

УДК 551.435.3 + 556.56

А. А. Стоян, канд. геогр. наук, доцент

А. Б. Муркалов, канд. геогр. наук

Е. В. Скаленчук, студентка географического отделения ГГФ ОНУ

Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,

кафедра физической географии и природопользования,

ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина

physgeo_onu@ukr.net

МОРФОМЕТРИЯ И ДИНАМИКА ДНА ВЕРХОВИЙ СУХОГО ЛИМАНА

В статье изложены результаты полевого и картометрического изучения современного рельефа дна верховий Сухого лимана. Исходной информацией послужили полевые промерные работы 2015-2016 гг. Представлены численные морфодинамические характеристики дна водоема отдельно для северной, центральной и южной частей. Отражена сложная структура водного объекта. Определена среднемноголетняя скорость заиления и роль островообразования в развитии прибрежных мелководий.

Ключевые слова: Сухой лиман, Черное море, глубина, рельеф, динамика дна.

ВВЕДЕНИЕ

Причерноморские лиманы хорошо изучены на региональном, а некоторые и на локальном уровнях. В последних работах [5] формируется комплексный физико-географический подход к их изучению. В исследованиях внимание уделено масштабу и подробности съемки, получены морфометрические характеристики лиманов [4, 5]. Ранее изучаемые характеристики распространялись на всю акваторию по результатам измерений на нескольких станциях. Исследователями обращается внимание на необходимость изучения лиманов для учета природных условий в рекреационном освоении, рыбном хозяйстве, портовом строительстве, охране природы и других видах природопользования.

При высокой степени освоенности морских и лиманных берегов (особенно портовой инфраструктурой) верховья лиманов остаются практически неизученными, несмотря на перспективность для расширения хозяйственной деятельности. Они также являются областью сосредоточения лиманной биоты и обеспечивают сохранение биоразнообразия территории.

Как известно, рельеф котловины выступает одним из ведущих факторов современного состояния водных объектов [4]. Донный рельеф верховий Сухого лимана до сих пор оставался неизученным, что вызвало необходимость проведения исследовательских работ, продолжающих научную деятельность кафедры физической географии и природопользования.

Целью статьи является морфодинамическая характеристика рельефа дна верховий Сухого лимана. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: выявление закономерностей строения донного рельефа, определение морфодинамических процессов развития рельефа дна изучаемого водоема, численная характеристика процессов развития рельефа дна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представленные в статье результаты исследований основаны на материалах полевых промерных работ, выполненных в 2015-2016 гг. в веховьях Сухого лимана. Работы выполнялись по стандартной методике по серии косых и смешанных галсов в виде рекогносцировочного и уточняющего промеров с определением глубин на дополнительных точках [1]. Число промерных точек – 103 (> 70 точек / 1 км²). Глубины приведены к среднему многолетнему уровню Сухого лимана. Промеры выполнены с использованием эхолота и GPS приемника Garmin. Глубины на мелководье измерены промерной вехой. В глубоководной части точность промеров составила $\pm 0,1$ м, на мелководье $\pm 0,05$ м. Точность определения планового положения промерных точек не более 1 м, базовых станций – 0,1 м.

При обработке полученных данных использовалось программное обеспечение SagaGIS. Применение ГИС пакета позволило автоматизировать обработку полученных данных: импорт обменных файлов, вычисление координат, задание береговой черты и направления промерных галсов, построение ЦМРД (цифровой модели рельефа дна), проведение изобат, определение площадей и объемов.

Морфометрические характеристики вычислены с использованием общепринятых в гидрологии и гидрометрии формул [1, 3].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучаемая акватория расположен в северной части Сухого лимана, имеет свободный водообмен с Сухим лиманом, который в свою очередь сообщается с Черным морем (рис. 1). Верховья представляют собой вытянутую с севера на юг затопленную при трансгрессии моря балку. Вдоль осевой линии в глубоководной части проложен судоходный канал. Судоходный канал не эксплуатировался с 90-х годов XX века.

В результате промеров и картометрических работ определены основные морфометрические характеристики водоема [3, 4]:

- длина береговой линии (S) – 9145 м;
- площадь водного зеркала (F_o) (с островами) – 1311000 м²;
- площадь водного зеркала (F_o) (без островов) 1305589 м²;
- площадь островов ($F_{ост}$) – 5411 м²;
- островность (b) – 0.004 (0,4 % от всей площади);

- длина водоема (L) – 3850 м;
- максимальная ширина (B_{\max}) – 419 м;
- минимальная ширина (B_{\min}) – 259 м;
- средняя ширина (B_{cp}) – 142,8 м;
- развитие береговой линии (m_1) – 2,26;
- изрезанность береговой линии (m_2) – 1,05;
- максимальная глубина (H_{\max}) – 6 м.

Форма котловины водоема близка к конусу. Средняя глубина (H_{cp}) равняется 1,9 м. Объем воды в водоеме (W_0) рассчитан по методу призм и усеченного конуса [3]. Полученные значения близки 2585200 и 2490099,2 м³ соответственно. Расхождение вычисленных значений не превышает 4 %.

Изучение рельефа дна показало его сложное строение. Среди главных элементов выделяются: прибрежные мелководья (M), склоны и откосы канала (C), глубоководный фарватер (Φ). Площадь этих зон и глубины в них резко отличаются. Так в глубоководной части измерены максимальные глубины 6 м, а на мелководьях максимальная глубина равняется 1 м. В промежуточной зоне склонов и откосов канала глубины изменяются от 1 до 3 м.

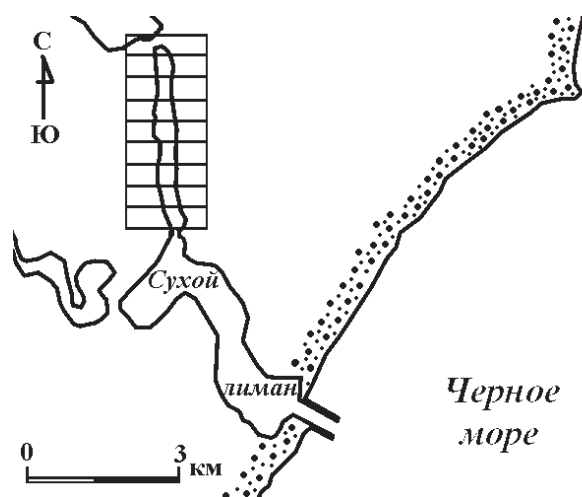


Рис. 1. Географическое положение объекта исследований (показан заштрихованным прямоугольником)

Результаты определения площадей соответствующих интервалов глубин по зонам сведены в табл. 1, построены гипсографическая и объемная кривая водоема (рис. 2).

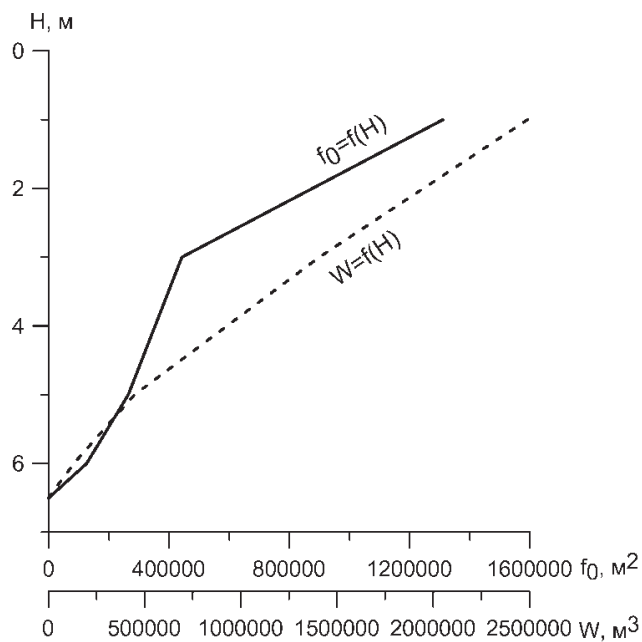
Оказалось, что в пределах водоема наибольшая площадь соответствует прибрежным мелководьям – 66,2 %. На глубоководную часть приходится – 20,2 %, что почти в 3 раза меньше. Склоны и откосы канала занимают наименьшую площадь 13,6 %.

Таблица 1

Распределение площадей по интервалам глубин

Глубинные зоны	Интервалы глубин, м	Площадь, м ²	Площадь, %
М	0-1	868600	66.2
С	1-3	178200	13.6
Ф	3-5	138300	20,2
	5-6	125900	

Полученная гипсографическая и объемная кривая (рис. 2) позволяют сделать ряд выводов о связи рельефа дна изучаемого водоема и объема воды в нем. Нижняя часть кривой вогнутая по направлению к оси X свидетельствует о резких очертаниях профиля дна. Резкий перегиб отмечается для глубины 3 м, которая отделяет глубоководную часть от мелководной. Дальше линия связи представляет собой прямую. Прямая линия характерна для каналов, в данном случае для монотонного рельефа мелководий.

Рис. 2. Гипсографическая ($f_0=f(H)$) и объемная ($W=f(H)$) кривая

Для правильной оценки направленности и интенсивности динамики рельефа дна верхний Сухого лимана необходимо рассмотреть характер колебаний

уровня Черного моря в районе исследований. По данным наблюдений ГМС «Ильичевск» [2] установлено постоянное повышение уровня моря (рис. 3).

С 1983 года отмечается постоянный рост уровня моря. Скорость роста составила 6 мм/год за период наблюдений 1963-2005 гг. [2, 5]. За 1994-2005 гг. скорость подъема уровня составила 18 мм/год – т.е. возросла более чем в 2 раза. С учетом чередования полуфаз поднятия и снижения с 1994 по 2016 подъем уровня моря составил не менее +270 мм (14 мм/год). Поправка на уровень с учетом точности промера составит -0,1 м.

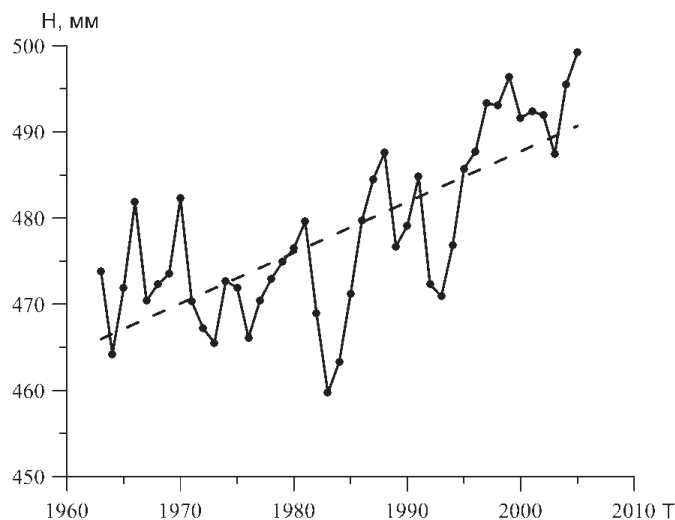


Рис. 3. Кривая колебаний уровня Черного моря по данным ГМС «Ильичевск»

Сопоставление результатов промеров и батиметрической карты водоема 2000 года позволило получить численную характеристику и направленность деформаций дна водоема. В северной части глубины уменьшаются со скоростями от +0,009 м/год до +0,030 м/год на прибрежном мелководье и от +0,100 до +0,131 м/год в глубоководной части (рис. 4, I). Уклон дна направлен к западному берегу. Здесь формируется ложбина стока с глубинами до 1 м. Изменение рельефа идет наиболее интенсивно в глубоководной части. Это приводит к общему выполаживанию донного рельефа.

Центральная часть исследуемого водоема характеризуется проявлением знакопеременных скоростей деформации дна (рис. 4, II). Скорости деформаций дна изменяются от -0,018 до +0,037 м/год. Уменьшение глубин характерно для центральной глубоководной части. При приближении к берегам отмечается смена знака скоростей, хотя по величине они остаются невысокими. Здесь преобладают процессы размыва, сопровождающиеся увеличением глубин. Глубоководный фарватер выделяется в рельефе дна достаточно четко. Приле-

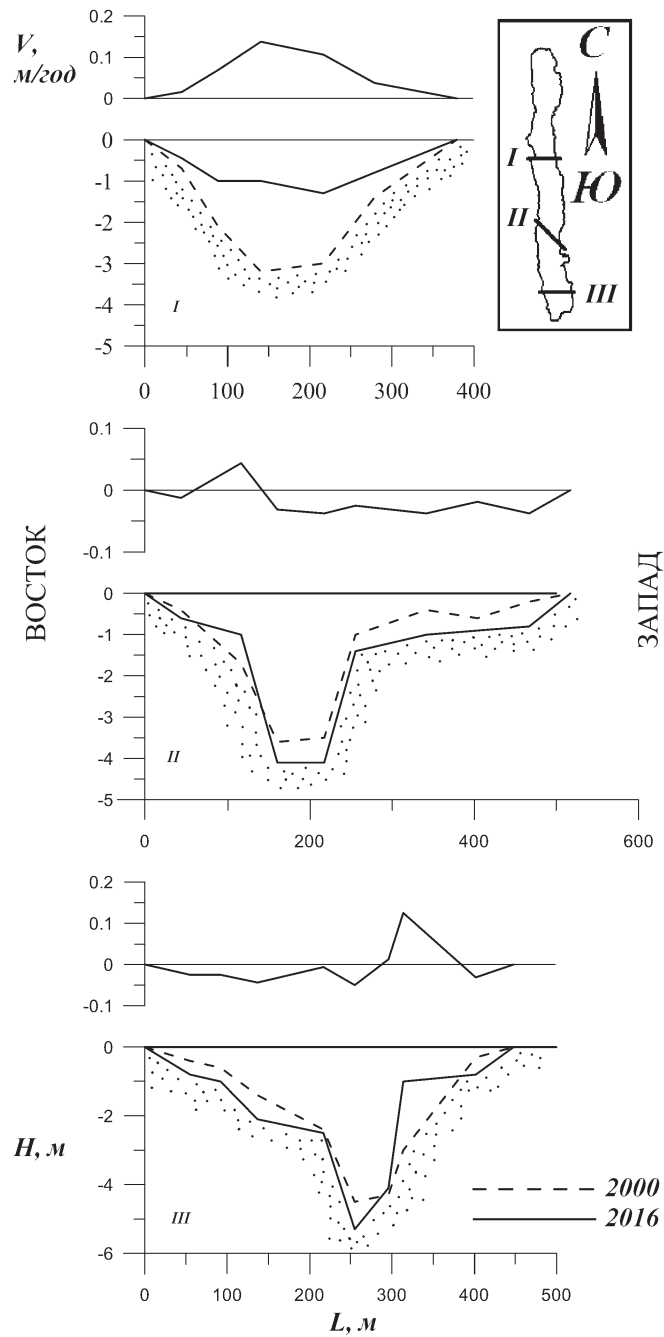


Рис. 4. Совмещенные поперечные профили и изменение средних скоростей деформаций дна верхний Сухого лимана

гающие к нему мелководья развиваются по пути волновой срезки выпуклого вверх рельефа и перераспределения отложений.

В южной части исследуемого водоема полученные значения скоростей отражают сложное взаимодействие процессов осадконакопления и перестройки рельефа дна. Скорости осадконакопления имеют разный знак и изменяются от $-0,056$ до $+0,119$ м/год (рис. 4, III).

На мелководье отмечается увеличение глубин. Скорости деформаций рельефа (углубления) составляют от $-0,031$ до $-0,056$ м/год. В глубоководной части деформации дна положительные и достигают $+0,006$ – $+0,119$ м/год. Здесь отмечается накопление донных отложений в отличие от размыва остальной части профиля. У западного берега формируется широкое мелководье в виде слабонаклоненной в сторону глубоководной части террасы. Изменения рельефа в этой части связаны с накоплением осадочного материала поступающего с суши и формированием островов при участии фитогенного и биогенного факторов.

В северной части средняя скорость деформаций дна составляет $+0,046$ м/год, и отражает уменьшение глубин. В центральной части деформации дна знакопеременные. Отмечается смена знака скоростей на отрицательные до $-0,025$ м/год. Здесь отмечается общее преобладание размыва дна над аккумуляцией. Причем увеличение глубин максимальное для всего водоема. В южной части отмечается снижение средних скоростей размыва дна. Они составляют $-0,012$ м/год. С севера на юг характерно сохранение положительных скоростей осадконакопления в глубоководной части. Здесь скорости уменьшаются от $+0,116$ м/год на севере до $+0,037$ м/год в центральной части и возрастают до $+0,062$ м/год на юге.

Рассчитанная средняя скорость осадконакопления (деформаций дна) для всего водоема составляет $+0,002$ м/год. Эта величина позволяет сделать вывод о преобладании процессов аккумуляции (заиления) водоема и постепенного уменьшения его глубин.

В результате совместного проявления процессов размыва и аккумуляции изменились углы откосов глубоководного фарватера. В северной части угол откосов уменьшился с 2° до $1,5^{\circ}$. В центральной части угол откосов увеличился с 2° до 4° . В южной части также увеличился с 3° до 9° . Однако это не нарушило устойчивость откосов канала поскольку угол естественного откоса илистых и суглинистых грунтов под водой достигает 26° - 45° .

Преобразование рельефа дна водоема связано также с образованием островов. Площадь островов в 2000 году равнялась 1260 м². К 2016 она увеличилась до 5411 м². Островность увеличилась в 4 раза с $0,1\%$ до $0,4\%$. Этот процесс характерен для развития рельефа мелководий. Обязательным условием образования островов является формирование широкого мелководья и развитие водной растительности, обеспечивающее гашение ветровых волн и течений.

Как показало изучение островов, они развиваются следующим образом: в местах выклинивания на дне распресненных вод формируются заросли водной растительности. Это приводит к ослаблению влияния волн и течений. По

мере выхода поверхности острова в надводное положение происходит отмирание растительности в центральной части. При этом по контуру растительность сохраняется, защищая остров от размыва. Высота острова увеличивается до уровня нагонов путем накопления слоистой толщи ракушечно-илистых отложений. Дальнейшее увеличение площади островов не сопровождается их ростом в высоту.

ВЫВОДЫ

1. Полевые промерные работы и их последующая камеральная обработка позволили получить следующие морфометрические характеристики верховий Сухого лимана: площадь водного зеркала (F_o) (без островов) 1305589 м²; площадь островов ($F_{осм}$) – 5411 м²; длина водоема (L) – 3850 м; средняя ширина (B_{cp}) – 142,8 м; длина береговой линии (S) – 9145 м; объем воды в водоеме (W_o) – 2585200 м³ (метод призм), 249099,2 м³ (метод усеченного конуса); средняя глубина (H_{cp}) – 1,9 м.

2. Установлено, что в строении дна верховий Сухого лимана выделяются три зоны: прибрежных мелководий (66,2% площади), откосы канала (13,6% площади) и глубоководный фарватер (20,2% площади).

3. Для водоема характерен процесс заиления со средней скоростью +0,002 м/год; рельеф прибрежных мелководий развивается под влиянием размыва и островообразования, глубоководной части – при накоплении осадков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков В. Д. Гидрометрия [Текст] / В. Д. Быков, А. В. Васильев – Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. – 448 с.
2. Ильин Ю. П. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Черное море [Текст] / Ю. П. Ильин, Л. Н. Репетин, В. Н. Белокопытов и др. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012. – 421 с.
3. Догановский А. М. Сборник практических задач по определению основных характеристик водных объектов суши [Текст]: учебное пособие / А. М. Догановский, В. Г. Орлов. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2011. – 315 с.
4. Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов [Текст] / С. П. Китаев – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 395 с.
5. Шуйский Ю. Д. Природа Причерноморских лиманов [Текст]: монография / Ю. Д. Шуйский, Г. В. Выхованец – Одесса: Астропринт, 2011. – 276 с.

REFERENCES

1. Bykov, V. D., Vasilev, A. V., (1977), *Gidrometriya [Hydrometry]*, Leningrad: Gidrometeoizdat, 448 p.
2. Ilin, Yu. P., Repetin, L. N., Belokopytov, V. N., Goryachkin, Yu. N., Dyakov, N. N., Kubryakov, A. A., Stanichnyy, S. V., (2012), *Gidrometeorologicheskie usloviya morey Ukrainy. Tom 2: Chernoe more [Hydroweather conditions of the seas of Ukraine. Volume 2: Black sea]*, Sevastopol: NPC «EKOSI-Gidrofizika», 421 p.
3. Doganovskiy, A. M., Orlov, V. G., (2011), *Sbornik prakticheskikh zadach po opredeleniyu osnovnykh kharakteristik vodnykh obektov суши [The collection of practical problems by definition of the basic performances of water plants of a land]*, Sankt-Peterburg: RGGMU, 315 p.
4. Kitaev, S. P., (2007), *Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ikhtiologov [Bases limnology for hydrobiologists and ichthyologists]*, Petrozavodsk: Karelskiy nauchnyy tsentr RAN, 395 p.
5. Shuisky, Yu. D., Vykhovanets, G. V. (2011), *Priroda Prichernomorskikh limanov [The nature of the Black Sea limans]*, Odessa: Astroprint, 276 p.

Поступила 20. 03. 2017

О. О. Стоян, канд. геогр. наук, доцент
О. Б. Муркалов, канд. геогр. наук
О. В. Скаленчук, студентка географічного відділення ГГФ ОНУ
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
кафедра фізичної географії та природокористування,
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна
physgeo_onu@ukr.net

МОРФОМЕТРИЯ І ДИНАМІКА ДНА ВЕРХІВІВ СУХОГО ЛИМАНУ

Резюме

У статті викладені результати польового і картометричного вивчення сучасного рельєфу дна верхівій Сухого лиману. Вихідною інформацією послужили польові промірні роботи 2015-2016 рр. Представлені чисельні морфодинамічні характеристики дна водойми окремо для північній, центральній і південній частин. Відображено складна структура водного об'єкту. Визначено середньобагаторічна швидкість замулення і роль утворення островів в розвитку прибережних мілководь.

Ключові слова: Сухий лиман, Чорне море, глибина, рельєф, динаміка дна.

О. О. Stoyan
O. B. Murkalov
O. V. Skalenchuk

Odessa I. I. Mechnikov National University.
Department of Physical Geography and Nature Management,
Dvorianskaya St., 2, Odessa, 65082, Ukraine
physgeo_onu@ukr.net

THE UPPER COURSES OF THE SUKHOI LIMAN BOTTOM MORPHOMETRY & DYNAMICS

Abstract

Problem Statement and Purpose. The Black Sea limans are studied quite well. However, the upper limans are being left almost undeveloped, in spite of the economic activity expansion perspectives. Accordingly, main aim of the article is to examine of the upper courses of the Sukhoi liman bottom morphometry and relief.

In this connection an overall objective of present article is consideration of a relief of a bottom and morphometry performances of the upper courses of the Sukhoi liman.

Data&Methods. Received results are based on the field surveying works of the upper courses of the Sukhoi liman water area during years 2015-2017. Surveying works were carried out by standardized method by water level control. Work was carried out with the usage of echo depth-sounders and GPS-receivers. For the depth measuring a surveying mark was used. Morphometric features were calculated by formulas used in hydrometry. Processing of the measurement results, cartographical and cartometrical works are carried out with the usage of GIS methods.

Results. Examination of the bottom relief showed its complicated structure. Coastal shallow waters and deep-water fairway are emphasized among main elements. In deep-water part depths up to 6 meters are measured, in shallow water part – up to 1 meter maximum. Within the water body the biggest area with the corresponding coastal shallow water amounts 66,2%. The deep-water part amounts 13,6%, which is 5 times less. General process of silting with the average speed of +0,002 m/year is typical. Bottom wash-out is registered at the shallow water, whereas at the deep-water part there is accumulation of sediments. Main feature of the relief development at the coastal shallow water is island formation. Total area of islands occupies 0,4% of the water body.

Key words: Sukhoi liman, Black sea, depth, relief, bottom dynamic.