

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ОСТРОВОВ РУССКИЙ И ШКОТА (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

© 2021 г. К. С. Ганзей^{a, *}, Н. Ф. Пшеничникова^{a, **}, А. Г. Киселёва^a,
С. Г. Юрченко^a, И. М. Родникова^a

^aТихоокеанский институт географии ДВО РАН, ул. Радио, 7, Владивосток, 690041 Россия

*e-mail: geo2005.84@mail.ru

**e-mail: n.f.p@mail.ru

Поступила в редакцию 12.10.2019 г.

После доработки 02.03.2020 г.

Принята к публикации 02.03.2020 г.

Проанализирована экологическая ситуация на о. Шкота и примыкающей части о. Русский по содержанию ртути в почвах и листьях древесной и кустарниковой растительности. Выявлены основные источники ее поступления в геосистемы. В рамках работы на островах выполнены геоботанические описания, собраны гербарные образцы сосудистых растений и лишайников, сделаны морфологические описания почв. Для определения содержания ртути в почвах и растительности на о. Русский были отобраны образцы на 3 учетных площадках, на о. Шкота — на 16. Показано, что почвенный покров островов Русский и Шкота представлен буроземами типичными и буроземами темными, а также их пирогенными аналогами. Распределение ртути в почвенном покрове зависит от свойств почв, а в растительности — от вида растения. Представлены результаты лабораторных исследований содержания ртути в геосистемах. Методом интерполяции для о. Шкота построены карты содержания ртути в почвенном покрове и листьях дуба монгольского. Средние значения содержания ртути в почвенном покрове на о. Шкота и примыкающей части о. Русский составляют 81.2 нг/г. Средние показатели содержания ртути для различных видов растений составляют: для граба сердцелистного — 26.3 нг/г, дуба монгольского — 24.5 нг/г, полыни Гмелина — 9.1 нг/г. Такое варьирование обусловлено различной аккумуляционной способностью растений накапливать ртуть. Сделано предположение, что высокое содержание ртути в почве и растительности в восточной части о. Шкота связаны с особенностями тектонического строения. Максимальное содержание ртути в почве на о. Шкота приурочено к побережью бух. Дотовая, которая является основным местом отдыха в летний период. Постоянное разведение островов и сжигание древесины и бытового мусора (в первую очередь полиэтилена), приводит к перераспределению ртути на прилегающих территориях. В целом по содержанию ртути в почвенно-растительном покрове рассматриваемых территорий складывается благоприятная экологическая обстановка. Содержание ртути в почве составляет незначительную долю от предельно допустимой концентрации. В связи с отсутствием утвержденных показателей по предельно допустимой концентрации ртути для растений сравнение данных выполнено для кларковых значений. Для граба сердцелистного и дуба монгольского фиксируется превышение кларка, что может быть естественной региональной спецификой. Полученные данные могут быть использованы в качестве фоновых показателей.

Ключевые слова: ртуть, почвы, растительность, остров Русский, остров Шкота

DOI: 10.31857/S0016752521030043

ВВЕДЕНИЕ

Ртуть является одним из самых токсичных тяжелых металлов. По степени токсичного действия на биоту она, наряду со свинцом, кадмием, цинком, относится к первому классу опасности (ГОСТ 17.4.1.02-83, 2008). Даже при низких концентрациях ртуть супертоксична и суперпатологична, обладает высокой деструктивной биологической активностью.

По геохимическим свойствам ртуть имеет склонность к образованию органо-минеральных соединений, сильных связей с серой, обладает ле-

тучестью. Летучесть ртути и некоторых ртутных соединений способствует перераспределению ее между всеми компонентами биосферы, и благодаря атмосферному переносу ртуть широко распространена в природных экосистемах (Гордеева и др., 2012). Ртуть, выпадающая из атмосферы, поступает в почвы с осадками, а также в газообразной и аэрозольной форме. Исследования миграции ртути в системе “атмосфера–растение–почва” показали, что ртуть, поступающая из атмосферы в виде паров, сорбируется хвоей и прочно удерживается ею (Грановский и др., 2001). Растения

легко поглощают ртуть из питающих растворов, а возрастание содержания ртути в почве вызывает возрастание содержания и в растениях, к тому же растения могут непосредственно поглощать пары ртути. Молодые растения в отличие от взрослых более чувствительны к воздуху, насыщенному парами ртути (Kabata-Pendias, Pendias, 2001). Отравление растений происходит при содержании ртути в почве выше 1000 мг/кг, а при 50 мг/кг идет нарушения ростовых процессов. У большинства растений концентрация ртути находится между 0.01 и 0.2 мг/кг (Kloke, 1980). Растения чаще всего содержат ртуть в меньших количествах, чем почвы, а в процессе минерализации растительных остатков возможно накопление ртути в верхних горизонтах почвы. Содержание ртути в профиле почв унаследовано, главным образом, от материнской породы (Kabata-Pendias, Pendias, 2001). В связи с этим, концентрация ртути в почвенном покрове довольно сильно колеблется даже в пределах одного региона. Так в почвах Сибири показатели изменяются в пределах 0.005–1.275 мг/кг (Грановский и др., 2001). Фоновые уровни ртути в почвах в связи с нарастающим антропогенным загрязнением в настоящее время значительно возрастают. Так по данным исследователей конца прошлого столетия средние концентрации ртути в поверхностном слое различных почв всего мира не превышали 400 мкг/кг (Kabata-Pendias, Pendias, 2001). Необходимо отметить, что ртуть в почве может образовывать особую и очень токсичную форму – метил- и диметилртуть (Ильин, 1991). Наибольшая токсичность метилртути обусловлена хорошей растворимостью в липидах, где она после попадания в клетку взаимодействует с белком. Вследствие этого происходят мутагенные и генотоксические изменения в организмах (Мотузова, 2013).

Комплексного изучения содержания ртути в почвенно-растительном покрове на островах Приморского края ранее не проводилось. Подробные исследования содержания ртути в заливе Петра Великого были выполнены сотрудниками Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН. Максимальные содержания ртути были зафиксированы в приводном слое воздуха в Амурском заливе (4.0, среднее – 2.6 нг/м³) и проливе Босфор Восточный (3.1, среднее – 2.4 нг/м³), а минимальные – в Уссурийском заливе (1.1, среднее – 1.8 нг/м³) (Калинчук и др., 2012). В поверхностном слое морской воды содержание ртути колеблется от 0.5 до 0.7 нг/л и в придонном слое от 0.5 до 2.8 нг/л. В проливе Босфор Восточный отмечается максимальное содержание – 289 нг/л, для остальной акватории залива Петра Великого – менее 1.5 нг/л (Аксентов, 2015). В донных отложениях максимальное содержание ртути отмечено в проливе Босфор Восточный, где ее концентрация достигает 200–400 нг/г. В Амурском и Уссурийском заливах содержание ртути составляет 100 нг/г, а в центральной части Уссу-

рийского залива и во всей открытой части залива Петра Великого в донных осадках оно не превышает 25 нг/г (Аксентов, Астахов, 2009).

В настоящее время острова залива Петра Великого являются одним из центров развития Приморского края. Прежде всего, это относится к о. Русский, в меньшей степени к островам Шкота, Попова, Рейнеке. В связи с высокой степенью опасности ртути, как для природных геосистем, так и для человека, проведение мониторинга ее содержания является необходимым условием для устойчивого функционирования природно-территориальных комплексов, формирования благоприятных условий жизни местного населения и развития хозяйственной деятельности. Значительную опасность представляет высокий уровень поступления ртути в окружающую среду от природных, промышленных источников, а также при сжигании бытовых отходов. В этой связи особую актуальность приобретают исследования миграции ртути в системе “атмосфера–растение–почва” и процессов биологической аккумуляции ртути геосистемами.

Цель настоящей работы является анализ экологической ситуации на островах Русский и Шкота по содержанию ртути в почве и листьях древесной и кустарниковой растительности и выявление основных источников её поступления в геосистемы.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) проанализированы физико-географические особенности района исследования;
- 2) выполнены полевые геоботанические, почвенные и ландшафтные исследования;
- 3) определены физико-химические свойства почв и содержание ртути в почве и растительности;
- 4) составлена серия карт пространственного распределения ртути в почвах и растительности.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования выступали геосистемы островов Русский и Шкота. Площадь о. Русский – 9972.05 га, о. Шкота – 251.83 га. Они входят в состав архипелага Императрицы Евгении, административно относится к Фрунзенскому району г. Владивостока (рис. 1).

Сложены острова преимущественно гранитами и гранитоидами, широко распространены галечные конгломераты, песчаники и алевролиты (Преловский и др., 1996). Рельеф на островах преимущественно низкогорный, с развитием небольших террасовидных и низменных участков в прибрежных частях и на перешейках. Система водотоков на островах развита слабо. Они нередко пересыхают в засушливые периоды. Климат на островах муссонный, со средним количеством осадков около 800 мм/год, 85% которых прихо-

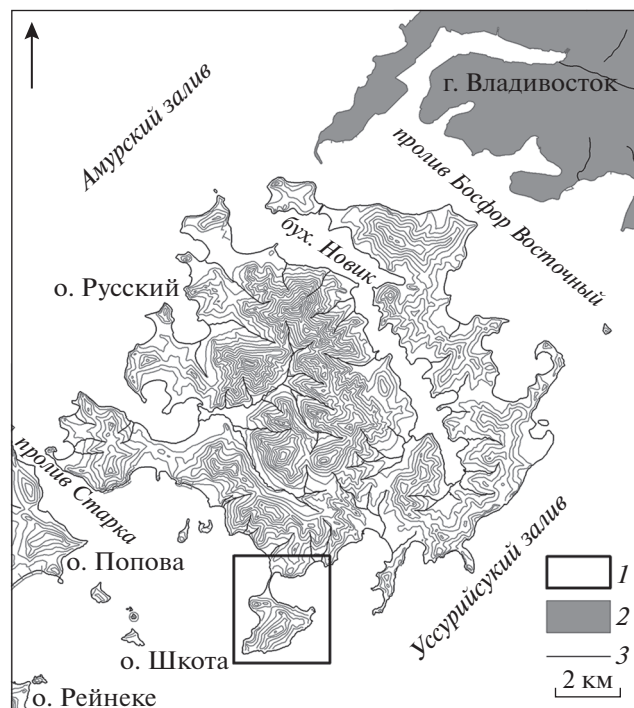


Рис. 1. Карта островов Русский и Шкота с прилегающими территориями. Условные обозначения: 1 — район работ, 2 — п-ов Муравьева-Амурского, 3 — водотоки.

дится на летний период. Среднегодовая температура воздуха около $+6^{\circ}\text{C}$ (Научно-прикладной..., 1988). Для почв характерны особенности “островного” почвообразования, обусловленные геохимическим влиянием моря, высотой, крутизной, экспозицией склонов и разнообразием растительности. Основной фон в структуре почвенного покрова островов составляют бурозёмы (Пшеничников, Пшеничникова, 2013). В растительном покрове доминируют полидоминантные широколиственные кустарниково-разнотравные с лианами леса из дуба монгольского (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), граба сердцелистного (*Carpinus cordata* Blume), лип (*Tilia amurensis* Rupr. и *T. taquetii* C.K. Schneid), клена ложно-Зибольдова (*Acer pseudosiboldianum* (Pax) Kom.), калопанакса семиллопастного (*Kalopanax septemlobus* (Thunb. ex Murray) Koidz.), ясеня носолистного (*Fraxinus rhynchophylla* Hance), аралии высокой (*Aralia elata* (Miq.) Seem.) и др. Распространены антропогенно трансформированные кустарниково-полукустарниково-разнотравные сообщества из леспедецы двухцветковой (*Lespedeza bicolor* Turcz.), полыни Гмелина (*Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm.), мискантуса китайского (*Miscanthus sinensis* Anderss.) и др. Доминируют на островах ландшафты пологих и средней крутизны склонов на гранитах и гранитоидах, базальтах, с преобладанием высокосомкнутых полидоминантных широколиственных лесов на тёмных и типичных бурозёмах (Ганзей и др., 2016). В настоящее время геосистемы

подвергаются активному антропогенному влиянию, что наглядно фиксируется по состоянию растительного покрова.

Во время полевых работ (2009, 2017, 2018 гг.) в разных типах ландшафтов выполнены геоботанические описания, собраны гербарные образцы сосудистых растений, сделаны морфологические описания почв. Для определения содержания ртути в почвах и растительности были отобраны образцы почв из гумусовых горизонтов почв, листьях древесных пород и кустарников. Всего на о. Русский образцы отобраны на 3 учетных площадках, на о. Шкота — на 16 (рис. 1).

Почвенные образцы перемешивались, выбирались включения (корни растений, насекомые, камни и др.) и высушивались до воздушно-сухого состояния, а затем до абсолютно сухого состояния (в сушильном шкафу при $t = 30^{\circ}\text{C}$). Затем почву растирали в ступке пестиком и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм (ГОСТ 17.4.4.02-84, 2008). Биогеохимические пробы (листья) сушили до воздушно-сухого состояния и измельчались с целью приготовления однородного образца.

Массовая концентрация общей ртути в пробах измерялась методом беспламенной атомной абсорбции с использованием анализатора ртути с зеемановской коррекцией неселективного поглощения “РА-915М” на пиролизической приставке ПИРО-915+ без предварительного разложения образца. Принцип действия приставки ПИРО-915+ основан на переводе содержащейся в пробе связанной ртути в атомарное состояние методом пиролиза с последующим переносом ее из атомизатора в аналитическую кювету газом-носителем (воздухом). Технические возможности анализатора позволяют достичь предела обнаружения 0.5 мкг/кг. Точность аналитических методов измерения концентраций ртути контролировали при использовании образца почвы СЧТ-3 ГСО 2509-83 (НПО “Тайфун”, г. Обнинск, Россия).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Физико-химические свойства почв

Почвенный покров островов Русский и Шкота представлен буроземами типичными, буроземами темными и их пирогенными аналогами (Полевой..., 2008). Распределение ртути в почвенном покрове зависит от свойств почв. Большое влияние на закрепление ртути в почве оказывают органические вещества (табл. 1).

Почвообразование на островах Русский и Шкота протекает в условиях свободного внутрипочвенного дренажа, обусловленного легкосуглинистым механическим составом поверхностных горизонтов и повышенной скелетностью (от 40 до 80% от объема почвенной массы) нижней части профиля. Аккумулятивно-гумусовые гори-

Таблица 1. Физико-химические свойства бурозёмов островов Русский и Шкота

Характеристики		Остров Русский			Остров Шкота							
Растительность		Полидоминантный широколиственный лес							Полынь Гмелина с леспедецей			
№ разреза		1-17	2-17	3-17	4-17	5-17	6-17	8-17	12-17	9-17	11-17	7-17
Горизонт		AUpir	AYpir	AYpir	AY	AY	AYpir	AY	AY	AU	AU	AY
Глубина, см		0—20	0—11	0.5—6	3—13	3—9	4—15	6—20	4—10	2—15	5—18	1.5—18
			(13)	(9)	(14)	(12)			(19)			
pH солевой		4.5	4.9	4.5	4.4	4.6	4.9	3.9	4.5	4.8	4.7	4.4
Органическое вещество, мас. %		12.87	12.84	12.04	12.96	11.62	12.54	11.52	10.4	13.21	13.36	11.62
Ммоль/100 г	Обменная кислот-	0.22	0.24	0.3	0.28	0.24	0.24	0.96	0.22	0.24	0.24	0.24
почвы	ность											
	Гидролитическая	11.0	9.04	9.84	12.0	7.11	7.59	13.6	10.8	7.28	9.23	10.1
	кислотность											
	Обменные Ca ²⁺	10.5	12.0	9.0	10	8.7	13.2	6.5	12.2	10.0	11.5	10.7
	катионы, Mg ²⁺	5.5	6.5	4.0	7.5	4.7	5.2	4.5	6.7	7.2	5.5	5.0
	Na ⁺	0.3	0.4	0.2	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.4
	Сумма поглощен-	20.0	28.0	16.4	20.4	16.0	25.2	10.0	24.4	26.0	25.6	20.0
	ных оснований											
Мг/кг	P ₂ O ₅	47	36	30	22	20	28	—	20	32	30	19
	K ₂ O	300	275	295	217	124	330	168	185	192	300	249

зонты почв характеризуются, как правило, легко-суглинистым составом почвенной массы.

Данные по физико-химическим свойствам почв о. Русский свидетельствуют об активном воздействии пирогенного фактора на почвенно-растительный покров. Воздействие низовых пожаров проявляется в частичном или полном прогорании подстилки под лесом и войлока под зарослями полыни Гмелина, а в отдельных случаях в обгорании стволов деревьев на высоту до 1–1.5 м. В аккумулятивно-гумусовых горизонтах пирогенное воздействие проявляется в наличии углистых частиц на глубину 5–10 см и в изменении показателей щелочно-кислотного состояния. Постпирогенная трансформация поверхностных органо-генных горизонтов служит основным индикатором воздействия огня на почву. Наиболее показательным фактом постпирогенного состояния почв является реакция среды. Величина pH солевого горизонта AYpir разреза 2-17, заложенного под лесом соответствует 4.9, что может быть связано с недавним по времени прохождением пожара и поступлением в него продуктов горения подстилок, а именно водорастворимых соединений золы в почву, которые насыщают почвенно-поглощающий комплекс щелочноземельными элементами и обуславливают снижение кислотности по сравнению с фоновыми значениями (Максимова и др., 2014; Цибарт, Геннадиев, 2008; Краснощеков, Чередникова, 2012). При этом полученные нами данные по содержанию обменных кальция и магния, а также сумма поглощенных оснований, величина гидролитической кислотности согласуются с таким предположением. Аналогичная картина фиксируется в разрезе 6-17 на о. Шкота, где

присутствуют углистые частицы. Величина pH в нем достигает значения 4.9 и соответственно фиксируется более высокое содержание обменного кальция (13.2 ммоль/100 г почвы), суммы поглощенных оснований (25.2 ммоль/100 г почвы) и подвижного калия (330 мг/кг) по сравнению с другими рассматриваемыми почвами, сформированными под лесными массивами без следов пирогенного воздействия (разрезы 4-17, 5-17, 8-17, 12-17).

Содержание органического вещества в аккумулятивно-гумусовых горизонтах под полидоминантными широколиственными лесами варьирует в пределах 10.40–12.96 мас. %. Более высокие показатели характерны под зарослями полыни Гмелина с леспедецей (13.21–13.36 мас. %). Также для данных растительных сообществ по сравнению с лесной растительностью отмечаются более высокие показатели суммы поглощенных оснований (25.6–26.0 против 10.0–24.4 ммоль/100г), подвижных форм калия (192–300 против 124–217 мг/кг). Для всех почв содержание подвижного фосфора крайне низкое и соответствует градации “не обеспечены” (Аринушкина, 1970). Для зарослей полыни Гмелина по абсолютному содержанию показатель также превосходит аналогичные данные в почвах под лесом (30–32 против 20–28 мг/кг). По содержанию обменного натрия почвы гмелинополынных выделяются наибольшими величинами по сравнению с почвами под лесом (0.6 ммоль/100 г почвы против 0.4 ммоль/100 г почвы), что связано не только с составом растительности, но и местоположением — близостью морской акватории и периодическим поступлением с морскими осадками катионов натрия на эту территорию. Содержание обменного натрия в горизонте AY разреза 4-17, заложенного

под лесной растительностью, выделяется наибольшим значением — 0.7. Данное значение, скорее всего, связано с расположением разреза вблизи берега (66 м) и импัลверизацией морских солей.

Для площадок, которые проходят этап постпирогенного восстановления характерна “повышенная обеспеченность” почв подвижным калием (275–300 мг/кг) (Аринушкина, 1970), что можно рассматривать, учитывая выводы других авторов (Краснощекоев, Чередникова, 2012), как положительное влияние пирогенного фактора на почвы.

Содержание ртути в почвенно-растительном покрове

Выполненные полевые и лабораторные исследования образцов почв и листьев растительности отразили основные закономерности пространственного распределения ртути на о. Шкота и примыкающей части о. Русский. Для о. Шкота содержание ртути в почвенном покрове колеблется в интервале 35.9–158.6 нг/г, на примыкающей части о. Русский — 59–104 нг/г (табл. 2). Большой интерес представляет анализ пространственной дифференциации рассматриваемого элемента. Методом интерполяции в программном пакете ArcMap 10.1 были построены соответствующие карты (рис. 2). Максимальное содержание ртути характерно для точки 4-17, расположенной в бухте Дотовая. По мере удаления от данной зоны содержание ртути в почвенном покрове уменьшается до значений 60.6–85.0 нг/г, а в центральной части острова отмечаются минимальные показатели — 35.9–60.5 нг/г. Необходимо отметить повышенное содержание ртути в почве в точке 4-18 до 108.9 нг/г, что практически находится на границе перехода к следующему интервалу содержания ртути, отраженных на рис. 2.

Полученные данные позволяют картографировать содержания ртути в растительном покрове только по показателям для дуба монгольского. Построение соответствующей карты для граба сердцелистного и полыни невозможно из-за недостаточного массива данных. Содержание ртути в листьях дуба монгольского колеблется в интервале 14.6–41.5 нг/г, с максимальными значениями в точке 4-18 (41.5 нг/г), минимальными в точке 2-18 (17.9 нг/г). Характерно повышенное содержание ртути в точке 6-18 (33.3 нг/г) (табл. 2). Отмечается иное пространственное распределение ртути по сравнению с данными по почвенному покрову. Вместе с тем, можно отметить определенное сходство: повышенное содержание ртути в точке 4-18 с плавным уменьшением к центральной части острова. При этом для точки 4-17 характерны максимальное содержание ртути в почве (158.6 нг/г) и низкие в листьях дуба монгольского (20.72 нг/г) с увеличением до 28.8 нг/г в точке 1-18 (табл. 2, рис. 2).

Средние значения содержания ртути в почвенном покрове на о. Шкота и примыкающей части о. Русский составляют 81.21 нг/г. Для различных видов растений средние значения представлены в табл. 3. Максимальный показатель характерен для граба сердцелистного, минимальный — для полыни Гмелина. Такое варьирование обусловлено аккумуляционной способностью разных видов растений накапливать ртуть. Данную особенность отмечал ряд авторов (Перельман, 1975; Скугорева, Низовцев, 2012; Минеев и др., 1983). Видовые особенности растений по накоплению ртути выявляются на основе расчета коэффициента накопления (КН), который отражает отношение содержания ртути в растении к ее содержанию в почве (Скугорева, Низовцев, 2012). Максимальный КН характерен для граба сердцелистного, затем следует дуб монгольский, минимальные значения — у полыни Гмелина.

Принципиально важным вопросом является установление источников поступления ртути в почвенно-растительный покров. Необходимо рассматривать 2 группы источников — природный и антропогенный. На островах залива Петра Великого к природным источникам поступления ртути в первую очередь необходимо относить разломы, идущие вдоль Амурского залива и пролива Босфор Восточный. На о. Попова в бухте Алексеева фиксируется повышенное содержание ртути в морской воде. Данная бухта расположена в приконтактной зоне гранитного интрузива, где по тектоническим нарушениям ртуть может поступать на поверхность. Кроме того, повышенное содержание ртути фиксируется в атмосфере в открытой части залива Петра Великого, что связано с ее поступлением через разрывные нарушения земной коры (Калинчук и др., 2012). Именно с особенностями тектонического строения мы связываем повышенное содержание ртути в точке 4-18 в почве (108.9 нг/г) и максимальное для дуба монгольского (41.5 нг/г). Безусловно, данный вывод нуждается в дополнительном подтверждении по результатам подробной геологической съемки.

В настоящее время антропогенный источник является наиболее существенным в процессе поступления ртути в геосистемы юга Приморского края. Как отмечается в работе (Аксентов, Астахов, 2009), залив Петра Великого находится в зоне с повышенным содержанием антропогенной ртути в приземном слое воздуха. Региональным источником являются урбанизированные районы Северо-восточного Китая. В результате трансграничного переноса загрязненных воздушных масс отмечается повышение содержания ртути в атмосфере. В качестве местных источников необходимо отметить г. Владивосток, где в прилегающих акваториях фиксируются максимальные показатели (Калинчук и др., 2012; Аксентов, 2015; Аксентов, Астахов, 2009). Лихеноиндикационные исследования фиксируют наличие постоян-

Таблица 2. Содержание ртути в геосистемах островов Русский и Шкота

Остров	№ точки	Почвы			Растительность		Коэффициент накопления
		глубина отбора, см	горизонт	ртуть, нг/г	вид	ртуть (листья), нг/г	
Русский	1-17	0–20	AUpir	60.3	Полынь Сиверса	13.7	0.23
	2-17	0–11(13)	AUpir	58.6	Дуб монгольский	14.6	0.25
Шкота	3-17	0.5–6(9)	AUpir	104.0		22.3	0.21
	4-17	3–13(14)	AY	158.6		20.7	0.13
	5-17	3–9(12)	AY	86.9	Граб сердцелистный	28.2	0.32
	6-17	4–15	AUpir	94.1	Дуб монгольский	24.8	0.26
	7-17	1.5–18	AY	43.2	Полынь Гмелина	6.6	0.15
	8-17	6–20	AY	35.9	Дуб монгольский	18.3	0.51
	9-17	2–15	AU	78.3	Полынь Гмелина	10.8	0.14
	11-17	5–18	AU	77.3		10.1	0.13
	12-17	4–10(19)	AY	89.8	Дуб монгольский	25.4	0.28
	1-18	5–7(10)	AY	91.2	Дуб монгольский	28.8	0.32
					Граб сердцелистный	25.7	0.28
	2-18	4–13	AY	76.0	Дуб монгольский	17.9	0.24
					Граб сердцелистный	24.9	0.33
	3-18	5–15(16)	AY	68.7	Дуб монгольский	25.8	0.38
					Граб сердцелистный	26.4	0.38
	4-18	3–13	AY	108.9	Дуб монгольский	41.5	0.38
	5-18	2–9	AY	74.6	Дуб монгольский	20.6	0.28
	6-18	5–11	AY	84.7	Дуб монгольский	33.3	0.39
	13-17	6–16	AY	60.3	Не опр.	Не опр.	Не опр.
	14-17	2.5–14	AU	91.6	Не опр.	Не опр.	Не опр.

Примечания. Не опр. — не определялось.

Таблица 3. Средние значения содержания ртути в почвенно-растительном покрове и коэффициент накопления в листьях разных видов растений

Вид растения	Среднее содержание ртути в почве, нг/г	Среднее содержание ртути в листьях растений, нг/г	Коэффициент накопления
Граб сердцелистный	81.2	26.3	0.33
Дуб монгольский		24.5	0.30
Полынь Гмелина		9.1	0.14

ного влияния регионального и трансграничного переноса загрязняющих веществ. На участках с активным антропогенным воздействием преобладают лишайники устойчивые к действию антропогенных факторов, отмечены следы пирогенного фактора на талломах. На участках не подверженных непосредственному влиянию человеческой деятельности у лишайников присутствует угнетение, свидетельствующее о воздушном загрязнении (Родникова, Скирина, 2014).

Локальным антропогенным источником ртути является хозяйственная деятельность, осуществляемая непосредственно в пределах островных геосистем. На территории о. Шкота отсутствуют поселения и другие хозяйственные объекты. Выделенные на рис. 2 антропогенные территории представляют собой техногенно трансформированные участки бывшего военного присутствия на острове, не обнаруживающие связи с современным распределением ртути. В летний период территория острова интенсивно используется в ре-

креационных целях. Наиболее крупным местом расположения кемпингов является побережье бухты Дотовая. Именно с активным рекреационным использованием данной территории связано максимальное содержание ртути в почвенном покрове. Постоянное разведение костров и сжигание древесины и бытового мусора (в первую очередь полиэтилена), приводит к перераспределению ртути на прилегающих территориях. Кроме максимальных значений содержания ртути в почве для данной территории нами зафиксированы наивысшие значения по содержанию тяжелых металлов с превышением ориентировочно допустимых концентраций по ряду показателей, что так же связано со сжиганием бытовых отходов рекреантами (Киселева и др., 2018). Низкие концентрации ртути в листьях дуба монгольского для данной территории (точка 4-17) объясняется периодом отбора проб — в начале июля — до времени, наиболее благоприятного для отдыха. При этом аккумулярованная почвенным покровом ртуть отражает

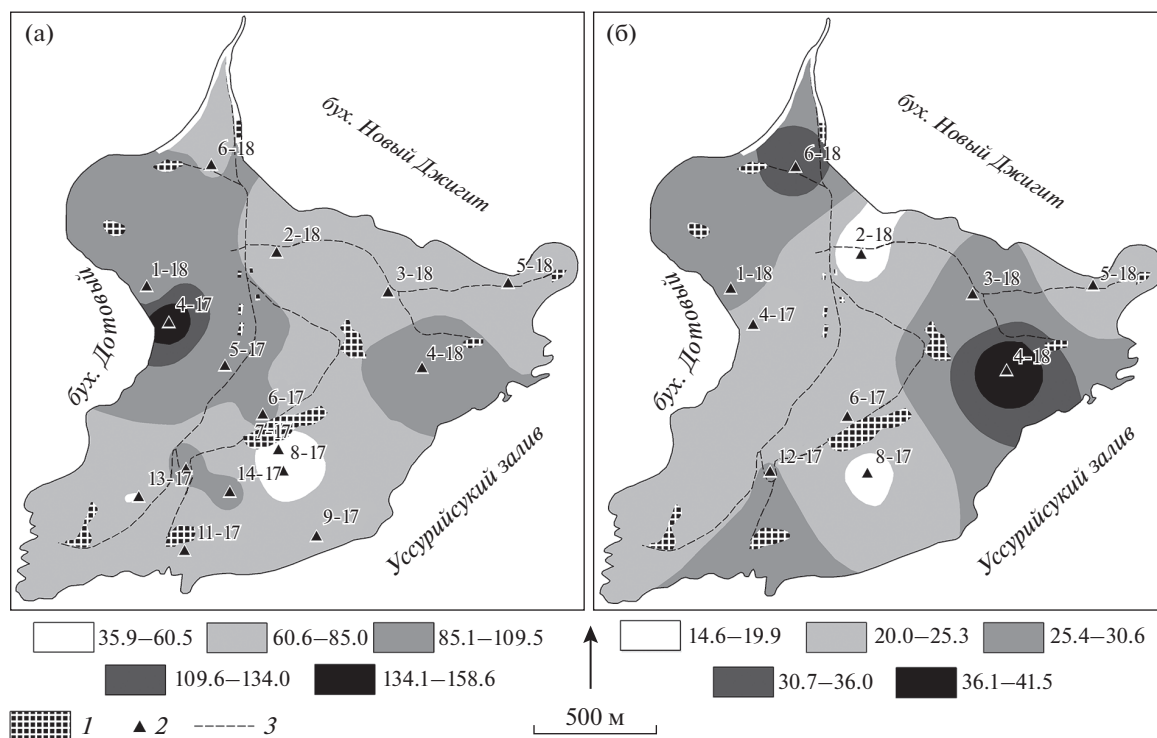


Рис. 2. Содержание ртути в аккумулятивно-гумусовых горизонтах (а) и листьях дуба монгольского (б) на о. Шкота (нг/г). Условные обозначения: 1 – антропогенные территории (заброшенные), 2 – точки наблюдений и их цифровые обозначения, 3 – дороги грунтовые.

многолетнюю тенденцию рекреационного использования участка побережья бухты Дотова.

Необходимо рассмотреть вопрос об экологическом состоянии почвенно-растительного покрова территории о. Шкота и примыкающей части о. Русский по содержанию ртути с точки зрения негативного влияния на природные геосистемы и на здоровье людей. На почвы, воду, воздух и ряд продуктов питания существуют нормы, прописанные в ГОСТах, СанПиНах и других нормативных документах. Предельно допустимая концентрация (ПДК) ртути в почве, принятая в Российской Федерации, составляет 2100 нг/г (Предельно..., 2006). Для других компонентов геосистем ПДК не существует, и можно говорить только о среднем содержании. Так, среднее содержание ртути в земной коре составляет 45 нг/г (Сауков и др., 1972), для растений – 15 нг/г (Ковалевский, 1974). Исходя из приведенных данных, и результатов лабораторных анализов можно сделать следующие выводы:

1. содержание ртути в почве составляет незначительную долю от ПДК (максимальные показатели 158.6 нг/г (точка 4-17) или 7.6% от ПДК);
2. концентрации ртути в растениях превышают величину среднего содержания для растений, что может быть естественной региональной спецификой;
3. полученные данные в большей степени отражают состояние мало затронутых хозяйственной деятельностью геосистем, с влиянием ком-

плекса природных и антропогенных факторов, и могут быть использованы в дальнейших исследованиях в качестве фоновых показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты геоэкологических исследований, проведенных на о. Шкота и примыкающей части о. Русский, показывают, что функционирование геосистем происходит в условиях периодического влияния пирогенного фактора. Это в значительной степени изменяет физико-химические свойства почв и приводит к трансформации растительности.

В почвенном покрове в среднем содержится 81.2 нг/г ртути, для растительного покрова значения варьируются в зависимости от вида растения: граб сердцелистный – 26.3 нг/г, дуб монгольский – 24.5 нг/г, полынь Гмелина – 9.1 нг/г. Аналогичное распределение было получено при расчете коэффициента накопления. Наиболее вероятной причиной высокого содержания ртути в почвенно-растительном покрове восточной оконечности о. Шкота являются особенности тектонического строения. Окончательный вывод можно будет сделать только после проведения подробной геологической съемки. Максимальное содержание ртути в почвенном покрове в районе побережья бухты Дотова обусловлены влиянием рекреационной деятельности: сжиганием бытовых отходов и перераспределением выделяемой ртути.

Здесь отмечается процесс многолетней аккумуляции ртути на прилегающих территориях. Несмотря на это, содержание ртути в почве составляет незначительную долю от ПДК. Отмечается превышение среднего содержания в листьях анализируемых древесных пород по сравнению с величиной среднего содержания ртути для растений, что может являться региональной спецификой.

Особая необходимость проведения подобных исследований связана с планами развития данной территории. Концепция развития о. Русский и прилегающих территорий предполагает формирование образовательного, научного, культурного, туристско-рекреационного и выставочного кластеров. С целью обеспечения устойчивого функционирования островных геосистем и планируемых территориально-хозяйственных структур остро стоит вопрос организации экологического мониторинга. Полученные данные по распределению ртути на территории о. Шкота и примыкающей части о. Русский во многом отражают фоновые значения и могут являться основой для организации подобного мониторинга.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 18-77-00001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аксентов К.И. (2015) Ртуть в морской воде Амурского залива Японского моря: современные уровни содержания и геохимические процессы. *Метеорология и гидрология* (9), 59–66.
- Аксентов К.И., Астахов А.С. (2009) Антропогенное загрязнение ртутью донных осадков залива Петра Великого. *Вестник ДВО РАН*. (4), 115–121.
- Аринушкина Е.В. (1970) Руководство по химическому анализу почв. Издание 2-е, переработанное и дополненное. М.: Изд-во Моск. ун-та, 490 с.
- Ганзей К.С., Киселёва А.Г., Родникова И.М., Пшеничникова Н.Ф. (2016) Современное состояние и антропогенная трансформация геосистем островов залива Петра Великого. *Ойкумена. Регионоведческие исследования*. (1), 40–49.
- Ганзей К.С., Пшеничникова Н.Ф., Лящевская М.С., Киселёва А.Г., Родникова И. М. (2017) Состояние посадок пихты цельнолистной и их значение в восстановлении хвойно-широколиственных геосистем острова Русский (залив Петра Великого, Японское море). *Экологический риск / Мат. IV Всеросс. науч. конф. с междунар. участием (г. Иркутск, 18–21 апреля 2017 г.)*. Иркутск: Изд-во ИГ им. В.Б. Сочавы СО РАН, 140–142.
- Гордеева О.Н., Белоголова Г.А., Андрулайтис Л.Д. (2012) Биогеохимические особенности миграции ртути в системе “почва–растение” Южного Прибайкалья. *Известия Иркутского государственного университета. Серия “Биология. Экология”*. 5(3), 23–32.
- ГОСТ 17.4.1.02–83. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения (2008). М: Стандартинформ, 4 с.
- ГОСТ 17.4.4.02–84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа (2008). М.: Стандартинформ, 8 с.
- Грановский Э.И., Хасенова С.К., Дарищева А.М., Фролова В.А. (2001) Загрязнение ртутью окружающей среды и методы демеркуризации. *Химия и жизнь*. Алматы: (б.и.), 100 с.
- Ильин В.Б. (1991) Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 151 с.
- Калинчук В.В., Аксентов К.И., Иванов М.В., Лопатников Е.А. (2012) Атомарная ртуть в приводном слое воздуха северо-западной части Японского моря осенью 2011 г. *Вестник ДВО РАН*. (3), 58–66.
- Киселева А.Г., Ганзей К.С., Родникова И.М., Пшеничникова Н.Ф. (2018) Современное состояние геосистем острова Шкота (природные и антропогенные факторы). *Геосистемы в Северо-Восточной Азии. Типы, современное состояние и перспективы развития*. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 157–163.
- Ковальский В.В. (1974) *Геохимическая экология*. М.: Наука, 298 с.
- Краснощекоев Ю.Н., Чередникова Ю.С. (2012) Постпирогенная трансформация почв кедровых лесов в южном Прибайкалье. *Почвоведение*. (10) 1057–1067.
- Максимова Е.Ю., Цибарт А.С., Абакумов Е.В. (2014) Свойства почв Тольяттинского соснового бора после катастрофических пожаров. *Почвоведение*. (9), 1131–1144.
- Минеев В.Г., Тришина Т.А., Алексеев А.А. (1983) Распределение ртути и ее соединений в биосфере. *Агрохимия*. (1), 122–132.
- Мотузова Г.В. (2013) Соединение микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. М.: Книжный дом “ЛИБРИКОМ”, изд. 3-е, 168 с.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Многолетние данные. Приморский край. (1988) Л.: Гидромеоиздат. 3(26), 416 с.
- Перельман А.И. (1975) *Геохимия ландшафта*. М.: Высшая Школа, 2-е изд., 341 с.
- Полевой определитель почв (2008). М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 182 с.
- Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы (2006). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 15 с.
- Преловский В.И., Короткий А.М., Пузанова И.Ю., Саболдашев С.А. (1996) Бассейновый принцип формирования рекреационных систем Приморья. Владивосток: Владивостокский филиал РТА, 150 с.
- Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф. (2013) Специфика формирования буроземов на островах залива Петра Великого (юг Дальнего Востока). *Вестник ДВО РАН*. (5), 87–96.
- Родникова И.М., Скирина И.Ф. (2014) Лихеноиндикация антропогенного воздействия на природные комплексы островов залива Петра Великого (Японское море). *География и природные ресурсы*. (4), 42–48.
- Сауков А.А., Айдиньян Н.Х., Озерова Н.А. (1972) *Очерки геохимии ртути*. М.: Наука, 336 с.
- Скугорева С.Г., Низовцев А.Н. (2012) Биоаккумуляция ртути дикорастущими растениями в зоне влияния Кирово-Череповецкого химического комбината. *Экология промышленного производства*. (2), 15–19.
- Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. (2008) Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник). *Почвоведение*. (7), 783–792.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. (2001) *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca Raton, London, New York, Washington (D.C.): CRS Press, 3-th edition, 403 p.
- Klock A. (1980) Orientierungsdaten for tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturbuden. *Mitteilungen VDLUFA*. 1(3), 9–11.