

УДК 628.193:551.58(269)

## ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ ПРИБРЕЖНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В АНТАРКТИКЕ

Э.З. Самышев, Н.И. Минкина, Ю.П. Копытов, Е.С. Чудиновских, С.М. Игнатъев

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского,  
г. Севастополь, esamyshev@mail.ru

Во время предыдущих исследований в районе Украинской антарктической станции (УАС) Академик Вернадский нами было обнаружено повышенное содержание тяжелых металлов в донных осадках и в грунтах о-вов Аргентинского архипелага и выявлена аккумуляция тяжелых металлов разной токсичности в организмах массовых видов фитозообентоса, макропланктона и рыб. Высокие концентрации в среде и в гидробионтах кадмия и цинка – индикаторов характера загрязнения – свидетельствуют о его природном (тектоническом) происхождении и о сыве тяжелых металлов с материка и островов Антарктики при таянии льда в результате потепления в этом регионе климата.

Наблюдавшееся в Атлантической части Антарктики резкое снижение запаса криля (*Euphausia superba* Dana) – важнейшего компонента пелагической биоты – ассоциируется с ингибированием воспроизводства рачка, икра которого развивается на дне мелководий, подверженных загрязнению, и свидетельствует о масштабности этого явления.

Полученные результаты дали основание использовать в качестве показателя временных изменений климата уровни загрязненности тяжелыми металлами компонентов биоты с коротким жизненным циклом, а также данные об обилии в водах шельфовой зоны личинок *E. superba*.

Установлена загрязненность кадмием и цинком важнейших компонентов планктона – фито- и зоопланктона и двух видов зеленых макрофитов (*Monostroma hariotii* Gain и *Cladophora repens* (J. Agardh) Harvey).

Выявлена временная (сезонная и межгодовая) динамика накопления тяжелых металлов этими компонентами прибрежной экосистемы в районе УАС. В пробах зоопланктона личинки *E. superba* не найдены. Это явление отмечалось в течение всех наблюдений 2002–2009 гг. и свидетельствует о существовании процесса смыва загрязнителей с суши вследствие таяния ледников в условиях продолжающегося потепления климата в Антарктике.

### Забруднення прибережної екосистеми важкими металами як показник кліматичних змін в Антарктиці

Е. З. Самишев, Н.І. Мінкіна, Ю. П. Копитов, О.С. Чудіновських, С.М. Ігнатъев

**Реферат.** Під час попередніх досліджень у районі Української антарктичної станції (УАС) Академік Вернадський нами було виявлено підвищений вміст важких металів у донних відкладеннях та грунтах островів Аргентинського архіпелагу і аккумуляцію важких металів різної токсичності в організмах масових видів фітозообентосу, макропланктону та риб. Високі концентрації в середовищі та в гідробіонтах кадмію і цинку – індикаторів характеру забруднення – свідчать про його природне (тектонічне) походження і про змив важких металів з материка і островів Антарктики при таненні льоду в результаті потепління в цьому регіоні клімату.

Різне зниження запасів крилю (*Euphausia superba* Dana) – найважливішого компонента пелагічної біоти, яке спостерігається в Атлантичній частині Антарктики, асоціюється з інгібуванням відтворення рачка, ікра якого розвивається на дні мелководь, підвладних забрудненню, і свідчить про масштабність цього явища.

Отримані результати дали підставу використати в якості показника тимчасових змін клімату рівні забруднення важкими металами компонентів біоти з коротким життєвим циклом, а також дані про велику кількість у водах шельфової зони личинок *E. superba*.

Встановлено забрудненість кадмієм і цинком найважливіших компонентів планктону – фіто- й зоопланктону і двох видів зелених макроводоростей (*Monostroma hartioides* Gain та *Cladophora repens* (J. Agardh)). Виявлено часову (сезонну і міжрічну) динаміку накопичення важких металів цими компонентами прибережної екосистеми в районі УАС. У пробах зоопланктону личинок *E. superba* не знайдено. Це явище відзначалося під час усіх спостережень 2002–2009 рр. і свідчить про існування процесу змиву забруднювачів з суші внаслідок танення льодовиків в умовах потепління клімату в Антарктиці.

#### **Contamination of a coastal ecosystem by trace metals as an indicator of climate change in Antarctica**

Ernest Z. Samyshev, Natalia I. Minkina, Yury P. Kopytov, Elena S. Chudinovskikh, Sergey M. Ignatyev, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas Sevastopol

**Abstract.** During previous investigations in the region of the Ukrainian Antarctic station (UAS) Academician Vernadsky we were found an increased content of trace metals in ground deposits and soils of the Argentine Islands archipelago. It was revealed an accumulation of heavy metals with different toxicity by mass species of phytozoobenthos, macroplankton and fishes. High concentrations of cadmium and zinc in the environment and hydrobionts – indicators of a nature of pollution – testify to its natural (tectonic) origin and to a wash-out of heavy metals from the mainland and islands of the Antarctica during the melting of ice because of the climate warming in the Antarctic.

Observed in the Atlantic part of Antarctic a sharp decline in the stock of krill (*Euphausia superba* Dana) – the most important component of the pelagic biota - associates with inhibition of reproduction of these crustaceans, as since its eggs develop on the bottom of shallow waters subjected to contamination, and indicates of a scale of this phenomenon.

The obtained results give arguments to use the levels of contamination by heavy metals of short vitally cyclic components of the coastal marine ecosystem - phyto - and zooplankton, as well as the abundance in the shelf zone of larvae of *E. superba*.

It was established the pollution by cadmium and zinc of the most important components of the plankton – phyto- and zooplankton – and two species of green macrophytes (*Monostroma hartioides* Gain and *Cladophora repens* (J. Agardh) Harvey). It was revealed the temporal (seasonal and interannual) dynamics of heavy metals accumulation by these components of the coastal ecosystem in the region of UAS. It was not found of larvae of *E. superba* in the samples of zooplankton. This phenomenon is observed during all years of observations in 2002-2009, that points to the existence of a process of washing-off of pollutants from the land due to the melting of glaciers in the conditions of continued climate warming in the Antarctic.

**Key words:** Antarctic, warming of climate, natural pollution, trace metals, cadmium and zinc, accumulation, phytoplankton, zooplankton, green macroalgae, ground deposits, krill

### **1. Введение**

Проблема исследования антропогенного загрязнения антарктической экосистемы и ее изменчивости возникла в конце 60-х годов прошлого века. Основное внимание исследователей было обращено на загрязнение антарктической зоны стойкими ядовитыми органическими соединениями – ДДТ и его метаболитами, проникающими в Антарктику с населенных материков, и нефтяными углеводородами. При этом оценивалась загрязненность представителей высших трофических уровней и макрофитов (Lenihan, 1992, Corsolini et al., 2002, 2003, Chiochiolo et al., 2004).

Последнее десятилетие характеризовалось ростом как среднегодовой температуры воздуха и воды в Антарктике, так и их средней температурой антарктической зимой (Масленников, 2003, Воронина и др., 2005, Тимофеев, 2006, Antarctic climate change and the Environment, 2009, Convey et al., 2009, Мартазинова и др., 2010). Отмеченные климатические изменения повлияли не только на состояние окружающей среды, но и на структуру и функционирование биоты (Самышев и др., 1997, Ahn et al., 2004, Atkinson et al., 2004, Nicol et al., 2004, и др.). В ходе современных исследований было выявлено и мощное загрязнение антарктической экосистемы тяжелыми металлами (Nolting, de Baar, 1994, Negri et al., 2006, Lannuzel, 2011, Fryirs et al., 2014), которое отсутствовало с начала ее систематических исследований вплоть до 70-х гг. прошлого века (Воронина, 1984, Самышев, 1991, Kennicutt, Champ, 1992). Имеющиеся разрозненные

данные о загрязнённости среды и гидробионтов различными поллютантами в разных точках Антарктики (Petri, Zauke, 1993, Ahn et al., 1996, 2002, 2004, Bargagli et al., 1996, Рясинцева, Савин, 1998, Рясинцева и др., 1998, Halfland et al., 2003; King, Riddle, 2001, Kahle, Zauke, 2003, Runcie, Riddle, 2004, Vodopivec et al., 2008, Fryirs et al., 2014, и др.) недостаточны для глубокого анализа механизма и последствий этого явления. Поэтому источником загрязнения Антарктики всеми видами поллютантов, сопоставимым по уровню с таковым в наиболее эксплуатируемых человечеством морских акваториях, стали считать антропогенное воздействие (Antarctic climate change and the Environment, 2009, Aranson et al., 2011), что вызвало шоковую реакцию у научного сообщества (Lenihan, 1992, Petri, Zauke, 1993, Nolting et al., 1994, Ahn et al., 1996, Bargagli et al., 1996, Рясинцева и др., 1998, Halfland et al., 2003, Kahle, Zauke, 2003, Runcie, Riddle, 2004, Vodopivec et al., 2008, Lannuzel et al., 2011, Fryirs et al., 2014).

Следует отметить, что биологи не обратили внимания на известный геологам факт – существование активных тектонических зон в Антарктике (Galindo-Zaldivar et al., 2003; Kim et al., 2003). Нами впервые было высказано предположение, что причина этого феномена – климатические изменения, то есть потепление климата в Антарктике, наблюдавшееся начиная с 80-х гг. 20-го века, и что инвазия тяжелых металлов в естественную среду объясняется смывом тяжелых металлов тектонического происхождения с суши при таянии ледников (Самышев, 2009, Samyshev, 2011a, b).

Начаты нами системные и массовые измерения содержания разнообразных токсикантов природного и антропогенного происхождения в среде и гидробионтах прибрежной зоны Атлантической части Антарктики (АЧА) в районе Украинской антарктической станции Академик Вернадский не имеют аналогов в зарубежных исследованиях и являются пионерскими как по идеологии, так и по масштабам их проведения. Нами было определено содержание тяжелых металлов и других поллютантов в окружающей среде и гидробионтах и выявлена аккумуляция в грунтах и гидробионтах широкого спектра природных загрязнителей. Особый интерес представляет изучение загрязнения элементов экосистемы кадмием и цинком. Факт повышенных концентраций среди загрязнителей одновременно обоих металлов свидетельствует о природном (тектоническом) характере загрязнения (Совга, 2005). В нашем случае вероятной причиной присутствия среди загрязнителей этих металлов являются вулканические процессы на материке Антарктиды и островах в прошлом и в настоящем.

По заключению наших исследований, в 2002–2009 гг. в условиях наблюдающегося масштабного потепления и связанного с ним естественного загрязнения тяжелыми металлами разной токсичности, смываемых с суши, практически все компоненты биоты на достаточно большой акватории (район Аргентинского архипелага, западное побережье Антарктического полуострова) находились под негативным влиянием этого фактора. Был также впервые объяснен феномен ингибирования воспроизводства криля (Самышев, 2009, 2010, Samyshev, 2011 a, b), икра которого развивается на дне мелководий (Самышев, 1991, Samyshev, 2002), подверженных в данном случае загрязнению тяжелыми металлами из-за их смыва в воду с материка и островов Антарктиды во время таяния ледников. По данным исследований Атлантического научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтланНИРО, г. Калининград, Россия), запасы криля в Атлантической части Антарктики (АЧА) в 60-е гг. прошлого столетия составляли 20 млн. т. По рекомендациям Международного Антарктического комитета (SCAR, Хобарт, Новая Зеландия) на основе этих данных вылов криля в АЧА в 2002 г. был определен в объёме 4 млн. т. Как показывают исследования Украинских антарктических экспедиций, запасы криля в этом районе в 1997–1998 гг. находились на уровне 1–1,2 млн. т (Самышев и др., 1997, 2000), что было подтверждено и данными других исследователей (Atkinson et al., 2004). В результате квота на вылов криля в АЧА в 2008 г. была снижена SCAR в 10 раз – до 0,4 млн. т.

Данные, полученные при работе с грунтом и биологическими объектами с длительным жизненным циклом, не позволяют оценить временной аспект вынесения загрязнителей и, соответственно, судить о межгодовой изменчивости процесса потепления климата в

Антарктике. «Чисто климатические» исследования оказались явно недостаточными, что породило противоречивые мнения метеорологов и океанографов относительно этого явления. Э.З. Самышевым выдвинута идея, которая не имеет мировых аналогов, – оценка межгодовой изменчивости интенсивности потепления климата в Антарктике на основании динамики содержания тяжелых металлов тектонического происхождения в гидробионтах с коротким жизненным циклом (Самышев та ін., 2013, Самышев и др., 2014). Существенным критерием состояния популяции *E. superba* является успешность его нереста в исследуемом регионе, оцениваемая по наличию и обилию в пробах зоопланктона его личинок.

Т.о., цель настоящих исследований состояла в выявлении уровня загрязненности в разные годы природными токсикантами (прежде всего кадмием и цинком) фитомезоо-планктона и двух видов зеленых макроводорослей *Monostroma hariotii* Gain и *Cladophora repens* (J. Agardh) Harvey, а также в оценке обилия в планктоне личинок *E. superba*.

## 2. Материал и методы исследований

В данной работе для достижения поставленной цели использованы материалы по указанным объектам, собранные и зафиксированные биологами, зимовавшими на УАС Академик Вернадский в 2002–2009 гг. По всем биологическим объектам выполнено предварительное биологическое обследование – индикация видов и их количественная оценка в пробах (Чудіновських, 2013, Ігнат'єв, 2013).

Сбор фитопланктона в разные сроки вегетационного периода 2007–2008 гг. производился во время 12-й УАЭ с марта по февраль по стандартной схеме станций вокруг о. Галиндез в проливах Мик, Пенола и Стела (рис. 1). Сборы фитопланктона из слоя дно – 0 м (глубина 35–50 м) проводились с 5–6 горизонтов батометром Нансена. При выполнении сборов производились измерения температуры поверхностного слоя воды. Сгущение проб производилось в лаборатории. Первоначальный объем пробы (1–5 литров) сгущался в воронке обратной фильтрации с использованием нуклеопорового фильтра с диаметром пор 1,1 мкм. Окончательный объем пробы (12 мл) фиксировался 25% раствором глютаральдегида из расчета 0,2 мл фиксатора на 10 мл пробы.

Подготовка проб фитопланктона для токсикологических анализов производилась в центрифужных пробирках, предварительно взвешенных на весах ВЛР-200. Объединенные и декантированные пробы водорослей промывались сначала дистиллированной водой, а затем 3-дистиллатом методом центрифугирования. Впоследствии объем проб в пробирках доводился до 1 мл методом декантирования, после чего они помещались в сушильный шкаф, где при температуре 75 °С в течение трех суток происходило полное испарение влаги. После повторного взвешивания пробирок с высушенными пробами на весах ВЛР-200 определялся сухой вес проб и осуществлялось определение в них содержания искомым элементов – кадмия и цинка.

Сбор проб мезооо-планктона был начат в марте 1998 г. (3-я УАЭ) и продолжен в зимовочные сезоны 7-й (февраль 2002 – февраль 2003 гг.), 10-й (февраль 2005 – февраль 2006 гг.), 11-й (февраль 2006 – февраль 2007 гг.) и 12-й (март 2007 – февраль 2008 гг.) Украинских антарктических экспедиций. На станциях (рис. 1), расположенных между о-вами Галиндез, Винтер, Индикатор, Гротто, Корнер, Уругвай, в проливах Мик, Пенола и Стела пробы собирались в течение года подекадно.

Сборы проводились также на удаленных от УАС акваториях – о. Питерманн, пр. Французский канал и др., но вследствие сложной ледовой обстановки выполнялись эпизодически, в летний период. Их результаты использованы для уточнения видового состава планктона. Использовалась стандартная планктонная сеть Джели (диаметр входного отверстия 36 см, площадь 0,1 м<sup>2</sup>, размер ячеи 150 мкм) в режиме вертикальных ловов (дно – поверхность и 30 – 0 м, в зависимости от глубины места). Местоположение ловов контролировалось с использованием GPS Etrex Garmin. Отбор проб сопровождался измерением температуры воды.

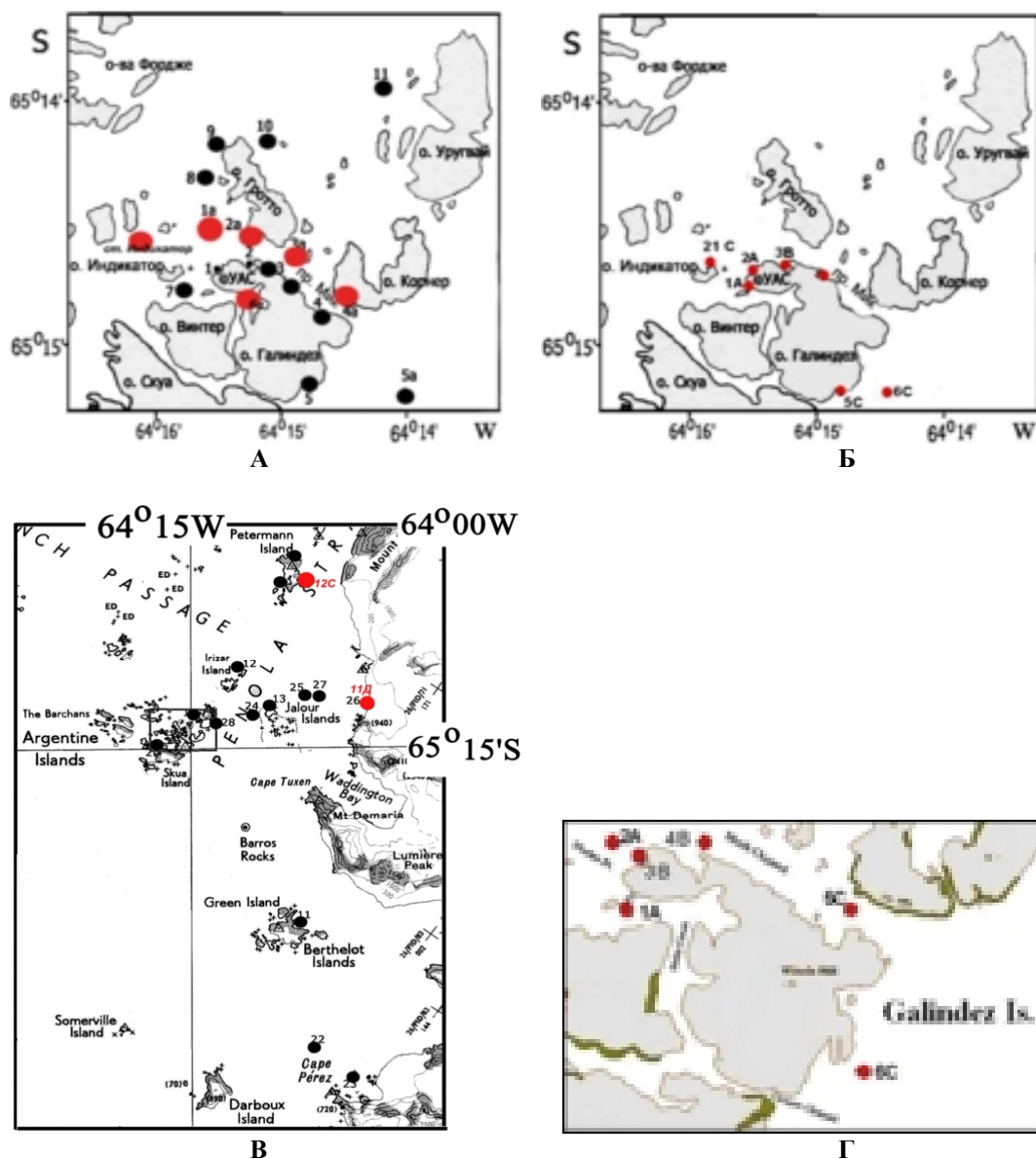


Рис. 1. Гидробиологические станции, на которых проводились регулярные сборы проб планктона с плавсредств. Сборы зоопланктона: А, Б – архипелаг Аргентинские о-ва; А – схема станций в зимовках 2002–2005 гг., Б – схема станций в 2007 г. В – район УАС Академик Вернадский. Г – схема станций сбора проб фитопланктона в 2007-2008 гг.

Подготовка проб зоопланктона для токсикологических анализов заключалась в их многократной промывке дистиллатом и 3-дистиллатом в стакане Яшнова с использованием мельничного газа № 38 и последующей сушки в аналогичном описанному для фитопланктона режиме. Высушенные пробы взвешивались на микроаналитических весах ВЛА-1000.

С целью получения достаточных навесок для химических анализов фито- и зоопланктона в большинстве случаев было произведено объединение их проб по срокам сборов и составу доминирующих форм.

Для токсикологических исследований зеленых бентосных макроводорослей *Monostroma hariotii* Gain и *Cladophora repens* (J. Agardh) Harvey использованы их гербарные листья, промытые дистиллатом и высушенные в вышеуказанном режиме до постоянного веса. Взвешивание образцов осуществлено на микроаналитических весах ВЛА-1000.

Подготовка гидробионтов к химическому анализу осуществлялась методом «мокрого» озоления с использованием концентрированной азотной кислоты и пергидроля (квалификация реактивов – ОСЧ) (Ермаченко, Ермаченко, 1997). Подготовка проб и определения Cd и Zn в донных отложениях выполнялись соответственно РД 52.10.556-95 (Метод. указания, 1996) и по МВВ 081/12-16-98 (Методика выполнения измерений..., 1998). Количественный анализ токсикантов осуществлялся методом атомно-адсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией (ААС-ЭТА) на спектрометре SpectraA-2206 производства фирмы «Varian» (Мельбурн, Австралия).

### 3. Результаты и их обсуждение

Как следует из табл. 1 и рис. 2 А, содержание Cd и Zn в фитопланктоне района исследований практически во все сезоны 2007 г. было повышенным. При выраженном тренде возрастания содержания элементов в микроводорослях от весны к лету в некоторых случаях наблюдались изменения в их соотношениях, в малой степени связанные с составом доминантов среди водорослей. Последнее зависело в большей степени от содержания этих металлов в воде, а точнее – от состава поступающего загрязнения.

Более четкая динамика загрязнённости в сезонном и межгодовом аспектах наблюдалась в отношении мезозоопланктона (табл. 2 и рис. 2 Б) в 2002–2007 гг. Из приведенных рисунков видно, что в исследованном ряду лет наибольшее накопление токсикантов в зоопланктоне происходило в 2005 г. При этом соотношение содержания Cd и Zn в организмах планктона практически мало изменялось.

В ходе 1-ой Украинской антарктической экспедиции были получены сведения о содержании некоторых тяжелых металлов в воде и во взвеси в прибрежных и открытых водах Атлантической части Антарктики (табл. 2 в работе Рясинцевой и др., 1998). Мы воспользовались этими табличными данными для расчета зависимости коэффициентов накопления тяжелых металлов (отношения концентраций в изучаемом объекте и в среде) взвесью от содержания их в воде (рис. 3).

Коэффициенты накопления взвесью меди, никеля и цинка снижаются с возрастанием концентрации этих металлов в морской воде и приближаются к нулю при содержании металлов в воде, соответствующих ПДК. Собственно, на основании подобных зависимостей и устанавливаются значения ПДК для различных сред.

Т.о., взвешенному веществу, включающему детрит и микропланктон, и планктону принадлежит важная роль в процессах самоочищения морской экосистемы от загрязнения.

Содержание токсикантов в зеленых макрофитах (табл. 3 и рис. 4), взятых из разных участков в разные годы, оказалось совершенно различным, что, безусловно, характеризует гетерогенность поля переноса загрязнителей. В связи с этим данные по содержанию поллютантов в прикрепленных формах не могут быть использованы для суждения о загрязненности района в целом.

В пробах донных осадков (песчаный грунт), взятых в локальных участках (табл. 4) в 2008 г., содержание Cd и Zn было незначительным по сравнению с таковыми по данным Рясинцевой и др. 1998а, полученными в апреле 1997 г. на 11 станциях в районе архипелага Аргентинские о-ва (включая о. Галиндез): содержание этих металлов в донных отложениях по нашим данным было ниже на 2 порядка. Это, безусловно, свидетельствует:

во-первых, об «утилизации» загрязнителей бионтами в пелагиали,

во-вторых, о механическом удалении их течениями, в том числе приливно-отливными явлениями.

Таблица 1.

Описание проб фитопланктона, отобранных в районе УАС Академик Вернадский, и содержание в них цинка и кадмия

Сезон, год сбора проб	Глубина, м	Темпе- ратура воды, солёность	Время суток	Биомасса, мг*м <sup>-3</sup>	Общая числен- ность, млн.кл.*м <sup>-3</sup>	Общий средний объем клеток в пробе, мкм <sup>3</sup>	Примечание	Содержание металлов, мкг*г <sup>-1</sup>	
								Cd	Zn
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сентябрь 2007	0,1-0,2-0,3	-1,7– -1,8 °C  33,55 – 33,43‰	10.40 -17.10	23879,52	5135,30	20196,25	Пробы собраны с берега на ст. 1А, 2А, 3В, 3С, 5В, 6В. Доминировали: по численности – мелкие флагелляты, <i>Thalassiosira sp.</i> , <i>Phaeocystis pouchetii</i> ; по биомассе - <i>Thalassiosira sp.</i> , <i>Coscinodiscus sp.</i> , <i>Corethron criophilum</i> , <i>Porosira glacialis</i> , <i>Proboscia truncata</i> , <i>Fragilariopsis sp.</i>	0,443	42,673
Октябрь 2007	0,1-0,2-0,3	-1,8 – -1,3 °C  33,59 – 33,40‰	9.20 -12	43598,74	5996,20	25763,29	Пробы собраны с берега и с «Зодиака» на ст. 1А, 2А, 3В, 4В, 5С, 6С. Доминировали: по численности – <i>Navicula transitans f. Delicatula</i> , мелкие флагелляты, <i>Thalassiosira sp.</i> , <i>Phaeocystis pouchetii</i> ; по биомассе - <i>Detonula pumila</i> , <i>Thalassiosira sp.</i> , <i>Coscinodiscus sp.</i> , <i>Navicula transitans f. Delicatula</i> , мелкие флагелляты, <i>Phaeocystis pouchetii</i> , <i>Porosira glacialis</i> , <i>Actynocyclus actynochilus</i> .	0,460	22,993

Э.З. Самышев: ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ ПРИБРЕЖНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ...

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ноябрь 2007	0,1-0,2-0,3 5-10-20-30	-1,8 – +0,28 °С  33,68 – 32,84‰	8.40 – 16.25	20737,94	5357,45	22926,49	Большинство проб собрано с «Зодиака» на ст. 1А, 2А, 3В, 4В, 5С, 6С, 20С (о. Индикатор) и 30D (Пенола). Доминировали: по численности – <i>Navicula transitans f. Delicatula</i> , мелкие флагелляты, <i>Thalassiosira sp.</i> , <i>Phaeocystis pouchetii</i> , <i>Nitzschia frigida</i> ; по биомассе - <i>Thalassiosira sp.</i> , <i>Coscinodiscus sp.</i> , <i>Detonula pumila</i> , <i>Corethron criophilum</i> , <i>Asteromphalus sp.</i> , <i>Navicula transitans f. delicatula</i> .	0,108	47,012
Декабрь 2007 – январь 2008	0,2	-0,1 – +0,9 °С  32,38 – 32,84‰	9.30 – 14.30	1618,9	6573,33	7356,30	Пробы собраны с берега и с «Зодиака» на ст. 1А, 2А, 6С. Доминировали: по численности – <i>Fragilariopsis sp.</i> , <i>Navicula transitans f. Delicatula</i> , мелкие флагелляты, <i>Dunaliella sp.</i> ; по биомассе - мелкие флагелляты, <i>Corethron criophilum</i> , <i>Fragilariopsis sp.</i>	0,673	64,119
<b>ПДК в пищевых продуктах по (Совга, 2005)</b>								<b>0,1</b>	<b>40</b>



Таблица 2.

Характеристика проб зоопланктона в районе УАС Академик Вернадский и содержание в них кадмия и цинка

№ п/п	Сезон, год сбора проб	Глубина, м	Время сбора проб, ч	Биомасса суммарная в пробе, мг*м <sup>-3</sup>	Масса навески, мг	Примечание	Содержание металлов, мг*кг <sup>-1</sup>	
							Cd	Zn
1	Апрель-май 2002 (осень)	0-3-10-20	12-17	64,68	147,8	Составная проба со ст. 1А, 2А, 3А, 6А, Индикатор 2-6. Доминировали по биомассе <i>Oithona sp.</i> и Amphipoda. Численность копепод – 0,31 экз*м <sup>-3</sup> .	0,022	0,976
2	Сентябрь-ноябрь 2002 (весна)	0-2-15-20	11-16	21,35	88,7	Составная проба со ст. 1А, 2А, 3А, 4А. Доминировали по биомассе Naupacticoidea и <i>Stephos longipes</i> . Численность копепод – 0,02 экз*м <sup>-3</sup> .	0,024	1,481
3	Апрель-июнь 2005 (осень)	0-0,5-33	14-16	3,79	34,2	Составная проба со ст. 2, 2А, 3А. Доминировали по биомассе Amphipoda, <i>Oithona similis</i> , Naupacticoidea и <i>Stephos longipes</i> . Численность копепод – 0,007 экз*м <sup>-3</sup> .	0,084	3,785
4	Сентябрь-октябрь 2005 (весна)	0-30-34	15-17	20,50	116,1	Ст. 3А. Доминировали по биомассе Gastropoda, Amphipoda, Naupacticoidea и <i>Oithona similis</i> . Численность копепод – 0,03 экз*м <sup>-3</sup> .	0,023	1,128
5	Апрель-май 2007 (осень)	0-0,5	11-17	11,45	43,4	Составная проба со ст. 1А, 2А, 3В, 4В, 4С, 5С, 6С. Доминировали по биомассе <i>Oithona similis</i> и <i>Metridia sp.</i> Численность копепод – 0,58 экз*м <sup>-3</sup> .	0,187	7,838
6	Октябрь-ноябрь 2007 (весна)	0-0,5	11-14	473,42	25,7	Составная проба со ст. 1А, 2А, 3В, 4В, 5С, 21С. Доминировали по биомассе Euphausia и <i>Oithona similis</i> . Численность копепод – 0,12 экз*м <sup>-3</sup> .	0,250	10,603

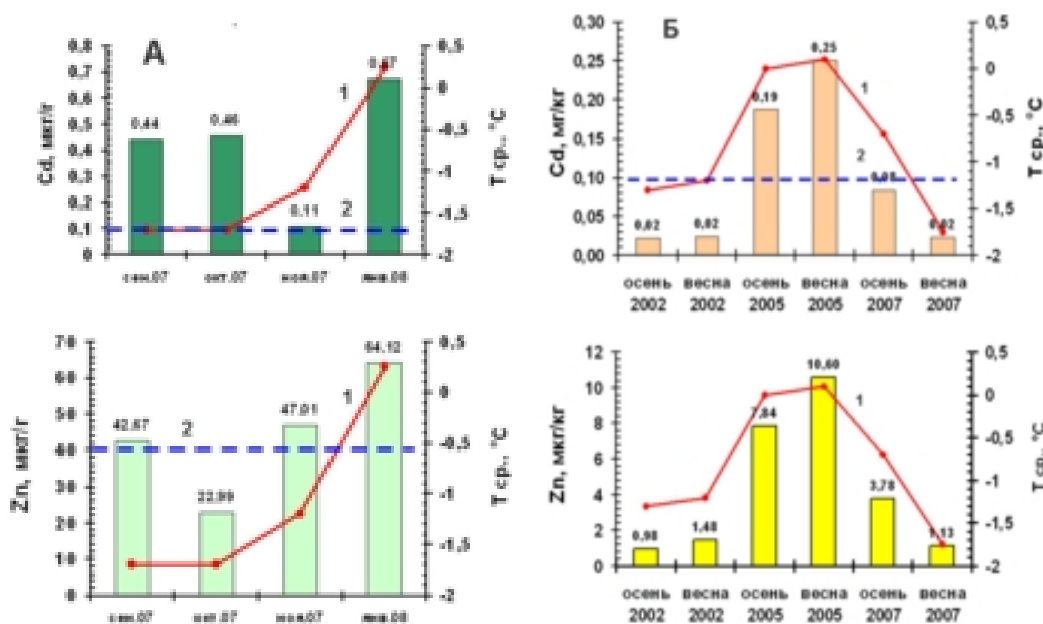


Рис. 2. Сезонная и межгодовая динамика накопления Cd и Zn фитопланктоном (А) и зоопланктоном (Б) в районе Украинской антарктической станции (УАС). 1 – сезонные изменения средней температуры обитания, 2 – ПДК содержания этих металлов в пищевых продуктах по (Совга, 2005).

Мощность потоков тяжелых металлов в различных элементах исследуемой прибрежной экосистемы может быть оценена на основании средних значений содержания в них цинка и кадмия (рис. 5). Содержание металлов закономерно снижается в ряду «морская вода–взвешенное вещество–фитопланктон–макроводоросли–мезозoopланктон–донные отложения».

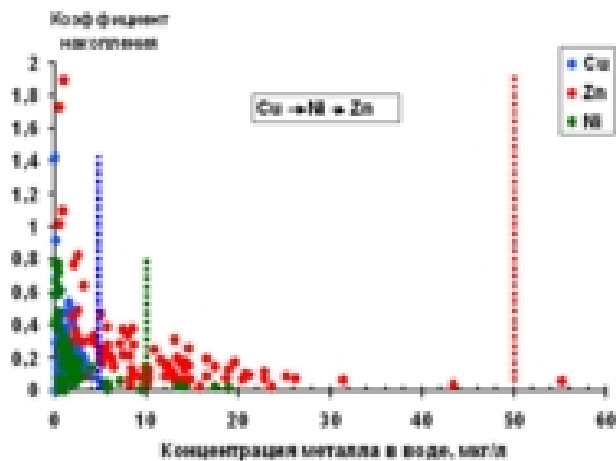


Рис. 3. Зависимость величин коэффициентов накопления тяжелых металлов во взвеси ( $\text{мкг}\cdot\text{г}^{-1}$  сухого вещества) от содержания металлов в прибрежных и открытых водах Атлантической части Антарктики (рассчитано по данным Рясинцевой и др., 1998). Пунктирные линии разных цветов соответствуют ПДК содержания этих металлов в морской воде (Niederlandische Liste, 1995)

Таблица 3.

Характеристика проб макрофитов, собранных в разные годы в районе УАС, и содержание в них кадмия и цинка

№ п/п	Описание места сбора	Место сбора	Глубина	Дата сбора	Примечание	Вес навески, мг	Cd, мг*кг <sup>-1</sup>	Zn, мг*кг <sup>-1</sup>
<i>Monostroma hariotii</i> Gain								
1	остров Галиндез	Район УАС	0,5 м	27.02.2002	Отмель у пирса, камни	24,95	0	4,898
2	Пр. Мик	Пингвин-пойнт	0 м	15.09.2002	Каменистая литораль при отливе	24,95	0,933	143,790
3	скала Тамброк	УАС, Thumb Rock	0,5 м	21.11.2002	Отлив	29,8	0,039	3,643
4	скала Ченнел	Район УАС	0,5 м	16.12.2005		65,38	0,045	1,990
5	о. Барханы			23.01.2007	Выброс на берег	107,75	0,035	1,302
6	Между Пингвин пойнт и Пиджин пойнт	Район УАС		23.12.2007	Скальная трещина	48,55	0,076	2,768
7	Бухта у входа в пролив Стелла			18.03.2008	В зарослях водоросли <i>Iridea obovata</i>	35,85	0,071	3,695
8	о. Фордж	Район УАС		15.04.2008		Большая навеска	0,020	3,316
<i>Cladophora repens</i> (J. Agardh) Harvey								
1	остров Галиндез	Район УАС	0,5 м	06.04.2002		12,9	0,531	10,155
2	остров Галиндез	Район УАС		25.03.2007		5,75	0,247	17,853
3	Пиджин пойнт			18.03.2008	В полосе прибоя на камне	5,02	0,330	24,741
4	о-ва Три поросенка		0,3 м	05.01.2009		50,5	0,065	3,009
5	о. Круль		0 м	02.02.2009		Большая навеска	0,053	2,879
ПДК в пищевых продуктах по (Совга, 2005)							<b>0,1</b>	<b>40</b>

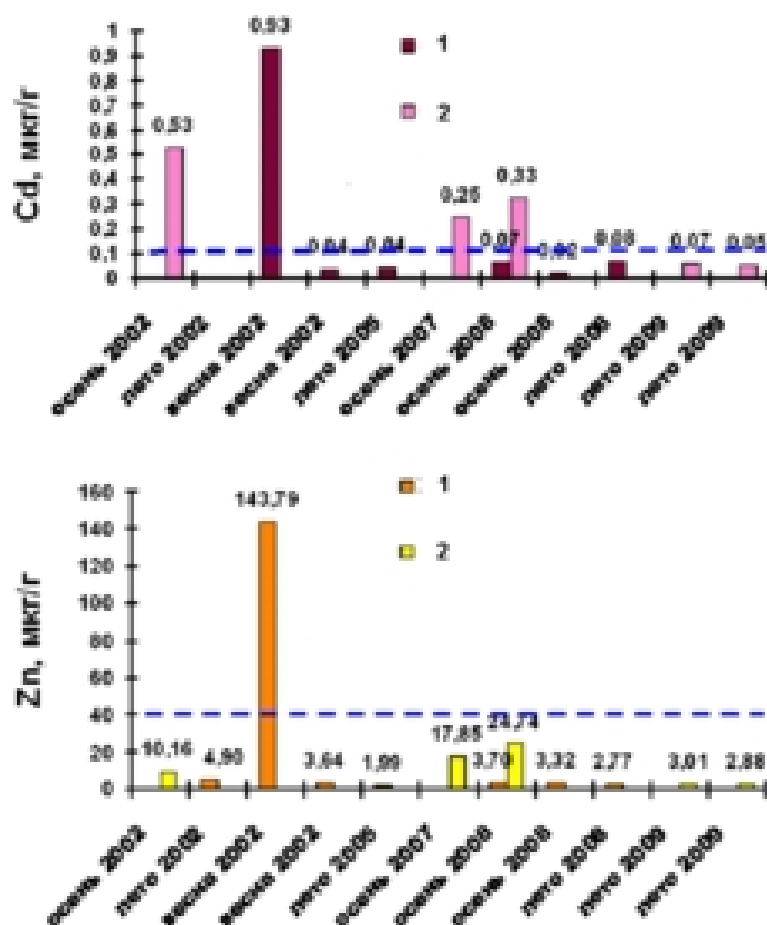


Рис. 4. Сезонная и межгодовая динамика накопления Cd и Zn зелеными макрофитами *Monostroma hartioides* Gain (1) и *Cladophora repens* (J. Agardh) Harvey (2) в районе УАС. Пунктирная линия соответствует ПДК содержания этих металлов в пищевых продуктах по (Совга, 2005)

Таблица 4.

Описание проб донных отложений (2008 г.) в районе УАС и содержание в них кадмия и цинка

№ п/п	Описание места сбора	Место сбора	Глубина	Дата сбора	Вес пробы, Г	Cd, мг*кг <sup>-1</sup>	Zn, мг*кг <sup>-1</sup>
1	Бухта Яхтовая	Ст. 7	8 м	22.02.2008	Больше 50	0,038	1,713
2	Бухта Яхтовая	Ст. 7	8 м	22.02.2008	Больше 50	0,036	1,599
3	У входа в пролив Скуа	Ст. 16 С		07.12.2008	22,4	0,025	1,397
Допустимые концентрации (ДК) согласно Niederlandische Liste, 1995						<b>0,8</b>	<b>140</b>

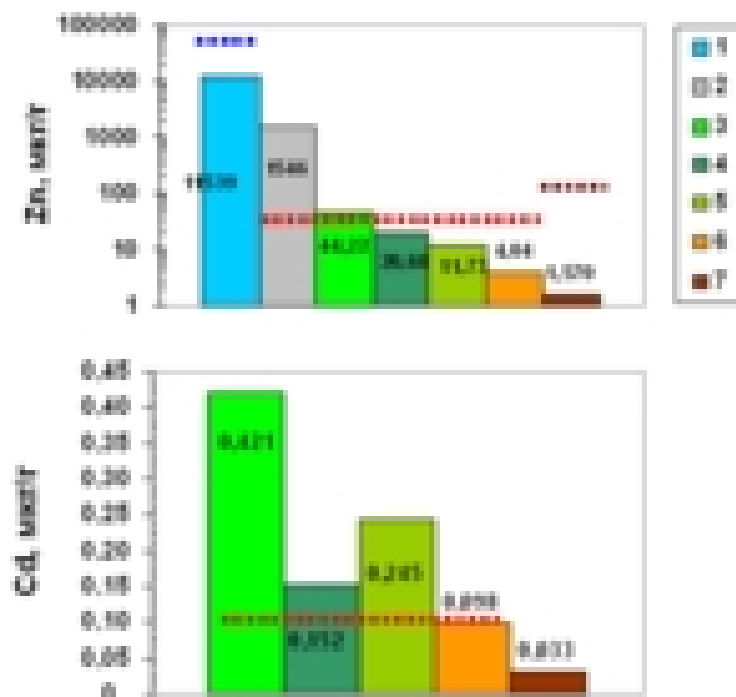


Рис. 5. Средние значения содержания цинка и кадмия в различных компонентах прибрежной экосистемы. По Рясинцевой и др., 1998: 1 – в воде, 2 – во взвеси. Наши данные: 3 – в фитопланктоне, 4 – в мезозoopланктоне; в макроводорослях: 5 – в *Monostroma hariotii*, 6 – в *Cladophora repens*; 7 – в донных осадках. Пунктирными линиями обозначены ПДК для различных элементов экосистемы.

#### 4. Выводы

Результатами токсикологических исследований в районе УАС установлена загрязненность токсикантами тектонического происхождения – кадмием и цинком важнейших компонентов планктона – фито- и зоопланктона, которые являются организмами с коротким жизненным циклом. Это явление отмечено во все годы наблюдений в 2002–2008 гг., что свидетельствует о существовании процесса смыва загрязнителей с суши вследствие таяния ледников в условиях продолжающегося потепления климата в Антарктике.

Разная степень загрязненности исследованных компонентов, вероятно, обусловлена гетерогенным полем сноса токсикантов, в том числе в вертикальном плане: пресная вода с тающего ледника, имея меньшую плотность, распространяется преимущественно в верхнем слое соленой морской воды, загрязняя в первую очередь пелагическую зону.

Судя по наличию загрязнения во всех исследованных короткоживущих компонентах (фитопланктон, зоопланктон, зеленые макрофиты) кадмием и цинком, процесс потепления климата в Антарктике имел место во все годы исследований в период с 2002 по 2009 г.

Существенным дополнительным критерием к этому заключению является полное отсутствие в исследованных пробах зоопланктона личинок антарктического криля *Euphausia superba* Dana.

Наиболее информативными для оценки загрязненности района являются сведения о загрязненности планктонных форм, распространяемых движением вод по всей его площади.

Данные о загрязненности прикрепленных форм являются ограниченными из-за их локального распределения.

В связи с этим дальнейший мониторинг биоты на основании принятого подхода должен осуществляться в отношении фито- и зоопланктона, взвеси и личинок антарктического криля.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности проведения в районе УАС Академик Вернадский ежегодного комплексного мониторинга, включающего проводящиеся гидрометеорологические, гидробиологические (планктонные) и токсикологические, о загрязненности кадмием и цинком короткоживущих планктонных организмов.

### Литература

1. **Воронина Н.М.** Экосистемы пелагиали Южного океана. – М.: Наука, 1984. – 186 с.
2. **Воронина Н.М., Масленников В.В. Ратькова Т.Н.** Изменения структуры антарктического планктона в местах массового развития сальп // *Океанология*. – 2005. – Т. 45, № 3. – С. 393-401.
3. **Ермаченко Л.А., Ермаченко В.М.** Атомно-абсорбционный анализ в санитарно-гигиенических исследованиях (методическое пособие). – (Подунова Л.Г. – Ред.). – Москва, 1997. – 149 с.
4. **Ігнат'єв С.М.** Зоопланктон в прибережній зоні УАС / Трансформація морської біоти в прибережній зоні Антарктики (регіон УАС): Науковий звіт за договором № Н/25-2013 код І.1 05.00.07 від 30 серпня 2013 р. – Розділ 2.2. – с. 13–23 (Рукописн.).
5. **Масленников В.В.** Климатические колебания и морская экосистема Антарктики. – М.: изд-во ВНИРО, 2003. – 295 с.
6. **Мартазинова В.Ф., Тимофеев В.Е., Иванова Е.К.** Современный региональный климат Антарктического полуострова и станции Академик Вернадский // *Український Антарктичний Журнал*. – 2010. – №9. – С. 231–248.
7. **Методические** указания по определению загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. – М.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1996. – РД 52.10.556-95.
8. **Методика** выполнения измерений массовой концентрации кадмия, цинка, меди, свинца и мышьяка в пищевых продуктах. Атомно-абсорбционный метод с использованием электротермической атомизации. – Северодонецк: КНПП «Химавтоматика-аналитприбор». Аналитическая лаборатория, 1998. – 64 с.
9. **Рясинцева Н.И., Савин П.Т.** Экологические проблемы Украинской антарктической станции Академик Вернадский // *Бюллетень Украинского антарктического центра*. – 1998. – Вып. 2. – С. 171–177.
10. **Рясинцева Н.И., Савин П.Т., Секундяк Л.Ю.** и др. Некоторые результаты изучения загрязнения воды и донных отложений различных районов Субантарктики // *Бюлл. Украинского антарктич. центра*. – Вып. 2. – 1998. – С. 178–190.
11. **Самышев Э.З.** Антарктический криль и структура планктонного сообщества в его ареале / АН СССР. ВГБО. – М.: Наука, 1991. – 168 с.
12. **Самышев Э.З.** Особенности структуры и функционирования экосистемы в районе УАС «Академик Вернадский» // *Украинский антарктический журнал*. – 2009. – Вып. 8. – С. 237–266.
13. **Самышев Э.З.** К вопросу о факторах, лимитирующих размер популяции антарктического криля / *Междунар. семинар: Климат, ресурсы Южного океана, АНТКОМ и антарктический криль (КРАК-2010): тез. докл. (Киев, 27-28 сент. 2010 г.)*. – С. 11. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://antarctica.org.ua/meetings>
14. **Самышев Э.З., Бибик В.А., Савич М.С.** и др. К вопросу о состоянии популяции антарктического криля и пелагической экосистемы в районе моря Скотия // *Бюллетень Украинского антарктического центра*. – 1997. – Вып. 1. – С. 132–136.
15. **Самышев Э.З., Соколов Б.Г., Василенко В.И.** Биомасса и запасы криля в районах Атлантической части Антарктики (АЧА) в 1998 г. // *Бюллетень Украинского антарктического центра*. – 2000. – Вып. 3. – С. 226–230.
16. **Самышев Э.З., Мінкіна Н.Й., Копитов Ю.П.** Дослідження накоплення важких металів в пробах фіто- і зоопланктону, а також в зелених макроводоростях і донних відкладеннях /

Трансформація морської біоти в прибережній зоні Антарктики (регіон УАС): Науковий звіт за договором № Н/25-2013 код І.1 05. 00.07 від 30 серпня 2013 р. – Розділ 3. – С. 28–41. (Рукописн.).

17. **Самышев Э.З., Минкина Н.И., Копытов Ю.П.** и др. Биологические и токсикологические предикторы потепления климата в Антарктике // Мониторинг состояния природной среды Антарктики и обеспечение деятельности национальных экспедиций: Материалы I Межд. научн.-практ. Конф. (26-29 мая 2014 г., к.п. Нарочь, Беларусь). – Минск: Экоперспектива, 2014. – С. 224–230.

18. **Совга Е.Е.** Загрязняющие вещества и их свойства в природной среде /НАН Украины, Морской гидрофизический ин-т, Черноморское отделение Московского государственного университета. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – 237 с.

19. **Тимофеев В.Е.** Пространственно-временные особенности регионального потепления на Антарктическом полуострове // Укр. Антарк. журн. – 2006. – №. 4–5. – С. 288–295.

20. **Чудіновських О.С.** Склад, кількість та розподіл фітопланктону в районі УАС „Академік Вернадський” (2007-2008 рр.) / Трансформація морської біоти в прибережній зоні Антарктики (регіон УАС): Науковий звіт за договором № Н/25-2013 код І.1 05. 00.07 від 30 серпня 2013 р. – Розділ 2.1. – С. 5–12. (Рукописн.).

21. **Ahn I.-Y., Lee S.H., Kim K.T.** et al. Baseline heavy metal concentrations in the Antarctic clam, *Laternula elliptica* in Maxwell Bay, King George Island Antarctica. // Marine Pollution Bulletin. – 1996. – V. 32, N 8/9. – P. 592–598.

22. **Ahn I.-Y., Chung K. H., Cho H. J.** Influence of glacial runoff on baseline metal accumulation in the Antarctic limpet *Nacella concinna* from King George Island. // Marine Pollution Bulletin. – 2004. – V. 49. – P. 119–141.

23. **Antarctic climate change and the Environment.** – Turner J., Bindshadler R., Convey P., di Prisco G., Fahrbach E., Gutt J., Hodgson D., Mayewski P., Summerhayes P. (Eds.). Version 1.1 25. – Cambridge: Scientific Committee on Antarctic Research, 2009. – 526 p.

24. **Aranson R.B., Thadje S., McClintock J.B.** et al. Anthropogenic impacts on marine ecosystems in Antarctica // Annals of the New York Academy of Sciences. – 2011. – V. 1223. – P. 82–107.

25. **Atkinson A.A., Siegel V., Pakhomov E.** et al. Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean // Nature. – 2004. – N 432. – P. 100–103.

26. **Chiochiolo A.L., Dickhut R.M.** et al. Persistent organic pollutants at the base of the Antarctic marine food web // Environ. Sci. Technol. – 2004. – V. 38. – P. 3551–3557.

27. **Convey P., Bindshadler R., di Prisco G.** et al. Review. Antarctic climate change and the environment // Antarctic Sciences. – 2009. – V. 21(6). – P. 541–563.

28. **Corsolini S., Romeo T., Ademollo N.** et al. POPs in key species of marine Antarctic ecosystem // Microchem. J. – 2002. – V. 73. – P. 187–193.

29. **Corsolini Simonett, Olmastroni Silvia** et al. Persistent organic pollutants in stomach contents of Adelie penguins from Edmondson Point (Victoria Land, Antarctica) / Antarctic Biology in a Global Context: Proc. of the VIII-th SCAR Int. Biology Symp. (27 Aug.–1 Sept. 2001, Vrije University, Amsterdam). – Leiden: Backhuys Publishers, 2003. – P. 296–300.

30. **Flores H., Atkinson A., Kawaguchi S.** et al. Impact of climate change on Antarctic krill // Marine Ecology Progress Series. – 2012. – V. 458. – P. 1–19.

31. **Fryirs K.A., Hafsteinsdyttir E.K., Stark S.C.** et al. Metal and petroleum hydrocarbon contamination at Wilkes Station, East Antarctica // Antarctic Science, available on CJO2014. doi:10.1017/S0954102014000443.

32. **Galindo-Zaldivar J., Maestro A., Lopez-Martinez J.** et al. Elephant Island Recent Tectonics in the Framework of the Scotia-Antarctic-South Shetland Block Triple Junction (NE Antarctic Peninsula) / Antarctica. Contribution to Global Earth Sciences: Proc. of the IX Int. Symp. of Antarctic Earth Sciences (Postdam, 2003). – Springer: 2003. – P. 271–275.

33. **Hanfland C., Geibert W., Vuge I.** Tracing Marine Processes in the Southern Ocean by Means of Naturally Occurring Radionuclides / Antarctica. Contribution to Global Earth Sciences: Proc. of the IX Int. Symp. of Antarctic Earth Sciences (Postdam, 2003). – Springer: 2003. – P. 409–413.

34. **Kahle J., Zauke J.P.** Trace metals in Antarctic copepods from the Weddell Sea (Antarctica) // Chemosphere. – 2003. – V. 51. – P. 409–417.

35. **Kennicutt M.C., Champ M.A.** Environmental awareness in Antarctica: History, problems, and future solutions // *Mar. Pollut. Bull.* – 1992. – V. 25, no. 9-12. – P. 219–340.
36. **Kim S.B., Sohn Y.K., Choe M.Y.** The Eocene Volcaniclastic Sejong Formation, Barton Peninsula, King George Island, Antarctica: Evolving Arc Volcanism from Precursory Fire Fountaining to Vulcanian Eruptions / Antarctica. Contribution to Global Earth Sciences: Proc. of the IX Int. Symp. of Antarctic Earth Sciences (Postdam, 2003). – Springer: 2003. – P. 261–269.
37. **King, C.K., Riddle, M.J.** Effects of metal contaminants on the development of the common Antarctic sea urchin *Sterechinus neumayeri* and comparison of sensitivity with tropical and temperate echinoids // *Mar Ecol Prog Ser.* – 2001. – V. 215. – P. 143–154.
38. **Lenihan H.S.** Benthic marine pollution around McMurdo Station, Antarctica: A summary of findings // *Mar. Pollut. Bull.* – 1992. – V. 25, no. 9-12. – P. 318–323.
39. **Lannuzel D., Bowie, A.R., Van Der Merwe P.** et al. Distribution of dissolved and particulate metals in Antarctic sea ice // *Marine Chemistry.* – 2011. – V. 124 (1-4). – P. 134–146.
40. **Nicol S., Croxall J., Trathan F.** et al. Opinion. Paradigm misplaced? Antarctic marine ecosystem are affected by climate change as well as biological processes and harvesting // *Antarctic Sciences.* – 2007. – V. 19(3). – P. 291–295.
41. **Niederlandische Liste.** Atlanten Spektrum 3/95. // PTS limits and levels of concern in the environment, food and human tissues. – 1995. – 3. – P. 29–32. <http://www.amap.no/documents>.
42. **Negri A., Burns K., Boyle S.** et al. Contamination in sediments, bivalves and sponges of MacMurdo Sound, Antarctica // *Environmental pollution.* – 2006. – V. 143. – P. 456–467.
43. **Nolting R.F., de Baar H.J.W.** Behaviour of nickel, copper, zinc and cadmium in the upper 300 m of a transect on the Southern Ocean (57–62°S, 49°W) // *Marine Chemistry.* – 1994. – V. 45. – P. 225–242.
44. **Petri G., Zauke G.-P.** Trace metals in crustaceans in the Antarctic Ocean // *Ambio.* – 1993. – V. 22. – P. 529–536.
45. **Runcie J.W., Riddle M.J.** Metal concentrations in macroalgae from East Antarctica // *Marine Pollution Bulletin.* – 2004. – V. 49. – P. 1109–1126.
46. **Samyshev E.Z.** Antarctic krill and the structure of planktonic community in its distribution area. – The 2<sup>nd</sup> ed. (expand.) – M.: Nauka, 1991. – 168 p. – (Acad. of Sci. of the USSR. All-Union Hydrobiol. Soc.) + the recently included Chapter VI. – Sevastopol: ECOSEA-Hydrophysics, 2002. – 268 p.
47. **Samyshev E.Z.** The structure and functioning of Antarctic marine coastal ecosystems in the conditions of natural and anthropogenic contaminations // *Морск. эколог. журн.* – 2011а. – 10, № 2. – С. 3–25.
48. **Samyshev E.Z.** The structure and functioning of marine ecosystem in Argentine Islands waters // Reports of Sci. Committee of CCAMLR, Working Group of Ecological Monitoring and Management (SC-CCAMLR/WG-EMM-11/5), Busan (S. Korea), 27 June 2011. – 2011b. – No(s) 2.1. – P. 1–5.
49. **Vodopivec C., Mac Cormack W.P., Villaamil E.** et al. Evidence of pollution with hydrocarbons and heavy metals in the surrounding of Jubany Station // *Berichte zur Polar und Meeresforschung.* – V. 571 - 2008/ Report on POLAR AND Mar.Res. The Antarctic ecosystem of Potter Cove, King George Island (Isla 25 de Mayo). Synopsis of research performed 1999–2006 at the Dallmann Lab. and Jubany Station (C. Wiencke, G.A. Ferreyra, D. Abele and S. Marensi - Eds.). – P. 357–364.