

## Углеводороды в поверхностном слое донных отложений Балаклавской бухты (Черное море)

О. В. Соловьёва<sup>1</sup>, Е. А. Тихонова<sup>1\*</sup>,  
Е. А. Котельянец<sup>2</sup>, К. И. Гуков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН ФИЦ Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН,  
Севастополь, Россия

<sup>2</sup> Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

\* e-mail: tihonova@mail.ru

### Аннотация

Цель работы – определение содержания и пространственного распределения углеводородов в поверхностном (0–5 см) слое донных отложений б. Балаклавской, а также оценка вероятных источников поступления углеводородов в эту акваторию. Количественное определение суммарного содержания углеводородов проводили путем калибровки пламенно-ионизационного детектора смесью углеводородов (C<sub>12</sub>–C<sub>40</sub>) (в диапазоне 0.1–5.0 мг/л), которую готовили гравиметрическим методом. В качестве экстрагента использовали н-гексан. Измерение проводили на газовом хроматографе «Кристалл 5000.2». Суммарное количество углеводородов в донных отложениях б. Балаклавской достигало 2385 мг/кг при среднем 880 мг/кг, а н-алканов – 154 мг/кг при среднем 61 мг/кг. Максимальные концентрации углеводородов отмечены в центральной части бухты, а минимальные – в ее мористой части. В донных отложениях б. Балаклавской идентифицированы н-алканы в диапазоне C<sub>13</sub>–C<sub>35</sub>. Общее содержание углеводородов в донных отложениях б. Балаклавской соответствовало уровням, отмеченным на загрязненных участках прибрежных районов Мирового океана. Наличие бимодальности на хроматограммах распределения н-алканов, по-видимому, указывает на смешанное происхождение углеводородов. Рассчитанные маркеры свидетельствуют о преимущественно терригенном происхождении нормальных алканов в донных отложениях акватории ( $TAR$ ,  $Alkterr$ ,  $\sum C_{25-35}/\sum C_{15-21(неч.)}$ ), а также о присутствии хронического нефтяного загрязнения ( $CPI_2$ ,  $UCM/R$ ). Состав углеводородов донных осадков для мористого участка б. Балаклавской отличался от зафиксированного во внутренних частях акватории. Рассчитанные для этого района диагностические индексы, позволяющие дифференцировать нефтяные и биогенные углеводороды, указывают на преобладающее присутствие природных углеводородов.

**Ключевые слова:** углеводороды, н-алканы, донные отложения, диагностические индексы, бухта Балаклавская, Черное море

© Соловьёва О. В., Тихонова Е. А., Котельянец Е. А., Гуков К. И., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственных заданий: ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8); ФГБУН ФИЦ МГИ «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (№ 0555-2021-0005 шифр «Прибрежные исследования»).

**Для цитирования:** Углеводороды в поверхностном слое донных отложений Балаклавской бухты (Черное море) / О. В. Соловьева [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 2. С. 101–117. doi:10.22449/2413-5577-2022-2-101-117

## Hydrocarbons in the Surface Layer of Bottom Sediments of Balaklava Bay (Black Sea)

O. V. Soloveva<sup>1</sup>, E. A. Tikhonova<sup>1\*</sup>, E. A. Kotelyanets<sup>2</sup>, K. I. Gurov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

<sup>2</sup> Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

\* e-mail: tihonoval@mail.ru

### Abstract

The purpose of this work is to determine the content and spatial distribution of hydrocarbons in the upper (0–5 cm) layer of bottom sediments of Balaklava Bay and to assess probable sources of hydrocarbons in this water area. The quantitative determination of the total content of hydrocarbons was carried out by calibration of the flame ionization detector with a mixture of hydrocarbons (C<sub>12</sub>–C<sub>40</sub>), which had been prepared by the gravimetric method, with the content ranging 0.1–5.0 mg/L. N-hexane was used as an extractant. The measurements were carried out using *Kristall 5000.2* gas chromatograph. The total amount of hydrocarbons in the bottom sediments of Balaklava Bay reached 2385 mg/kg, with an average of 880 mg/kg, and that of n-alkanes – 154 mg/kg, with an average of 61 mg/kg. The maximum concentrations of hydrocarbons are noted in the central part of the bay and the minimum ones – in its seaward part. In the sea bottom sediments of Balaklava Bay n-alkanes were identified in the range of C<sub>13</sub>–C<sub>35</sub>. The total content of hydrocarbons in the sea bottom sediments of Balaklava Bay corresponded to the levels noted in the polluted zones of coastal areas of the World Ocean. The presence of bimodality in the n-alkanes distribution chromatograms apparently indicates the mixed origin of hydrocarbons. The calculated markers indicate that normal alkanes in the sea bottom sediments of the water area are of predominantly terrigenous origin (TAR, Alkterr,  $\sum C_{25-35}/\sum C_{15-21(odd)}$ ) and also signify chronic petroleum contamination (CPI<sub>2</sub>, UCM/R). The hydrocarbon composition of sea bottom sediments in the seaward area of Balaklava Bay differed from that recorded in the inner parts of the water area. Calculated for this area, diagnostic indices, which allow differentiation of oil and biogenic hydrocarbons, indicate predomination of natural hydrocarbons.

**Key words:** hydrocarbons, n-alkanes, sea bottom sediments, diagnostic indices, Balaklava Bay, Black Sea

**Acknowledgments:** the work was carried out under state assignments: IBSS “Molismological and biogeochemical foundations of the marine ecosystems homeostasis” (no. 121031500515-8); Marine Hydrophysical Institute of RAS on topic no. 0555-2021-0005 “Complex interdisciplinary research of oceanologic processes, which determine

functioning and evolution of the Black and Azov Sea coastal ecosystems” (code “Coastal studies”).

**For citation:** Soloveva, O.V., Tikhonova, E.A., Kotelyanets, E.A. and Gurov, K.I., 2022. Hydrocarbons in the Surface Layer of Bottom Sediments of Balaklava Bay (Black Sea). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 101–117. doi:10.22449/2413-5577-2022-2-101-117

## Введение

В настоящее время усилился интерес к экологическим проблемам б. Балаклавской. В течение последних лет нагрузка на акваторию увеличилась за счет активной эксплуатации малого флота. Известно, что ареалы поступления основной части антропогенных углеводородов (УВ) ограничены прибрежными районами, устьями рек и припортовыми акваториями [1, 2]. Балаклавская бухта имеет все перечисленные особенности: ее побережье интенсивно эксплуатируется, в воды бухты впадает р. Балаклавка, а причальные стенки водоема интенсивно используются в качестве стоянки яхт и маломерных судов [3, 4]. Ухудшает положение и отсутствие систем централизованной канализации в набережных кафе, из которых неочищенные стоки попадают непосредственно в водную среду.

Высокие концентрации УВ негативно влияют на процессы жизнедеятельности гидробионтов [5, 6]. Поэтому многие исследователи проводили анализы содержания общего количества органических веществ в донных отложениях [1, 3, 4, 6]. С помощью данного показателя можно оценить уровень органического загрязнения акватории, но не идентифицировать природу данных веществ.

Генезис органических веществ, в том числе УВ, в донных отложениях можно определить, зная молекулярный состав нормальных алканов (n-алканов), который является одним из возможных маркеров происхождения органического вещества [7]. Природными источниками поступления УВ, в том числе n-алканов, в морские грунты являются растительные и в меньшей степени животные остатки [8]. К антропогенным источникам УВ в донных отложениях относятся органические поллютанты, среди которых наиболее распространены нефть и нефтепродукты [9, 10].

Целью настоящей работы является определение содержания и пространственного распределения УВ в современных донных отложениях б. Балаклавской, а также оценка вероятных источников поступления УВ в эту акваторию. Идентификация этих источников осуществлялась на основании данных об индивидуальном составе n-алканов и диагностических индексов.

Для идентификации генезиса УВ используют различные маркеры. С целью дифференциации аллохтонного и автохтонного происхождения УВ нередко используют соотношение терригенных и автохтонных соединений (*terrigenous/aquatic ratio*, *TAR*), индекс терригенности *Alkterr* (*percentage of terrestrial alkanes*),  $\sum C_{25-35} / \sum C_{15-21}$  (неч.), среднюю длину углеводородной цепи (*average chain length*, *ACL*), соотношение низкомолекулярных и высокомолекулярных гомологов (*low molecular weight to high molecular weight*, *LWH/HWH*) [11–16]. Отдельные биомаркеры позволяют уточнить биогенную составляющую соединений, в частности оценить вклад травянистой и древесной растительности в формирование аллохтонной составляющей

поступающих в донные отложения УВ – это, например, соотношения  $C_{31}/C_{29}$ ,  $ACL$  [14, 17, 18]. Для дифференциации нефтяного и биогенного происхождения обнаруженных УВ используются такие соотношения, как индекс нечетности (*Carbon Preference Index, CPI*), в частности  $CPI_2$ , рассчитанный для высокомолекулярной части спектра, отношение величины неразложимого фона к алифатической фракции УВ (*Unresolved complex mixture, UCM/R*),  $ACL$ ,  $LWH/HWH$  [11, 14, 19–21].

### Материал и методы

Материалом для исследования послужили пробы донных отложений верхнего слоя (0–5 см), отобранные водолазом трубками из оргстекла, герметично закрываемыми сверху и снизу, в зимний период 2019 г. на различных участках прибрежной акватории б. Балаклавской (рис. 1). Станции отбора выбирали в соответствии с особенностями морфометрии бухты, гидролого-гидрохимической структурой вод, предположительными источниками загрязнения и характером процесса седиментации. При этом учитывали наличие речного стока и зоны концентрирования загрязняющих веществ в центральной части бухты [2, 3, 22].

Пробоподготовка производилась в соответствии с методикой<sup>1)</sup>. Навеску пробы (5–7 г) помещали в коническую колбу, добавляли 20 см<sup>3</sup> н-гексана

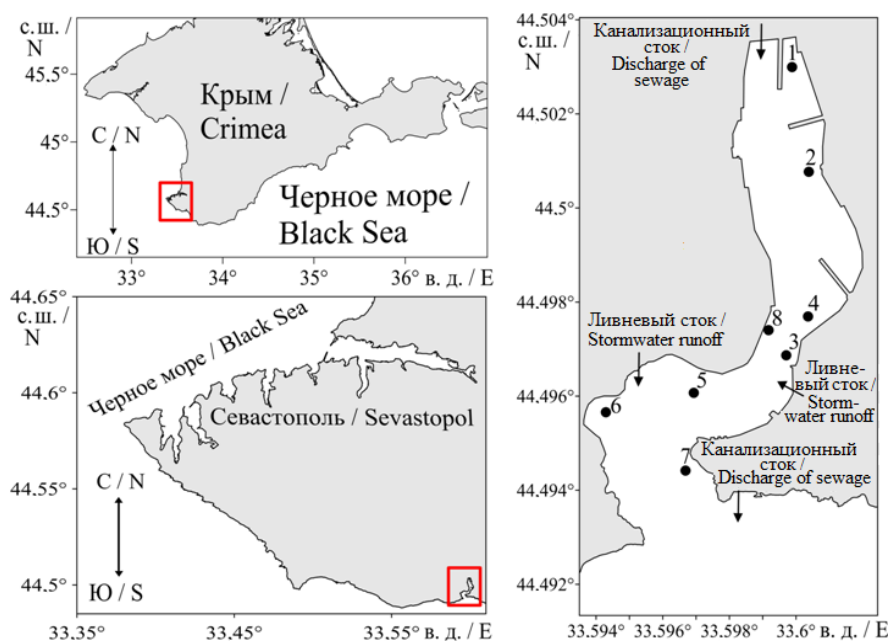


Рис. 1. Схема расположения станций пробоотбора донных отложений для анализа углеводородов в б. Балаклавской, 2019 г.

Fig. 1. Map of stations for samplings sea bottom sediments of hydrocarbons analyses in Balaklava Bay, 2019

<sup>1)</sup> Другов Ю. С., Родин А. А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов : практическое руководство. М. : Лаборатория знаний, 2020. 273 с.

и встряхивали 30 мин. Экстракту давали отстояться (10 мин), после чего переносили в чистую коническую колбу. Аналогичную экстракцию проводили еще два раза и получали 60–70 см<sup>3</sup> экстракта. Полученный экстракт пропускали через стеклянную колонку (15 × 1 см) с оттянутым нижним концом, заполненную оксидом алюминия, для отделения полярных соединений и концентрировали до объема 1 см<sup>3</sup>.

Аликвотную часть сконцентрированного экстракта (1 мкл) вводили микрошприцем в нагретый до 250 °С испаритель газового хроматографа «Кристалл 5000.2» с пламенно-ионизационным детектором (ПИД). Разделение углеводородов осуществляли на капиллярной колонке НТ8 25 м × 0.32 мм с толщиной неподвижной фазы 0.25 мкм (*SGE Analytical Science*). Температура колонки программировалась от 40 до 330 °С (скорость подъема температуры 10 °С/мин). Поток газа-носителя (гелий) в колонке – 2.5 мл/мин без деления потока. Температура детектора 320 °С<sup>1)</sup>.

Количественное определение суммарного содержания УВ проводили путем калибровки ПИД смесью УВ (C<sub>12</sub>–C<sub>40</sub>), которую готовили гравиметрическим методом, с содержанием УВ в диапазоне 0.1–5.0 мг/л. Ошибка хроматографического метода составляет 4 %<sup>1)</sup>.

Для обработки результатов и определения содержания индивидуальных n-алканов использовали программное обеспечение «Хроматэк Аналитик 3.0», метод абсолютной калибровки и процентной нормализации<sup>2)</sup>. Чувствительность пламенно-ионизационных детекторов пропорциональна числу атомов углерода в молекуле<sup>2)</sup>. Особенно четко эта пропорциональность наблюдается в ряду УВ. Поправочные массовые коэффициенты чувствительности  $F_i$  для площадей пиков компонентов пробы вычисляли в соответствии с ГОСТ 33012-2014 (*ISO 7941:1988*) по формуле

$$F_i = \frac{(12.01 \cdot n_{C_i} + 1.008 \cdot n_{H_i}) \cdot 0.851}{12.01 \cdot n_{C_i}},$$

где  $n_{C_i}$  – число атомов углерода в  $i$ -м компоненте;  $n_{H_i}$  – число атомов водорода в  $i$ -м компоненте; 0.851 – массовая доля углерода в генейкозане, используемая для получения равенства  $F_i = 1$  для генейкозана.

Определение УВ проводили на базе научно-образовательного центра коллективного пользования «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ.

Для определения вероятного генезиса n-алканов были использованы следующие соотношения (маркеры):

- $\sum C_{25-35} / \sum C_{15-21} (\text{неч.})$  [13];
- $TAR = \sum C_{27+29+31} / \sum C_{15+17+19}$  [11];
- $UCM/R$  [20, 21];
- $C_{31}/C_{29}$  [17, 18];
- $LWH/HWH = \sum (C_{13}-C_{21}) / \sum (C_{22}-C_{37})$  [15, 16];
- $Alkterr = (C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33}) / \sum C_{14-38}$  [12];
- $ACL = (27 \cdot C_{27} + 29 \cdot C_{29} + 31 \cdot C_{31} + 33 \cdot C_{33} + 35 \cdot C_{35} + 37 \cdot C_{37}) / (C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33} + C_{35} + C_{37})$  [12];

<sup>2)</sup> Экспериментальные методы химической кинетики. Учебное пособие для студентов вузов / Под. ред. Н. М. Эммануэля, Г. Б. Сергеева. М.: Высшая школа, 1980. 375 с.

$$- CPI_1 = (1/2)\{(C_{15}+C_{17}+C_{19}+C_{21})/(C_{14}+C_{16}+C_{18}+C_{20})+(C_{15}+C_{17}+C_{19}+C_{21})/(C_{16}+C_{18}+C_{20}+C_{22})\} [19];$$

$$- CPI_2 = (1/2)\{(C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33}+C_{35})/(C_{24}+C_{26}+C_{28}+C_{30}+C_{32}+C_{34})+(C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33}+C_{35})/(C_{26}+C_{28}+C_{30}+C_{32}+C_{34}+C_{36})\} [19].$$

### Результаты и обсуждение

Гранулометрический состав донных отложений б. Балаклавской неоднороден [4]. Донные осадки представлены серыми илами, в основном с примесью песка. Доля ила больше в кутовой части бухты, тогда как на выходе из нее морские грунты представлены песком с примесью ракушки, что отражается на накопительной способности осадков. Количество УВ, включающих в себя алифатическую фракцию и хроматографически неразделимый фон, в донных отложениях б. Балаклавской варьировало от 21 до 2385 мг/кг и соответствовало характеру морских грунтов. Распределены они по акватории неравномерно (рис. 2). Высокие уровни загрязнения отмечены в донных отложениях на ст. 2–4, находящихся у восточного берега центральной части бухты. Зона их концентрирования, как и других загрязнителей [2], приходилась на центральную часть бухты. Данный факт, как указано в литературе [22], связан не только с гидродинамическими особенностями акватории, но и с характером морских грунтов. Полученные значения содержания УВ на большинстве станций соизмеримы с данными, характерными для донных отложений прибрежной акватории Черного моря [23]. В частности, подобные показатели зафиксированы в донных осадках б. Геленджикской (11–252 мг/кг), Феодосийского залива (17–80 мг/кг)

и прибрежной акватории Большого Сочи (5–119 мг/кг) [24]. Максимальные значения, отмеченные на ст. 4, соответствуют наиболее загрязненным участкам отдельных прибрежных акваторий, например г. Сфакс, Тунис (до 1729 мг/кг), и г. Баку, Азербайджан (до 1820 мг/кг) [25, 26].

Концентрация УВ в морских донных отложениях российскими нормативными документами не регламентируется, поэтому исследователи (в том числе сотрудники Росгидромета) нередко используют зарубежные нормы, изложенные в так называемых голландских листах<sup>3)</sup>. При сопоставлении

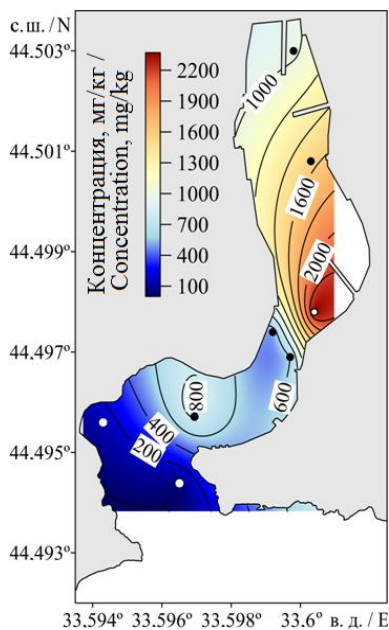


Рис. 2. Пространственное распределение углеводородов в донных отложениях б. Балаклавской (2019 г.)

Fig. 2. Spatial distribution of hydrocarbons in Balaklava Bay bottom sediments (2019)

<sup>3)</sup> URL: [esdat.net/Environmental%20Standards/Dutch/annexS\\_I2000Dutch%20Environmental%20Standards.pdf](https://esdat.net/Environmental%20Standards/Dutch/annexS_I2000Dutch%20Environmental%20Standards.pdf) (дата обращения: 3.06.2022).

отложений б. Балаклавской содержание УВ с данными нормами в 87.5 % проб донных превышало допустимый уровень (50 мг/кг). В настоящее время существуют и другие отечественные классификации загрязненности донных отложений УВ. Так, по классификации В. И. Уваровой [27], донные осадки могут быть разделены:

- на чистые –  $0 \div 5.5$ ;
- слабо загрязненные –  $5.6 \div 25.5$ ;
- умеренно загрязненные –  $25.6 \div 55.5$ ;
- загрязненные –  $55.6 \div 205.5$ ;
- грязные –  $205.6 \div 500.0$ ;
- очень грязные – свыше 500.0 мг/кг.

Согласно данной классификации, донные отложения б. Балаклавской относятся к слабо загрязненным – 12.5 %, загрязненным – 12.5 % и к очень грязным – 75 %. Как отмечают И. А. Кузнецова и А. Н. Дзюбан [28], бактериальные сообщества четко выявляют «концентрационную границу» (40–60 мг/кг) нефтяного загрязнения донных отложений, ниже которой микробиальные ценозы вода – грунт еще справляются с поступающими в донные осадки углеводородами и стабилизируют ситуацию. Согласно этим данным, в 87.5 % исследованных проб донных отложений зафиксировано превышение «концентрационной границы» нефтяного загрязнения (загрязненные и очень грязные по классификации В. И. Уваровой). Все указанные подходы к оценке уровня углеводородного загрязнения донных отложений носят относительный характер и не позволяют идентифицировать природу УВ. Наиболее информативными в области идентификации происхождения n-алканов являются различные молекулярные соотношения, указывающие на преимущественные пути поступления УВ в окружающую среду.

В донных отложениях б. Балаклавской идентифицированы n-алканы в диапазоне  $C_{13}$ – $C_{35}$ . Содержание  $C_{13}$  в шести пробах было ниже предела определения.  $C_{14}$  не фиксировался в одной пробе. Алканы длиной цепочки  $C_{34}$  и  $C_{35}$  не идентифицированы в двух и одной пробах соответственно (см. таблицу). Остальные соединения были представлены повсеместно. Типичные хроматограммы УВ донных отложений бухты приведены на рис. 3.

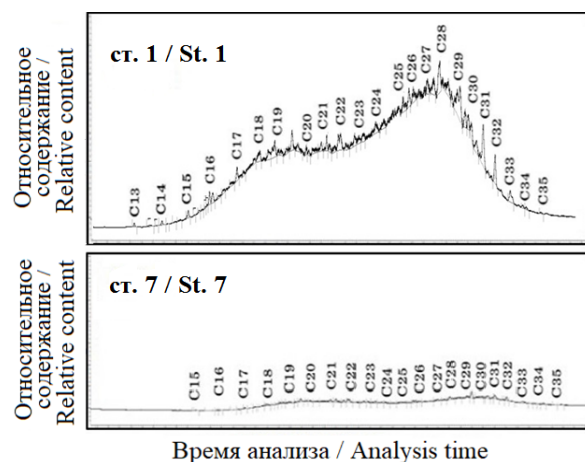


Рис. 3. Характерные хроматограммы n-алканов, выделенных из донных отложений б. Балаклавской

Fig. 3. Typical chromatograms of n-alkanes from sea bottoms sediments of Balaklava Bay

Содержание и диагностические индексы n-алканов донных отложений б. Балаклавской  
 Concentration and diagnostic indexes of n-alkanes in Balaklava Bay bottom sediments

№ ст. / Station number	D	K	$\frac{\sum C_{25-35}}{\sum C_{15-21}}$	TAR	$\frac{LWH/H}{WH}$	Alkterr	C <sub>31</sub> /C <sub>29</sub>	ACL	CPI <sub>1</sub>	CPI <sub>2</sub>	UCM/R
1	13-35	59	2.70	2.42	0.27	0.36	6.27	29.55	0.70	1.06	6.13
2	14-33	82	1.52	1.71	0.40	0.25	4.83	29.05	0.55	0.81	7.41
3	13-35	53	1.58	4.91	0.32	0.39	0.65	29.64	1.03	2.39	4.12
4	14-35	154	2.74	3.05	0.24	0.42	5.93	29.96	0.74	1.04	6.45
5	14-34	94	2.47	4.36	0.29	0.38	0.48	29.24	0.40	1.04	4.20
6	15-35	1	2.03	3.10	0.26	0.08	1.11	28.85	1.30	1.23	4.00
7	13-35	8	0.77	1.06	0.64	0.17	0.53	29.10	1.08	1.49	0.67
8	13-35	34	1.18	1.74	0.67	0.20	1.80	29.83	0.97	0.89	5.39

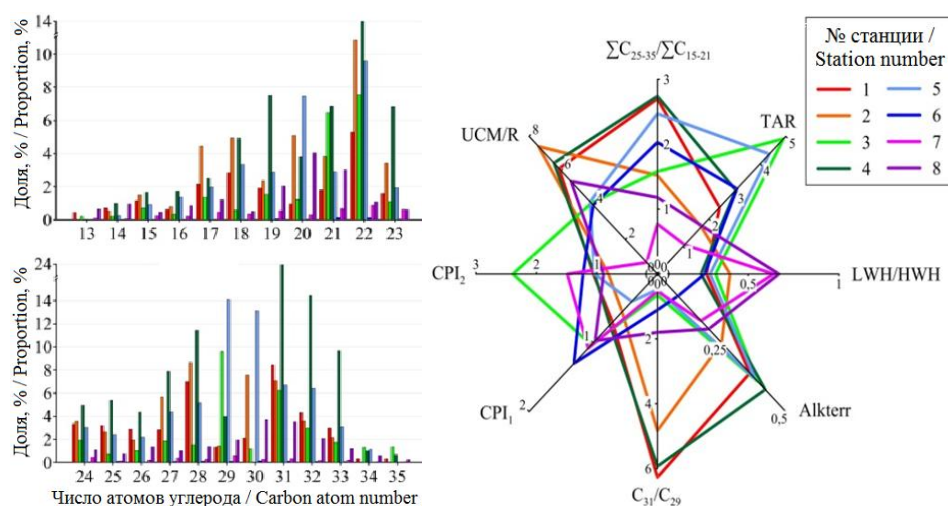
Примечание: D – диапазон идентифицированных n-алканов; K – концентрация идентифицированных n-алканов, мг/кг.  
 Note: D – range of identified n-alkanes; K – concentration of identified n-alkanes, mg/kg.



Содержание суммы идентифицированных n-алканов в акватории бухты колебалось от 1 до 154 мг/кг (см. таблицу). Подобно общему содержанию УВ, максимальные концентрации были зафиксированы в центральной части бухты.

Распределение n-алканов на хроматограммах имело бимодальный характер. На всех станциях первый пик приходился на соединения в диапазоне  $C_{20}$ – $C_{22}$ , а второй – преимущественно на  $C_{28}$ – $C_{31}$  (рис. 4). В частности, на ст. 3, 6–8 отмечена высокая доля  $C_{21}$ . На ст. 5 и 8 отмечено преобладание  $C_{20}$ . Гомолог  $C_{22}$  имел высокую концентрацию на всех станциях исследования (за исключением ст. 8). Вместе со значениями индексов *CPI* (таблица), которые в большинстве случаев близки к 1, это говорит о накоплении в донных отложениях продуктов биосинтеза фитопланктонных организмов и микробной деструкции УВ [1, 29]. В высокомолекулярной части спектра максимальные концентрации приходились на гомологи в диапазоне  $C_{28}$ – $C_{32}$ . Нечетные соединения в данной области спектра имеют преимущественно терригенное происхождение [18].

Источник четных n-алканов  $C_{28}$ ,  $C_{30}$ ,  $C_{32}$  – сапропелевое вещество, которое формируется на основе органической массы фито- и зообентоса, планктона, низших растений и является автохтонным для морских экосистем [30]. Согласно имеющимся данным, хроматограммы, характерные для донных отложений различного генезиса, демонстрируют три типа распределения: бимодальное распределение, преобладание высокомолекулярных фракций и преобладание низкомолекулярных алканов с малой молекулярной массой [12, 31]. Бимодальность распределения обычно связывают с поступлением осадочного вещества как с суши, так и из водной толщи. В результате анализ пиков на хроматограммах донных отложений б. Балаклавской говорит об одновременном поступлении аллохтонных, автохтонных соединений и их бактериальной деструкции.



Р и с . 4 . Распределение n-алканов и основных маркеров в донных отложениях б. Балаклавской

F i g . 4 . Distribution of n-alkanes and main markers in the sea bottom sediments of Balaklava Bay

Сумма *n*-алканов  $C_{15}-C_{21}$  ( $\sum C_{15-21}$ ) дает представление об автохтонных соединениях [15]. Сумма нечетных гомологов  $C_{25}-C_{35}$  ( $\sum C_{25-35}$ ) представляет собой преимущественно терригенные алканы [16]. Соотношение этих групп позволяет идентифицировать происхождение органического вещества более достоверно и при этом исключить влияние таких факторов, как гранулометрический состав донных отложений и скорость осадконакопления [13]. Высокое (более единицы) соотношение ( $\sum C_{25-35}/\sum C_{15-21}$ ) характеризует сильное влияние терригенного вещества. В нашем случае значения данного индекса варьировали в диапазоне 0.77–2.74 (см. таблицу). Минимальный показатель был отмечен на ст. 7. На ст. 8 этот параметр незначительно превышал 1 (1.18). Среднее значение составляло 1.87. Высокие соотношения указанных групп *n*-алканов свидетельствуют о поступлении УВ с суши в существенном объеме.

Еще одним параметром, широко используемым для идентификации источника поступления УВ, является соотношение отдельных соединений с нечетным числом атомов – *TAR*. Оно также позволяет оценить соотношение аллохтонных и автохтонных алканов. Данный показатель варьировал от 1.06 до 4.36 (см. таблицу), составляя в среднем 2.79. В целом данный коэффициент характеризует преобладание аллохтонного вещества, поступающего с суши.

Компоненты  $\sum C_{21}$  отражают автохтонные вещества [15], а  $\sum C_{22+}$  – терригенное поступление [16]. Соотношение  $\sum C_{21}/\sum C_{22+}$  (*LWH/HWH*) часто используется для оценки преимущественного пути поступления органических веществ. Указанное соотношение на станциях пробоотбора находилось в диапазоне 0.24–0.67 (см. таблицу). В среднем оно составляло 0.39, что демонстрирует терригенное поступление органического вещества.

Так называемый *Alkterr*-индекс, расчет которого ведется по формуле  $(C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})/\sum C_{14-38}$ , является одним из индикаторов поступления веществ с суши [32]. Данный показатель варьировал от 0.08 до 0.39 (см. таблицу), в среднем составляя 0.28. Наряду с другими маркерами, это говорит о высоком содержании терригенного вещества в составе донных отложений.

Важную роль в формировании качественного состава УВ донных отложений зачастую играет древесная и травянистая растительность суши. Основной пик, связанный с древесной растительностью, выпадает на  $C_{29}$ , а с травянистой – преимущественно на  $C_{31}$  [17, 18]. Соотношение этих показателей ( $C_{31}/C_{29}$ ) варьировало в широком диапазоне: 0.53–6.27 (см. таблицу), в среднем по акватории составляя 2.70. Таким образом, можно говорить, что в целом по акватории донные отложения содержат следы травянистых растений. Исключением были ст. 5 и 7, где велика доля  $C_{29}$ , ассоциированного с древесными видами. На ст. 6 вклад обоих компонентов был примерно одинаковым.

Средняя длина углеродной цепочки (*ACL*) *n*-алканов также связана с их генезисом. Для УВ древесных растений характерны низкие значения *ACL*. Большие значения *ACL* свидетельствуют о доминировании травянистой растительности в формировании УВ [14]. При наличии свежего нефтяного загрязнения также отмечается сокращение *ACL* [33]. Этот параметр колебался от 28.85 до 29.96 (см. таблицу) со средним значением около 30, что

отражает примерно одинаковую роль травянистых и древесных растений в формировании органического вещества донных отложений акватории. При этом нужно учитывать, что данный подход применим только к «свежему» органическому веществу [1].

Известно, что при разложении нефти и нефтепродуктов первыми исчезают легкие УВ и увеличивается концентрация более устойчивых соединений. Поэтому соотношение именно *n*-алканов с высокой молекулярной массой является более информативным для определения природы УВ. Основным критерием биогенности УВ в высокомолекулярной области спектра является широко используемый коэффициент *CPI*, соотношение суммы нечетных и четных гомологов [1, 34–36]. При наличии нефтяного загрязнения его значения часто приближены к единице.

Группы алканов с короткими и длинными цепочками углерода, как правило, имеют различные индексы нечетности, которые обозначаются *CPI*<sub>1</sub> и *CPI*<sub>2</sub> соответственно. Расчеты показали, что для более легких *n*-алканов *CPI*<sub>1</sub> колебался в диапазоне 0.40–1.30 (см. таблицу), составляя в среднем 0.84. Индекс нечетности был низким на ст. 1, 2, 5. На остальных участках он был близок к 1. Высокое содержание низкомолекулярных четных *n*-алканов на указанных участках акватории может быть результатом микробиологической деструкции органических веществ [1, 7, 37]. На остальных станциях доли указанных соединений были примерно равными. Значения *CPI*<sub>2</sub>, описывающие соотношение для *n*-алканов с длинными цепочками, колебались от 0.81 до 2.39 (см. таблицу) со средним значением 1.24. Преобладание нечетных соединений отмечено на ст. 3 и 7. Для других участков показатель был около 1, что характеризует наличие нефтяного загрязнения донных отложений. В высокомолекулярной области индексы нечетности были выше, чем в низкомолекулярной.

Для *n*-алканов, содержащих в себе следы нефтяного загрязнения, нехарактерно явное преобладание нечетных или четных компонентов [38]. Поэтому в области низких молекулярных масс о нефтяном загрязнении можно судить на ст. 3, 4, 6–8. Вероятно, зафиксированы относительно свежие углеводороды нефти, которые еще не подверглись деструкции. Но одновременное выявление на данных станциях *CPI* около 1 и пиков *C*<sub>29</sub> может свидетельствовать не о нефтяной, а о планктоногенной природе обнаруженных алифатических углеводородов [1]. Такое явление отмечено для ст. 3, 7. В высокомолекулярной области спектра *CPI*, близкого к 1, на ст. 1, 2, 4–6, 8 – это свидетельство хронического нефтяного загрязнения акватории.

Преобладание соединений с нечетным числом атомов углерода в низкомолекулярной области может свидетельствовать не только о свежем поступлении нефтепродуктов, но и об их продукции в результате деятельности микроорганизмов [38, 39] и макрофитов [17, 18]. Таким образом, можно предположить, что *n*-алканы с короткими углеродными цепочками, идентифицированные в донных отложениях внутренних участков б. Балаклавской, имели смешанное происхождение, что характерно для прибрежных районов Черного моря [40].

Одним из важных параметров при оценке наличия нефтяного загрязнения, а также интенсивности процессов биodeградации УВ является наличие на хроматограммах неразложимого фона или неразделенного нафтенo-ароматического «горба» (*Unresolved Complex Mixture, UCM*) с максимумом в высокомолекулярной области [1]. *UCM* представляет собой смесь комплексных изомеров и гомологов, разветвленных и циклических УВ, разделение которых невозможно в хроматографической колонке [41]. Количество компонентов нефти, представляющих собой *UCM*, может достигать 250 000 соединений. Это указывает на тот факт, что *UCM* является самой сложной из существующих на Земле комплексных смесей органических соединений [42]. При этом, несмотря на очевидную связь с нефтяными источниками, наличие *UCM* в диапазоне низких концентраций может быть также связано с бактериальным разложением автохтонных органических веществ [43].

Конфигурация неразложимого фона зависит от его состава. Характеры «горба» природных и антропогенных УВ различаются [1]. Для антропогенных соединений характерен «горб» в высокомолекулярной области. Такого рода максимум в области низких температур возникает благодаря микробной деградации природных органических соединений, в частности детрита растений [44]. На ст. 1–5 и 8 кривая неразложимого фона была «двугорбой» (пример приведен на рис. 3). При этом на ст. 2 и 8 более крутой «горб» приходился на низкотемпературную область, что свидетельствует о преобладающей деструкции автохтонного вещества.

На других станциях (ст. 1, 3–5) можно говорить о наличии неразложимой смеси как вследствие микробной деструкции, так и в результате накопления антропогенных органических соединений. На ст. 6 и 7, расположенных ближе к выходу из бухты и имеющих существенно более низкий (1–2 порядка) уровень содержания *n*-алканов в донных отложениях, чем на остальных станциях, неразложимый фон был мало выражен. Следует отметить, что на ст. 6 и 7, расположенных в мористой части исследуемой акватории, характер морского грунта отличался от характера грунта на других участках акватории, имеющих илистую структуру. Донные отложения на них были представлены песком и/или песком с примесью ракуши. В результате на данном участке депонирование органических веществ происходит, вероятно, в меньшей степени, чем во внутренней части б. Балаклавской.

Отношение величины неразложимого фона к содержанию *n*-алканов на большей части станций пробоотбора колебалось в пределах 4–7 (таблица), что является диагностическим признаком хронического нефтяного загрязнения [20, 21]. Исключением была ст. 7, где при низких концентрациях УВ доля «горба» равна 0.67, что, скорее всего, соответствует результату бактериальной трансформации органических веществ [43].

Значения маркеров, рассчитанных для донных отложений б. Балаклавской (рис. 4), указывают на преобладание терригенных УВ в донных осадках акватории, а также на присутствие нефтяного загрязнения. В этом аспекте выделялась ст. 7, в донных отложениях которой, судя по значениям маркеров, преобладали УВ автохтонной природы. Маркеры *CPI* и *UCM/R* на этой станции указывают на присутствие природных УВ [20, 21]. Судя по общему их содержанию, внешнюю часть бухты (ст. 6 и 7) можно

характеризовать как имеющую низкий уровень УВ в донных отложениях. Это наиболее открытый морю участок исследуемой акватории, находящийся за круговыми вихрями, «запирающими» бухту и ограничивающими ее водообмен с морем [45]. Низкие показатели содержания УВ в районе мористой части исследуемого полигона (ст. 6 и 7) также можно связать с характером морских грунтов, представленных песком с примесью ракуши, что отражается на накопительной способности осадков. При этом отсутствие нефтяного загрязнения и преобладание автохтонных *n*-алканов в донных осадках отмечаются только в восточной части данного участка акватории.

### **Выводы**

1. Суммарное количество УВ в донных отложениях б. Балаклавской варьировало от 21 до 2385 мг/кг и соответствовало характеру донных отложений. Зафиксированные уровни загрязнения преимущественно соответствовали отмеченным в загрязненных акваториях Мирового океана. Распределены по акватории указанные вещества неравномерно. Зона их концентрирования приходилась на центральную часть бухты. Минимальное содержание УВ в донных отложениях зафиксировано в ее мористой части.

2. Содержание *n*-алканов в донных отложениях б. Балаклавской колебалось в пределах от 1 до 154 мг/кг. Максимальные значения были зафиксированы в центральной части акватории (в районе сужения), в частности у ее восточного берега, а минимальные показатели – в открытой части бухты.

3. По всей акватории б. Балаклавской распределение *n*-алканов на хроматограммах имело признаки бимодальности, что говорит о смешанном происхождении УВ.

4. Молекулярные маркеры свидетельствуют о преимущественно терригенном происхождении УВ в донных отложениях акватории, а также присутствии хронического нефтяного загрязнения во внутренней части бухты.

5. Состав УВ донных отложений наиболее открытого мористого участка б. Балаклавской отличался от состава УВ донных отложений во внутренних частях акватории. Судя по значениям маркеров, там преобладали УВ автохтонной природы.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Немировская И. А.* Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М. : Научный мир, 2013. 432 с. URL: [https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o\\_1917147](https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_1917147) (дата обращения: 2.05.2022).
2. Загрязняющие вещества в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море) / *Е. А. Котельянец [и др.]* // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 5. С. 469–480. doi:10.22449/0233-7584-2019-5-469-480
3. *Орехова Н. А., Овсяный Е. И., Тихонова Е. А.* Органическое вещество и окислительно-восстановительные условия в донных отложениях Балаклавской бухты // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2019. Т. 5, № 3. С. 49–64.
4. *Тихонова Е. А., Котельянец Е. А., Гуров К. И.* Содержание органических веществ и тяжелых металлов в донных отложениях Балаклавской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 3. С. 82–88. doi:10.22449/2413-5577-2019-3-82-89

5. Воробьев Д. С. Влияние нефти и нефтепродуктов на макрозообентос // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309, № 3. С. 42–45.
6. Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий юго-западного Крыма в начале XXI века / Отв. ред. О. Г. Миронова, С. В. Алёмова. Симферополь : ИП «АРИАЛ», 2018. 270 с. URL: [https://repository.marine-research.org/bitstream/299011/5423/1/Санитарно-биол\\_иссл\\_2018.pdf](https://repository.marine-research.org/bitstream/299011/5423/1/Санитарно-биол_иссл_2018.pdf) (дата обращения: 2.05.2022).
7. Nishimura M., Baker E. W. Possible origin of n-alkanes with a remarkable even-to-odd predominance in recent marine sediments // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1986. Vol. 50, iss. 2. P. 299–305. doi:10.1016/0016-7037(86)90178-X
8. Петров А. А. Углеводороды нефти. М. : Наука, 1984. 264 с.
9. Киреева Н. А., Водольнов В. В., Мифтахова А. М. Биологическая активность нефтезагрязненных почв. Уфа : Гилем, 2001. 376 с.
10. Оценка биологической активности дерновоподзолистых почв разного гранулометрического состава в условиях нефтяного загрязнения / А. А. Вершинин [и др.] // Почвоведение. 2014. № 2. С. 250–256. doi:10.7868/S0032180X14020130
11. Silliman J. E., Schelske C. L. Saturated hydrocarbons in the sediments of Lake Apopka, Florida // *Organic Geochemistry*. 2003. Vol. 34, iss. 2. P. 253–260. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00169-9](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00169-9)
12. An analysis of organic matter sources for surface sediments in the central South Yellow Sea, China: evidence based on macroelements and n-alkanes / S. Zhang [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. 2014. Vol. 88, no. 1–2. P. 389–397. doi:10.1016/j.marpolbul.2014.07.064
13. Duan Y. Organic geochemistry of recent marine sediments from the Nansha Sea, China // *Organic Geochemistry*. 2000. Vol. 31, iss. 2–3. P. 159–167. doi:10.1016/S0146-6380(99)00135-7
14. Significance of long chain *iso* and *anteiso* monomethyl alkanes in the Lamiaceae (mint family) / X. Huang [et al.] // *Organic Geochemistry*. 2011. Vol. 42, iss. 2. P. 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2010.11.008>
15. Blumer M., Guillard R. R. L., Chase T. Hydrocarbons of marine phytoplankton // *Marine Biology*. 1971. Vol. 8, no. 3. P. 183–189. <https://doi.org/10.1007/BF00355214>
16. Eglinton G., Hamilton R. J. Leaf epicuticular waxes // *Science*. 1967. Vol. 156, iss. 3780. P. 1322–1335. doi:10.1126/science.156.3780.1322
17. An *n*-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating fresh water aquatic macrophytes / K. J. Ficken [et al.] // *Organic Geochemistry*. 2000. Vol. 31, iss. 7–8. P. 745–749. doi:10.1016/S0146-6380(00)00081-4
18. Sediment and soil organic matter source assessment as revealed by the molecular distribution and carbon isotopic composition of *n*-alkanes / R. Mead [et al.] // *Organic Geochemistry*. 2005. Vol. 36, iss. 3. P. 363–370. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2004.10.003>
19. L(U) X., Zhai S. The distribution and environmental significance of n-alkanes in the Changjiang River estuary sediments // *Acta Scientiae Circumstantiae*. 2008. Vol. 28, iss. 6. P. 1221–1226.
20. Simoneit B. R. T. Characterization of organic constituents in aerosols in relation to their origin and transport: A review // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 1986. Vol. 23, iss. 3. P. 207–237. doi:10.1080/03067318608076446
21. Mazurek M. A., Simoneit B. R. T. Characterization of biogenic and petroleum-derived organic matter in aerosols over remote, rural and urban areas / Ed. by L. H. Keith // *Identification and Analysis of Organic Pollutants in Air*.

- Boston : Butterworth Publishers, 1984. P. 353–370. URL: <https://www.researchwithrutgers.com/en/publications/characterization-of-biogenic-and-petroleum-derived-organic-matter> (date of access: 2.05.2022).
22. Факторы формирования и отличительные особенности физико-химических характеристик донных отложений Балаклавской бухты (Черное море) / К. И. Гуров [и др.] // Морской гидрофизический журнал. № 4. 2015. С. 51–58. doi:10.22449/0233-7584-2015-4-51-58
  23. Загрязнение прибрежной акватории Российского Причерноморья нефтяными компонентами / А. А. Ларин [и др.] // Морской экологический журнал. 2011. Отд. вып. № 2. С. 49–55.
  24. Немировская И. А., Онегина В. Д., Коновалов Б. В. Углеводороды во взвеси и осадках различных районов российского сектора Черного моря // Морской гидрофизический журнал. № 4. 2017. С. 48–60. doi:10.22449/0233-7584-2017-4-48-60
  25. Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in sediments of Sfax, Tunisia, Mediterranean Sea / H. Zaghden [et al.] // Marine Chemistry. 2007. Vol. 105, iss. 1–2. P. 70–89. doi:10.1016/j.marchem.2006.12.016
  26. Садыхова Л. Р., Аминбеков А. Ф. Углеводороды в поверхностных донных отложениях Каспийского моря вблизи Апшеронского полуострова // Молодой ученый. 2014. Т. 78, № 19. С. 138–145.
  27. Уварова В. И. Современное состояние уровня загрязненности вод и грунтов Обь-Иртышского бассейна // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. 1989. Вып. 305. С. 23–33.
  28. Кузнецова И. А., Дзюбан А. Н. Бактериобентосные сообщества под воздействием нефтяного загрязнения водоемов // Гидробиологический журнал. 2006. Т. 42, № 5. С. 88–92.
  29. Beiger T., Abrajano T. A., Hellou J. Generation of biogenic hydrocarbons during a spring bloom in Newfoundland coastal (NW Atlantic) waters // Organic Geochemistry. 1997. Vol. 26, iss. 3–4. P. 207–218. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(96\)00159-3](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(96)00159-3)
  30. Петрова Н. С., Шанина С. Н. Состав биомаркеров органического вещества солей Припятского калиеносного бассейна // Современное состояние и актуальные направления геологического изучения и комплексного освоения ресурсов недр стран СНГ. Материалы международной научно-практической конференции в рамках XVII сессии Межправительственного совета стран Содружества Независимых Государств по разведке, использованию и охране недр. Минск, 2014. С. 97–98. URL: [http://instgeology.by/wp-content/uploads/2017/04/%D1%81%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA.p\\_WEBdf.pdf](http://instgeology.by/wp-content/uploads/2017/04/%D1%81%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA.p_WEBdf.pdf) (дата обращения: 3.05.2022).
  31. Geochemical characteristics of saturated hydrocarbon and its indicative significance of seabed sediments in the South Yellow Sea / S. Li [et al.] // Marine Geology Letters. 2009. Vol. 25, iss. 12. P. 1–7.
  32. Distribution and molecular composition of organic matter in surface sediments from the central part of South Yellow Sea / S. Zhang [et al.] // Acta Sedimentologica Sinica. 2013. Vol. 31, iss. 3. P. 497–508.
  33. Jeng W.-L. Higher plant *n*-alkane average chain length as an indicator of petrogenic hydrocarbons contamination in marine sediments // Marine Chemistry. 2006. Vol. 102, iss. 3–4. P. 242–251. doi:10.1016/j.marchem.2006.05.001
  34. Bray E. E., Evans E. D. Distribution of *n*-paraffins as a clue to recognition of source beds // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1961. Vol. 22, iss. 1. P. 2–15. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(61\)90069-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(61)90069-2)

35. Assessing anthropogenic contamination in surface sediments of Niger Delta, Nigeria with fecal sterols and *n*-alkanes as indicators / S. O. Sojinu [et al.] // *Science of the Total Environment*. 2012. Vol. 441. P. 89–96. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.09.015
36. The occurrence of short chain *n*-alkanes with an even over odd predominance in higher plants and soils / T. K. Kuhn [et al.] // *Organic Geochemistry*. 2010. Vol. 41, iss. 2. P. 88–95. doi:10.1016/j.orggeochem.2009.08.003
37. Загрязнение северо-западной и юго-восточной частей российского причерноморья нефтяными компонентами в многолетнем аспекте / Л. Ф. Павленко [и др.] // *Экологический вестник научных центров ЧЭС*. 2011. № 2. С. 36–43.
38. Han J., Calvin M. Hydrocarbon distribution of algae and bacteria, and microbiological activity in sediments // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1969. Vol. 64, iss. 2. P. 436–443. doi:10.1073/pnas.64.2.436
39. Even carbon number predominance of plant wax *n*-alkanes: a correction / C. M. Reddy [et al.] // *Organic Geochemistry*. 2000. Vol. 31, iss. 4. P. 331–336. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00025-5)
40. Происхождение углеводородов во взвеси и донных осадках в районе Крымского побережья / И. А. Немировская [и др.] // *Доклады Академии наук*. 2019. Т. 484, № 5. С. 600–604. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524845600-604>
41. Gough M. A., Rowland S. J. Characterization of unresolved complex mixtures of hydrocarbons in petroleum // *Nature*. 1990. Vol. 344. P. 648–650. <https://doi.org/10.1038/344648a0>
42. Sutton P. A., Lewis C. A., Rowland S. J. Isolation of individual hydrocarbons from the unresolved complex hydrocarbon mixture of a biodegraded crude oil using preparative capillary gas chromatography // *Organic Geochemistry*. 2005. Vol. 36, iss. 6. P. 963–970. doi:10.1016/j.orggeochem.2004.11.007
43. Venkatesan M. I., Kaplan I. R. Distribution and transport of hydrocarbons in surface sediments of the alaskan outer continental shelf // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1982. Vol. 46, iss. 11. P. 2135–2149. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(82\)90190-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(82)90190-9)
44. Bouloibassi I., Saliot A. Investigation of anthropogenic and natural organic inputs in estuarine sediments using hydrocarbon markers (NAN, LAB, PAH) // *Oceanologica Acta*. 1993. Vol. 16, iss. 2. P. 145–161.
45. Фомин В. В., Репетин Л. Н. Численное моделирование ветровых течений и распространения примеси в Балаклавской бухте // *Морской гидрофизический журнал*. 2005. № 4. С. 43–58.

Поступила 29.12.2021 г.; одобрена после рецензирования 25.02.2022 г.; принята к публикации 27.04.2022 г.; опубликована 25.06.2022 г.

*Об авторах:*

**Соловьёва Ольга Викторовна**, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-1283-4593**, **Scopus Author ID: 57208499211**, **ResearcherID: X-4793-2019**, [kozl\\_ya\\_oly@mail.ru](mailto:kozl_ya_oly@mail.ru)

**Тихонова Елена Андреевна**, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-9137-087X**, **Scopus Author ID: 57208495804**, **ResearcherID: X-8524-2019**, [tihonova@mail.ru](mailto:tihonova@mail.ru)



**Котельянец Екатерина Александровна**, младший научный сотрудник, отдел гидрофизики шельфа, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ResearcherID: AAA-8699-2019**, *plistus@mail.ru*

**Гуров Константин Игоревич**, младший научный сотрудник, отдел биогеохимии моря, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ORCID ID: 0000-0003-3460-9650**, **ResearcherID: L-7895-2017**, *gurovki@gmail.com*

*About the authors:*

**Olga V. Soloveva**, Senior Research Associate, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Biol.), **ORCID ID: 0000-0002-1283-4593**, **Scopus Author ID: 57208499211**, **ResearcherID: X-4793-2019**, *kozl\_ya\_oly@mail.ru*

**Elena A. Tikhonova**, Senior Research Associate, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Biol.), **ORCID ID: 0000-0002-9137-087X**, **Scopus Author ID: 57208495804**, **ResearcherID: X-8524-2019**, *tihonoval@mail.ru*

**Ekaterina A. Kotelyanets**, Junior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **ORCID ID: 0000-0003-3460-9650**, **ResearcherID: AAA-8699-2019**, *plistus@mail.ru*

**Konstantin I. Gurov**, Junior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **ORCID ID: 0000-0003-3460-9650**, **ResearcherID: L-7895-2017**, *gurovki@gmail.com*

*Заявленный вклад авторов:*

**Соловьёва Ольга Викторовна** – постановка задачи, определение углеводородов, n-алканов, анализ полученных результатов, обсуждение результатов

**Тихонова Елена Андреевна** – определение углеводородов, n-алканов, обсуждение результатов, написание и оформление статьи

**Котельянец Екатерина Александровна** – отбор и первичная обработка проб, расчёт диагностических индексов

**Гуров Константин Игоревич** – отбор и первичная обработка проб, обсуждение результатов, подготовка текста статьи и графических материалов

*Contribution of the authors:*

**Olga V. Soloveva** – statement of the problem, determination of hydrocarbons, n-alkanes, analysis of the results obtained, discussion of the results

**Elena A. Tikhonova** – determination of hydrocarbons, n-alkanes, discussion of the results, writing and formatting of the article

**Ekaterina A. Kotelyanets** – sampling and primary processing of samples, calculation of diagnostic indices

**Konstantin I. Gurov** – sampling and primary processing of samples, discussion of the results, preparation of the text of the article and graphic materials

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*All the authors have read and approved the final manuscript.*