

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОЧВЕННОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

Представлены уровни содержания загрязняющих веществ в почвенно-растительном покрове в районе расположения поселка Баренцбург и на прилегающих территориях. Дана оценка загрязненности природной среды по результатам локального и фоновый мониторинга. Результаты исследований показали, что состояние природной среды в районе расположения пос. Баренцбург является типичной для районов развития угледобывающей промышленности и не является критическим. Содержание загрязняющих веществ в почвенно-растительном покрове на фоновых территориях находится на уровне, характерном для района арктических тундр.

Ключевые слова:

архипелаг Шпицберген, Баренцбург, загрязняющие вещества, локальный мониторинг, полихлорбифенилы, фоновый мониторинг, хлорорганические соединения.

Архипелаг Шпицберген, несмотря на то, что расположен на значительном удалении от промышленных и индустриальных центров испытывает влияние от антропогенной деятельности [1]. Загрязнение природной среды, обусловлено как удаленными, так и местными источниками. Поступление загрязняющих веществ извне обусловлено дальним (трансграничным) переносом, который происходит преимущественно с воздушными потоками и морскими течениями [6].

К местным источникам в первую очередь относится деятельность угледобывающих предприятий, которые действуют на архипелаге с начала XX в. В последнее время увеличивается нагрузка на экосистему и за счет туристической индустрии, возрастает количество посещений туристами, соответственно возрастает количество авто- и мототранспорта, увеличивается число заходов судов в заливы архипелага Шпицберген, строится новая инфраструктура. Все это непосредственно сказывается на природной среде архипелага Шпицберген [3; 4].

В начале 90-х годов XX в. стало очевидно: арктический регион подвергнут существенному загрязнению, это было подтверждено на состоявшейся в 1991 г. конференции министров приарктических стран (Рованиеми, Финляндия), которая утвердила Стратегию защиты окружающей среды Арктики (AEPS), состоявшую из 5 отдельных программ, включая Программу мониторинга и оценки окружающей среды Арктики – АМАР (Arctic Monitoring and Assessment Programme).

Район Шпицбергена входит в зону деятельности АМАР, поэтому Российская Федерация выполняет мониторинг природной среды в местах российского присутствия на

архипелаге согласно рекомендациям, выполненным в рамках АМАР [5].

В настоящее время действующим российским предприятием на Шпицбергене является трест «Арктикуголь», который располагает угледобывающим рудником в поселке Баренцбург и законсервированными производствами в поселках Пирамида и Колсбей.

В период с 2002 по 2012 г. организациями Росгидромета выполнен комплекс работ в рамках экологического мониторинга в районе залива Гренфьорд, где расположен рудник Баренцбург и связанная с ним инфраструктура жилого поселка. В результате получен значительный объем данных, необходимых для оценки состояния загрязнения компонентов окружающей природной среды на обследуемых территориях. При этом контролировались следующие компоненты окружающей среды: атмосферный воздух, снежный покров, морские воды и донные отложения, воды и донные отложения водоемов суши, почвы и растительный покров.

В данной работе представлены материалы исследований почвенного и растительного покрова, как наиболее показательных компонентов природной среды архипелага Шпицберген.

Район проведения исследований

Особенностью данного региона является его малонаселенность и незначительная промышленная активность, что позволило выделить участки для локального мониторинга, включающие в себя технологические объекты, и для фоновый мониторинга, находящиеся на значительном удалении от возможных источников загрязнения.

Для мониторинга загрязнения почвенно-растительного покрова было выделено восемь районов в зависимости от удаления от поселка и рудника Баренцбург, от высотного положения пробных площадок и наличия локальных источников загрязнения, в пределах каждого из которых проводилось обобщение данных, полученных в результате исследований проб. При изучении загрязнения почвенно-растительного покрова, помимо прочего, необходимо учитывать и удаленность пробной площадки от побережья, т.к. данный микроклиматический фактор существенно влияет на частоту и объем выпадающих атмосферных осадков, являющихся одним из определяющих факторов при формировании уровней загрязнения почвенно-растительного покрова (в первую очередь – мхов).

Четыре участка выделены как районы локального мониторинга:

- пос. Баренцбург (две пробные площадки в южном и в северном районах поселка);

- окрестности пос. Баренцбург (три пробные площадки в районах свалки бытовых отходов, склада горношахтного оборудования и склада стройматериалов);

- район расположения вертолетной площадки;

- район расположения отвалов горных пород и шлака от ТЭЦ.

В качестве районов фонового мониторинга выделены также четыре участка:

- р. Грендалсэльва (две пробные площадки в долине и в дельте реки);

- оз. Биенда-Стемме (две пробные площадки в долине озера на противоположном берегу залива Гренфьрд);

- северо-восточные фоновые территории (две пробные площадки в долине Сахариассендален и на южном побережье залива Исфьорд);

- площадка, расположенная восточнее пос. Баренцбург.

Удаление фоновых участков от локального полигона составляло от 2 до 10 км, помимо расстояния эти районы разграничены сложным рельефом с возвышенностями до 300 м.

Уровни содержания загрязняющих веществ в объектах природной среды

Растительный покров территории поселка и его окрестностей представлен мхами (*Aulacomnium turgidum*, *Racomitrium lanuginosum*, *Sphagnum lindbergii*, *Polytrichum commune* и др.), лишайниками (*Cetraria ericetorum*, *Cetraria islandica*, *Flavocetraria nivalis* и т.д.) и сосудистыми растениями – осоками

(*Carex rotundata*, *C. rariflora*, *C. aquatilis*), пушицей (*Eriophorum russeolum*, *E. scheuchzeri*, *E. polystachion*), горцем змеиным (*Poligopium bistorta*), дудником дягилевым (*Archangelica norvegica*), лабазником вязолистным (*Filipendula ulmaria*), золотарником лапландским (*Solidago lapponica*), карликовой стелющейся ивой (*Salix polaris*, *Salix reticulata*) и др.) [2]. В пробах, отобранных на территории поселка и его окрестностей в 2002–2012 гг., проводилось определение концентраций ПАУ, хлорорганических соединений (включая ПХБ) и тяжелых металлов (всего 65 показателей). Всего с 2002 по 2012 гг. было отобрано 96 образцов сосудистых растений и 96 образцов мхов на 8 исследовательских участках. Учитывая, что наиболее представительными видами растительности, встречающимися на всех выбранных площадках являются мхи и сосудистые растения, ниже приводятся сведения об уровнях содержания ЗВ, определенных для этих групп растений.

Для отбора образцов растительности в пределах полигонов были выделены участки размером 50×50 м с ненарушенным растительным покровом.

Из всего списка полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) с различной частотой обнаружения в пробах *сосудистых растений* были зафиксированы все 16 контролируемых соединений: флуорантен был зафиксирован во всех исследованных образцах; фенантрен, антрацен, хризен, бенз(б)флуорантен+перилен и бенз(к)флуорантен были отмечены в 91–98% образцов; содержание нафталина, флуорена, пирена и бенз(а)антрацена было отмечено в 78–88% случаях; остальные соединения группы ПАУ (аценафтилен, аценафтен, бенз(а)пирена, бенз(г,х,и)перилен, дибенз(а,х)антрацен и индено(1,2,3-сд)пирен) были зафиксированы в 30–58% проб. В среднем, соединения группы ПАУ фиксировались в пробах сосудистых растений, отобранных на фоновых территориях в 1,3 раза реже, чем в пробах, отобранных в районах производственной деятельности.

Суммарное содержание соединений группы ПАУ изменялось в следующих пределах: в пробах сосудистых растений от 5,95 до 1467 нг/г (среднее – 242 нг/г), у мхов – от 2,92 до 5397 нг/г (среднее 618 нг/г). Наибольшие суммарные концентрации ПАУ были зафиксированы в пробах растительного покрова, отобранных южнее поселка Баренцбург в районе горных отвалов.

Частота обнаружения практически всех индивидуальных соединений ПАУ в пробах мхов составила 90–100%. Исключение составили: бенз(г,х,и)перилен (84%),

148 | дибенз(а,һ)антрацен (72%), индено(1,2,3-сd)пирен (69%), аценафтилен (78%) и аценафтен (59%). Как и в сосудистых растениях, соединения группы ПАУ в образцах мхов, отобранных на территории фонового мониторинга, встречались в 1,2 раза реже, чем в пробах, отобранных в районах локального мониторинга.

Из контролируемых хлорорганических соединений (ХОС) в пробах растительного покрова зафиксировано наличие полихлорбензолов, полихлорциклодиенов, ПХБ и пестицидов групп ГХЦГ и ДДТ. Из всех контролируемых хлорорганических соединений, в исследованных пробах не был зафиксирован только альдрин. Наиболее часто отмечались пестициды группы ДДТ (представлены во всех отобранных пробах), частота обнаружения соединений групп полихлорциклодиенов, полихлорбензолов и ГХЦГ варьировалась от 60 до 98%.

Максимальные концентрации ХОС на локальном полигоне достигали: для суммы полихлорбензолов: во мхах – 4,05, в сосудистых растениях – 1,68 нг/г; для суммы полихлорциклодиенов: во мхах – 11,0, в сосудистых растениях – 4,82 нг/г; для суммы изомеров ГХЦГ: во мхах 10,8, в сосудистых растениях – 4,12 нг/г; для суммы метаболитов ДДТ: во мхах – 28,4 в сосудистых растениях – 12,9 нг/г.

На фоновом полигоне максимальные значения исследуемых компонентов зафиксированы на уровне: для суммы полихлорбензолов: во мхах – 3,84, в сосудистых растениях – 2,13 нг/г; для суммы полихлорциклодиенов: во мхах – 31,5, в сосудистых растениях – 6,81 нг/г; для суммы изомеров ГХЦГ: во мхах – 7,03, в сосудистых растениях – 2,87 нг/г; для суммы метаболитов ДДТ: во мхах – 49,5 в сосудистых растениях – 11,8 нг/г.

Из 15 контролируемых индивидуальных ПХБ конгенеры с классификационными номерами № 28, № 31, № 52, № 99, № 101, № 105, № 118, № 138 и № 153 были идентифицированы во всех без исключения отобранных образцах мхов и сосудистых растений обследованного района. Реже всего в пробах растительного покрова отмечались конгенеры № 18, № 170, № 183 и № 187. Максимальные зафиксированные суммарные концентрации ПХБ в отобранных образцах составляли: во мхах – 666 нг/г, в сосудистых растениях – 155 нг/г.

Средние значения ХОС для каждой группы растительности представлены в табл. 1.

Следует отметить что, средние за весь период наблюдений концентрации ХОС

в образцах сосудистых растений и мхах, отобранных в районах локального мониторинга, превышали таковые в пробах, отобранных на территории фонового мониторинга в 1,7 и 1,9 раза соответственно.

В целом, наибольшие суммарные концентрации хлорорганических соединений в сосудистых растениях и во мхах были отмечены на границе санитарно-защитной зоны поселка Баренцбург, на территории самого поселка и в районе расположения вертолетной площадки. Наименьшие содержания ХОС были отмечены в районе озера Биенда-Стемме.

Таблица 1

Средние значения концентраций хлорорганических соединений в образцах сосудистых растений и мхов по данным локального и фонового мониторинга, нг/г сухого веса

Показатель	Локальный мониторинг		Фоновый мониторинг	
	Сосудистые растения	Мхи	Сосудистые растения	Мхи
Сумма ХБ	0,75	1,76	0,64	0,98
Сумма ГХЦГ	1,32	2,30	0,80	1,11
Сумма ДДТ	3,12	7,35	1,94	3,72
Сумма полихлорциклодиенов	0,58	1,16	0,43	1,33
Сумма ПХБ	43,30	140,00	22,90	73,40

Во всех отобранных образцах растительности определялось содержание тяжелых металлов: железа, марганца, цинка, меди, никеля, кобальта, свинца, кадмия, хрома, ртути и мышьяка. Максимальные их концентрации в исследованных пробах составляли: для железа во мхах – 7846 мкг/г, в сосудистых растениях – 1946 мкг/г; для марганца во мхах – 205 мкг/г, в сосудистых растениях – 123 мкг/г; для цинка во мхах – 76,3 мкг/г, в сосудистых растениях – 42,5 мкг/г; для меди во мхах – 16,7 мкг/г, в сосудистых растениях – 9,78 мкг/г; для никеля во мхах – 16,1 мкг/г, в сосудистых растениях – 7,85 мкг/г; для кобальта во мхах – 4,0 мкг/г, в сосудистых растениях – 1,2 мкг/г; для свинца во мхах – 10,4 мкг/г, в сосудистых растениях – 2,90 мкг/г; для кадмия во мхах – 0,34 мкг/г, в сосудистых растениях – 0,45 мкг/г; для хрома во мхах – 10,1 мкг/г, в сосудистых растениях – 4,34 мкг/г; для ртути во мхах – 0,09 мкг/г, в сосудистых растениях – 0,06 мкг/г; для

мышьяка во мхах – 5,43 мкг/г, в сосудистых растениях – 1,26 мкг/г.

Средние значения ТМ для каждой группы растительности представлены в табл. 2.

Таблица 2

Средние значения содержания тяжелых металлов в образцах сосудистых растений и мхов по данным локального и фонового мониторинга, мкг/г сухого веса

Показатель	Локальный мониторинг		Фоновый мониторинг	
	Сосудистые растения	Мхи	Сосудистые растения	Мхи
Железо	1164	6241	1215	6513
Марганец	125	179	122	182
Цинк	30,3	46,7	35,0	46,1
Медь	13,0	21,7	8,09	13,7
Никель	7,76	14,2	5,0	11,1
Кобальт	1,22	2,76	0,71	2,49
Свинец	4,52	9,15	2,06	7,20
Кадмий	0,11	0,26	0,09	0,25
Хром	3,28	5,80	2,33	6,61
Ртуть	0,07	0,14	0,04	0,08
Мышьяк	0,92	2,60	0,70	2,82

Говоря о загрязнении растительного покрова в целом, можно отметить, что содержание ЗВ у растений, отобранных в точках локального мониторинга, в среднем в 2,2 раза выше, чем у растений, отобранных в точках фонового мониторинга. Относительно более высокие концентрации загрязняющих веществ характерны для мхов, более низкие – для сосудистых растений.

В образцах почв на территории поселка Баренцбург и его окрестностях, отобранных в 2002–2012 гг. проводились определения концентраций полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), тяжелых металлов (ТМ) и хлорорганических соединений (ХОС). Всего было проанализировано 296 образцов почв.

Отбор проб почв на определение содержания загрязняющих веществ осуществлялся на пробных площадках размерами 5×5 м. На каждой площадке отбиралось пробы из слоя 0–20 см. Объединенные пробы с каждой площадки просеивались через сито с ячейкой 1 мм для удаления камней и остатков растительности.

В пробах почв были обнаружены все 16 контролируемых полициклических ароматических углеводородов (ПАУ): нафталин, аценафтилен, флуорен, аценафтен, фенантрен, антрацен, флуорантен,

пирен, бенз(а)антрацен, хризен, бенз(б)флуорантен+перилен, бенз(к)флуорантен, бенз(а)пирен, дибенз(а,н)антрацен, индено(1,2,3-сд)пирен и бенз(г,н,и)перилен. Частота обнаружения большинства индивидуальных ПАУ изменялась от 66 до 100%, за исключением аценафтилена и аценафтена, которые были обнаружены менее чем в 40% образцов почв. Полициклические ароматические углеводороды практически с одинаковой частотой фиксировались в пробах почвы, отобранных на территории фонового и локального мониторинга.

Суммарное содержание соединений группы ПАУ изменялось в пределах от 1,89 до 8140 нг/г (среднее значение 849 нг/г). Максимальные значения суммарного содержания ПАУ зафиксированы на площадках локального мониторинга в районе склада горношахтного оборудования и отвалов горных пород. Наименьшее загрязнение почв соединениями группы ПАУ отмечено на склонах берегов озера Биенда-Стемме.

Из контролируемых хлорорганических соединений (ХОС) в пробах почв были зафиксированы полихлорбензолы, полихлорциклодиены, ПХБ и пестициды групп ГХЦГ и ДДТ. Пента- и гексахлорбензол были отмечены в 84% и 90% проб соответственно, изомеры ГХЦГ – в 32–86% проб, метаболиты ДДТ – в 20–90% проб почв. Максимальные суммарные концентрации ХОС в пробах почв локального полигона достигали: для полихлорбензолов – 9,92 нг/г; для полихлорциклодиенов – 15,3 нг/г; для суммы ГХЦГ – 8,28 нг/г; для суммы ДДТ – 93,0 нг/г.

На фоновом полигоне максимальные значения исследуемых компонентов зафиксированы на уровне: для полихлорбензолов – 4,37 нг/г; для полихлорциклодиенов – 9,31 нг/г; для суммы ГХЦГ – 8,30 нг/г; для суммы ДДТ – 27,8 нг/г.

В почвах обследованного района с различной частотой обнаружения были идентифицированы все 15 контролируемых конгенов ПХБ. Суммарное содержание ПХБ находилось в диапазоне значений от 0,05 до 873 нг/г на локальном полигоне и 0,05 до 472 нг/г на фоновых участках.

Наибольшая концентрация суммы ГХЦГ, суммы ДДТ, полихлорциклодиенов и ПХБ была отмечена в пробах почвы, отобранных в разные годы на территории поселка, на его северо-восточной границе, а также в районе вертолетной площадки.

Средние значения ХОС в пробах почвы представлены в табл. 3.

Средние значения концентраций хлорорганических соединений в пробах почвенного покрова по данным локального и фонового мониторинга, мг/г

Показатель	Локальный мониторинг	Фоновый мониторинг
Сумма ХБ	2,47	0,69
Сумма ГХЦГ	1,74	0,77
Сумма ДДТ	13,8	2,05
Сумма полихлорциклодиенов	0,66	0,15
Сумма ПХБ	125,0	17,7

Во всех отобранных образцах почв определялось содержание следующих тяжелых металлов: железа, марганца, цинка, меди, никеля, кобальта, свинца, кадмия, хрома, ртути и мышьяка. Контролируемые тяжелые металлы были отмечены во всех отобранных пробах почв. Значительных различий в содержаниях ТМ в пробах фонового и локального мониторинга не наблюдалось. В среднем, концентрации тяжелых металлов в районах локального мониторинга превышали концентрации ТМ в почвах фоновых территорий всего в 1,2 раза.

Максимальные концентрации ТМ в исследованных пробах составляли: для железа – 44939 мкг/г; для марганца – 3630 мкг/г; для цинка – 292 мкг/г; для меди – 202 мкг/г; для никеля – 50,1 мкг/г; для кобальта – 18,5 мкг/г; для свинца – 51,7 мкг/г; для кобальта – 0,41 мкг/г; для хрома – 65,1 мкг/г; для ртути – 0,3 мкг/г; для мышьяка – 11,1 мкг/г.

Средние значения ТМ в пробах почвенного покрова представлены в табл. 4

Таблица 4

Средние содержания тяжелых металлов в пробах почвенного покрова по данным локального и фонового мониторинга, мкг/г

Показатель	Локальный мониторинг	Фоновый мониторинг
Железо	17852	16484
Марганец	231	128
Цинк	71,9	48,9
Медь	28,7	19,1
Никель	19,9	16,6
Кобальт	6,48	6,31
Свинец	17,6	11,8
Кадмий	0,18	0,12
Хром	13,0	10,5
Ртуть	0,08	0,06
Мышьяк	6,18	5,27

Оценка степени загрязненности природной среды в районе поселка Баренцбург и сопредельных территорий

Согласно российскому законодательству, содержание загрязняющих веществ в растительном покрове не регламентируется. В почвах из всего списка исследуемых показателей нормируется только 28, поэтому целесообразно рассмотреть степень загрязненности растительного и почвенного покрова с помощью коэффициентов загрязненности.

Сравнительная оценка степени загрязненности растительного покрова проводилась на основе расчета комплексных коэффициентов загрязненности (Кк), учитывающих степень накопления ЗВ различными видами растений и позволяющих учесть вклад контролируемых при этом групп ЗВ. Большие значения Кк соответствуют большей степени загрязненности растительного покрова. Для расчета Кк использовались концентрации наиболее значимых токсикантов, а также суммарные содержания основных групп загрязняющих веществ (всего 15 параметров): нафталин, флуорен, антрацен, флуорантен, бенз(б)флуорантен + перилен, бенз(к)флуорантен, бенз(а)пирен, СПАУ, ΣГХЦГ, ΣДДТ, ΣПХБ, цинк, кадмий, ртуть, мышьяк.

Для всех исследованных видовых групп растительности наблюдается тенденция повышения значений Кк в окрестностях и на территории поселка и снижения значений этого коэффициента по мере удаления от пос. Баренцбург. Минимальные коэффициенты загрязненности характерны для проб растительного покрова, отобранных в устье р. Грендалсэльва.

В пределах каждого выделенного участка, за исключением района оз. Биенда-стемме, более высокие значения Кк характерны для мхов, более низкие – для сосудистых растений. В долине озера коэффициенты загрязненности у мхов и сосудистых растений были одинаковые, что может говорить об ином характере поступающих загрязняющих веществ, которые сильнее абсорбируются сосудистыми растениями.

Оценка степени загрязненности почв была проведена по суммарному показателю химического загрязнения (Zc). Zc определяется как сумма коэффициентов концентрации отдельных компонентов загрязнения по формуле:

$$Zc = Kc_1 + \dots + Kc_i + \dots + Kc_n - (n-1),$$

где n – число определяемых компонентов; Kc_i – коэффициент концентрации i-го ком-

понента, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым содержанием.

Величина Z_c , меньшая 16, свидетельствует о допустимой степени загрязнения почв; при значениях Z_c , находящихся в интервале от 16 до 32, степень загрязнения считается умеренно опасной; при значениях от 32 до 128 – опасной; при значениях, больших 128 – чрезвычайно опасной. Для отобранных проб почвы были рассчитаны суммарные показатели химического загрязнения Z_c по тем загрязняющим веществам, концентрации которых превышали установленные ПДК/ДК. По результатам проведенных расчетов максимальная величина суммарного показателя степени химического загрязнения почв для проб, отобранных в центре поселка Баренцбург и районе расположения вертолетной площадки, равнялась 64, что свидетельствует об опасном уровне загрязнения почв на данной территории поселка (>32). Среднее значение Z_c для локального полигона составило 12,7, что говорит об умеренно опасной степени загрязнения. Для проб почв, отобранных на территориях фонового мониторинга, величина Z_c находилась в пределах от 1 до 15,8, при средней величине 3,88, что свидетельствует о допустимой степени загрязнения почв и незначительном влиянии деятельности проводимой на территории поселка Баренцбург.

Полученные по результатам мониторинга в районе расположения поселка

Баренцбурга и прилегающих территорий данные показали, что в почвенно-растительном покрове присутствуют стойкие органические загрязнители (СОЗ). Были обнаружены все группы хлорорганических соединений, включая такие опасные, как: изомеры ГХЦГ, пестициды ДДТ, конгенеры ПХБ. Более высокие уровни ХОС, относительно фоновых территорий на арх. Шпицберген, были отмечены на территории поселка, что говорит о наличии источников хлорорганических соединений внутри поселка. В то же время наличие ХОС в самых удаленных фоновых районах свидетельствует о возможном поступлении загрязняющих веществ из областей, не связанных с инфраструктурой поселка Баренцбург.

Распределение веществ группы ПАУ и тяжелых металлов на обследованной территории носит равномерный характер.

В целом состояние природной среды территории поселка Баренцбург соответствует районам с незначительной антропогенной нагрузкой. Согласно данным норвежских исследователей, концентрации загрязняющих веществ близки к значениям в аналогичном шахтерском поселке Лонгьербуен, также расположенном на архипелаге Шпицберген [6]. Содержание загрязняющих веществ в почвенно-растительном покрове на фоновых территориях вокруг Баренцбурга находится на уровне, характерном для района арктических тундр, расположенных в Канадской Арктике и Гренландии [5; 7].

Список литературы:

- [1] Демешкин А.С., Савелова Д.А. Мониторинг содержания полиароматических циклических углеводородов в почвах архипелага Шпицберген за период 2008-2011 годов. // Труды института прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова. – 2013, вып. 91. – С. 6–11.
- [2] Демин Б.Н., Граевский А.П., Демешкин А.С., Власов С.В., Крылов С.С., Лалетин Н.А. Состояние и тенденции изменения загрязнения окружающей среды в местах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген (пос. Баренцбург и сопредельные территории) за период 2002–2010 годов. – СПб.: Изд. ААНИИ, 2011. – 316 с.
- [3] Демин Б.Н., Граевский А.П., Демешкин А.С., Власов С.В. Загрязнение почвенно-растительного комплекса в окрестностях рудника «Баренцбург» полициклическими ароматическими углеводородами // Арктика: экология и экономика. – 2012, № 3 (7). – С. 62–73.
- [4] Демин Б.Н., Демешкин А.С., Граевский А.П., Лалетин Н.А. Состояние загрязненности природной среды пос. Баренцбург и сопредельных территорий хлорорганическими соединениями // Проблемы морской палеоэкологии и биогеографии в эпоху глобальных изменений. Комплексные исследования природы архипелага Шпицберген: мат. междунар. науч. конф. (Мурманск, 12–14 ноября 2009 г.). – Москва, 2009. – Вып. 9. – С. 241–248.
- [5] AMAP Assessment 2002: Persistent Organic Pollutants in the Arctic. ©Arctic Monitoring and Assessment Programme, 2004. – Oslo, Norway: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). – 432 p.
- [6] Jartun M., Ottesen R.T., Volden T. and Lundkvist Q. Local sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) in Russian and Norwegian settlements on Spitsbergen Island, Norway // Journal of Toxicology and Environmental Health. – Oslo, Norway. – 2009, vol. 72. – P. 284–294.
- [7] Nilsson A. Arctic Pollution Issues. – Oslo, Norway, 1997. – 188 p.