

**Издатель**

ФГБОУ «Петрозаводский государственный университет»  
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

**ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ**

<http://ecopri.ru>

**Т. 5. № 2 (18). Июнь, 2016**

**Главный редактор**

А. В. Коросов

**Редакционный совет**

В. Н. Большаков  
А. В. Воронин  
Э. В. Ивантер  
Н. Н. Немова  
Г. С. Розенберг  
А. Ф. Титов

**Редакционная коллегия**

Г. С. Антипина  
В. В. Вапиров  
А. Е. Веселов  
Т. О. Волкова  
Е. П. Иешко  
В. А. Илюха  
Н. М. Калинин  
А. М. Макаров  
А. Ю. Мейгал

**Службы поддержки**

А. Г. Марахтанов  
Е. В. Голубев  
С. Л. Смирнова  
Н. Д. Чернышева  
М. Л. Киреева

**ISSN 2304-6465**

**Адрес редакции**

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, ул.Анохина, 20. Каб. 208

E-mail: [ecopri@psu.karelia.ru](mailto:ecopri@psu.karelia.ru)

<http://ecopri.ru>





УДК 502.55

# ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ОСТРОВА БОЛЬШОЙ СОЛОВЕЦКИЙ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

**ПОПОВА**  
Людмила Фёдоровна *Северный (Арктический) федеральный университет  
им. М. В. Ломоносова, ludap9857@mail.ru*

**АНДРЕЕВА**  
Юлия Игоревна *Северный (Арктический) федеральный университет  
им. М. В. Ломоносова, djuliya.andreeva@gmail.ru*

**НИКИТИНА**  
Мария Викторовна *Северный (Арктический) федеральный университет  
им. М. В. Ломоносова, m.nikitina@narfu.ru*

## Ключевые слова:

тяжелые металлы  
почвенный и растительный покров  
остров Большой Соловецкий

**Аннотация:** Под влиянием увеличения антропогенной нагрузки на территорию Соловецкого архипелага становится актуальным исследование состояния почвенно-растительного покрова по отношению к основным поллютантам. В рамках образовательного проекта «Комплексное развитие территории с уникальным природным и историко-культурным наследием на примере Соловецкого архипелага» было проанализировано содержание тяжелых металлов Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Sr в почвенно-растительном покрове острова Большой Соловецкий. В целом в поверхностном слое почв в основном накапливаются Pb, Zn, Fe и Ti, в почвах отдельных территорий Mn и V. Для большинства исследуемых проб отмечается допустимый уровень загрязнения, однако две пробные площади можно отнести к чрезвычайно опасным. В растительном покрове также наблюдается существенное превышение допустимых норм по большинству исследуемых металлов, что соответствует категории сильного загрязнения.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Н. М. Калинкина

Получена: 21 марта 2016 года

Подписана к печати: 26 мая 2016 года

## Введение

Вопросам экологического состояния арктических и приарктических территорий последнее десятилетие уделяется особое внимание, учитывая крайнюю уязвимость природной среды и малую устойчивость экосистем (Яшин, 2005; Шварцман,

Болотов, 2006; Шварцман и др., 2006). Воздействие на природную среду северных территорий вызывает существенные изменения в природных компонентах. В значительной степени это обусловлено включением в миграционные потоки всех основных цепей техногенных токсикантов, в том числе тяжелых металлов (Strategic

Action Program..., 2009; Heavy Metals in the Arctic, 2005; Обухов, Ефремова, 1998).

В связи с этим целью исследования было оценить уровень загрязнения почвенно-растительного покрова острова Большой Соловецкий тяжелыми металлами под влиянием постоянно возрастающей антропогенной нагрузки.

## Материалы

Отбор проб почв и растений осуществлялся в рамках образовательного проекта «Комплексное развитие территории с уникальным природным и историко-культурным наследием на примере Соловецкого архипелага» (Летняя школа на Соловках) в период с 1 по 10 июля 2015 года. На острове Большой Соловецкий было заложено 6 пробных площадей (ПП), в качестве контрольных (фоновых) была выбрана условно чистая почва без антропогенной нагрузки (рис. 1).



Рис. 1. Места отбора проб  
Fig.1. Sample harvesting points

С этих территорий отобраны образцы поверхностного слоя (0–20 см) почв согласно ГОСТ 17-4-4-02-84 и разнотравья согласно ГОСТ 27262-87.

Оценку экологического состояния компонентов (почвы и разнотравья) экосистемы острова Большой Соловецкий по отношению к тяжелым металлам проводили как по санитарно-гигиеническим показателям: ПДК, МДУ (ГОСТ 2874-82; СанПиН 2.1.4.1074-01:4630-88; МУ 2.1.7.730-99; ГН 2.1.7.2511-09; СанПиН 2.1.7.573-96), так и с помощью биогеохимических коэффициентов и шкал экологического нормирования.

На основе коэффициента концентрации  $K_0 = C / \text{ПДК}$ ,

где  $C$  – фактическая концентрация определяемого металла в почве, рассчитывали суммарный показатель загрязнения  $Z_c$  (МУ 2.1.7.730-99):

$$Z_c = \sum((C - \text{ПДК}) / \text{ПДК}) + 1.$$

Однако, поскольку  $K_0$  не учитывает региональные особенности содержания металлов, был рассчитан другой коэффициент:

$$K_c = C / C_0,$$

где  $C_0$  – региональное фоновое содержание элемента.

Наряду с этим был определен коэффициент биогеохимической подвижности:

$$K_{\text{бгхп}} = C_{\text{в растении}} / C_{\text{ПФ в почве}}$$

(Уфимцева, Терехина, 2005), позволяющий оценить актуальную

доступность тяжелых металлов для растений.

## Методы

Химический анализ отобранных образцов был выполнен на базе лаборатории биогеохимических исследований при кафедре химии и химической экологии Северного (Арктического) федерального университета с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» (САФУ) при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (уникальный идентификатор работ RFMEFI59414X0004).

Гранулометрический состав почв определяли методом отмучивания по общепринятой методике (ISO 11277). Кислотность почвенного раствора (рН водной вытяжки) – согласно ГОСТ 26423-85, определение органического вещества – согласно ГОСТ 26213-91.

Валовое содержание тяжелых металлов (Co, Ni, Mn, V, Pb, Zn, Cu, Fe, Cr, Ti, Sr) в почвах определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) согласно М 049-П/04 с использованием спектрофотометра «СПЕКТРОСКАН-МАКС».

Методом атомно-абсорбционной спектроскопии с применением атомно-абсорбционных спектрометров «ContrAA-700» и «AA-7000» определяли: содержание подвижных форм металлов (Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Mn) согласно РД 52.18.289-90 из

ацетатно-аммонийной буферной вытяжки; содержание ТМ (Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Mn) в разнотравье согласно ГОСТ 30692-2000 после сухого озоления.

Исследования проб проводились в трехкратной повторности. Полученные данные обрабатывались общепринятыми методами математической статистики с использованием редактора электронных таблиц MS Excel и SPSS. Проверка на нормальность распределения осуществлялась с помощью критерия Шапиро – Уилка. Корреляционный анализ проводился с помощью коэффициента  $\rho$  Спирмена. Для всех приведенных анализов различия считались значимыми при уровне  $p < 0.05$ .

## Результаты

Анализ физико-химических параметров (табл. 1) показал, что большинство исследованных почв острова Большой Соловецкий имеют тяжелый гранулометрический состав; рН водной суспензии исследованных почв в основном находится в пределах 7.11–7.78, при средних фоновых значениях 5.01 рН. В связи с тем что почвы имеют сдвиг рН в щелочную сторону, данный параметр является одним из ключевых в снижении миграции химических элементов и увеличении их аккумуляции по сравнению с природными почвами.

Таблица 1. Пробные площади о. Большой Соловецкий с различной антропогенной нагрузкой и физико-химические показатели почв

№ ПП	Координаты пробных площадей	Источник антропогенной нагрузки	рН	Содержание, %	
				органического углерода	физической глины
1	65°01'15"С, 35°42'11"В	Жилой район	5.5	10.7	42.2
2	65°01'22"С, 35°42'24"В	Жилой район	7.2	12.3	30.9
3	65°01'22"С, 35°42'28"В	Сухой док	7.2	30.3	65.2
4	65°01'22"С, 35°42'28"В	Сухой док	7.1	45.6	–
5	65°01'47"С, 35°43'19"В	Аэропорт	7.2	10.6	29.1
6	65°01'46"С, 35°43'19"В	Аэропорт	7.8	7.6	33.1
7	ФОН	Нет	5.0	4.8	8.3

Содержание органического углерода довольно высокое и колеблется от 7.6 до 45.6 %. Такие высокие показатели могли стать результатом промышленного загрязнения (компоненты нефти и продукты ее крекинга, сорбированные

почвенными частицами в местах разлива нефтепродуктов, углерод техногенного происхождения из строительного и бытового мусора, региональное загрязнение почв атмосферными углеводородными выбросами и др.).

Анализ валового содержания (ВС) тяжелых металлов показал (табл. 2), что исследуемые почвы загрязнены Pb и Zn. На 5 пробных площадях наблюдается превышение от 2 до 318 ПДК по свинцу, на 4 ПП превышение от 2 до 9 ПДК по Zn. На отдельных участках наблюдается повышенное (до 1.5 ПДК) содержание Mn. Валовое содержание других ТМ ниже ПДК,

поэтому по санитарно-гигиеническим показателям исследованные почвы по степени загрязнения можно отнести к категории «допустимая», исключение составляют 2 пробные площади. Их по уровню химического загрязнения следует считать «чрезвычайно опасными» из-за крайне высокого валового содержания Pb и Zn.

Таблица 2. Валовое содержание тяжелых металлов, мг/кг, в почвах о. Большой Соловецкий

№ ПП	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Sr
1	19	н/д	10	4	16	5910	312	60	11	659	330
2	120	194	17	12	13	8813	583	63	26	899	336
3	10172	514	43	42	20	22683	801	86	63	2278	н/д
4	8044	681	36	34	8	38120	2202	74	20	1079	н/д
5	61	28	27	25	21	12485	380	74	52	1918	335
6	189	57	24	21	14	8953	357	77	45	1379	336
Медиана	155	125	26	23	15	10719	481	74	36	1229	333
ФОН	25	10	20	10	15	874	135	80	10	150	356
ПДК	32	87	53	85	50	н/д	1500	100	150	н/д	н/д
ОДК	130	220	132	80	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д

Примечание: н/д – нет данных.

Согласно  $K_0$  (табл. 3) превышение ПДК не отмечается в отношении Cu, Co, Ni, Cr и V. Для Co, Sr и Cr установлено, что отсутствует статистически значимое превышение фоновых значений всех исследованных пробных площадей ( $K_0 < 1.5$ ). Однако в отношении Cu и Ni наблюдается слабое загрязнение почв ( $1.5 < K_0 < 3.0$ ). Отмечено умеренное загрязнение ( $3.0 < K_0 < 5.0$ ) почв острова V, Mn, Ti и Pb на 2 ПП.

Сильное ( $5.0 < K_0 < 10.0$ ) и очень сильное ( $K_0 > 10.0$ ) загрязнение Pb имеет

поверхностный слой почв на 3 ПП, Zn – на 5 ПП, V и Mn – на 2 ПП, Ti – на 5 ПП, а Fe – на всех ПП.

В целом вследствие антропогенного воздействия в поверхностном слое почв острова Большой Соловецкий в основном накапливаются Pb, Zn, Fe и Ti, в почвах отдельных территорий – Mn и V. Ряд накопления тяжелых металлов в исследованных образцах острова Большой Соловецкий выглядит следующим образом:  $Pb > Zn > Fe > Ti > Mn > V > Ni > Cu > Co > Cr > Sr$ .

Таблица 3. Коэффициенты концентрации тяжелых металлов для почв о. Большой Соловецкий

ТМ	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Sr
Коэффициенты концентрации $K_0$ (относительно ПДК)											
Min	0.6	0.1	0.2	0.1	0.2	–	0.2	0.6	0.1	–	–
Max	318.0	7.8	0.8	0.5	0.4	–	1.5	0.9	0.4	–	–
Медиана	4.8	1.4	0.5	0.3	0.3	–	0.3	0.7	0.2	–	–
ТМ	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Sr
Min	0.7	0.1	0.5	0.4	0.5	6.7	2.3	0.7	1.1	4.4	0.1
Max	407.0	68.0	2.1	4.3	1.4	44.0	16.0	1.1	6.3	15.0	0.9
Медиана	6.2	12.5	1.2	2.3	1.0	12.3	3.6	0.9	3.6	8.1	0.9



Рассчитанный на основе коэффициентов концентрации суммарный показатель загрязнения  $Z_c$  показал на 4 исследуемых почвах допустимый уровень загрязнения ( $1 < Z_c < 15$ ) металлами по их валовому содержанию ( $Z_c = 4-8$ ), а на 2 площадях – опасный уровень загрязнения ( $33 < Z_c < 128$ ) ТМ по их валовому содержанию ( $Z_c = 58-66$ ).

## Обсуждение

Известно, что валовое содержание металлов дает неполную характеристику экологического состояния почв. Исследования количественных соотношений геохимических форм

нахождения металлов в загрязненных почвах позволяют прогнозировать процессы закрепления металлов в породах, предсказывать и предупреждать возможные экологические риски вторичного загрязнения окружающей среды. Поэтому помимо оценки загрязнения почв тяжелыми металлами по их валовому содержанию необходимо уделять особое внимание исследованию накопления их подвижных форм (ПФ), способных переходить из твердых фаз в почвенные растворы, поглощаться живыми организмами и загрязнять грунтовые воды. Поэтому для отдельных ТМ было определено содержание их подвижных форм (табл. 4).

Таблица 4. Содержание подвижных форм тяжелых металлов, мг/кг, в почвах о. Большой Соловецкий

№ ПП	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Mn
1	6	15	0.1	0.3	0.1	30
2	23	88	0.9	1.6	0.1	60
3	3640	312	3.2	н/д	0.5	432
4	5280	80	4.9	0.2	0.2	81
5	11	11	1.7	0.4	0.1	29
6	77	24	8.8	н/д	0.1	38
Медиана	17	48	1.3	0.4	0.1	45
ПДК	6	23	3.0	4.0	5.0	140
Коэффициенты концентрации $K_o$ (относительно ПДК)						
Min	1	0.5	0.1	0.01	0.02	0.2
Max	607	14	2.9	0.4	0.1	3.1
Медиана	4	0.6	0.7	0.1	0.02	0.4

Анализ содержания подвижных форм показал, что основные поллютанты почв острова Большой Соловецкий – Pb, Zn и Cu. Подвижными формами свинца загрязнены (1.1–607 ПДК) все исследуемые почвы, цинка (1.1–13.5 ПДК) – 4 ПП, меди (1.1–3.0) – 3 ПП. Отсутствует загрязнение Mn, Ni и Co, а ряд накопления ТМ в почвах выглядит следующим образом:  $Pb > Zn > Cu > Mn > Ni > Co$ .

Согласно суммарному показателю загрязнения ( $Z_c$ ) на 4 исследуемых почвах – допустимый уровень загрязнения ( $1 < Z_c < 15$ ) тяжелыми металлами ( $Z_c = 1-7$ ), а на 2 ПП – чрезвычайно опасный уровень загрязнения ( $Z_c > 128$ ) по содержанию

подвижных форм ТМ ( $Z_c = 619-882$ ) за счет высокого содержания Pb и Zn.

Анализ аккумуляции металлов в наземной части разнотравья (табл. 5), собранного с тех же пробных площадей, что и проанализированные почвы, показал, что на отдельных ПП содержание всех ТМ в растениях превышает ПДК или МДУ. Практически по всем металлам, кроме Co и Ni, наблюдается статистически значимое превышение фоновых содержаний. Ряд накопления металлов в растениях по сравнению с их подвижными формами в почвах видоизменяется и выглядит следующим образом:  $Zn > Mn > Cu > Pb > Ni > Co$ . Это связано с низкой степенью

подвижности свинца в почве и акропетальным характером его накопления растениями, при котором четко проявляется депонирующая роль корня. При проникновении Pb в корни растений происходит его хелатирование и, как следствие, уменьшение подвижности. Данный факт подтверждается рассчитанным коэффициентом

биогеохимической подвижности (Кбгхп). Только для свинца он оказался ниже 1.0.

Согласно суммарному показателю загрязнения  $Z_c$  разнотравье на 4 ПП острова Большой Соловецкий по градации В. А. Касатикова (1989) может быть отнесено к категории сильного загрязнения ТМ ( $Z_c > 10.0$ ) (см. табл. 5.)

Таблица 5. Содержание тяжелых металлов, мг/кг, в разнотравье о. Большой Соловецкий

ТМ	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Mn
Min	1	107	36	3	0	173
Max	46	450	74	6	1	633
Медиана	42	301	17	3	0,5	228
ФОН	4	18	9	3	1	51
ПДК	5	150–300	15–20	20–30	–	н/д
МДУ	5	50	30	3	1	н/д
Коэффициенты концентрации $K_c$ (относительно фона)						
Min	0.3	6.0	4.0	1.1	0.1	3.4
Max	11.5	25.0	8.2	2.1	1.1	12.4
Медиана	4.2	16.7	4.6	1.0	0.5	4.5
Коэффициенты биогеохимической подвижности ( $K_{бгхп}$ )						
Min	0.01	1.2	7.3	0.1	0.1	0.5
Max	1.4	15.2	437.5	13.8	5.0	20.9
Медиана	0.6	3.2	47.0	1.8	1.2	2.1

## Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что исследуемые территории острова Большой Соловецкий испытывают существенную антропогенную нагрузку, что приводит к накоплению тяжелых металлов. Основными поллютантами почвенного покрова

являются цинк и свинец, превышение ПДК и фоновых значений по которым достигает на отдельных пробных площадях критических значений. Растительный покров по аккумулярованию тяжелых металлов также испытывает сильное загрязнение.

## Библиография

- Яшин И. М. Почвы северотаежных ландшафтов острова Большой Соловецкий Архангельской области // Почва как природный ресурс Севера: Материалы VII Сибирцевских чтений, посвящ. 145-летию со дня рождения ученого-почвовода Н. М. Сибирцева. Архангельск, 2005. С. 23–26.
- Шварцман Ю. Г., Болотов И. Н. Оценка экологической ситуации Европейского Севера России в рамках научного сотрудничества: мониторинг природной среды Соловецких островов, проведение и перспективы, 2003–2007 // Баренц-журнал. 2006. № 1(4). С. 93–101.
- Шварцман Ю. Г., Болотов И. Н., Феклистов П. А. Основные итоги работы научно-практической конференции «Мониторинг природной среды Соловецкого архипелага: предварительные результаты и дальнейшие перспективы» // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. 2006. № 2. С. 26–35.
- Обухов А. Я., Ефремова Л. Л. Охрана и рекультивация почв, загрязненных тяжелыми металлами // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы: Материалы 2-й Всесоюз. конф. М., 1988. Ч. 1. С. 23.

Попова Л. Ф., Андреева Ю. И., Никитина М. В. Оценка уровня загрязнения почвенно-растительного покрова острова Большой Соловецкий тяжелыми металлами // Принципы экологии. 2016. № 2. С. 62–69. DOI: [10.15393/j1.art.2016.5002](https://doi.org/10.15393/j1.art.2016.5002)

---

Уфимцева М. Д., Терехина Н. В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга . СПб.: Наука, 2005. 239 с.

Heavy Metals in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, Norway, 2005. 265 p.

Strategic Action Program for Protection of the Russian Environment. Approved by Maritime Board at the Government of the Russian Federation. 2009. № 2 (11). Section 1. Par. 2.



# ASSESSMENT OF SOIL AND PLANT COVER CONTAMINATION BY HEAVY METALS OF THE BOLSHOI SOLOVETSKY ISLAND

**POPOVA**  
**Lyudmila**

*Lomonosov Northern (Arctic) Federal University,*  
*ludap9857@mail.ru*

**ANDREEVA**  
**Yulia**

*Lomonosov Northern (Arctic) Federal University,*  
*djuliya.andreeva@gmail.ru*

**NIKITINA**  
**Maria**

*Lomonosov Northern (Arctic) Federal University,*  
*m.nikitina@narfu.ru*

**Key words:**

heavy metals  
soil and plant cover  
Bolshoi Solovetsky

**Summary:** Under the influence of anthropogenic load on the territory of the Solovetsky archipelago the study of the soil and plant cover for the presence of pollutants becomes crucial. As a part of the educational project "Integrated development of the territory with unique natural, historic and cultural heritage on the example of the Solovki" the content of heavy metals such as Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Sr in the soil and vegetation in the village of Bolshoi Solovetsky was analyzed. In general, in the surface layer of the soil Pb, Zn, Fe and Ti are mainly accumulated, in the soil of some areas there is a high concentration of Mn and V. For the majority of samples the allowable contamination level was marked, but two test areas can be attributed to the extremely dangerous. In the vegetation the content of the majority of the metals in question exceeds significantly the permissible normal value that corresponds to the substantial pollution level.

**Reviewer:** N. M. Kalinkina

**Received on:** 21 March 2016

**Published on:** 26 May 2016

## References

- Yashin I. M. Northern taiga landscapes soils of the Bolshoi Solovetsky Island in the Arkhangelsk Region, Pochva kak prirodnyy resurs Severa: Materialy VII Sibircevskikh chteniy, posvyasch. 145-letiyu so dnya rozhdeniya uchenogo-pochvoveda N. M. Sibirceva. Arhangel'sk, 2005. P. 23–26.
- Shvarcman Yu. G. Bolotov I. N. Ecological assessment of the North European Russia in the framework of scientific cooperation: monitoring of natural environment of the Solovetsky Islands, implementations and prospects, 2003–2007, Barents-zhurnal. 2006. No. 1(4). P. 93–101.
- Shvarcman Yu. G. Bolotov I. N. Feklistov P. A. Highlights of the scientific-practical conference @Monitoring of natural environment of the Solovetsky Archipelago: preliminary results and future prospects, Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki. 2006. No. 2. P. 26–35.
- Obuhov A. Ya. Efremova L. L. Protection and remediation of the soils, contaminated by heavy metals, Tyazhelye metally v okruzhayushey srede i ohrana prirody: Materialy 2-y Vsesoyuzn. konf. M., 1988. Ch. 1. P. 23.
- Ufimceva M. D. Terehina N. V. Phytoremediation of ecological state of the St. Petersburg urban ecosystem. SPb.: Nauka, 2005. 239 p.
- Heavy Metals in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, Norway, 2005. 265 p.
- Strategic Action Program for Protection of the Russian Environment. Approved by Maritime Board at the Government of the Russian Federation. 2009. No. 2 (11). Section 1. Par. 2.