

## **Факторы формирования и отличительные особенности физико-химических характеристик донных отложений Балаклавской бухты (Черное море)**

**©2015 К.И. Гуров, Е.И. Овсяный, Е.А. Котельянец,  
С.К. Коновалов**

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия  
E-mail: gurovki@gmail.com*

Поступила в редакцию 16.02.2015 г. После доработки 13.03.2015 г.

Рассмотрены физико-химические характеристики донных отложений Балаклавской бухты: гранулометрический и фракционный состав, содержание органического и неорганического углерода. Изучено пространственное распределение основных фракций гранулометрического состава и содержания органического углерода ( $C_{org}$ ) и карбоната кальция ( $CaCO_3$ ). Проанализирована взаимосвязь содержания органического и неорганического углерода с гранулометрическим составом донных отложений. Выделены основные факторы формирования донных осадков Балаклавской бухты.

**Ключевые слова:** Балаклавская бухта, донные отложения, гранулометрический состав, фракционный состав, органический углерод, неорганический углерод.

**Введение.** Прибрежные районы всегда были местом активной антропогенной деятельности. Это способствовало формированию в них особых экосистем, которые в настоящее время являются элементом общей экосистемы Черного моря. Изучение донных отложений, их физических и химических свойств, а также процессов, проходящих в системе вода – взвешенное вещество – донные осадки, – важная часть общей системы мониторинга прибрежных акваторий.

Отличительной особенностью донных осадков прибрежных районов Черного моря является высокий уровень осадконакопления. В отличие от глубоководной части, где скорость осадконакопления составляет 0,15 – 0,35 мм/год [1], осаднение вещества в прибрежных районах возрастает. Согласно [2], в прибрежных районах Крыма, где определяющим фактором выступают абразионные процессы, скорость осадконакопления составляет 0,35 мм/год, в Севастопольской бухте – 2,4 мм/год, в эстуарной зоне р. Дунай – 11,5 мм/год [3].

Среди важных факторов формирования донных отложений можно выделить глубину района исследований, его удаленность от берега и форму рельефа дна. К основным факторам осадкообразования можно отнести также гидродинамические особенности акватории и деятельность живых организмов [4].

Основные характеристики донных отложений – содержание в них органического вещества, их гранулометрический состав и влажность. Значимость

этих характеристик определяется их влиянием на процессы поглощения, удержания и накопления загрязняющих веществ. При изучении содержания органического ( $C_{\text{орг}}$ ) и неорганического ( $\text{CaCO}_3$ ) углерода важным является анализ их пространственного распределения и его тесная взаимосвязь с фракционным составом отложений.

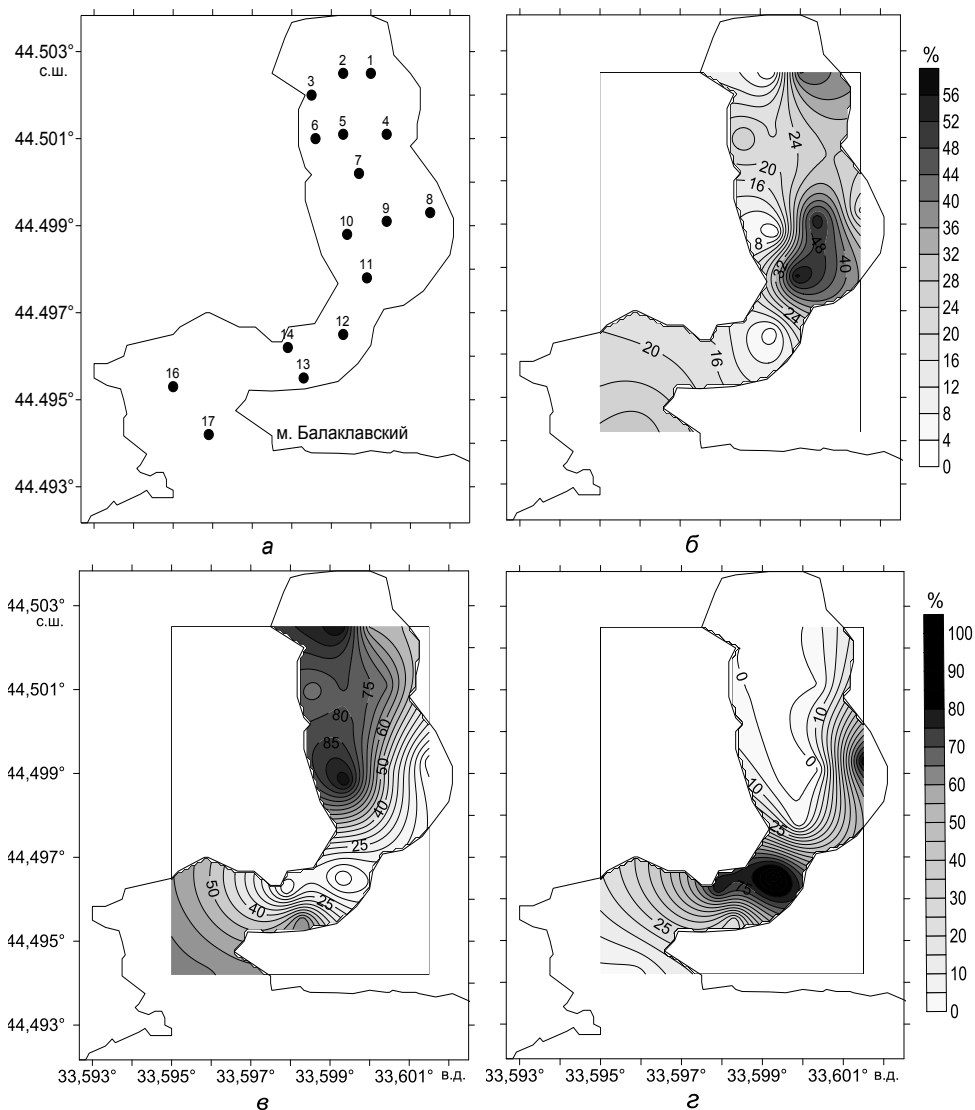
Изучение донных отложений имеет широкий спектр практического применения. Данные гранулометрического и фракционного состава донного материала применяются в геологических исследованиях [5] и для анализа особенностей распределения тяжелых металлов [6]. Такие физические параметры, как плотность осадка и средний диаметр частиц, используются для изучения процессов транспорта наносов в прибрежных районах [7]. Анализ содержания  $C_{\text{орг}}$  и  $\text{CaCO}_3$  играет важную роль в изучении компонентов карбонатной системы и цикла углерода [8].

В данной работе рассматриваются донные отложения Балаклавской бухты. В отличие от гидрологических, гидрохимических и гидробиологических исследований [9 – 16] донным осадкам бухты в литературе уделено крайне мало внимания [6, 17]. Цель настоящей работы – изучение физико-химических характеристик донных отложений (гранулометрический и фракционный состав, содержание  $C_{\text{орг}}$  и  $\text{CaCO}_3$ ), отличительных особенностей их пространственного распространения по акватории бухты, взаимосвязи между этими характеристиками и факторами их формирования.

**Материалы и методы исследования.** В работе исследовались пробы, отобранные в поверхностном слое (0 – 5 см) донных отложений Балаклавской бухты в 2005 г. Расположение станций отбора проб показано на рис. 1. Используемая в работе схема станций позволяет провести условное районирование акватории, имеющее направление с севера на юг.

В северной, кутовой и наиболее мелководной, части расположены ст. 1, 2, 4, 5, 6, в центральной – ст. 7 – 11. Далее следует наиболее узкая часть Балаклавской бухты, в пределах которой находятся ст. 12 – 14, в южной части и на выходе из бухты – ст. 16 и 17.

Отбор проб донных отложений проводился с использованием пробоотборника ДЧ-0,025 согласно ГОСТ 17.1.5.01-80 [18]. Для определения гранулометрического состава применялся комбинированный ситовой анализ (метод декантации и рассеивания) [19]. Содержание неорганического углерода (карбонатность) в пробе находили весообъемным методом после разложения карбонатов соляной кислотой [20]. Концентрацию органического углерода в пробе определяли спектрофотометрическим методом после окисления органического вещества сульфохромной смесью [21].



**Рис. 1.** Пространственное распределение станций отбора проб донных отложений (а) и фракций гранулометрического состава: песчаной (б), илистой (в), гравийной (z) – в поверхностном слое (0 – 5 см) донных осадков Балаклавской бухты в 2005 г.

**Результаты и обсуждение.** Балаклавская бухта представляет собой остаток риассового берега, расположенного в пределах залива Мегало-Яло, полузамкнутую акваторию шириной до 200 м и глубиной до 30 м [9, 10].

Длина береговой линии составляет 3,33 км, средняя глубина бухты 12,5 м, 47% акватории имеет глубины в диапазоне 4 – 12 м [10]. Батиметрия и орография бухты существенно изменились в период с конца XIX до начала XXI в. Наибольшие изменения коснулись северной мелководной части, где в результате дноуглубительных работ ее глубина с 1,83 м увеличилась до 4 – 5 м. Помимо этого, изначально круглое очертание кутовой части со временем преобразовалось в прямоугольное. Очертания береговой линии и топография

дна в большей степени определяют особенности донных отложений бухты. Берега Балаклавской бухты и окружающего ее залива Мегало-Яло благодаря своему геологическому строению препятствуют развитию абразионных процессов [11].

На процессы образования и перераспределения донных отложений в прибрежных районах значительное влияние оказывает ветроволновое воздействие. В работе [11] указывается, что Балаклавская бухта имеет собственные отличительные особенности ветроволнового режима. Направление ветра в бухте, за исключением узкой извилистой части, совпадает с осевой линией. Благодаря орографии окружающего региона акватория защищена от воздействия западных и восточных ветров. В южной, открытой, части бухты возникает штормовое волнение. В центральной и северной, более мелководных, частях ветроволновое воздействие сводится к минимуму [12].

Что касается структуры поверхностных течений, в работе [11] она представлена тремя вариантами. Под воздействием северных ветров возникает течение южного направления, усиливающееся в узкой части бухты за счет туннельного эффекта. При ветрах южного направления формируются северные векторы течений, скорость которых возрастает в северо-восточной части акватории. При слабом влиянии восточных и западных ветров, а также в штилевую погоду действуют вихревые образования циклонической и антициклонической направленности.

Структура придонных течений описана в работе [13]. Было показано, что придонная циркуляция выражена слабо. Направление придонных течений противоположно по отношению к поверхностным. Формирующийся поток начинается в кутовой части и распространяется вдоль западного берега в южном направлении.

Среди факторов, оказывающих наибольшее влияние на экологическое состояние Балаклавской бухты, выделяют антропогенную деятельность и динамику вод, представленную сгонно-нагонными процессами [14]. В пределах акватории бухты наибольшему загрязнению подвержены два участка [11]. Первым является кутовая мелководная часть. Поступление ливневого стока из р. Балаклавка, локальное расположение источников антропогенного загрязнения в береговой зоне [6] в совокупности со слабым водообменом [15] способствовали накоплению в этой области взвешенного вещества и растворенной органики.

Другая область, подверженная загрязнению, расположена в южной части акватории вблизи коллектора, выпускающего  $\sim 3$  млн. м<sup>3</sup>/год сточных вод. Эта область характеризуется повышенными концентрациями растворенного вещества, взвеси и нефтепродуктов [16].

В работе [17] показано, что отложения, представленные мелкодисперсной фракцией в верховье бухты, в центральной части сменяются илистыми песками, а в наиболее узкой части и на выходе из бухты – ракушечным детритом с вкраплениями сначала песка и мелкого гравийного материала, а затем ила.

В пробах донных осадков, отобранных в 2005 г., прослеживается подобная схема смены фракционного состава (рис. 1). Вместе с тем полученные

результаты позволяют детализировать эту схему и определить количественные характеристики.

Большая часть проб представлена алевроито-пелитовыми и песчаными илами. Крупнодисперсный материал сконцентрирован на четырех станциях, расположенных вблизи берега.

В донных отложениях северной и северо-западной кутовых частей бухты преобладают алевроито-пелитовые илы. Здесь содержание мелкодисперсного материала достигает своих максимальных значений (71,47 – 99,95%). Общее содержание илистой фракции в отложениях бухты изменяется в пределах 1,3 – 99,95%, а среднее по всем пробам составляет 58,20%. Характерное распределение илистой фракции в этих частях бухты определяется влиянием естественного склонового стока, а также стока промышленно-коммунальных предприятий. Повышенное содержание илистого материала на выходе из бухты (ст. 16) связано с особенностями рельефа дна, а именно с увеличением глубины [10].

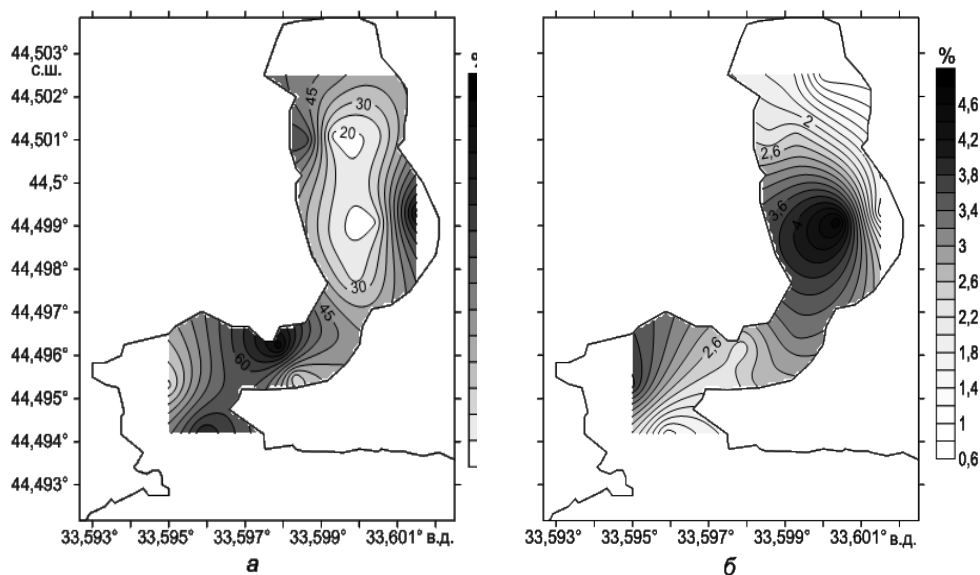
Перемещаясь в центральную часть, мелкодисперсные илы сменяются песчаными илами. Фракционный состав осадка на отдельных станциях (ст. 1, 9, 11) отражает отношение содержания илистой фракции к песчаной как 1:1. Максимальное содержание песчаного материала составляет 56 – 57%, а среднее по всем пробам – 23,08%. Кроме центральной части песчаные илы сконцентрированы в отложениях северо-восточной части бухты.

Гравийная фракция, как было сказано выше, наиболее полно представлена на четырех станциях (ст. 8, 12, 13, 16), где ее значения изменяются в пределах 11,79 – 98,9%. На остальных станциях крупнодисперсный материал выражен слабо, его значения колеблются в диапазоне 0,03 – 0,26%. Распространение гравийной фракции с северо-востока на юго-запад в виде локальных максимумов в прибрежной части и на выходе из бухты определяется повышенным содержанием в этих районах ракушечного гравия и детрита.

Северная и северо-восточная мелководные части бухты благодаря влиянию морфологических и гидрологических особенностей, а также в связи с близким расположением источников антропогенного загрязнения являются наиболее интересными для изучения районами акватории.

К числу важных осадкообразующих и экологических факторов относится содержание органического углерода и карбонатность [22]. Пространственное распределение содержания  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{C}_{\text{орг}}$  в донных отложениях показано на рис. 2.

Содержание карбоната кальция в Балаклавской бухте изменяется в пределах 18,32 – 82,95%, среднее значение составляет 40,06%. Его максимальные концентрации сосредоточены в прибрежных районах бухты. Наибольшая корреляционная зависимость между содержанием в пробах неорганического углерода и гранулометрическим составом (0,8) наблюдается для крупнодисперсного материала (фракция 2 – 1 мм). Что касается мелкодисперсного материала, то для песчаных и алевроито-пелитовых илов характерна обратная зависимость: от –0,4 для фракции 0,25 – 0,1 мм до –0,6 для фракции менее 0,05 мм.



**Рис. 2.** Распределение  $\text{CaCO}_3$  (а) и  $\text{C}_{\text{орг}}$  (б) в поверхностном слое (0 – 5 см) донных отложений Балаклавской бухты в 2005 г.

Содержание органического углерода изменяется в пределах 0,66 – 4,74%, среднее значение составляет 2,37%. Расположение районов с максимальными концентрациями  $\text{C}_{\text{орг}}$  определяется описанными выше гидрометеорологическими и циркуляционными особенностями бухты. Наличие повышенных значений в центральной части объясняется слабым водообменом, сформированным минимальным ветроволновым воздействием и незначительными вихревыми образованиями. На выходе из бухты придонная циркуляция затруднена в связи с расположением в этом районе спада глубин с 10 до 20 м.

**Выводы.** В работе изучены важные физические (гранулометрический и фракционный состав) и химические (содержание органического и неорганического углерода) характеристики донных отложений. Формирование фракционного состава осадков определяется как морфометрическими и орографическими особенностями бухты, так и циркуляционными процессами, проходящими в ней. Результаты проведенных исследований показали, что отложения Балаклавской бухты в основном представлены илами, в отдельных местах с вкраплениями гравийного и песчаного материала. В среднем по всем станциям содержание мелкодисперсной фракции составляет 58,20%. Крупнодисперсный материал сосредоточен вблизи берегов и на выходе из бухты, а повышенное содержание песчаной фракции характерно для центральной части акватории.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что, в отличие от имеющихся литературных данных, распределение фракций донного материала по акватории бухты подверглось незначительным изменениям в ее северной мелководной части. Эти изменения произошли вследствие увеличения глубины и смены очертаний береговой линии бухты. Общие особенности про-

странственной структуры распределения осадков за последнее столетие остались прежними.

Максимальные концентрации органического углерода в поверхностном слое донных осадков (0 – 5 см) сосредоточены в районах максимальных глубин и местах с повышенным содержанием мелкодисперсных илов.

Значения карбонатности увеличиваются от центра бухты к ее прибрежным районам, а максимальные значения наблюдаются в пробах с повышенным содержанием ракушки и ракушечного детрита.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архангельский А.Д.* Об осадках Черного моря // Бюл. Моск. общества испытателей природы. – 1927. – V, вып. 3 – 4. – С. 199 – 289.
2. *Денисов В.И.* Закономерности образования взвешенного материала на шельфе Черного моря: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Ростов-на-Дону: Ростовский госуниверситет, 1998. – 299 с.
3. *Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Освас И. и др.* Радиологический отклик Черного моря на Чернобыльскую ядерную аварию в отношении долгоживущих радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  // Морской экологический журнал. – 2002. – Вып. 1. – С. 5 – 15.
4. *Лисицын А.П.* Процессы океанской седиментации. – М.: Наука, 1978. – 392 с.
5. *Шнюков Е.Ф., Огородников В.И., Иноземцев Ю.Я. и др.* Литолого-стратиграфическая характеристика донных отложений крымского шельфа и глубоководной части Черного моря // Геологический журнал. – 2003. – № 1. – С. 9 – 23.
6. *Овсяный Е.И., Котельянец Е.А., Орехова Н.А.* Мышьяк и тяжелые металлы в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море) // Морской гидрофизический журнал. – 2009. – № 4. – С. 67 – 80.
7. *Фомин В.В., Иванов В.А.* Моделирование волновых течений и транспорта наносов в прибрежной зоне Евпатории // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – Вып. 13. – С. 211 – 228.
8. *Моисеенко О.Г., Орехова Н.А.* Исследование механизма многолетней эволюции цикла углерода в экосистеме Севастопольской бухты // Морской гидрофизический журнал. – 2011. – № 2. – С. 72 – 83.
9. *Кубряков А.И., Попов М.А.* Моделирование циркуляции и распространения загрязняющей примеси в Балаклавской бухте // Там же. – 2005. – № 3. – С. 49 – 61.
10. *Попов М.А.* Геоморфологический очерк залива Мегало-Яло и Балаклавской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – Вып. 14. – С. 209 – 214.
11. *Ломакин П.Д.* Океанологическая характеристика и оценка загрязнения вод Балаклавской бухты. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. – 184 с.
12. *Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Липченко М.М.* Ветры и волнение в прибрежной зоне юго-западной части Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – Вып. 8. – С. 13 – 28.
13. *Кубряков А.И., Попов М.А.* Моделирование циркуляции и распространение загрязняющей примеси в Балаклавской бухте // Морской гидрофизический журнал. – 2005. – № 3. – С. 49 – 61.
14. *Попов М.А., Ковригина Н.П., Лисицкая Е.В.* Мониторинг вод Балаклавской бухты // Тр. ЮГНИРО. – 2008. – 46. – С. 118 – 124.
15. *Куфтаркова Е.А., Ковригина Н.П., Родионова Н.Ю.* Гидрохимическая характеристика вод Балаклавской бухты и прилегающей к ней прибрежной части Черного моря // Гидробиологический журнал. – 1999. – 35, № 3. – С. 88 – 99.

16. *Попов М.А., Чепыженко А.И., Еремин И.Ю.* Определение концентраций и пространственного распределения загрязняющих веществ Балаклавской бухты гидрооптическими методами в осенний период // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – Вып. 12. – С. 202 – 207.
17. *Лоция* Черного моря. – Л.: Гидрографический отдел УМС РККА, 1937. – 482 с.
18. *ГОСТ 17.1.5.01-80.* Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1980. – 5 с.
19. *ГОСТ 12536-79.* Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1979. – 20 с.
20. *ДСТУ ISO 10693-2001.* Качество грунта. Определение содержания карбонатов. Объемный метод (ISO 10693:1995, IDT). – Киев: Держспоживстандарт Украины, 2002. – 7 с.
21. *ДСТУ ISO 14235-2005.* Качество грунта. Определение органического углерода сульфохромным окислением (ISO 14235:1998, IDT). – Киев: Держспоживстандарт Украины, 2007. – 10 с.
22. *Геология шельфа УССР.* Литология. – Киев: Наук. думка, 1985. – 192 с.

## **Factors of formation and features of physical and chemical characteristics of bottom sediments in the Balaklava Bay (the Black Sea)**

**K.I. Gurov, E.I. Ovsyany, E.A. Kotelyanets, S.K. Kononov**

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia  
e-mail:gurovki@gmail.com*

Physical and chemical characteristics of bottom sediments in the Balaklava Bay, namely, granulometric and fractional compositions, and organic and inorganic carbon content are considered. Spatial distribution of the main fractions of granulometric composition, and content of organic carbon (TOC) and calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) are investigated. Correlation between the content of organic and inorganic carbon and the granulometric composition of bottom sediments is analyzed. The major factors forming the bottom sediments in the Balaklava Bay are distinguished.

**Keywords:** Balaklava Bay, bottom sediments, granulometric composition, fractional composition, organic carbon, inorganic carbon.