

УДК 502.5:504.5(571.63)

## ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЮГА ПРИМОРСКОГО КРАЯ

© 2013 г. И. В. Молчанова\*, Л. Н. Михайловская\*, В. Н. Позолотина\*,  
Ю. Н. Журавлев\*\*, Я. О. Тимофеева\*\*, М. Л. Бурдуковский\*\*

\*Институт экологии растений и животных УрО РАН

620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

e-mail: molchanova\_i\_v@mail.ru

\*\*Биолого-почвенный институт ДВО РАН

690022 Приморский край, Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159

e-mail: timofeeva@biosoil.ru

Поступила в редакцию 03.12.2012 г.

Оценка техногенной нагрузки на экосистемы юга Приморского края показала, что запас  $^{90}\text{Sr}$  в почвах варьирует в пределах 0.3–1.3 кБк/м<sup>2</sup>, а  $^{137}\text{Cs}$  – 0.4–3.0 кБк/м<sup>2</sup>. Эти значения не отличаются от современного фонового уровня, характерного для пояса между 50–60° с.ш. Присутствие в образцах  $^{134}\text{Cs}$  указывает на вклад аварийных выбросов АЭС “Фукусима”. Расчеты показали, что дополнительное поступление  $^{137}\text{Cs}$  в почвы обследованной территории составляет 0.03–0.30 кБк/м<sup>2</sup>. Исследовано содержание в почвах тяжелых металлов и микроэлементов. Обнаружено дополнительное, техногенное, поступление в почву Си и Рb, в среднем в 2 раза превышающее ПДК. Для остальных элементов превышение удерживается на уровне 8–32%.

*Ключевые слова:* мониторинг, радионуклиды, авария на АЭС “Фукусима”, тяжелые металлы, Приморский край.

DOI: 10.7868/S0367059713050119

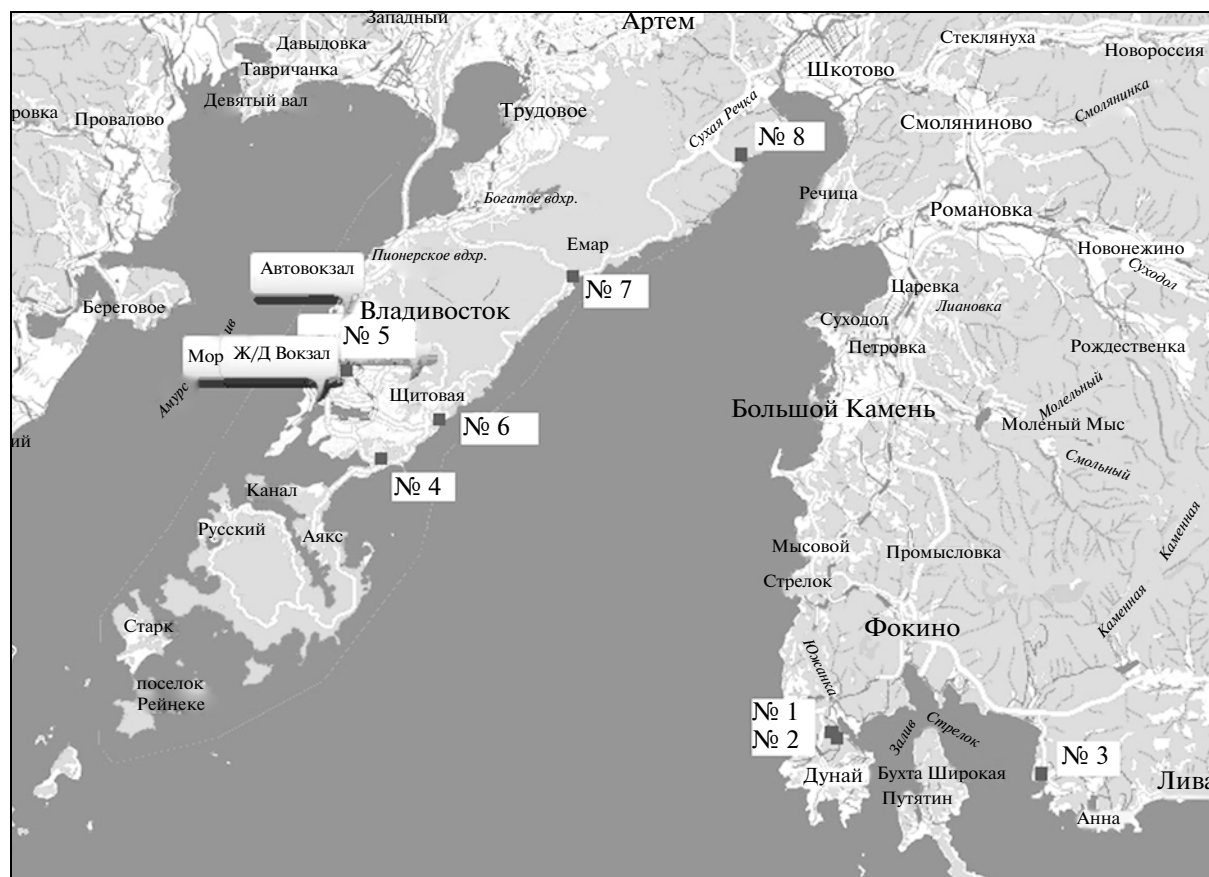
Мониторинг окружающей среды в целях оценки воздействия промышленных и атомно-энергетических комплексов, а также последствий ядерных аварий является важнейшей задачей экологии. Дальневосточный регион РФ с особенностями его климата и рельефа, оказавшийся в непосредственной близости от эпицентра аварии на АЭС “Фукусима” в Японии, представляет особый интерес. В литературе имеется мало данных, характеризующих техногенную, в частности радиационную, нагрузку на естественные экосистемы в этом регионе, в то время как потребность в подобных материалах значительна. На востоке вблизи Российских берегов расположено 13 АЭС, из них 9 – на западном побережье Японии, 4 – на восточном берегу Корейского полуострова. В пределах береговой зоны полуострова Муравьева-Амурского располагаются промышленные зоны крупных металлургических предприятий и ранее базировались объекты атомного флота. Отслужившие свой срок атомные корабли размещаются, в частности, на базе “Павловское”. Слаборadioактивные отходы, образующиеся в результате эксплуатации атомного флота, сбрасывались в Охотское и Японское моря. Все это создает потенциальную

опасность для территории Приморья, которая особенно проявилась в период аварии на АЭС “Фукусима”. По оценкам экспертов в ходе аварии в атмосферу поступило около  $150 \times 10^{15}$  Бк  $^{131}\text{I}$  и  $6\text{--}15 \times 10^{15}$  Бк  $^{137}\text{Cs}$  (Masson et al., 2011). Вклад радиоактивных выпадений был зарегистрирован на всем Северном полушарии планеты, в том числе и на территории России (Bolsunovsky, Dementyev, 2011; Statement..., 2011; Kirchner et al., 2012).

Цель данной работы – оценка техногенной нагрузки (радионуклиды и тяжелые металлы) на экосистемы густонаселенных участков юга Приморского Края.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследованы территории береговой зоны полуострова Муравьева-Амурского (см. рисунок). Площадки были расположены на удалении 500–800 м от уреза воды в районе бухт Чажма (уч. 1, 2), Павловского (уч. 3), Патрокл (уч. 4), Горностаи (уч. 6), Лазурная (уч. 7), Муравьиная (уч. 8), а также на территории Покровского парка (уч. 5). Преобладающая форма рельефа – мелкосопочник с



Карта-схема района исследований.

останцовыми возвышенностями, у подножий которых, как правило, формируются делювиальные шельфы. Растительность представлена широколиственными и хвойно-широколиственными лесами, в которых доминируют дуб зубчатый и монгольский, орех маньчжурский, березы пушистая, плосколистная, шерстистая и даурская, липы амурская и маньчжурская, клены приречный, маньчжурский, моно и зеленокорый, лещина маньчжурская, многочисленные виды ивы. Из хвойных пород широко распространены кедр корейский, ель корейская, пихты цельнолистная и почкочешуйная, лиственница Гмелина (Селедец, 2011). Климат в Приморье – муссонный, с мало-снежной зимой и влажно-тропической погодой летом, что способствует активному разложению поступающих в почву растительных остатков. В почвенном покрове преобладают буроземы типичные, формирующиеся на коре выветривания кислых кристаллических пород и делювиальных отложениях (Иванов, 1976).

На участках со сходным почвенно-растительным покровом были заложены реперные площадки размером 100 × 100 м. Отбор проб растительного опада, лесных подстилок и почв проводили по

общепринятым схемам ландшафтно-геохимических исследований. Для создания представительной пробы соответствующие образцы из трех индивидуальных разрезов, расположенных в вершинах равностороннего треугольника (длина стороны 10 м), усредняли.

Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в образцах определяли радиохимическим методом по дочернему  $^{90}\text{Y}$ . Для радиометрии препаратов использовали установку УМФ-2000 (Россия), предел обнаружения 0.2 Бк. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$  определяли на многоканальном  $\gamma$ -анализаторе с германиевым полупроводниковым детектором фирмы “ORTEC” (США), нижний предел обнаружения 0.1 Бк. Погрешность методов не превышала 20%. Количественное определение содержания тяжелых металлов в образцах почв проводили в вакууме с использованием рентгенфлуорисцентного анализатора EDX-800 (Shimadzu, Япония) и государственных стандартных образцов сравнения. Пробы листового опада и подстилки озоляли при температуре 450°C. Содержание элементов в них определяли в воздушной среде в формате качественно-количественного анализа. При обработке данных использовали общепринятые статистические методы.

**Таблица 1.** Запас радионуклидов в органогенных образованиях (лесные подстилки, лиственной опад) и почвах на территории юга Приморского края, Бк/м<sup>2</sup>

№ участка	Органогенные образования			Почвы			<sup>137</sup> Cs/ <sup>90</sup> Sr
	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	
1, 2	23 ± 6	10 ± 1.0	0.4 ± 0.2	1330 ± 380	2190 ± 200	184 ± 45.0	1.6
3	3 ± 1	2 ± 0.2	0.2 ± 0.05	520 ± 150	1530 ± 75	11 ± 2.6	3.0
4	10 ± 3	6 ± 0.6	0.05 ± 0.02	610 ± 200	800 ± 80	28 ± 7.5	1.3
5	2 ± 0.5	3 ± 1	0.4 ± 0.2	270 ± 54	430 ± 40	10 ± 5.0	1.6
6	17 ± 3.4	11 ± 0.6	1 ± 0.5	610 ± 60	1200 ± 150	15 ± 8.0	1.9
7	18 ± 3	1 ± 0.3	0.1 ± 0	940 ± 180	3040 ± 30	30 ± 12.0	3.2
8	24 ± 4	140 ± 15	6 ± 2.0	600 ± 200	1140 ± 140	33 ± 3.0	2.1

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученного материала показал, что величина удельной активности (Бк/кг сухого вещества) листового опада убывает в ряду  $^{90}\text{Sr} > ^{137}\text{Cs} > ^{134}\text{Cs}$ . При этом удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  варьирует в пределах 10–40,  $^{137}\text{Cs}$  – 2–10 и  $^{134}\text{Cs}$  – 0.2–1 Бк/кг. В лесной подстилке радионуклиды располагаются в такой же последовательности, однако абсолютное содержание в ней  $^{137}\text{Cs}$  несколько выше (15–20 Бк/кг). Исключение составили образцы растительного опада, собранные на участке 8, в районе бухты Муравьиная: содержание в них  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$  удерживается на уровне 150 и 12 Бк/кг соответственно.

Запас  $^{90}\text{Sr}$  в органогенных горизонтах почв (растительный опад + лесная подстилка) не превышает 24 Бк/м<sup>2</sup>,  $^{137}\text{Cs}$  – 140 Бк/м<sup>2</sup>, а  $^{134}\text{Cs}$  – 6 Бк/м<sup>2</sup>, что составляет 4, 11 и 15% соответственно от их общего запаса в 0–20 см слое почв (табл. 1). Близкие уровни загрязнения  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  органогенных горизонтов почв отмечены после аварии в Фукусиме в 2011 г. на территории Урала и Сибири (Bolsunovsky, Dementyev, 2011; Молчанова и др., 2012).

Запас  $^{90}\text{Sr}$  в почвах обследованных участков Приморского края варьирует в пределах 270–1330 Бк/м<sup>2</sup>, а  $^{137}\text{Cs}$  – от 430 до 3040 Бк/м<sup>2</sup>. Минимальное содержание радионуклидов отмечено в почвах Покровского парка (уч. 5), испытывающего антропогенный прессинг, а более высокое – в районе бухты Чажма (уч. 1, 2), где в 1986 г. произошла авария ядерно-энергетической установки на атомной подводной лодке, и в районе бухты Лазурная (уч. 7).

В целом содержание этих радионуклидов в почвах Приморского края не отличается от современного фоновый уровня, который в поясе между 50°–60° с.ш. равен 1.3 кБк/м<sup>2</sup> для  $^{90}\text{Sr}$  и 2.2 кБк/м<sup>2</sup> – для  $^{137}\text{Cs}$ , т.е. отношение  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  составляет 1.7 (Атлас..., 2007). В среднем на обследо-

ванной нами территории отношение  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  равно 2.1. Повышенное содержание  $^{137}\text{Cs}$  относительно  $^{90}\text{Sr}$  может быть связано с аварийными выбросами АЭС “Фукусима”. На это указывает и присутствие в исследуемых образцах  $^{134}\text{Cs}$ . Через год после аварии запас этого изотопа в почвенном слое составлял 10–184 Бк/м<sup>2</sup> – это значение в среднем в 10–100 раз ниже такового для  $^{137}\text{Cs}$ . Учитывая, что на момент аварии в газоаэрозольных выбросах отношение  $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  было близко к единице (Онищенко и др., 2011; Kirchner et al., 2012), мы рассчитали количество  $^{137}\text{Cs}$ , поступившего в окружающую среду в поставарийный период. Плотность загрязнения разных участков обследованной территории Приморья  $^{137}\text{Cs}$  аварийных выпадений составила 30–300 Бк/м<sup>2</sup>. Отметим, что в почвенном покрове Уральского и Сибирского регионов вклад аварийных поступлений  $^{137}\text{Cs}$  несколько ниже (0.9–42 Бк/м<sup>2</sup>), а уровни загрязнения почв в зоне аварии в Японии несопоставимо выше – от 600 до 3000 кБк/м<sup>2</sup> (Yoshida, Kanda, 2012).

Оценка состояния почвенного покрова включала наряду с радиоэкологическим исследованием выявление уровня и характера распределения в почвах тяжелых металлов и микроэлементов, которые входят в состав любых природных объектов. Многие из них относятся к числу биогенных элементов, в малых количествах необходимых для поддержания всех форм жизни. Фоновое содержание элемента в почве складывается из природного содержания (кларк) и глобального техногенного поступления (Ковалевский, Ковалевская, 2010). Анализ результатов собственных исследований и литературных данных (Иванов, 1976; Тимофеева, Голов, 2007; Семаль, 2010) позволил оценить максимальный уровень ( $C_{\text{max}}$ ) фонового содержания элементов в почвах Приморского края. Выход за пределы этого значения свидетельствует о локальном техногенном воздействии. Из табл. 2 видно, что максимальное содержание Со,

**Таблица 2.** Содержание тяжелых металлов в почвенно-растительном покрове береговой зоны юга Приморского края, мг/кг

Компонент	Co	Cu	Zn	Pb	Mn
Литосфера (Ковалевский, Ковалевская, 2010)	18	47	83	32	1000
Почва ( $C_{\max}$ )	25	38	90	27	1930
Растительный опад	0.1 (0.1–0.3)	1.4 (1.0–2.0)	9.0 (3.0–27.0)	7 (1.0–46)	76 (57–106)
Лесная подстилка	1.0 (0.3–2.0)	20.0 (6–39)	13 (7.0–33.0)	7 (4.0–10)	220 (150–312)
Почва (0–20 см)	27 (20.0–61)	75 (24–188)	119 (12–496)	64 (2.0–683)	2210 (1718–2954)

Zn, Mn в обследованных почвах несколько превышает их кларковые значения. Минимальное количество элементов отмечено в растительном опаде, где оно, как правило, в 10–100 раз ниже уровней кларков. Более высокое их содержание обнаружено в лесных подстилках и максимальное – в опробованном почвенном слое (мощность 20 см). Это свидетельствует о том, что почвы являются основным депо для задерживания химических элементов. Сравнение кларковых и реальных (усредненных для всех опытных площадок) значений содержания исследуемых элементов в почвах выявило двукратное превышение Cu и Pb. Для остальных элементов это превышение составляет 8–32%. Наиболее насыщен тяжелыми металлами бурозем урбистратифицированный, отобранный на территории городского парка. По сравнению с величиной предельно допустимой концентрации элементов в почвах (ПДК) концентрация в нем Pb превышена в 12.4 раза, Cu, Zn – в 3.2, Mn – в 1.6 (ГОСТ 17.4.1.02-83).

Помимо традиционных “элементов-токсикантов”, установлено присутствие в почвах таких малоизученных редких элементов, как Sc, Ga, V, Rb, Sr, Y, Zr, Nb. Сопоставление рядов их содержания в осадочных породах и почвах (Чертко, Чертко, 2008) выявило для большинства элементов их полное совпадение. Их среднее содержание в исследованных почвах имеет следующий вид: Sr (202.7 мг/кг) > Rb (87.5 мг/кг) > Y (31.3 мг/кг) > Nb (20.3 мг/кг) > Sc (11.2 мг/кг) > Ga (10.9 мг/кг). Исключение составляют Zr (289.2 мг/кг) и V (114.2 мг/кг). Содержание этих элементов в почвах выше, чем их кларковые значения в осадочных породах: в 2.9 раза – для Zr и в 9 раз – для V.

Отсутствие регламентированных ПДК для редких рассеянных элементов не дает возможности оценить уровень загрязнения почвенного покрова с санитарно-гигиенической точки зрения. Отметим только, что в обследованных почвах концентрации V, Rb, Sr, Y, Zr варьируют в зависимости от типа природопользования. Максималь-

ная концентрация Rb и Zr в почвах отмечена в буроземах типичных площадки № 4, заложенной на побережье бухты Патрокл (жилой массив и авто-трасса). Самое высокое содержание Sr зафиксировано на участках 1–3, приуроченных к зонам бывшего расположения объектов атомного флота (береговые зоны бухт Чажма и Павловского). Повышенное количество V отмечено на территории, где ранее располагался судоремонтный завод, обслуживавший атомные подводные лодки, а также увеличение содержания этого элемента характерно для почв, испытывающих высокую антропогенную нагрузку (бурозем урбистратифицированный Покровского парка и прибрежной зоны бухты Муравьиной).

Таким образом, проведенные исследования показали, что содержание в почвах береговой зоны Приморья долгоживущих радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  удерживается на уровне современных фоновых значений, характерных для средних широт ( $^{90}\text{Sr}$  – 0.3–1.3 кБк/м<sup>2</sup>,  $^{137}\text{Cs}$  – 0.4–3.0 кБк/м<sup>2</sup>). Аварийные выбросы Фукусимы добавили к этому количеству 0.03–0.30 кБк/м<sup>2</sup>  $^{137}\text{Cs}$ , т.е. примерно 1–10%. Минимальное количество тяжелых металлов и микроэлементов отмечено в органо-генных горизонтах почв. В опробованном (20 см) почвенном слое содержание Cu и Pb в среднем в 2 раза превышает величины их кларковых значений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы интеграционных исследований между Институтами УрО РАН и ДВО РАН (проект № 12-С-4-1001).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас геоэкологических карт на территории зоны наблюдения ФГУП ПО “Маяк”. М.–Озерск: ЗАО “Гео-специология”, 2007. С. 106.
- ГОСТ 17.4.1.02-83. Госкомгидромет СССР, № 02-2333 от 10.12.90.

- Иванов Г.И.* Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 200 с.
- Ковалевский А.Л., Ковалевская О.М.* Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поисков. Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 2010. 362 с.
- Молчанова И.В., Михайловская Л.Н., Позолотина В.Н.* и др. Изотопы цезия аварийных выпадений АЭС "Фукусима-1" в компонентах наземных экосистем на Урале // Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития: Тез. докл. V междунар. научно-практич. конф. Курчатов, 2012. С. 89–90.
- Онищенко Г.Г., Романович И.К., Барковский А.Н.* и др. Авария на АЭС "Фукусима-1": первые итоги аварийного реагирования. Сообщ. 2: Действия органов Роспотребнадзора по радиационной защите населения Российской Федерации на ранней стадии аварии // Радиационная гигиена. 2011. Т. 4. № 2. С. 13–22.
- Селедец В.П.* Экологическая оценка территории Дальнего Востока России по растительному покрову. Владивосток: Дальнаука, 2011. 388 с.
- Семаль В.А.* Свойства почв южной части Сихотэ-Алиня (на примере Уссурийского заповедника) // Почвоведение. 2010. № 3. С. 303–312.
- Тимофеева Я.О., Голов В.И.* Железо-марганцевые конкреции как накопители тяжелых металлов в некоторых почвах Приморья // Почвоведение. 2007. № 12. С. 1463–1471.
- Чертко Н.К., Чертко Э.Н.* Геохимия и экология химических элементов: Справочное пос. Минск: Издательский центр БГУ, 2008. 140 с.
- Bolsunovsky A., Dementyev D.* Evidence of the radioactive fallout in the center of Asia (Russia) following the Fukushima accident // J. Environ. Radioactivity. 2011. V. 102. № 11. P. 1062–1064. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2011.06.007.
- Kirchner G., Bossew P., De Cort M.* Radioactivity from Fukushima Dai-ichi in air over Europe; part 2: what can it tell us about the accident? // J. Environ. Radioactivity. 2012. V. 114. P. 35–40. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2011.12.016.
- Masson O., Baeza A., Bieringer J.* et al. Tracking of airborne radionuclides from the damaged Fukushima Daiichi nuclear reactors by European Networks // Environ. Sci. Technol. 2011. V. 45. № 18. P. 7670–7677. DOI: 10.1021/es2017158.
- Statement on Recent Finding in West Coast States and Hawaii // EPA, March 22.2011. <http://www.epa.gov/japan2011/>
- Yoshida N., Kanda J.* Tracking the Fukushima Radionuclides // Science. 2012. V. 336. P. 1115–1116. DOI: 10.1126/science.1219493.