднезернистый с примесью алеврита (1) / dark-grey medium-grained sand (99) with alevrite admixture (1)
20	5,5	44°25'09"	33°42'30"	23,1	песок (92) темно-серый среднезернистый с гравием (7) и примесью алеврита (1) / dark-grey medium-grained sand (92) with gravel (7) and alevrite admixture (1)
21	17,0	44°25'01"	33°41'37"	19,0	гравий (66) с песком (33) и примесью алеврита (1) / gravel (66) with sand (33) and alevrite admixture (1)

* В скобках указано процентное содержание фракции / Percentage of a fraction are given in parenthesis.

Анализировались осадки натуральной влажности в соответствии с требованиями нормативных документов.

Гранулометрический анализ выполнялся стандартным методом по ГОСТ 12536-2014 и ISO 11277:1998 с учетом рекомендаций из работы В. П. Петелина ² и руководства UNEP ³. Отделение алеврито-пелитовой

² Петелин В. П. Гранулометрический анализ морских донных осадков. М. : Наука, 1967. 128 с.

³ Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. UNEP, 199574 p. (Reference methods for marine pollution studies ; No. 63). URL: <http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/1632/63eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

фракции ($\leq 0,063$ мм) выполнялось методом мокрого просеивания. Крупнозернистые фракции ($> 0,063$ мм) разделялись ситовым методом после высушивания. Классификация морских ДО по размерным фракциям представлена по А. П. Лисицыну⁴ с уточнениями и развернутой характеристикой гранулометрического состава применительно к прибрежным осадкам⁵. Название осадка указывается по преобладающей фракции, затем приводятся остальные составные части в порядке убывания с указанием их процентного содержания.

Влажность осадков определяли по ГОСТ Р ИСО 11465-2011, содержание неорганического углерода (карбонатность) – весо-объемным методом после разложения карбонатов осадка соляной кислотой по ISO 10693-2001 с учетом методических рекомендаций руководства UNEP³, концентрацию органического углерода – спектрофотометрическим методом после окисления органического вещества осадка сульфохромной смесью по ГОСТ 26213-91 и ISO 14235-1998.

Для обеспечения оценки достоверности анализов использовали государственный стандартный образец (ГСО) ДО: правильность результатов анализа оценивали по стандартному образцу пелагического осадка ГСО 5371-90 с аттестованным содержанием органического углерода $C_{\text{орг}} = 0,34$ %.

Результаты и их обсуждение

Гранулометрический состав ДО б. Ласпи

Бухта Ласпи расположена в западной части ЮБК и ограничена мысами Сарыч и Айя, она относится к акваториям открытого типа. Глубины у входа в бухту составляют 60 м, в центральной части – 40 м с уменьшением в направлении береговой черты. Берег бухты представляет собой абразионный уступ высотой около 10–12 м, сложенный породами таврической серии. Этот уступ перекрыт сверху четвертичными отложениями, представленными глыбами, валунами, гравием и щебнем верхнеюрских известняков, песчаников и алевролитов [8, с. 152].

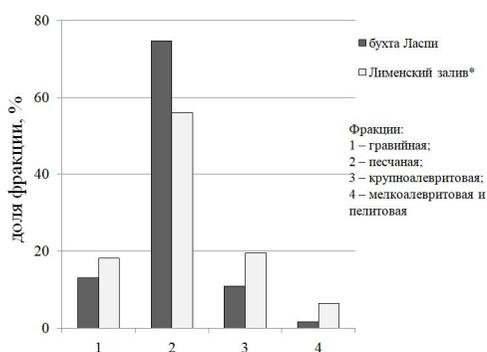
Исследованы образцы ДО прибрежной зоны, ограниченной 20-метровой изобатой: именно на этих глубинах осуществляется основная волновая переработка осадочного материала с последующей его сортировкой на разных расстояниях от береговой линии. Донные осадки исследуемого района представлены преимущественно высококарбонатными псаммитовыми осадками, иногда с включениями каменного и ракушечного гравийного материала. Отобранные пробы псаммитовых осадков характеризуются в основном мелко- и крупнозернистыми фракциями (0,5–0,1 мм) с примесью ракушечной и каменной гальки, в меньшей степени в них присутствует крупноалевритовая фракция (0,1–0,05 мм) и в незначительной – мелкоалевритовый и пелитовый материал (0,01–0,005 мм). Лишь на двух станциях (ст. 6 и 21) наблюдались осадки с преимущественно гравийным (> 10 –2 мм) материалом (табл. 1, рис. 2). Гравийные фракции представлены юрскими известняками и биогенным материалом (ракушечниками). Автохтонными компонентами

⁴ Лисицын А. П. Процессы современного осадкообразования в Беринговом море. М. : Наука, 1966. 574 с.

⁵ Невесский Е. Н. Процессы осадкообразования в прибрежной зоне моря. М. : Наука, 1967. 255 с.

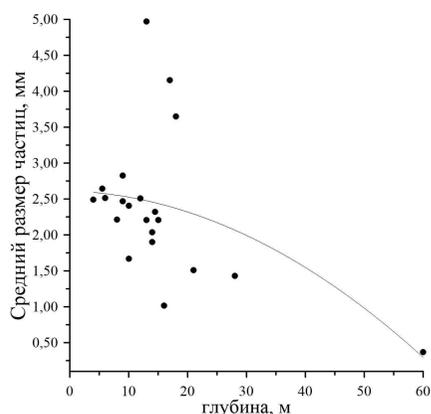
ДО являются продукты биогенной садки, а именно ракушечник и раковинный детрит, образовавшийся в результате волновой переработки [9, с. 65].

Как видно из результатов гранулометрического анализа (табл. 1, рис. 2), основную фракцию ДО составляют темно-серые средне- и мелкозернистые пески, тогда как доля мелкодисперсных фракций (алеврит и пелит) составляет не более 1,5 %. Размеры и форма обломочного материала указывают на его формирование в активной гидродинамической среде. Очевидно, что особенности гидродинамики вод [10] являются основным фактором формирования фракционного состава ДО в бухте. Высокая динамическая активность вод способствует выносу мелкодисперсного материала за пределы 20-метровой изобаты (рис. 3). На основе зональной дифференциации, представленной в работе [11], исследуемый участок дна относится к зоне интенсивного гравиационного сноса (до глубин 300 м).



Р и с. 2. Гранулометрический состав донных осадков б. Ласпи (по данным 2017–2018 гг.) и Лименского залива (по данным 2012 г. [12])

F i g. 2. Grain-size composition of the bottom sediments in the Laspi Bay (according to the data of 2017–2018) and in the Limen Bay (according to the data of 2012 [12])



Р и с. 3. Изменение среднего размера частиц с глубиной станции в донных отложениях б. Ласпи

F i g. 3. Change of a particle average size of the Laspi Bay bottom sediments with the station depth

При сравнении гранулометрической структуры ДО исследуемой акватории и Лименского залива, находящихся в сходных климатических условиях, можно отметить различия фракционного состава (рис. 2) как в характере распределения фракций, так и в их соотношении. Эти различия обусловлены локальными особенностями геолого-геоморфологической обстановки и процессов абразии, гидродинамики и гидробиологии.

Органический углерод и карбонатность ДО

Общее содержание органического углерода в морских донных осадках относится к числу основных характеристик при исследовании геохимических аспектов седиментационных процессов. В прибрежных акваториях, подверженных антропогенному воздействию, содержание $C_{орг}$ в ДО является одним из основных геохимических показателей, которые характеризуют состояние морской экосистемы [9, с. 67].

Результаты выполненных исследований содержания органического и неорганического углерода в б. Ласпи в 2017 г. приведены в табл. 2 и на рис. 4. В табл. 2 представлены также сведения и для других прибрежных акваторий Крыма. Как видно из табл. 1 и 2, содержание $C_{\text{орг}}$ в бухте составляет в среднем для псаммитовых осадков 0,16 % и варьирует в пределах, характерных для геохимического фона поверхностных донных осадков шельфовых зон Черного моря, для песков с ракушей – 0,66 %⁶. В изученных ДО, которые в основном представлены песчаными разностями, обогащенными карбонатами ($\text{CaCO}_3 \geq 80\text{--}90\%$), содержание органического углерода не превышает 0,25 %. Максимальные величины карбонатности в районе м. Сарыч (ст. 21) связаны с волновым накоплением раковинного и каменного гравия. Эти значения сопоставимы с полученными ранее результатами для всей бухты – 0,49 % [6, 14], они одного порядка с показателями карбонатности в других открытых акваториях прибрежного шельфа Крыма (табл. 2).

В алевритовых осадках центральной части б. Ласпи (ст. 4) содержание $C_{\text{орг}}$ закономерно возрастает до 0,46 %, однако не превышает максимальное значение (1,14 %), характерное для литологически сходных осадков южнобережного мелководья (табл. 2). В мористой части бухты, занятой алеврито-пелитовыми илами (рис. 1, ст. 51), содержание $C_{\text{орг}}$ составляет более 2 %. Отсутствие накопления $C_{\text{орг}}$ в пределах исследованных глубин обусловлено, прежде всего, гранулометрическим составом ДО, гидродинамическим фактором [10] и морфометрическими особенностями этого берегового участка (он находится в зоне интенсивного гравитационного сноса мелкодисперсного материала в мористую часть [11]). Присутствие в ДО алеврито-пелитовой фракции в незначительной доле (рис. 2) также не способствует накоплению $C_{\text{орг}}$. Таким образом, пространственное распределение органической и неорганической форм углерода б. Ласпи изменяется с глубиной (рис. 4, 5) и определяется особенностями латеральной миграции вещества, обусловленной зависимостью химической и дисперсионной структуры ДО от морфодинамических условий среды.

Сравнительный анализ предшествующих и полученных результатов указывает, что за последние 20 лет среднее содержание органического углерода в ДО б. Ласпи увеличилось от 0,16 до 0,80 %, но при этом значимых изменений концентрации $C_{\text{орг}}$ не произошло. В настоящее время содержание $C_{\text{орг}}$ в ДО б. Ласпи одного порядка с данными, полученными в работе [6] (табл. 2).

Надо учитывать, что наличие в исследуемом районе зоны разгрузки холодной метановой дегазации [8, 15] не исключает вероятность локальных накоплений органического вещества: вокруг участка выхода газовых струй формируются микрооазисы жизни, в которых в процессе бактериального хемосинтеза с участием метана образуется биогенное органическое вещество. Органическое вещество, синтезируемое метанотрофными микроорганизмами, становится трофической основой для развития сообществ бентосных организмов.

⁶ Митропольский А. Ю., Безбородов А. А., Овсяный Е. И. Геохимия Черного моря. Киев : Наукова думка, 1982. 144 с.

Т а б л и ц а 2
T a b l e 2

Содержание органического вещества (C_{org}), карбонатность ($CaCO_3$) и натуральная влажность (W) в донных осадках некоторых районов крымского шельфа по данным из разных источников
Organic matter (C_{org}), inorganic carbon ($CaCO_3$) and water (W) content in the bottom sediments of some regions of the Crimea shelf (the Black Sea) based on the data from different sources

Район / Region	Число станций / Number of stations	C_{org} , % / C_{org} , %		$CaCO_3$, %		W , %		Источник данных / Data source
		среднее / mean value	диапазон / range	среднее / mean value	диапазон / range	среднее / mean value	диапазон / range	
Бухта Ласпи / the Laspi Bay	20	0,16	0,09–0,46	72,3	33,5–98,0	25	7–52	настоящее исследование / present study
Бухта Ласпи / the Laspi Bay	10	0,80	0,48–1,11	–	–	34	25–48	[3]
Лименский залив / the Limen Bay	12	0,51	0,23–1,08	38,8	20,1–47,7	27	13–55	[6]
Южный берег Крыма / Southern Coast of the Crimea	26	0,50	0,16–1,14	–	2,4–30,1	27	20–30	[9]
Каламитский залив / the Kalamitsky Bay	20	0,37	0,23–0,60	47,6	19,6–97,0	41	25–62	[12]
Керченский пролив / the Kerch Strait	73	1,40	0,12–5,02	23,6	2,4–91,7	71	23–169	[13]

Авторы [8] на основании косвенных данных высказываются о возможном локальном накоплении органического вещества в зонах пузырькового выхода метана в аэробных условиях. Они полагают, что в процессах хемосинтеза метана археями около 30 % газа перерабатывается в биогенное органическое вещество. Однако фактические данные о содержании C_{org} в бактериальных матах бухты отсутствуют, что делает актуальными дополнительные исследования в б. Ласпи. Ранее установлено, что в черноморских литоральных осадках в районе м. Тарханкут при достижении максимальной бактериальной биомассы

в летний период содержание $C_{\text{орг}}$ составляет более 15 % [16], но механизм метанообразования в этом случае отличается от наблюдаемого в Ласпи.

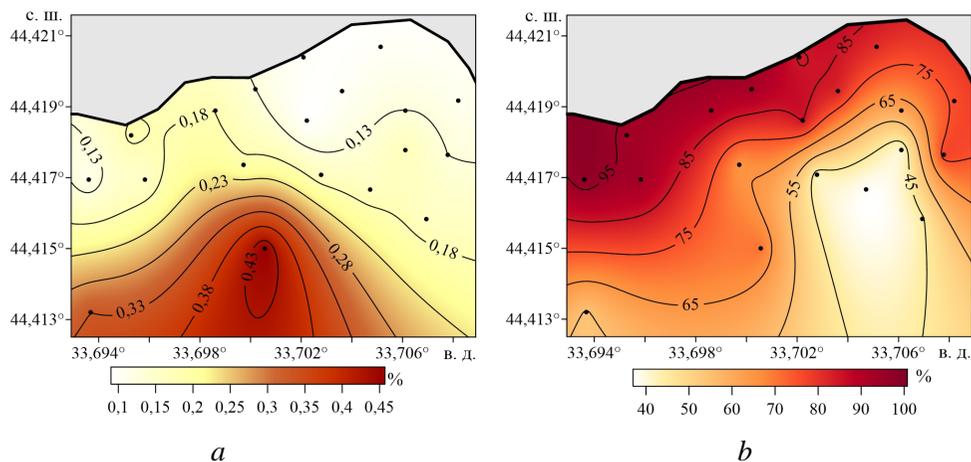


Рис. 4. Распределение органического и неорганического углерода в донных отложениях прибрежной зоны б. Ласпи по результатам исследования 2017 г.: *a* – $C_{\text{орг}}$, %; *b* – CaCO_3 , %

Fig. 4. Spatial distribution of organic and inorganic carbon in the bottom sediments of the Laspis Bay coastal part according to the results of the studies in 2017: *a* – $C_{\text{орг}}$, %; *b* – CaCO_3 , %

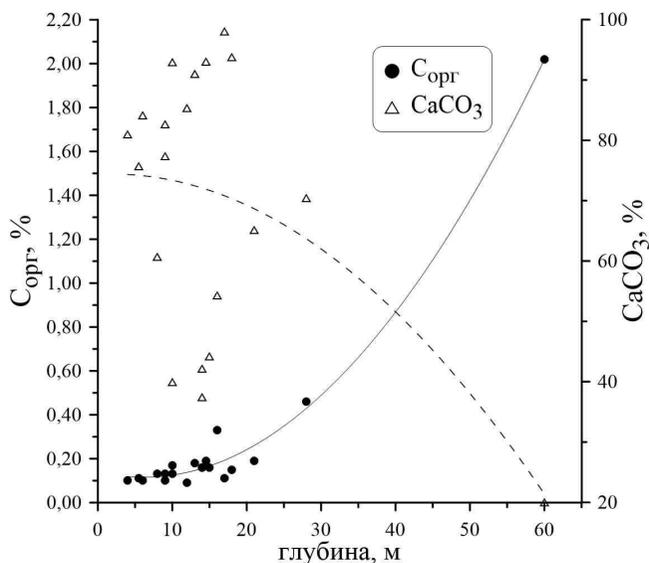


Рис. 5. Изменение содержания углерода с глубиной станции

Fig. 5. Variation of the carbon content with the site depth

В то же время не следует исключать увеличение поступления загрязняющих веществ при усилении антропогенной нагрузки. Побережье б. Ласпи с каждым годом становится все более привлекательным в рекреационном плане, это сопровождается ростом индивидуального жилого строительства

и развитием общественных комплексов отдыха. При этом состояние коммунальной инфраструктуры не обеспечивает в должной мере защиту морской среды от загрязнений⁷. По нашей оценке, в бухту со сточными водами ежегодно поставляется не менее 25 т органических веществ.

Исследуемая акватория используется также в качестве мидийной плантации для выращивания аквакультуры. Стоит отметить весьма заметное экологическое воздействие этой плантации на акваторию, выражающееся в поступлении и накоплении ОВ в ДО в зоне ее расположения. В локальных местах развития марикультуры отмечается изменение состава и структуры популяций ряда видов бентосных беспозвоночных. При этом происходит заиливание и загрязнение ДО. Так, по данным работы⁸, плантация мидий площадью 500 м² с 2500 коллекторами выделяет за год 1,2 т биоотложений. В дальнейшем накопление органического вещества неизбежно как следствие усиления антропогенной нагрузки на исследуемую акваторию при отсутствии системного подхода и природоохранной защиты. Уже выявлены изменения в структуре донных биоценозов, связанные с тенденцией повышения уровня загрязнения морской среды, и жизнедеятельность экосистемы бухты вызывает тревогу [7, 17]. На возможность загрязнения органическим веществом ДО бухты указывает также максимальный уровень численности гетеротрофных и нефтеокисляющих бактерий [18].

Для дальнейшей оценки состояния донных осадков и накопления $C_{орг}$ следует расширить исследуемую площадь бухты (до глубин ≥ 60 м) с охватом всего гранулометрического спектра осадков, в том числе илистых грунтов, так как занятая алеврито-пелитовыми илами мористая часть бухты не исследовалась. В связи с развитием рекреационной зоны в бухте не менее важной задачей является мониторинг поступления ОВ с коммунальными стоками. Следует оценить роль метанотрофии в поставку ОВ в ДО бухты, выполнив анализ углерода в бактериальных матах. Необходима также оценка экологического влияния марикультуры при значительном расширении рыбоводных участков для выращивания мидий и устриц.

Заключение

По результатам исследования установлено, что ДО литорали б. Ласпи, ограниченной 20-метровой изобатой, являются преимущественно высококарбонатными псаммитовыми осадками, иногда с включениями каменного и ракушечного гравийного материала. Пески представлены в основном мелко- и крупнозернистыми фракциями с примесью ракушечной и каменной гальки, в меньшей степени присутствует крупноалевритовая фракция и в незначительной степени – мелкоалевритовый и пелитовый материал.

⁷ Заскоков Г. Ласпи, Коктебель и Большая Ялта лидируют по сливу неочищенных канализационных стоков в море // Новый день. 2017. 27 сентября. URL: <https://newdaynews.ru/crimea/615881.html> (дата обращения: 14.05.2020) ; Писанко Ю. Что оставили после себя? // Слава Севастополя. 2019. 03 октября. URL: <https://slavasev.ru/2019/10/03/что-ostavili-posle-sebya/> (дата обращения: 14.05.2020).

⁸ Биология культивируемых мидий / В. Н. Иванов [и др.]. Киев : Наукова думка, 1989. 99 с.

Основными факторами, оказывающими влияние на накопление органического углерода в ДО прибрежной зоны б. Ласпи, являются гидродинамические и литодинамические процессы, а также антропогенный вклад. Результаты исследования указывают на отсутствие в настоящее время заметного накопления C_{org} в ДО в литоральной зоне бухты (до глубин ~ 20 м), несмотря на наличие источников загрязнения. Наблюдаемый уровень накопления определяется особенностями морфодинамических условий среды (сносом мелкодисперсных фракций в приглубые зоны) и дисперсным составом ДО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петров А. Н.* Реакция прибрежных макробентосных сообществ Черного моря на органическое обогащение донных отложений // *Экология моря*. 2000. Вып. 51. С. 45–51.
2. *Заика В. Е., Коновалов С. К., Сергеева Н. Г.* Локальные и сезонные явления гипоксии на дне Севастопольских бухт и их влияние на макробентос // *Морской экологический журнал*. 2011. Т. 10, № 3. С. 15–25.
3. *Моисеенко О. Г., Орехова Н. А.* Исследование механизма многолетней эволюции цикла углерода в экосистеме Севастопольской бухты // *Морской гидрофизический журнал*. 2011. № 2. С. 72–83.
4. Органическое вещество и гранулометрический состав современных донных отложений Балаклавской бухты (Черное море) / Н. А. Орехова [и др.] // *Морской гидрофизический журнал*. 2018. Т. 34, № 6. С. 523–533. doi:10.22449/0233-7584-2018-6-523-533
5. Влияние физико-химических характеристик донных осадков на распределение микроэлементов на примере бухт Севастополя (Черное море) / А. С. Романов [и др.] // *Экология моря*. 2007. Вып. 73. С. 85–90.
6. *Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Дивавин И. А.* Санитарно-биологические исследования в Черном море. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 115 с.
7. *Ревков Н. К., Николаенко Т. В.* Биоразнообразие зообентоса прибрежной зоны Южного берега Крыма (район бухты Ласпи) // *Биология моря*. 2002. Т. 28, № 3. С. 170–180.
8. *Лысенко В. И., Шик Н. В.* Современные процессы образования карбонатов, связанные с углеводородной дегазацией в бухте Ласпи (Южный берег Крыма) // *Пространство и время*. 2013. № 2(12). С. 151–158.
9. *Овсяный Е. И., Гуров К. И.* Исследование органического углерода и карбонатности в донных осадках шельфа южного побережья Крыма // *Морской гидрофизический журнал*. 2016. № 1. С. 62–72. doi:10.22449/0233-7584-2016-1-62-72
10. *Ациховская Ж. М., Чекменёва Н. И.* Оценка динамической активности вод района бухты Ласпи (Черное море) // *Экология моря*. 2002. Вып. 59. С. 5–8.
11. *Гожик П. Ф., Байсарович И. М.* Геологическая модель Ласпинского каньона Крымского континентального склона // *Доклады АН УССР. Серия Б. Геологические, химические и биологические науки*. 1990. № 7. С. 88–97.
12. Геохимические характеристики донных отложений акватории Каламитского залива Черного моря / К. И. Гуров [и др.] // *Морской гидрофизический журнал*. 2014. № 5. С. 69–80.
13. Органический углерод и карбонатность современных донных отложений Керченского пролива / Е. И. Овсяный [и др.] // *Геохимия*. 2015. № 12. С. 1120–1131. doi:10.7868/S0016752515120079
14. *Кирюхина Л. Н.* Донные осадки филофорного поля Зернова, Каламитского залива, крымского шельфа // *Молисмология Черного моря*. Киев : Наукова думка, 1992. С. 222–230.
15. Микробные процессы и генезис струйных метановых газовыделений прибрежных районов Крымского полуострова / Т. В. Малахова [и др.] // *Микробиология*. 2015. Т. 84, № 6. С. 743–752. doi:10.7868/S0026365615060063

16. Dynamics in coastal biogeochemistry near methane seeps / S. Konovalov [et al.] // Proceedings of the Thirteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Managements and Conservation, MEDCOAST 17, 31 October – 04 November 2017, Mellieha, Malta / Ed. E. Özhan. Dalyan, Mugla, Turkey : MEDCOAST, Mediterranean Coastal Foundation, 2017. Vol. 2. P. 1111–1119.
17. Мильчакова Н. А., Миронова Н. В., Рябогина В. Г. Морские растительные ресурсы / Ред. В. Н. Еремеев [и др.] // Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. Гл. 4. С. 117–139.
18. Дорошенко Ю. В., Бурдиян Н. В. Микробиологическая характеристика донных отложений крымского шельфа // Морские биологические исследования: достижения и перспективы / Под общ. ред. А. В. Гаевской. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 3. С. 81–83.

Информация об авторах:

Орехова Наталья Александровна, ведущий научный сотрудник, зав. отделом биогеохимии моря, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0002-1387-970X**; **ResearcherID: I-1755-2017**; **Scopus Author ID: 35784884700**; natalia.orekhova@mhi-ras.ru.

Овсяный Евгений Иванович, научный сотрудник, отдел биогеохимии моря, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ORCID ID: 0000-0002-6093-5102**; **Scopus Author ID: 6506585957**