

УДК 550.461

DOI 10.23683/0321-3005-2018-4-77-85

## ПОТОКИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОСТАВЕ ОСАЖДАЮЩЕГОСЯ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА НА ШЕЛЬФЕ ЧЁРНОГО МОРЯ (ПО ДАННЫМ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ЛОВУШЕК)

© 2018 г. В.И. Денисов<sup>1</sup>, В.В. Латун<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

## FLOWS OF CHEMICAL ELEMENTS IN SUSPENDED MATTER FLUXES IN THE SHALLOW AREA OF THE BLACK SEA SHELF (ACCORDING TO THE SEDIMENT TRAPS DATA)

V.I. Denisov<sup>1</sup>, V.V. Latun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Денисов Валерий Иванович – кандидат географических наук, доцент, кафедра физической географии, экологии и охраны природы, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: denisovgeo@yandex.ru

Valeriy I. Denisov - Candidate of Geography, Associate Professor, Department of Physical Geography, Ecology and Environment Protection, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: denisovgeo@yandex.ru

Латун Владимир Владимирович – кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой социально-экономической географии и природопользования, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: vlatun@yandex.ru

Vladimir V. Latun - Candidate of Geography, Associate Professor, Head of the Department of Socio-Economic Geography and Environment Protection, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: vlatun@yandex.ru

На основе собственных данных, полученных в период 1984–2010 гг., приводятся сведения о количественных параметрах осаждающейся взвеси от устьевых участков рек до глубины 50 м на российском участке восточного шельфа Черного моря от Керченского пролива до устья Мзымты. Кроме этого, включены данные по шельфу бывшего СССР от устья Дуная до устья Ингури. Во взвешенном веществе количественными методами определены концентрации 6 химических элементов (Cr, Mn, Fe, Cu, Zn и Pb) и рассчитаны потоки этих элементов в составе осаждающегося взвешенного материала. Все натурные данные получены методом седиментационных ловушек.

Абсолютные величины потоков в области шельфа в зависимости от глубины моря, сезона и гидрометеорологических причин изменяются в очень широком диапазоне – от 0,09 мг/м<sup>2</sup>/сут до более 4500 г/м<sup>2</sup>/сут. Концентрации химических элементов, как и их потоки, в составе осаждающегося вещества также имеют широкий диапазон величин. Так, содержание железа во взвеси колеблется от 0,13 до 13,1 мг/г, а потоки этого химического элемента составляют в среднем 51 мг/см<sup>2</sup>/сут. Содержание остальных 5 микроэлементов на 3 порядка ниже и составляет десятки мкг/г, а потоки – единицы – десятки мкг/см<sup>2</sup>/сут.

**Ключевые слова:** взвешенное вещество, поток вещества, поток химических элементов, седиментационная ловушка.

The article presents the quantitative data of suspended matter fluxes (collected from 1984 to 2010) from river mouth areas to 50-meter depth parts in the Russian sector of the eastern Black Sea shelf from the Strait of Kerch to the mouth of the Mzymta River. Besides, the paper includes the data gathered in the former Soviet Union's sector of the eastern Black Sea shelf from the mouth of Danube to the mouth of the Ingury River. The concentration of six chemical elements (Cr, Mn, Fe, Cu, Zn and Pb) was identified in suspended matter using the quantitative methods. Further, the flows of these chemical elements in suspended matter flux were calculated. All field data were collected using sediment traps during marine expeditions.

Absolute values of fluxes on the shelf vary dramatically from 0.09 mg/m<sup>2</sup>/d to over 4500 mg/m<sup>2</sup>/d depending on the depth of the sea, the season and hydrometeorological conditions. The concentration of chemical elements as well as their flows in suspended matter fluxes have a wide range of values. Thus, concentration of Fe in suspended matter fluctuates from 0.13 to 13.1 mg/g, whereas flows of this chemical element on average are 51 mg/cm<sup>2</sup>/d. Concentration of other microelements is by 2-3 time lower and equal dozens of µg/g, whereas flows equal units and dozens of mg/cm<sup>2</sup>/d.

**Keywords:** *suspended matter, suspended matter flux, flow of chemical elements, sediment trap.*

Взвешенное вещество шельфовой части моря является смесью терригенного материала береговой зоны, речного стока, атмосферной пыли, а также хемогенного и биогенного субстрата, которое возникает из растворов, поступающих на мелководье. В целом ряде публикаций выполнены исследования взвесей в Черном море, их образования, количественного распределения [1–3], вещественного и химического состава [4–6], форм миграции тяжелых металлов [7, 8]. Исследован количественный и качественный состав осаждающегося материала методом седиментационных ловушек (СЛ) [8–12].

### Постановка задачи

Для исследования фундаментальных свойств вещества в море, решения некоторых задач численного моделирования, например описания геохимических циклов макро- и микроэлементов, возникает необходимость в изучении количественных потоков химических элементов в составе осаждающейся взвеси, а также потоков растворенных химических элементов в воде. В данный момент времени представляется возможным на примере взвесей шельфа Чёрного моря рассчитать характеристики потоков ряда химических элементов, осаждающихся на дно моря. Данную задачу можно решить, одновременно имея сведения о количественных характеристиках потоков вещества и элементном составе взвеси.

Целью статьи является определение потоков химических элементов в составе осаждающейся взвеси в области мелководного участка причерноморского шельфа.

### Материалы и методы исследований

Сбор вертикально оседающего вещества осуществлялся с помощью СЛ цилиндрической формы с отношением высоты к диаметру, равным 3 [13, 14], изготовленных из поливинилхлоридных труб диаметром 100 мм и высотой 300 мм. Пластмассовые трубы скреплялись в трехгранные упаковки с использованием антикоррозионных и химически нейтральных материалов: высоколегированной нержавеющей стали, титана и его сплавов, фторопласта, силикона и плексигласа. Внешний вид конструкции представлен и многократно описан в ряде публикаций [4, 10].

Подготовка оборудования производилась в соответствии с принятыми в Институте океанологии РАН (ИО РАН) правилами. Она включала в себя тщательное отмывание их раствором детергента с

последующим многократным выполаскиванием дистиллированной водой и промывкой 70%-м раствором этанола. В качестве консерванта применялся 5%-й раствор формалина в 100‰-м растворе NaCl (марки ОСЧ). Время экспозиции СЛ составляло от 10 ч до 20 сут, иногда до 3 мес. Предварительная обработка проб осуществлялась в судовой или береговой лаборатории непосредственно после отбора воды и взвеси. Осадочное вещество из ловушек выделялось общепринятым методом прямой вакуумной мембранной ультрафильтрации с использованием ядерных фильтров производства Объединенного института ядерных исследований в г. Дубне (ОИЯИ) с диаметром пор 0,45 мкм. Полученная взвесь высушивалась до постоянного веса, взвешивалась, после этого рассчитывалась интенсивность вертикального потока –  $г/м^2/сут$  [4, 10]. После получения количественных данных о содержании химических элементов в пробах взвеси (аналитические физико-химические работы) производился расчет потоков каждого химического элемента в осаждающейся взвеси. В статье приведены выборочные сведения на основе данных рентгенофлюоресцентного анализа.

«Поток осадочного материала», или «поток вещества», – термин свободного пользования, показывающий количество осадочного материала в целом или его частей (отдельные элементы, остатки организмов, фракции гранулометрического состава, минералы и др.), проходящих через единицу поверхности на определенной глубине океана. Чаще всего потоки измеряют в миллиграммах (граммах) на квадратные метры в сутки, а для форменных остатков организмов (фораминиферы, радиолярии, пеллеты и др.) – в штуках на квадратные метры в сутки.

Под потоком вещества (ПВ) мы понимаем перемещение массы седиментационного материала на единицу площади дна (через единицу площади вертикального разреза) в единицу времени. Процесс транспортировки вещества в море можно условно подразделить на два основных вида:

1. Вертикальный ПВ –  $[г/м^2/сут]$  (1), или  $[мг/м^2/сут]$ , или  $[мг/см^2/сут]$  (3), или  $[мкг/см^2/сут]$  (4), происходящий под результирующим влиянием силы тяжести на единицу площади дна.

2. Горизонтальный ПВ –  $[г/м^2/сут]$ , или  $[мг/м^2/сут]$ , или  $[мг/см^2/сут]$ , или  $[мкг/см^2/сут]$ , происходящий под результирующим влиянием несущей силы потока воды через единицу площади сечения, расположенного перпендикулярно горизонтальной поверхности уровня воды. Суммарный расход взвеси через сечение шельфа оценивается в  $т/сут$  [1, 3].

Данный тип ПВ имеет место при любых скоростях горизонтальных течений. Он является основным в реках, устьевых зонах река – море, в проливах, при приливо-отливных явлениях, в струях морских течений, во вдольбереговых потоках и т.д.

Поток химических элементов в составе осаждающейся взвеси рассчитывался по формуле (4).

Использование СЛ позволяет непосредственно измерить массу поступающего на дно осадочного материала. В литературе существуют оценки количества оседающего вещества, проведенные с использованием биологических (по продукции детрита), химических методов (по концентрации органического вещества), а также методом абсолютных масс [15].

Прямые измерения ПВ с помощью автоматических больших СЛ в течение трехлетнего турецко-американского эксперимента проведены в южной части Черного моря для глубин 250 и 1200 м на траверзе устья реки Сакарья в 1982–1984 гг. Изменчивость общего вертикального ПВ находилась в пределах 2–500 мг/м<sup>2</sup>/сут в зависимости от сезона года и горизонта ловушек [9].

На восточном шельфе от Анапы до устья р. Псоу сотрудниками Южного отделения (ЮО) ИО РАН на малых глубинах от 8 до 40 м получены результаты прямых ловушечных измерений в различные сезоны 1989–1992 гг. По их данным, диапазон колебаний потоков взвесей находится в пределах 0,02–345,62 мг/см<sup>2</sup>/сут [8].

Сотрудники ИО и ЮО ИО РАН провели работы по изучению потоков осаждающейся взвеси в сентябре-октябре 1999 г. с помощью пяти СЛ, которые экспонировались на трех станциях в районе Бетта – Архипо-Осиповка в диапазоне глубин 50–1680 м. Станции располагались на шельфе, подводном склоне и подножье подводного склона. Суммарные потоки осадочного материала, по данным авторов, находятся в диапазоне 1,23–24,94 мг/м<sup>2</sup>/сут [11].

По нашим данным, изменчивость потоков в области черноморского шельфа в зависимости от глубины моря, сезона и гидрометеорологических причин находится в пределах от 0,09 до 450 мг/м<sup>2</sup>/сут [4, 10, 12].

Как правило, мы использовали вариант одиночных СЛ, устанавливаемых в придонном слое воды на расстоянии 0,5–1,0 м от дна, однако проводились и установки вертикальных серий СЛ в районах Тендровской косы в северо-западной части моря, в Керченском предпроливье, в Южной Озереевке, на мысе Утриш, в районе Широкой Балки (Новороссийск). В обоих вариантах применялись растяжная система буев (кухтылей) и груза, которые надежно удерживают СЛ на заданном горизонте в вертикаль-

ном положении, а на поверхности моря ловушечная станция маркируется сигнальным бумом [4, 12].

Расчет основных характеристик потоков взвеси, скоростей осадконакопления, абсолютных масс потока осадочного материала производился по следующим формулам:

$$V = M/S/T \quad [\text{г/м}^2/\text{сут}], \quad (1)$$

$$V' = V \times 365,25 \quad [\text{г/м}^2/\text{год}],$$

$$I = V'/\rho/1000 \quad [\text{мм/год}], \quad (2)$$

$$I' = I \times 1000 \quad [\text{мм}/1000 \text{ лет}],$$

$$A = V'/10 \quad [\text{г/см}^2/1000 \text{ лет}],$$

$$V'' = V/10 \quad [\text{мг/см}^2/\text{сут}], \quad (3)$$

$$\Psi = V \times C/10000 \quad [\text{мкг(С)/см}^2/\text{сут}], \quad (4)$$

где  $V$  – поток осаждающегося материала (вертикальный ПВ), г/м<sup>2</sup>/сут;  $V'$  – поток осаждающегося материала (вертикальный ПВ) за год, г/м<sup>2</sup>/год;  $M$  – масса осевшей в ловушке взвеси, г;  $T$  – время экспонирования СЛ, сут и доли суток;  $S$  – площадь рабочей поверхности СЛ, м<sup>2</sup>;  $I$  – скорость осадконакопления, мм/год;  $I'$  – скорость осадконакопления, мм/1000 лет;  $\rho$  – плотность осадка, 1,87 г/см<sup>3</sup> (средняя измеренная плотность ловушечной взвеси (200 измерений) в сухом весе); 365,25 – средняя продолжительность года (с учетом високосного года); 1000 – коэффициент;  $A$  – абсолютная масса потока осадочного материала, г/см<sup>2</sup>/1000 лет;  $V''$  – ПВ в размерности, мг/см<sup>2</sup>/сут;  $\Psi$  – поток химического элемента в составе осаждающегося материала, мкг(С)/см<sup>2</sup>/сут;  $C$  – концентрация химического элемента во взвеси, мкг/г (сухого веса) [10].

## Результаты

Максимальное поступление осаждающегося материала на шельфе связано с двумя глобальными поясами лавинной седиментации в этой части моря: 1 – граница река – море; 2 – у основания континентального склона.

Исследуемая зона шельфа Черного моря вместе с устьевыми участками рек составляет первый пояс лавинной седиментации. Устьевые участки рек как геохимически активные барьерные зоны достаточно подробно исследованы.

Основная часть (до 90 %) твердого стока рек, абразивного материала клифов и бенчей, практически весь ракушечный материал осаждаются и переотлагаются в пределах первого пояса лавинной седиментации для широкого шельфа [1–3]. В ряде работ А.П. Лисицын убедительно показал, что в устьевых областях рек и у основания континентального склона осаждается огромное количество материала с исключительно высокими скоростями. Это доказывается методами изучения взвеси, скоростей осадконакопления, абсолютных масс и мощностей отложе-

ний. По его мнению, в пелагиаль океана поступает не более 8 % речного материала [15].

Исследования показывают, что барьер река – море или река – лиман – море является главным природным фильтром как для взвешенного, так и для многих форм растворенного вещества. Наши данные также подтверждают эти выводы и позволяют альтернативным методом СЛ количественно оценить степень оседания материала на дно по мере продвижения от мелководья (устьев рек) до глубины 50 м.

СЛ устанавливались для сбора не только фоновых, естественных ПВ, но и, например, потоков биогенного материала в районах свайных конструкций причалов (Лазаревское) прямо под пирсом, бетонные сваи которого полностью обросли мидиями. В данном месте можно считать, что ПВ, поступающий на дно, состоит из биоотложений (фекалии и псевдофекалии мидий) + фоновая взвесь [4, 12]. В районах размещения опытных мидийных плантаций (мыс Утриш) на протяжении различных сезонов в течение года производились работы по наблюдению за количеством и химическим составом биоотложений мидий, которые собирались в СЛ, расположенных в углах квадратной мидийной плантации на трех и двух горизонтах [4]. Методом СЛ была решена задача разнесения взвеси и её размывания в толще воды при сбросе материала донных осадков при очистке портов и подходов каналов. Зона дампинга находилась в Керченском предпроливье. Впоследствии метод СЛ применялся в Таганрогском заливе Азовского моря при мониторинге разнесения пятен взвеси в период работы земснарядов при дноуглублении судоходных каналов.

Работы с СЛ были начаты в 1984 г. в границах бывшего СССР, поэтому в базе данных есть сведения о ПВ в устье реки Дунай и собственно в реке, в устьевой зоне реки Днестр, в Днепре, Днепро-Бугском лимане, в реке Южный Буг, в зоне Тендровской косы, в некоторых точках Крымского шельфа и в шельфовой области Республики Абхазии до устья р. Ингури. Количественные характеристики потоков определялись по данным более 200 СЛ. Элементный состав взвесей был изучен по данным около 70 СЛ. Потоки химических элементов в составе взвесей рассчитывались по данным 63 СЛ. В статье приводятся выборочные сведения по данным 40 ловушек.

В табл. 1 приведены выборочные данные о величинах потоков осаждающегося материала, полученные с помощью СЛ в море. Сведения о концентрациях шести химических элементов во взвеси и их

потоки представлены в табл. 2. В табл. 3 приводятся статистические сведения о концентрациях химических элементов и их потоках в составе взвеси.

Величина потоков осаждающейся взвеси имеет абсолютные значения от 1,6 до более 4500 г/м<sup>2</sup>/сут при среднем значении 92,3 г/м<sup>2</sup>/сут. Наибольшие значения потоков наблюдаются в устьях крупных рек, в первую очередь в Дунае, Днепре, Днестре, Южном Буге, в лиманах севе-западной части моря, в устьях рек Кавказского участка шельфа, таких как Ингури, Мзымта, Аше, Шахе, Псеуапсе и др. Наименьшие значения потоков взвеси отмечаются в зонах скальных участков побережья и максимальных глубин, где минимально взмучивание донных отложений и отсутствует влияние речного твердого стока. Содержание железа в осаждающейся взвеси изменяется в диапазоне от 0,13 до 13,1 мг/г при среднем значении 3,6. Поток железа в составе взвеси колеблется от 0,432 до 1635 мг/см<sup>2</sup>/сут при среднем значении 51 мг/см<sup>2</sup>/сут.

Содержание марганца в составе взвеси изменяется также в широком диапазоне от 35 до 16500 мкг/г при среднем значении 1650 мкг/г. Максимальные значения марганца и потоков этого элемента отмечаются во взвеси рек Днепр, Дунай и Южный Буг. Это связано, по-видимому, с размывом рудных тел в зонах дренажа речных потоков. Минимальные концентрации марганца в составе взвеси отмечены в Керченском проливе, на участке шельфа Утриша, в ряде прикавказских рек: Шапсухо, Вулан, Пшада и др.

Концентрация хрома во взвеси изменяется от 48 до 1200 мкг/г, потоки элемента – от 0,024 до 56 мкг/см<sup>2</sup>/сут. Максимальные значения потоков хрома отмечаются во взвеси Дуная и Днепра.

Содержание меди во взвешенном веществе изменяется от 1 до 300 мкг/г, потоки этого элемента – от 0,001 до 3,9 мкг/см<sup>2</sup>/сут. Максимальные концентрации отмечаются в веществе Днепро-Бугского лимана, Южного Буга.

Концентрации цинка во взвешенном веществе исследуемой части шельфа изменяется от 20 до 2600 мкг/г при средней величине 270 мкг/г. Потоки элемента – от 0,02 до 83 мкг/см<sup>2</sup>/сут при среднем значении 2,5. Максимум содержания отмечается во взвеси Тендровской косы и Днепро-Бугского лимана.

Концентрация свинца в осаждающейся взвеси колеблется от 15 до 250 мкг/г. Потоки этого микроэлемента изменяются от 0,008 до 25,1. Максимумы концентраций отмечаются во взвеси Керченского пролива, Днепро-Бугского лимана и Тендровской косы.

Таблица 1

**Общие сведения о потоках вещества на шельфе Чёрного моря по данным СЛ (собственные данные)  
 / General data about the flows of suspended matter flux on the Black Sea shelf based  
 on the original sediment traps data**

№ СЛ	Долгота, в.д.	Широта, с.ш.	Глубина, м	Горизонт установки, м	Т, экспо- зиция, сут	V, верти- кальный ПВ, г/м <sup>2</sup> /сут	I, интенсив- ность поступления осадочного материала, мм/год	Район установки СЛ, дата
1	37,34	44,81	32	29	45	2,473	0,4831	мыс Утриш, 28.06 – 12.08.1986
2	37,38	44,75	34	32	44	5,096	0,9953	мыс Утриш, 28.06 – 12.08.1986
7	37,36	44,76	50	49	44	4,040	0,7892	мыс Утриш, 28.06 – 12.08.1986
11	37,38	44,75	32	30	44	15,657	3,0581	мыс Утриш, 28.06 – 12.08.1986
22	37,66	44,66	20	7	89	14,140	2,7619	Южная Озереевка, 26.07 – 22.10.1987
25	37,66	44,66	20	19	52	1,630	0,3185	Южная Озереевка, 01.09 – 22.10.1987
26	41,52	42,47	11	10	0,67	38,102	7,4421	мыс Анаклиа (устье р. Ингури), 31.07 – 01.08.1987
27	35,02	44,79	47	46	80	2,210	0,4317	Крым, Новый Свет, 26.05–14.08.1987
28	31,69	46,03	20	10	0,21	6,667	1,3023	Тендровская коса, 17.08.1987
31	31,93	46,59	6	5	0,33	34,247	6,6891	Днепроовско-Бугский лиман, 17 – 18.08.1987
32	30,74	45,79	30	29	0,38	10,528	2,0563	траверз Днестровского лимана, 20 – 21.08.1987
33	39,98	43,39	20	19	10,02	33,925	6,6263	Адлер, 23.06 – 02.07.1988
34	36,67	45,1	15	14	6,98	66,293	12,9485	Тамань, 16.06 – 21.06.1988
35	37,72	44,65	15	14	12,68	1,724	0,3368	мыс Колдун, 22.06 – 05.07.1988
36	37,72	44,64	30	28	12,69	2,386	0,4661	мыс Колдун, 22.06 – 05.07.1988
37	39,42	43,78	37	35	11	2,038	0,3981	Якорная Щель, Головинка, 23.06 – 04.07.1988
38	41,5	42,47	14	13	0,42	6,466	1,2630	мыс Анаклиа (устье реки Ингури), 30.06.1988
39	29,58	45,41	4	3	1,32	4504,357	879,7949	р. Дунай, г. Вилково, 07 – 08.08.1987
40	31,97	47,0	8	7	1	189,153	36,9454	р. Ю. Буг, г. Николаев, 12 – 13.08.1987
41	32,6	46,61	8	7	0,68	41,542	8,1140	р. Днепр, г. Херсон, 10–11.08.1987
42	36,595	45,205	7	6	96,1	77,572	15,1515	Керченский пролив, 09.09 – 14.12.1987

Окончание табл. 1

№ СЛ	Долгота, в.д.	Широта, с.ш.	Глубина, м	Горизонт установки, м	T, экспозиция, сут	V, вертикальный ПВ, г/м <sup>2</sup> /сут	I, интенсивность поступления осадочного материала, мм/год	Район установки СЛ, дата
43	36,598	45,21	6	5	96,1	111,703	21,8179	Керченский пролив, 09.09 – 14.12.1987
45	31,43	46,65	5	4	0,68	75,156	14,6795	Березанский лиман, взморье, 14 – 15.08.1988
46	31,97	47,0	10	9	1,04	29,806	5,8217	р. Ю. Буг, г. Николаев, 05 – 06.08.1988
47	32,58	46,61	10	9	1,02	159,315	31,1175	р. Днепр, г. Херсон, 04 – 05.08.1988
48	29,58	45,41	4	3	0,92	1452,289	283,6622	р. Дунай, г. Вилково, 02 – 03.08.1988
54	37,39	44,753	25	24	75	107,426	20,9826	мыс Утрищ, 19.07 – 03.10.1988, мид. плантация
72	39,16	44,03	5	4,5	0,524	224,836	43,9152	устье р. Шепси, 03 – 04.08.1989
73	39,95	43,39	15	14,5	3,04	35,165	6,8684	бухта Имеретинская, 05 – 08.08.1989, мид. плантация
75	39,963	43,395	15	14,5	2,96	32,024	6,2550	бухта Имеретинская, 05 – 08.08.1989, мид. плантация
76	39,93	43,42	1	0,6	0,97	760,392	148,5205	устье реки Мзымта, 09 – 10.08.1989
80	39,26	43,96	2	1,5	0,472	310,825	60,7107	устье реки Аше, 12 – 13.08.1989
81	39,08	44,087	2,5	2	1,128	335,898	65,6080	устье реки Туапсе, 13 – 14.08.1989
82	39,03	44,13	1	0,5	0,368	22,731	4,4398	устье реки Агой, пос. Агой, 13 – 14.08.1989
83	38,75	44,3	2	1,5	0,441	348,042	67,9798	устье реки Шапсухо, пос. Лермонтово, 14 – 15.08.1989
84	38,53	44,362	1,5	1	0,517	94,882	18,5324	устье реки Вулан, пос. Архипо-Осиповка, 15–16.08.1989
86	38,325	44,388	3	2,5	0,413	148,202	28,9469	устье реки Пшада, 17 – 18.08.1989
87	37,384	44,765	10	9,5	1,938	4,155	0,8116	мыс Утрищ, море, траверз озера Змеинового, 19 – 21.08.1989
90	36,603	45,16	9	8	10	4,194	0,8192	Керченский пролив, 18 – 28.04.1990
97	36,423	45,188	9	8	10	51,374	10,0344	Керченский пролив, 18 – 28.04.1990

Таблица 2

Содержание химических элементов в осаждающейся взвеси (мкг/г, Fe – мг/г) сухого веса и потоки химических элементов в составе взвеси по данным СЛ (собственные данные), мкг(С)/см<sup>2</sup>/сут, (Fe – мг/см<sup>2</sup>/сут) сухого веса, С – химический элемент / Concentration of chemical elements in suspended matter (µg/g, Fe - mg/g) dry weight and flows of chemical elements in suspended matter composition based on the original sediment traps data, µg(C)/ cm<sup>2</sup>/d, (Fe - mg/cm<sup>2</sup>/d) dry weight, C - chemical element

№ СЛ	Cr		Mn		Fe		Cu		Zn		Pb	
	Содержание	Поток	Содержание	Поток	Содержание	Поток	Содержание	Поток	Содержание	Поток	Содержание	Поток
1	113	0,0279	721	0,1783	3,38	0,8359			140	0,0346	48	0,0119
2	163	0,0831	417	0,2125	1,65	0,8408	101	0,0515	129	0,0657	46	0,0234
7	130	0,0525	1272	0,5139	3,98	1,6081			223	0,0901	55	0,0222
11	101	0,1581	188	0,2943	1,89	2,9591	68	0,1065	78	0,1221	28	0,0438
22	284	0,4016	486	0,6872	3,83	5,4158	42	0,0594	158	0,2234	80	0,1131
25	301	0,0491	1969	0,3210	5,2	0,8478	68	0,0111	328	0,0535	87	0,0142
26	194	0,7392	1054	4,0160	5,23	19,9274	16	0,0610	218	0,8306	62	0,2362
27	176	0,0389	695	0,1536	4,04	0,8929			129	0,0285	70	0,0155
28	1161	0,7741	3683	2,4556	13,1	8,7344	214	0,1427	2630	1,7535	251	0,1674
31	335	1,1473	9656	33,0685	8,35	28,5959	110	0,3767	935	3,2021	134	0,4589
32	469	0,4937	1822	1,9181	4,62	4,8637	311	0,3274	711	0,7485	112	0,1179
33	105	0,3562	650	2,2052	5,91	20,0499			159	0,5394	48	0,1628
34	342	2,2672	1026	6,8017	4,87	32,2849			119	0,7889	59	0,3911
35	300	0,0517	1363	0,2350	5,48	0,9449	73	0,0126	417	0,0719	82	0,0141
36	628	0,1499	1712	0,4086	7,38	1,7612	122	0,0291	515	0,1229	107	0,0255
37	390	0,0795	1832	0,3734	7,07	1,4409	88	0,0179	507	0,1033	103	0,0210
38	306	0,1979	3040	1,9657	8,29	5,3604	96	0,0621	775	0,5011	130	0,0841
39	124	55,8540	917	413,0495	3,63	1635,0816	6	2,7026	184	82,8802	56	25,2244
40	160	3,0264	6485	122,6654	2,74	51,8278			128	2,4212	40	0,7566
41	339	1,4083	14000	58,1589	7,04	29,2456	14	0,0582	257	1,0676	72	0,2991
42	255	1,9781	897	6,9582	4,14	32,1149	5	0,0388	90	0,6982	57	0,4422
43	150	1,6755	947	10,5782	3,83	42,7821	6	0,0670	81	0,9048	56	0,6255
45	309	2,3223	6294	47,3032	4,97	37,3526	70	0,5261	595	4,4718	71	0,5336
46	234	0,6975	2709	8,0744	4,41	13,1444	134	0,3994	267	0,7958	69	0,2057
47	285	4,5405	16500	262,8692	6,91	110,0864			150	2,3897	60	0,9559
48	145	21,0582	843	122,4279	3,67	532,9899	27	3,9212	186	27,0126	53	7,6971
54	176	1,8907	180	1,9337	2,24	24,0635	1	0,0107	71	0,7627	40	0,4297
72			40	0,8993	0,19	4,2719	45	1,0118	45	1,0118		
73			240	0,8440	1,87	6,5758	30	0,1055	60	0,2110	55	0,1934
75			215	0,6885	1,46	4,6755	30	0,0961	110	0,3523	40	0,1281
76			300	22,8118	3,15	239,5236	15	1,1406	90	6,8435	50	3,8020
80			145	4,5070	0,75	23,3119	10	0,3108	50	1,5541	35	1,0879
81			360	12,0923	2,5	83,9746	50	1,6795	135	4,5346	45	1,5115
82			340	0,7729	2,27	5,1599	45	0,1023	135	0,3069	50	0,1137
83			85	2,9584	0,72	25,0590	10	0,3480	20	0,6961	15	0,5221
84			125	1,1860	0,78	7,4008	30	0,2846	40	0,3795	40	0,3795
86			35	0,5187	0,13	1,9266	20	0,2964	20	0,2964		
87			285	0,1184	2,4	0,9973	10	0,0042	140	0,0582	80	0,0332
90			80	0,0336	2,24	0,9395	50	0,0210	1845	0,7738	210	0,0881
97			180	0,9247	4,96	25,4814	10	0,0514	180	0,9247	100	0,5137

Таблица 3

**Основные статистические данные ловушечной взвеси (концентрация и потоки химических элементов)  
/ Main statistics data of suspended matter from sediment traps (concentration and flows of chemical elements)**

	Единица измерения	Химический элемент	Объем выборки	Среднее арифметическое	Медиана	Минимальное	Максимальное	Дисперсия
Концентрация	мг/г	Fe	63	3,6	3,2	0,130	13,1	5
Поток	мг/см <sup>2</sup> /сут			50,9	5,3	0,432	1635,1	46556
Концентрация	мкг/г	Cr	43	247,0	194,0	48,000	1161,0	33337
Поток	мкг/см <sup>2</sup> /сут			2,5	0,4	0,024	55,9	80
Концентрация	мкг/г	Mn	63	1656,2	695,0	35,000	16500,0	9363470
Поток	мкг/см <sup>2</sup> /сут			18,7	0,8	0,034	413,0	4120
Концентрация	мкг/г	Cu	55	50,7	30,0	1,000	311,0	3133
Поток	мкг/см <sup>2</sup> /сут			0,3	0,1	0,001	3,9	0,46
Концентрация	мкг/г	Zn	63	269,3	135,0	20,000	2630,0	169403
Поток	мкг/см <sup>2</sup> /сут			2,5	0,3	0,021	82,9	118
Концентрация	мкг/г	Pb	61	65,7	55,0	15,000	251,0	1844
Поток	мкг/см <sup>2</sup> /сут			0,8	0,1	0,007	25,2	11

**Выводы**

1. Экстремальные концентрации и потоки химических элементов во взвешенном веществе могут являться надежными индикаторами дренируемых реками рудных тел.

2. Для всех участков шельфа Чёрного моря прослеживаются нелинейные распределения потоков осаждающегося вещества и скоростей осадконакопления по глубине шельфа.

3. Величины потоков химических элементов определяются абсолютной величиной потоков осаднения и концентрацией этих химических элементов во взвеси.

4. Районы с максимальными значениями потоков химических элементов пространственно тяготеют к устьевым участкам рек, мелководью, районам с высокой биопродуктивностью, к зонам сброса бытовых и промышленных отходов. В нашем случае наибольшие величины потоков практически всех 6 химических элементов отмечаются во взвеси рек Дунай, Днепр, Южный Буг, Мзымта, Аше, Туапсе и др.

5. Минимальные значения как потоков вещества, так и концентраций химических элементов и их потоков характерны в зонах шельфа, где отсутствует или минимален речной сток, а также на максимальных исследованных глубинах шельфа.

6. Наблюдения за потоками взвесей и их химическими характеристиками проводились в различных погодных условиях летом, весной и осенью. Режимы течений, твердого и жидкого стока рек, ветрового волнения и иных факторов, скорее всего, явились причинами, вызывающими существенные различия в условиях осадконакопления, а также потоках химических элементов.

**Литература**

1. Айбулатов Н.А. Динамика твердого вещества в шельфовой зоне. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 271 с.
2. Айбулатов Н.А., Щербаков Ф.А. Лавинная седиментация в Черном море // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1989. № 12. С. 30–45.
3. Айбулатов Н.А., Новикова З.Т. Количественное распределение взвеси в шельфовых водах Черного моря // Океанология. 1984. Т. 24, вып. 6. С. 960–968.
4. Денисов В.И. Закономерности образования взвешенного материала на шельфе Черного моря: дис. ... канд. геогр. наук. Ростов н/Д., 1998. 256 с.
5. Хрусталева Ю.П., Черноусов С.Я., Денисов В.И. Некоторые особенности и закономерности седиментогенеза в северо-западной части Черного моря (вещественный состав и распределение взвеси) // Океанология. 1990. Т. 30, вып. 2. С. 288–294.
6. Хрусталева Ю.П., Денисов В.И. Вещественный состав взвеси шельфа Черного моря (от дельты Дуная до устья Ингури) // Океанология. 1999. Т. 39, № 6. С. 912–919.
7. Демина Л.Л. Формы миграции тяжелых металлов в океане (на ранних стадиях океанского осадкообразования). М.: Наука, 1982. 120 с.
8. Шимкус К.М., Комаров А.В. Современное осадконакопление // Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения Прикавказской зоны Черного моря. М.: Недра, 1996. С. 57–100.
9. Honjo S., Hay B.J., Manganini S.J., Asper V.L., Degens E.T., Kempe S., Ittekkot V., Izdar E., Konuk Y.T., Benli H.A. Seasonal cyclicity of lithogenic particle fluxes at a southern Black Sea sediment trap station // Mitt. Geol. Paleontol. Inst. Univ. Hamburg: SCO-PE/UNEP Sonderband Heft 62, 1987. P. 19–39.



10. Денисов В.И. Количественные характеристики потоков взвешенных веществ в мелководной области шельфа Черного моря (по данным седиментационных ловушек) // Вопросы промысловой океанологии. 2011. Вып. 8, № 2. С. 194–209.

11. Русаков В.Ю., Зернова В.В., Исаева А.Б., Серова В.В., Анохина Л.Л. Исследования потоков осадочного вещества в районе Кавказского побережья с помощью седиментационных ловушек // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. М.: Наука, 2002. С. 317–327.

12. Хрусталеv Ю.П., Денисов В.И. Интенсивность седиментации на шельфе Черного моря (по данным седиментационных ловушек) // Общая и региональная геология, геология морей и океанов, геологическое картирование: обзорная информация. М.: Геоинформмарк, 2002. Вып. 4. 48 с.

13. Bloesch J., Burns N.M. A critical review of sedimentation trap technique // Swiss. J. of Hydrology. 1980. Vol. 42, № 1. P. 15–55.

14. Gardner W.D. Field assesment of sediment traps // J. Mar. Res. 1980. Vol. 38, № 1. P. 41–52.

15. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.

#### References

1. Aibulatov N.A. *Dinamika tverdogo veshchestva v shel'fovoi zone* [Dynamics of solid substance in a shelf zone]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990, 271 p.

2. Aibulatov N.A., Shcherbakov F.A. Lavinnaya sedimentatsiya v Chernom more [Avalanche sedimentation in the Black Sea]. *Izv. AN SSSR. Ser. geol.* 1989, No. 12, pp. 30-45.

3. Aibulatov N.A., Novikova Z.T. Kolichestvennoe raspredelenie vzvesi v shel'fovykh vodakh Chernogo morya [Quantitative distribution of a suspension in shelf waters of the Black Sea]. *Okeanologiya*, 1984, vol. 24, Iss. 6, pp. 960-968.

4. Denisov V.I. *Zakonomernosti obrazovaniya vzveshennogo materiala na shel'fe Chernogo morya* : dis. ... kand. geogr. nauk [Regularities of formation of the suspended matter on the shelf of the Black Sea]. Rostov-on-Don: RSU, 1998, 256 p.

5. Khrustalev Yu.P., Chernousov S.Ya., Denisov V.I. Nekotorye osobennosti i zakonomernosti sedimentogeneza v severo-zapadnoi chasti Chernogo morya (veshchestvennyi sostav i raspredelenie vzvesi) [Some features and regularities of a sedimentogenesis in a northwest part of the Black Sea (material structure and distribution of a suspension)]. *Okeanologiya*, 1990, vol. 30, Iss. 2, pp. 288-294.

6. Khrustalev Yu.P., Denisov V.I. Veshchestvennyi sostav vzvesi shel'fa Chernogo morya (ot del'ty Dunaya do ust'ya Inguri) [Material structure of a suspension of the shelf of the Black Sea (from the Danube Delta to the mouth of the Inguri)]. *Okeanologiya*, 1999, vol. 39, Iss. 6, pp. 912-919.

7. Demina L.L. *Formy migratsii tyazhelykh metallov v okeane (na rannikh stadiyakh okeanskogo osadkoobrazovaniya)* [Forms of migration of heavy metals in the ocean (on earlirs stages of ocean sedimentation)]. Moscow: Nauka, 1982, 120 p.

8. Shimkus K.M., Komarov A.V. [Modern sedimentation]. *Tekhnogennoe zagryaznenie i protsessy estestvennogo samoochishcheniya Prikavkazskoi zony Chernogo morya* [Technogenic pollution and processes of natural self-cleaning of the Caucasian zone of the Black Sea]. Moscow: Nedra, 1996, pp. 57-100.

9. Honjo S., Hay B.J., Manganini S.J., Asper V.L., Degens E.T., Kempe S., Ittekkot V., Izdar E., Konuk Y.T., Benli H.A. Seasonal cyclicity of lithogenic particle fluxes at a southern Black Sea sediment trap station. *Mitt. Geol. Paleontol. Inst. Univ. Hamburg: SCO-PE/UNEP Sonderband Heft 62*, 1987, pp. 19-39.

10. Denisov V.I. Kolichestvennye kharakteristiki potokov vzveshennykh veshchestv v melkovodnoi oblasti shel'fa Chernogo morya (po dannym sedimentatsionnykh lovushek) [Quantitative characteristics of suspended matter fluxes in shallow area of the Black Sea shelf (according to sedimentation traps)]. *Voprosy promyslovoi okeanologii*. 2011, Iss. 8, No. 2, pp. 194-209.

11. Rusakov V.Yu., Zernova V.V., Isaeva A.B., Serova V.V., Anokhina L.L. [Researches of sedimentary substance fluxes near the Caucasian coast by means of sedimentation traps]. *Kompleksnye issledovaniya severo-vostochnoi chasti Chernogo morya* [Complex researches of a northeast part of the Black Sea]. Moscow: Nauka, 2002, pp. 317-327.

12. Khrustalev Yu.P., Denisov V.I. [Intensity of sedimentation on the shelf of the Black Sea (according to sedimentation traps)]. *Obshchaya i regional'naya geologiya, geologiya morei i okeanov, geologicheskoe kartirovanie: obzornaya informatsiya* [General and regional geology, geology of the seas and oceans, geological mapping. Survey information]. Moscow: Geoinformmark, 2002, Iss. 4, 48 p.

13. Bloesch J., Burns N.M. A critical review of sedimentation trap technique. *Swiss. J. of Hydrology*. 1980, vol. 42, No. 1, pp. 15-55.

14. Gardner W.D. Field assesment of sediment traps. *J. Mar. Res.* 1980, vol. 38, No. 1, pp. 41-52.

15. Lisitsyn A.P. *Protsessy okeanskoj sedimentatsii* [Processes of ocean sedimentation]. Moscow: Nauka, 1978, 392 p.