

УДК 577.4:211.99

**АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ХЛОРООРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ
КОМПОНЕНТОВ ЭКОСИСТЕМЫ АНТАРКТИДЫ**

© Д.Ю. Аладин, Д.В. Демин, Н.Ф. Деева, А.В. Лупачёв, А.А. Ильина, С.М. Севостьянов

Проведены исследования концентрации хлорорганических соединений в образцах тканей пингвинов Адели (*Pygoscelis adeliae*), гуано и мхе в выбранных участках российских полярных исследовательских станций в Антарктике. Самыми загрязненными образцами были ткани пингвинов Адели, в которых обнаружены полихлорированные бифенилы, гексахлорбензол, бета-хлорциклогексан, метаболиты гепта-хлора и хлордана, ДДТ и его метаболиты, мирекс. Накопление хлорорганических соединений на континенте связано как с трансграничной передачей этих веществ в виде аэрозолей, так и с притоком океанических вод и их передвижением по трофическим цепям.

Ключевые слова: Антарктика, ДДТ, полихлорированные бифенилы, гексахлорбензол, хлордан, гепта-хлор, хлорциклогексан, мирекс.

Персистентные органические вещества (Persistent Organic Pollutants, POPs), стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) – органические токсические загрязняющие вещества и смеси, существующие длительное время в биосфере, вследствие чего оказывающие сильное негативное воздействие на живые организмы.

Чем холоднее климат, тем меньше СОЗ испаряются, в результате чего накапливаются в почве и других объектах окружающей среды. Тот факт, что Антарктида является одним из самых экологически чистых мест на Земле, делает ее идеальным местом для измерения распространения глобальных загрязнителей. Присутствие техногенных химических веществ, используемых в других частях мира, в настоящее время обнаружены в сне-

ге, который выпадает в регионе. Некоторые из этих веществ могут накапливаться в органах местного животного мира, таких как тюлени, пингвины и киты, и оказывать отрицательное воздействие на этих животных в долгосрочной перспективе.

Образцы биологических материалов были отобраны в различных частях Антарктиды (рис. 1) вблизи российских полярных станций в период с 2009 по 2010 год и проанализированы на содержание СОЗ.

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) были обнаружены в трех образцах из пяти. Наиболее высокие концентрации обнаружены в ткани пингвина Адели (*Pygoscelis adeliae*) – 69,23 нг/г (в пересчете на жир).

Материал гуано, отобранный в месторасположении колонии пингвинов Адели, со-

АЛАДИН Данила Юрьевич, Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
e-mail: aladin-danila@rambler.ru

ДЕМИН Дмитрий Викторович, Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
e-mail: dmitriy_demin@rambler.ru

ДЕЕВА Надежда Филипповна, Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
e-mail: ndeeva@rambler.ru

ЛУПАЧЁВ Алексей Владимирович, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, e-mail: a.lupachev@gmail.com

ИЛЬИНА Алевтина Алексеевна, Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
e-mail: alevtinaili@rambler.ru

СЕВОСТЬЯНОВ Сергей Михайлович – к.б.н., Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
e-mail: sevost2000@rambler.ru



Рис. 1. Расположение точек отбора проб № 1–6

держит гораздо меньше ПХБ по сравнению с предыдущим образцом. Если в образцах пингвина и гуано наличие ПХБ может быть объяснено поступлением с океаническими водами и дальнейшим передвижением по пищевым цепям, то в моховой подушке поступление ПХБ, возможно, связано с трансграничным переносом. Фоновые уровни ПХБ в атмосферных осадках над Антарктидой – 0,2 нг/л, в атмосферном воздухе – 0,1 нг/м³ [1].

Мхи и лишайники, имеющие развитую поверхность, обычно относят к индикаторам атмосферного загрязнения [2–3]. Отсутствие у низших растений корневой системы и преобладание азрального поступления вещества в процессе питания позволяет считать их ак-

кумуляторами атмосферных аэрозолей, содержащих загрязняющие вещества.

Ряд СОЗ – пестицидов, гербицидов и их метаболитов – также обнаружены в представленных образцах (табл. 2). Во всех пробах присутствует гексахлорбензол (ГХБ) – токсикант, сопутствующий практически любой антропогенной деятельности. Максимальное количество обнаружено в тканях *Pygoscelis Adeliae*.

Инсектицид гексахлоран (ГХЦГ) и, в частности, его канцерогенная β-форма накапливаются в тканях. Это связано с его липофильными свойствами.

Среди инсектицидов – хлордан и его производные – оксихлордан, транс- и цис-нонахлор.

Таблица 1

Содержание ПХБ (нг/г сухого веса)*

	№1 ткань <i>Pygoscelis Adeliae</i>	№5 гуано на почве	№6 моховая подушка
Содержание ПХБ	69,23	0,97	1,19

Примечание. *Для *Pygoscelis Adeliae* цифры в табл. 1–2 даны в пересчете на 1 г жира (жирность 20,67%).

Наибольшей способностью к накапливанию обладает оксихлордан. В связи с его липофильностью аккумулируется в жировой части тканей. В российской Арктике распространяется в основном по воздуху дальними переносами [4].

Присутствие повышенных доз дихлордифенил-трихлорэтана (ДДТ) и чрезвычайно высокое содержание его метаболитов, в частности 4,4'-ДДЕ, в тканях пингвина свидетельствует о том, что снижение уровня этого химиката в экосистемах Антарктики не происходит. По мнению Heidi Geisz [5], повышение средней зимней температуры на шесть градусов привело к интенсивному таянию ледников и высвобождению с водами ДДТ, депонированного в них в 50–60-е гг. прошлого века, во времена активного его применения. Несмотря на повсеместный запрет использования ДДТ в наши дни, в Российской Федерации продолжается контролируемое использование ДДТ в качестве основного средства борьбы с инфекционными заболеваниями. Это объясняется опасностью возникновения таких природно-очаговых заболеваний как чума и зоонозный кожный лейшманиоз. Таким образом, загрязнение ДДТ продолжается как из-за вторичного загрязнения накопленных веществ, так и из-за пусть и контролируемого первичного поступления токсиканта в биосферу.

В тканях пингвина обнаружено присутствие инсектицида мирекс, также входящего в Стокгольмскую «грязную дюжину». Данное вещество является сердечным токсикантом и канцерогеном. Например, в российской Антарктике мирекс не встречается (кроме следовых количеств). Это связано с малым применением этого инсектицида в Советском Союзе. В то время как находящиеся ближе к Антарктиде такие крупные аграрные страны, как Бразилия и Индия, применяли мирекс вплоть до 90-х гг. Его отсутствие в других образцах может быть связано с тем, что единственный путь его поступления в организм птицы осуществляется по пищевым цепям, с рыбой.

Полученные результаты согласуются с ранее опубликованными по распространению хлорорганических поллютантов в Антарктике [6]. Однако для территорий, расположенных вблизи российских станций, определение ряда загрязнителей проведено впервые.

Проблемы глобального загрязнения хлорорганическими соединениями, став привычными, не перестают быть от того менее насущными. Для анализа ситуации и составления прогнозов необходимо продолжать систематический мониторинг арктических территорий. Данные поллютанты являются жирорастворимыми и устойчивыми к воздействиям

Таблица 2

Содержание хлорорганических пестицидов (ХОП) в образцах, мкг/кг сухого веса

Определяемое Соединение	Материал образца				
	№1 ткани <i>Pygoscelis Adeliae</i>	№2 гуано на почве	№3 гуано на почве	№5 гуано на почве	№6 моховая подушка
ГХБ	166,42	1.25	1.07	0.30	1.54
β-ГХЦГ	6,62	<0.05*	<0.05	<0.05	<0.05
Гептахлор эпоксид	0,919	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Оксихлордан	30,87	<0.08	0.73	<0.08	<0.08
<i>trans</i> -Хлордан	2,66	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
<i>trans</i> -Нонахлор	12,87	<0.01	0.14	<0.01	<0.01
2,4'-ДДЕ	1,64	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
4,4'-ДДЕ	265.60	<0.03	2.16	<0.03	0.13
4,4'-ДДД	5,66	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
2,4'-ДДТ	1,16	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
4,4'-ДДТ	13,40	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
Дильдрин	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	1.87
Мирекс	33,48	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03

Примечание. * Ниже уровня определения.

окружающей среды. Из-за этих особенностей они легко переносятся по трофическим цепям и накапливаются в верхних звеньях. Чтобы отслеживать миграцию хлорорганических соединений, следует увеличить количество объектов мониторинга и, в частности, включить в них рыбу как важное звено пищевой пирамиды антарктических экосистем.

Работа выполнена по гранту РФФИ 12-04-31924 мол_а

ЛИТЕРАТУРА

1. Клюев Н.А., Бродский Е.С. Определение полихлорированных бифенилов в окружающей среде и биоте // Полихлорированные бифенилы супертоксиканты XXI века: информационный выпуск. № 5. М., 2000. С. 31–63.

2. Borghini F., Grimalt J.O., Sanchez-Hernandez J.C., Bargagli R. Organochlorine pollutants in soils

and mosses from Victoria Land (Antarctica) // *Chemosphere*. 2005. Vol. 58. P. 271–278.

3. Thomas W., Simon H., Ruhling A. Classification of plant species by their organic (ПАХ, РСВ, НСВ) and inorganic (heavy metals) trace pollutant concentrations // *Science of the Total Environment*. 1985. Vol. 46. P. 83–94.

4. Никитин В.Г. Стойкие органические загрязняющие вещества в атмосфере российской Арктики: автореф. дис. ... канд. географ. наук. Обнинск, 2008. 17 с.

5. Geisz H.N.; Dickhut R.M.; Cochran M.A.; Ducklow H.W.; Fraser W.R. Current Levels and Long-Term Trends of Persistent Organic Pollutants in Adélie Penguins // 6th International Penguin Conference. Hobart, Tasmania, Australia. Sept. 3–7, 2007.

6. Miranda-Filho, Metcalfe C.D., Metcalfe T.L., Muelbert M.C. and over. Lactation transfer of PCBs and chlorinated pesticides in pups of southern elephant seals (*Mirounga leonine*) from Antarctica // *Chemosphere*. 2009. Vol. 75. P. 610–616.



ANALYSIS OF ORGANOCHLORINE CONTAMINATION IN ANTARCTIC ECOSYSTEM COMPONENTS

© D.Yu. Aladin, D.V. Dyomin, N.F. Deeva, A.V. Lupachov, A.A. Ilina, S.M. Sevostyanov

The paper considers organochlorine compounds concentration in tissue samples of Adélie penguins (*Pygoscelis adeliae*), guano and moss from selected areas of the Russian polar research stations in Antarctica. Tissue samples of Adélie penguins were the most contaminated, with the presence of polychlorinated biphenyls, hexachlorobenzene, beta chlorocyclohexane, heptachlor and chlordanе metabolites, DDT and its metabolites, and mirex. The accumulation of organochlorine compounds on this continent is due to both the cross-border transfer of these substances in the form of aerosols and the influx of ocean waters and their movement through food chains.

Key words: Antarctica, DDT, polychlorinated biphenyl, hexachlorobenzene, chlordanе, heptachlor, chlorocyclohexane, mirex.