

УДК 502.3

DOI: 10.17217/2079-0333-2020-52-50-63

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ПЕТРОПАВЛОВСКА-КАМЧАТСКОГО (КАМЧАТСКИЙ КРАЙ) В 2017–2018 гг.

Авдощенко В.Г., Климова А.В.

Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский,  
ул. Ключевская, 35.

В работе представлены результаты определения содержания цинка, меди и свинца в почвенном покрове территорий г. Петропавловск-Камчатского в летний период 2017–2018 гг. Валовое содержание меди в почвах города существенно не отличалось от геохимического фона юго-восточной Камчатки. В 2017–2018 гг. ее концентрация варьировала в диапазоне от 12,68 мг/кг до 42,36 мг/кг. Наибольшее содержание меди в 2017 г. было выявлено в районе «Автостанция 10-й км», в 2018 г. – «Ботанический переулок». Наименьшее ее содержание в 2017 г. и в 2018 г. отмечено в районе «Стадион “Спартак”». Содержание цинка в почвах города в 2017–2018 гг. изменялось в пределах 7,03–64,54 мг/кг. Наибольшее его содержание в 2017 г. было выявлено в районе «Краевая библиотека», в 2018 г. – «Госпиталь». В 2017 г. район «Стадион “Спартак”» характеризовался наименьшим содержанием цинка, в 2018 г. – «Автостанция 10-й км». Для всех исследуемых районов, исключая фоновый участок, отмечено значительное превышение геохимического фона свинца. Диапазон его содержания в 2017–2018 гг. составлял 8,80–309,80 мг/кг. Среди районов наибольшая концентрация свинца наблюдалась на участках: «Госпиталь» (2017 г.) и «Ботанический переулок» (2018 г.), наименьшая – «Стадион “Спартак”» (2017 г.) и «Автостанция 10-й км» (2018 г.).

**Ключевые слова:** медь, металлическое загрязнение, Петропавловск-Камчатский, свинец, почва, тяжелые металлы, урбанизированные территории, цинк.

## CONTENTS OF HEAVY METALS IN THE SOILS OF PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY (KAMCHATKA TERRITORY) IN 2017–2018

Avdoshchenko V.G., Klimova A.V.

Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya Str. 35.

The paper presents the results of determining the content of zinc, copper and lead in the soil cover of the territories of Petropavlovsk-Kamchatsky in the summer period of 2017–2018. The total copper content in the city's soils did not differ significantly from the geochemical background of South-Eastern Kamchatka. In 2017–2018, its concentration ranged from 12.68 mg/kg to 42.36 mg/kg. The highest copper content in 2017 was found in the area of “Bus terminal 10 km”, in 2018 – “Botany lane”. The lowest content in 2017 and 2018 was observed in the Spartak stadium district. The zinc content in the city's soils in 2017–2018 varied in the range of 7.03–64.54 mg/kg. The largest content in 2017 was found in the district “Regional library”, in 2018 – “Hospital”. In 2017, the area “Spartak stadium” was characterized by the lowest zinc content, in 2018 – “Bus terminal”. For all the studied areas, excluding the background area, a significant excess of the geochemical background of lead was observed. The range of its content in 2017–2018 was 8.80–309.80 mg/kg. Among the districts, the highest concentration of lead was observed in 2017 at the “Hospital” site, in 2018 – “Botany lane”, the smallest in 2017 – “Spartak Stadium”, in 2018 – “Bus terminal”.

**Key words:** copper, metal pollution, Petropavlovsk-Kamchatsky, lead, soil, heavy metals, urbanized territories, zinc.

## ВВЕДЕНИЕ

Тяжелые металлы повсеместно распространены в окружающей среде. Они относятся и приоритетной группе загрязнителей, являющихся факторами деградации компонентов экосистемы [Sharma, Singh, 2015; Коновалова, 2018]. Некоторые из них относятся к необходимым элементам для всех живых организмов. Однако в условиях урбанизированных территорий поступление тяжелых элементов в окружающую среду происходит ежедневно и часто в избыточных концентрациях, что в конечном счете приводит к загрязнению всех компонентов экосистем, в том числе почвенного покрова [Davydova, 2005].

Почва – своеобразное «депо» токсичных металлов, поступление которых происходит из атмосферы, с мертвой органикой и в результате деятельности человека. Избыточное привнесение их в эдафотопы городской среды связано в большей степени с антропогенной деятельностью, но существенную роль могут играть и природные источники, например вулканическая деятельность, природные пожары и т. п. [Медведев, Деревягин, 2017; Лукманов, 2018]. Действие металлического загрязнения может распространяться на десятки километров от источника его поступления. Это связано, главным образом, с преимущественной приуроченностью поллютантов к пылевой фракции выбросов, а также обусловлено метеорологическими условиями и рельефом конкретной местности [Корчагина, 2014].

Город Петропавловск-Камчатский (ПКГО) – крупнейший населенный пункт Камчатки, именно здесь сконцентрированы большая часть населения и производственная мощность края, от чего напрямую зависит количество поступающих в почву

загрязнителей, включая тяжелые металлы. Существенным и специфическим фактором привнесения их в окружающую среду ПКГО является вулканическая активность. Почвенный покров города находится в локальной зоне выпадения молодых пеплов действующих вулканов (Авачинского и Корякского), что способствует формированию узко специфичных участков [Карпачевский и др., 2009]. Почвы города относятся к юго-восточной провинции и сформированы в андезито-базальтовых пеплах вулкана Ксудач [Литвиненко, Захарихина, 2008]. От состава пеплов зависит количество избыточных элементов в вулканических почвах. Все почвенные провинции Камчатки характеризуются устойчивой медной специализацией и повышенным содержанием цинка в вулканических почвах [Захарихина, Литвиненко, 2018, 2019б]. Геохимический фон цинка для юго-восточного района Камчатки составляет 65,31 мг/кг, меди – 33,83 мг/кг. Среднее содержание свинца в почвах региона не превышает 9,82 мг/кг [Захарихина, Литвиненко, 2019а, 2019б].

Поступление тяжелых металлов антропогенной природы в почвенный покров города связано с выбросами предприятий теплоэнергетики, которые включают 39 котельных и две теплоэлектроцентрали. На большинстве котельных городского округа в качестве основного топлива используется топочный мазут, при сжигании которого окислы азота и серы, окись углерода, сажа, бенз(а)пирен, тяжелые металлы и другие токсичные вещества поступают в атмосферу [Постановление № 2603..., 2019].

По данным УМВД России по Камчатскому краю, в 2018 г. в Камчатском крае зарегистрировано 216 634 единицы автотранспортных средств, большая часть автотранспорта приходится на город Петро-

павловск-Камчатский. В выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания содержатся окись углерода, окись азота, углеводороды, альдегиды, сажа, бенз(а)пирен, тяжелые металлы и другие загрязняющие вещества. Кроме того, на территории Петропавловска-Камчатского повсеместно встречаются места складирования отходов разного состава и происхождения, включая металлолом [Доклад о состоянии..., 2019]. В зависимости от уровня техногенной нагрузки и особенностей экологических факторов содержание тяжелых металлов в разных районах города может значительно отличаться.

Настоящее исследование было направлено на выявление степени металлического загрязнения почв г. Петропавловска-Камчатского в 2017–2018 гг.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор почвенных проб проводили в 2017 и 2018 годах в летний период в следующих районах г. Петропавловска-Камчатского:

«Автостанция 10-й км»  
(53°04'13.1"N, 158°35'34.5"E),  
«Краевая библиотека»  
(53°03'58.0"N, 158°37'18.8"E),  
«Ботанический переулок»  
(53°02'59.6"N, 158°39'21.2"E),  
«Стадион “Спартак”»  
(53°01'54.1"N, 158°39'06.4"E),  
«Госпиталь»  
(52°58'29.5"N, 158°41'42.7"E) (рис. 1).

Дополнительно за пределами города, близ озера Синичкино, был выделен фоновый участок (53°04'39.1"N, 158°41'24.9"E).

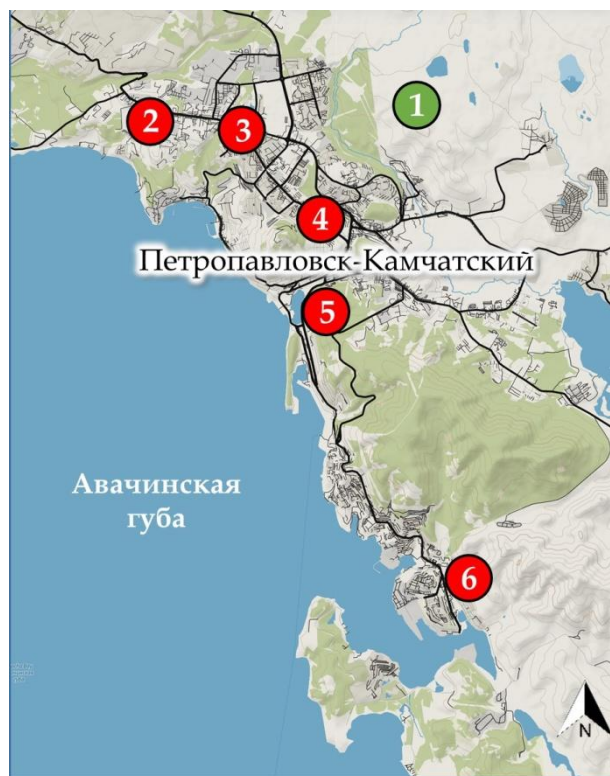


Рис. 1. Карта-схема районов отбора почвенных образцов в г. Петропавловске-Камчатском в 2017–2018 гг.: 1 – фоновый участок, 2 – район «Автостанция 10-й км», 3 – район «Краевая библиотека», 4 – район «Ботанический переулок», 5 – район «Стадион “Спартак”», 6 – район «Госпиталь»

Fig. 1. Soil sampling stations in Petropavlovsk-Kamchatsky in 2017–2018: 1 – background site, 2 – Bus terminal 10 km, 3 – Regional library, 4 – Botanic lane, 5 – Spartak Stadium, 6 – Hospital

Отбор почвенных образцов осуществляли на глубине 0–20 см методом «конверта» путем осреднения материала из пяти частных проб [Методические указания ..., 1992]. Подготовку проб к анализу, минерализацию и количественное определение металлов в образцах проводили на базе сектора коллективного использования научного оборудования ФГБОУ ВО «КамчатГТУ». Часть почвенных проб, собранных в 2017 г., дополнительно анализировали в лаборатории ФГБУ ЦАС «Камчатский» методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Все отобранные пробы высушивали до воздушно-сухого состояния и просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм. Кислотное озоление почвенного материала проводили в системе разложения проб Milestone Ethos UP. Химический анализ выполняли с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с микроволновой плазмой Agilent MP-AES 4200. Вычисление концентраций элементов (Cu, Zn и Pb) в пробах и предварительную обработку полученных данных проводили в программе MP Expert (Agilent Technologies, США). Конечное значение концентрации каждого элемента в анализируемой пробе

определяли как среднее арифметическое значение концентрации пяти параллельных измерений.

В почвенном покрове исследованных территорий города было определено валовое содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb). Для каждого элемента рассчитывали коэффициент концентрации ( $K_c$ ), представляющий собой отношение концентрации металла в почве к его фоновому значению, и коэффициент опасности ( $K_o$ ), отражающий кратность превышения валовой концентрации элемента в почве исследованного района по сравнению с его ПДК/ОДК, согласно ГН 2.1.2042-06.

Для оценки степени загрязнения почв тяжелыми металлами использовали ПДК, ОДК и максимальные допустимые уровни содержания химических веществ по показателю вредности ( $K_{max}$ ) [ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2511-09]. Нормативные значения всех указанных выше показателей для меди, цинка и свинца представлены в таблице 1. Полученные данные по содержанию загрязнителя в среде сравнивали с фоновыми участками, не подвергавшимися техногенному воздействию или испытывающими его в минимальной степени [МУ 2.1.7.730-99].

Таблица 1. Значения нормативных показателей, используемых для оценки степени загрязнения почв тяжелыми металлами [ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2511-09]

Table 1. Values of normative indicators used to assess the degree of soil contamination with heavy metals [ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2511-09]

Металл	Класс опасности	$K_{max}$ , мг/кг	ПДК, мг/кг	ОДК, мг/кг
Cu	II	72*	–	66
Zn	I	200*	–	110
Pb	I	260	32	–

Примечание. \* значения для подвижных форм.

В остальных случаях значения приведены для валового содержания металла в почве.

Для комплексной оценки загрязнения почв тяжелыми металлами применяли суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ), позволяющий определить степень негативного воздействия на среду одновременно несколькими загрязнителями [Саэт и др., 1990]. Данный показатель представляет собой сумму коэффициентов концентрации ( $K_c$ ) каждого металла. В зависимости от полученного значения  $Z_c$  исследуемые почвы относят к определенной категории загрязнения:  $Z_c > 128$  – максимальный, чрезвычайно опасный уровень загрязнения;  $Z_c = 32–128$  – высокий, опасный;  $Z_c = 16–32$  – средний, умеренно опасный;  $Z_c < 16$  – низкий, допустимый уровень [МУ 2.1.7.730-99].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### *Валовое содержание тяжелых металлов в почвенном покрове города*

**Медь.** В 2017 г. валовое содержание меди в почвах исследуемых районов города существенно не отличалось от геохимического фона для юго-восточной Камчатки (рис. 2, 1). Заметно меньшее его значение было выявлено в фоновом участке – 22,63 мг/кг и аномально низкое в районе «Стадион “Спартак”» – 12,68 мг/кг. Наибольшее содержание меди определено в районе «Автостанция 10-й км» (37,65 мг/кг). При сравнении содержания этого элемента в почвах города с фоновым участком наблюдалось превышение во всех районах исследования (рис. 2, 1).

Исключение составило, как и в случае с геохимическим фоном меди, определенное значение для района «Стадион “Спартак”». Учитывая разницу содержания металла в исследуемых территориях к фоновому участку ( $K_c$ ), выделен следующий ряд

уменьшения его накопления в почвах города: «Автостанция 10-й км» (1,67)  $\geq$  «Ботанический переулок» (1,63)  $>$  «Краевая библиотека» (1,56)  $>$  «Госпиталь» (1,41)  $>$  «Стадион “Спартак”» (0,56) (табл. 2).

В 2018 г. диапазон содержания меди в почвах города составил 27,95–42,36 мг/кг (табл. 2). Районом с наибольшей ее концентрацией в этот период являлся «Ботанический переулок», здесь было отмечено превышение геохимического фона и значения фонового участка в 1,25 и 2,62 раза соответственно (рис. 2, 1). Концентрация меди в почвах всех исследованных территорий города превышала таковую для фонового участка. В 2018 г. почвы города накапливали медь в следующем убывающем порядке: «Ботанический переулок» ( $K_c = 2,62$ )  $>$  «Краевая библиотека» (2,27)  $>$  «Госпиталь» (2,15)  $>$  «Автостанция 10-й км» (1,81)  $>$  «Стадион “Спартак”» (1,73) (рис. 2, 1; табл. 2).

**Цинк.** В летний период 2017 г. содержание цинка варьировало в диапазоне 7,03–65,75 мг/кг (табл. 2). Наибольшая его концентрация выявлена в районе «Краевая библиотека», наименьшая для «Стадиона “Спартак”». Во всех исследованных районах, исключая участок «Краевая библиотека», зарегистрирован дефицит этого металла в почвах по отношению к геохимическому фону (рис. 2, 2). Однако сравнивая содержание цинка в городской среде с фоновым участком, в большинстве районов выявлено его двукратное превышение. Аномально низкая его концентрация была определена в почвах района «Стадион “Спартак”» (рис. 2, 2). Последовательность районов по уменьшению содержания цинка в почвах города в 2017 г.: «Краевая библиотека» ( $K_c = 2,61$ )  $>$  «Госпиталь» (2,34)  $>$  «Ботанический переулок» (2,13)  $>$  «Автостанция 10-й км» (2,02)  $>$  «Стадион “Спартак”» (0,28) (рис. 2, 2; табл. 2).

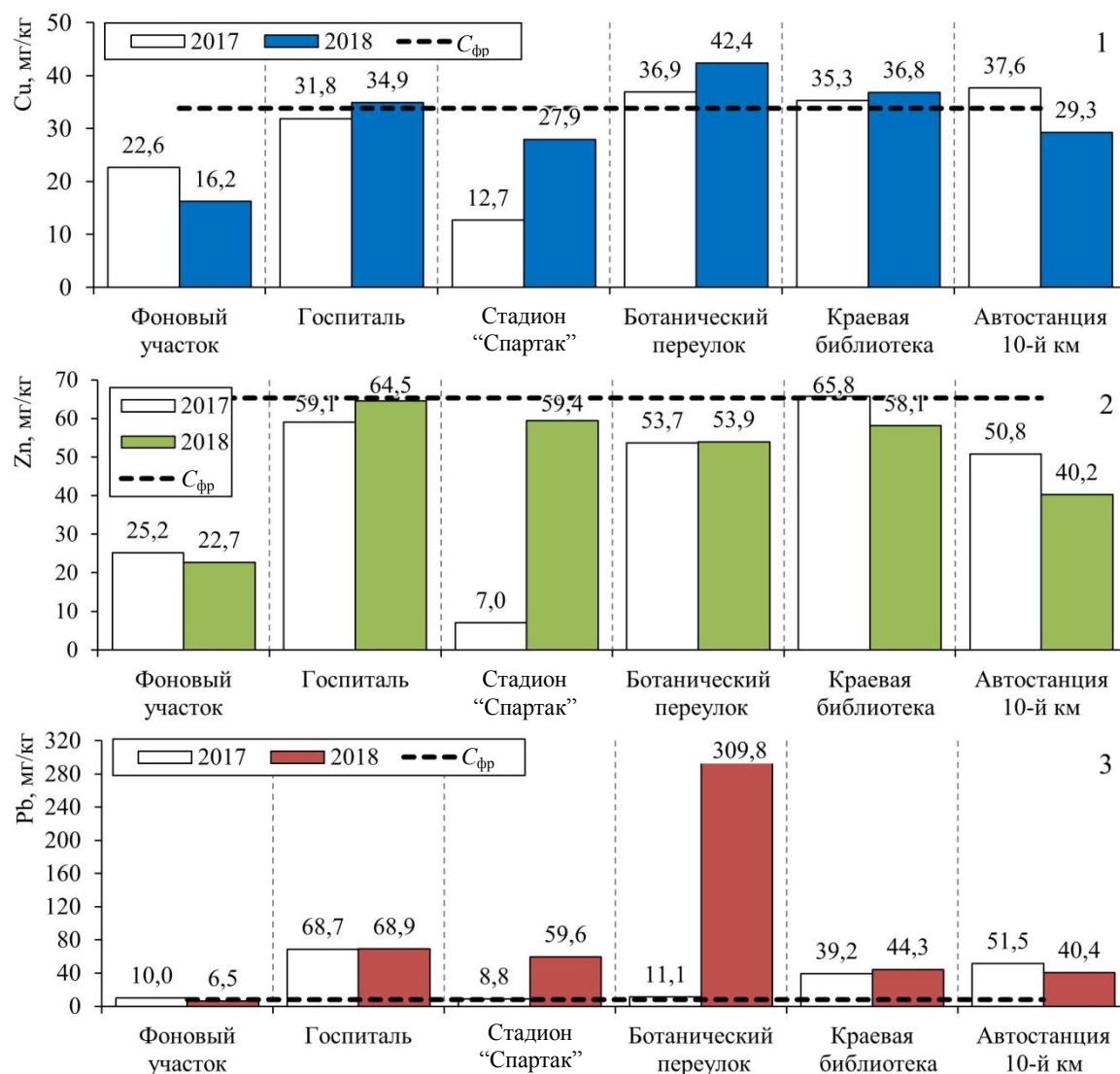


Рис. 2. Валовое содержание тяжелых металлов в почвах исследуемых районов г. Петропавловска-Камчатского в летние периоды 2017 г. и 2018 г.: 1 – меди, 2 – цинка и 3 – свинца. Пунктирной линией отмечен геохимический фон ( $C_{fr}$ ) каждого металла для южной провинции (юго-восточный район) Камчатки: медь – 33,83 мг/кг (1), цинк – 65,31 мг/кг (2) и свинец – 7,96 мг/кг (3).

Fig. 2. Heavy metal contents in soil samples collected from different areas of Petropavlovsk-Kamchatsky in 2017–2018: 1 – Cu, 2 – Zn and 3 – Pb. Geochemical levels ( $C_{fr}$ ) for each metal recorded in southern province of Kamchatka (southeastern region) are indicated with dashed line: Cu, Zn and Pb – 33,83, 65,31 and 7,96 mg/kg, respectively.

В 2018 г. концентрация цинка в почвах ПКГО изменялась в пределах 40,21–64,54 мг/кг (табл. 2). Во всех исследованных участках его содержание было ниже геохимического фона (рис. 2, 2). При сравнении аккумуляции цинка в почвах городской среды с фоновым участком выявлено превышение от 1,7 до 2,8 раза. В 2018 г. накопление цинка в почвах г. Петропавловска-Камчатского происходило в сле-

дующем убывающем порядке: «Госпиталь» ( $K_c = 2,84$ ) > «Стадион "Спартак"» (2,62) > «Краевая библиотека» (2,56) > «Ботанический переулок» (2,38) > «Автостанция 10-й км» (1,77) (табл. 2).

**Свинец.** В летний период 2017 г. уровень его накопления в почвах города значительно варьировал, от 8,80 до 68,70 мг/кг (рис. 2, 3; табл. 2).

Таблица 2. Уровни содержания и ряды накопления тяжелых металлов в почвах исследованных районов г. Петропавловска-Камчатского

Table 2. Concentration levels (mg/kg) and accumulation sequences of heavy metals in soils from different areas of Petropavlovsk-Kamchatsky

Металл	Год	Уровни содержания ТМ, мг/кг	Ряд уменьшения содержания ТМ в почвах исследуемых районов
Cu	2017	12,68–37,65	Автостанция 10-й км ≥ Ботанический переулок > Краевая библиотека > Госпиталь > Стадион “Спартак”
	2018	27,95–42,36	Ботанический переулок > Краевая библиотека > Госпиталь > Автостанция 10-й км > Стадион “Спартак”
Zn	2017	7,03–65,75	Краевая библиотека > Госпиталь > Ботанический переулок > Автостанция 10-й км > Стадион “Спартак”
	2018	40,21–64,54	Госпиталь > Стадион “Спартак” > Краевая библиотека > Ботанический переулок > Автостанция 10-й км
Pb	2017	8,80–68,70	Госпиталь > Автостанция 10-й км > Краевая библиотека > Ботанический переулок > Стадион “Спартак”
	2018	40,37–309,80	Ботанический переулок > Госпиталь > Стадион “Спартак” > Краевая библиотека > Автостанция 10-й км

Наибольшее содержание свинца определено в почвенных образцах из района «Госпиталь», наименьшее – в районе «Стадион “Спартак”». Во всех исследованных территориях отмечено превышение геохимического фона: незначительное для фонового участка и района «Стадион “Спартак”» и существенное для остальных районов города (рис. 2, 3). Последовательность районов по уменьшению свинца в почвах городской среды в 2017 г. может быть представлена в следующем виде: «Госпиталь» ( $K_c = 6,87$ ) > «Автостанция 10-й км» (5,15) > «Краевая библиотека» (3,92) > «Ботанический переулок» (1,11) «Стадион “Спартак”» (0,88) (рис. 2, 3; табл. 2).

В 2018 г. содержание свинца в почвах города изменялось в широком диапазоне, от 40,37–309,76 мг/кг (табл. 2). Для всех исследуемых районов, исключая фоновый участок, отмечено значительное превышение геохимического фона этого элемента для почв юго-восточной Камчатки (рис. 2, 3). Среди территорий г. Петропавловска-Камчатского наименьшая концентрация свинца была выявлена для «Автостанции 10-й км», наибольшая – «Ботанический переулок». В 2018 г. накопление

свинца в почвах города происходило в следующем убывающем порядке: «Ботанический переулок» ( $K_c = 47,66$ ) > «Госпиталь» (10,60) > «Стадион “Спартак”» (9,17) > «Краевая библиотека» (6,81) > «Автостанция 10-й км» (6,21) (рис. 2, 3; табл. 2).

#### **Оценка степени металлического загрязнения почв г. Петропавловска-Камчатского**

В почвенном покрове г. Петропавловска-Камчатского содержание меди и свинца за весь период исследования не превышало установленных в России значений ПДК/ОДК (табл. 1, табл. 2).

Так, максимальная концентрация меди в почве города в 2017 г. составила 37,65 мг/кг, в 2018 г. – 42,36, в то время как значение ОДК этого металла соответствует 66 мг/кг (табл. 1). Максимальное содержание цинка в исследованных почвах за двухлетний период изучения не превышало 65,75 мг/кг, что значительно ниже ОДК (110 мг/кг). Таким образом, почвы города по накоплению меди и цинка не относятся к категории опасного загрязнения.

В 2018 г. к районам с допустимым уровнем загрязнения медью относились «Госпиталь», «Ботанический переулок» и «Краевая библиотека». На остальных территориях города, как и во всех районах в 2017 г., загрязнение почв медью можно охарактеризовать как минимальное. Почвенный покров с допустимым уровнем загрязнения цинка был выявлен во всех районах г. Петропавловска-Камчатского, за исключением участков «Стадион «Спартак»» в 2017 г. и «Автостанция 10-й км» в 2018 г. Содержание загрязнителя здесь было минимальным относительно фоновых значений.

За период 2017–2018 гг. практически все исследованные почвы города по валовому содержанию свинца были отнесены к опасной категории загрязнения. Двукратное превышение значений ПДК зарегистрировано в районе «Госпиталь». В 2018 г. концентрация свинца в районе «Ботанический переулок» достигла критических значений,

загрязнение почвы здесь характеризовалось как чрезвычайно опасное. Минимальная степень воздействия (содержание свинца соответствовало геохимическому фону для почв юго-восточной Камчатки) зарегистрирована в 2017 г. в районах «Стадион «Спартак»» и «Ботанический переулок».

Оценку уровня суммарного загрязнения почв города металлами за период 2017–2018 гг. проводили с учетом значительных коэффициентов концентрации металлов ( $K_c$ ) и суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) (рис. 3). Накопление свинца в почвенном покрове, несомненно, обусловлено антропогенным воздействием, диапазон изменения  $K_c$  (Pb) составлял 0,88–47,66. Аккумуляция цинка и меди в почвах города детерминирована в большей степени природными факторами, их коэффициенты концентрации изменялись в пределах 0,28–2,84 и 0,56–2,62 соответственно (рис. 3).

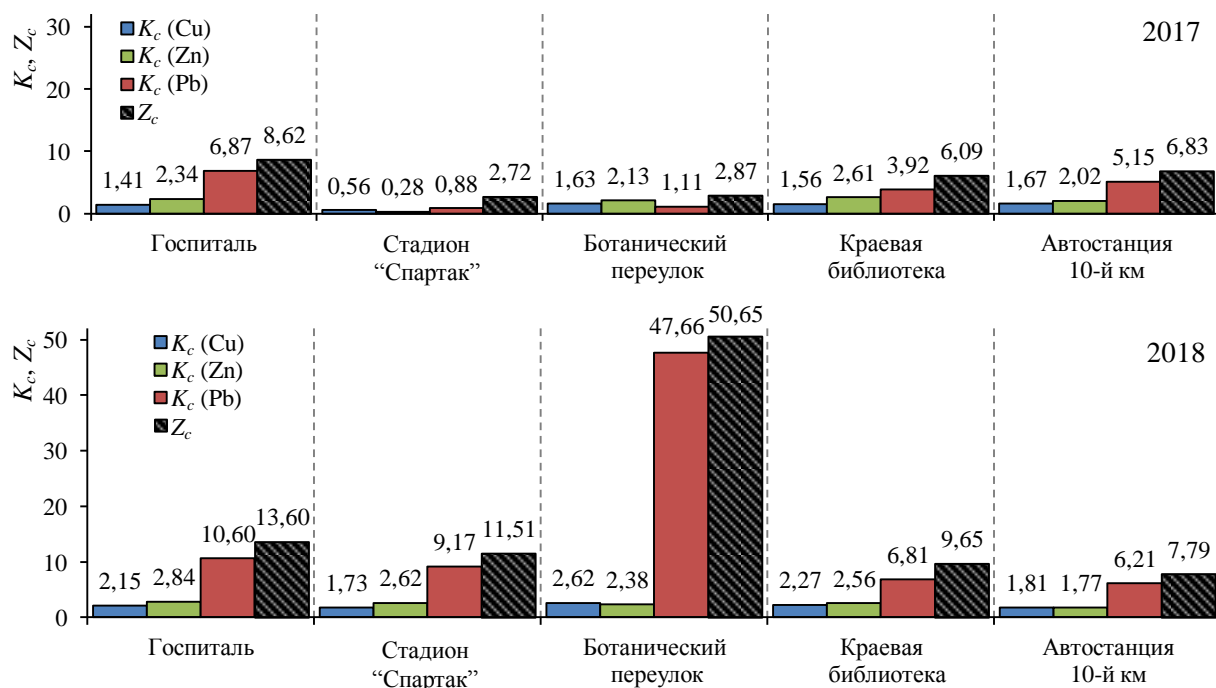


Рис. 3. Коэффициенты концентрации ( $K_c$ ) цинка, меди, свинца и значения суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) в почвах исследуемых районов г. Петропавловска-Камчатского в летние периоды 2017 г. и 2018 г.

Fig. 3. Concentration coefficients ( $K_c$ ) of metals and total pollution ( $Z_c$ ) of soil with heavy metals in Petropavlovsk-Kamchatkay in 2017–2018



Рассчитанный на основе коэффициентов концентрации суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) показал, что в почвах всех исследуемых районов за период 2017–2018 гг. был выявлен допустимый уровень загрязнения тяжелыми металлами ( $Z_c < 16$ ). Единственное исключение отмечено в 2018 г. для участка «Ботанический переулок», здесь  $Z_c$  был равен 50,6, что соответствует опасной категории загрязнения (рис. 3).

Учитывая полученные значения показателя суммарного загрязнения, можно выделить следующий ряд уменьшения комплексного воздействия тяжелых металлов на исследуемые участки в 2017 г.: «Госпиталь» ( $Z_c = 8,62$ ) > «Автостанция 10-й км» (6,83) > «Краевая библиотека» (6,09) > «Ботанический переулок» (2,87) > «Стадион “Спартак”» (2,72). Для 2018 г. последовательность убывания загрязнения иная: «Ботанический переулок» ( $Z_c = 50,65$ ) > «Госпиталь» (13,60) > «Стадион “Спартак” (11,51) > «Краевая библиотека» (9,65) > «Автостанция 10-й км» (7,79). В 2018 г. прослеживается возрастание суммарного загрязнения почв г. Петропавловска-Камчатского медью, цинком и свинцом (рис. 3).

## ОБСУЖДЕНИЕ

В период 2017–2018 гг. во всех районах города наблюдалось превышение значения меди по отношению к фоновому участку, что связано преимущественно с природными особенностями. В районе «Стадион “Спартак”» ее содержание в 2018 г. увеличилось более чем в два раза по сравнению с 2017 г. Вероятно, существенное повышение концентрации меди здесь может быть связано с началом строительных работ. Районы «Госпиталь», «Ботанический переулок» и «Краевая библиотека» характеризуются увеличением содержания этого элемента в 2018 г. Снижение валового со-

держания меди в 2018 г. выявлено для района «Автостанция 10-й км». По всей вероятности, такая тенденция может быть обусловлена активной аккумуляцией этого элемента растениями, его миграцией в глубинные слои почвы, а также уменьшением локальных источников загрязнения.

Изменения значений концентрации цинка в почвах исследованных территорий в 2018 г. по сравнению с 2017 г. были незначительными. Для районов «Госпиталь» и «Стадион “Спартак”» характерно увеличение концентрации в 2018 г. Особенно это выражено для последнего из указанных районов, где в летний период 2018 г. содержание металла в 8,5 раза превысило показатели 2017 г., что, возможно, связано с начавшимися в это время масштабными строительными работами. В остальных районах в 2018 г. было обнаружено меньшее содержание цинка, что может быть связано с более активной его аккумуляцией растениями и другими причинами.

Динамика изменения концентрации свинца в почве города за период 2017–2018 гг. была выражена несущественно, исключением являлся район «Стадион “Спартак”». Резкое увеличение концентрации свинца (в 6,8 раза) в почве данного района в 2018 г. было выявлено и в случаях с другими проанализированными металлами (Cu и Zn). Для района «Краевая библиотека» отмечено увеличение содержания этого металла в 2018 г., для района «Автостанция 10-й км», напротив, выявлено снижение, аналогичная обстановка отмечалась для меди.

Стабильно низкое суммарное содержание всех металлов выявлено в почвенном покрове фоновом участке, его значение за период исследований не превышало 60 мг/кг (рис. 4). Наибольший вклад в металлическое загрязнение почв города, судя по представленным выше данным, вносит свинец. Аккумуляция металлов почвенным

покровом г. Петропавловска-Камчатского уменьшается в следующей последовательности:  $Pb > Zn > Cu$ . Важно отметить, что для ненарушенных почв юго-восточной Камчатки убывающий ряд концентраций этих металлов имеет другую последовательность:  $Cu > Zn > Pb$  [Захарихина, Литвиненко, 2019б].

В 2017 г. в почвах района «Стадион «Спартак»» была выявлена аномально низкая для городской среды суммарная концентрация всех проанализированных тяжелых металлов, менее 30 мг/кг (рис. 4). Это значительно ниже суммы значений геохимического фона для этих элементов в почвах юго-восточной Камчатки. И, вероятно, связано с рельефом места отбора проб, поскольку часть почвенных образцов отбиралась на склоне сопки Петровская. Однако в 2018 г. здесь наблюдался резкий «скачок» содержания всех металлов в почве. Возможная причина таких изменений – начало реконструкции стадиона, а также увеличение количества автотранспорта в городе.

Суммарное содержание металлов в почвах остальных районов города существенно превышало таковое для фонового участка за аналогичный период (рис. 4).

В 2017 г. наиболее загрязнены свинцом и медью были районы «Автостанция

10-й км» и «Госпиталь», цинком – «Краевая библиотека». В 2018 г. наибольшее загрязнение было отмечено на территории «Ботанического переулка». Рельеф данного участка способствует поступлению загрязнителей со стоком из жилых районов и с прилегающих дорог.

Содержание тяжелых металлов в почве существенно зависит от всех факторов природной среды, учет которых в полной степени невозможен. Так, изменение свойств почвы по различным причинам (кислотность, гранулометрический состав, содержание и состав гумуса) оказывает влияние на концентрацию металлов и их доступность для растений. Поэтому их содержание в фоновом участке может быть выше, чем в районах урбанизированной среды. Но немало важно и то, что в условиях городской среды сложно в полной мере учесть влияние антропогенного фактора, которое визуально незаметно, но может привносить загрязнители, включая тяжелые металлы, на выбранный фоновый участок. Кроме того, колебания концентрации металлов могут быть вызваны природными (климат, вулканическая деятельность) и антропогенными (увеличение количества автотранспорта, строительные работы, отходы, выбросы предприятий теплоэнергетики) факторами.

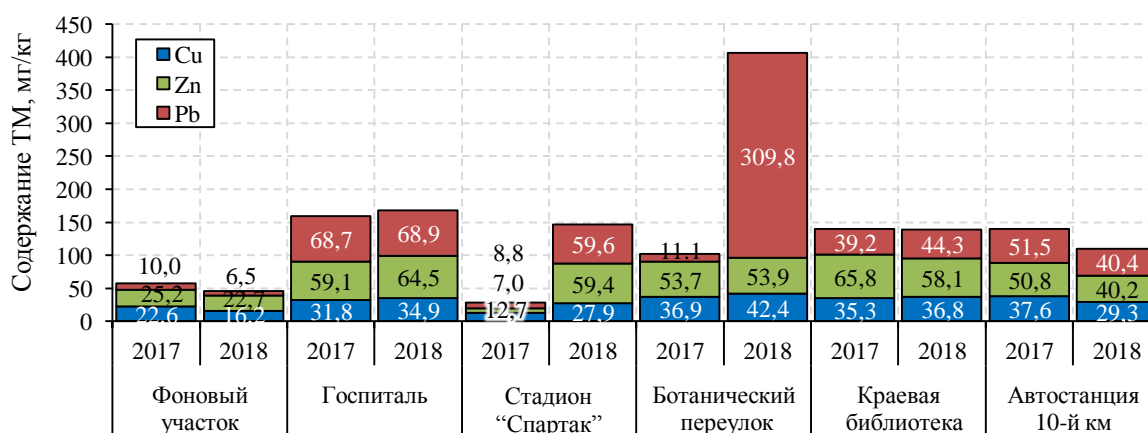


Рис. 4. Суммарное содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb) в почвенном покрове г. Петропавловска-Камчатского и фонового участка за 2017–2018 гг.

Fig. 4. Total heavy metal contents (Cu, Zn, Pb) in soils of Petropavlovsk-Kamchatsky and in the control unpolluted area in 2017–2018

В крупном промышленном центре – городе Новосибирске – наблюдается недостаток цинка в растениях и почвах [Ильин, Сысо, 2001]. Его избыток отмечен только в зонах непосредственного влияния промышленных предприятий. Концентрация свинца в некоторых районах этой урбанизированной территории превышала минимальное значение для этого же города в 45 раз, что говорит о существенных различиях показателей антропогенного воздействия и комплекса других экологических факторов. В суровых климатических условиях города Архангельска содержание цинка и меди в почвах изменяется в широких пределах и превышает их концентрацию в фоновом участке, что отражает степень и длительность антропогенной нагрузки в разных районах, наиболее высокие концентрации характерны для селитебной зоны [Корельская, Попова, 2012; Коновалова, 2018]. Свинец считается основным поллютантом техногенно-антропогенных зон города, где его значение существенно превышает фоновое. Общий ряд уменьшения по степени накопления металлов в почве г. Архангельска можно представить следующим образом:  $Pb > Cu > Zn$  [Корельская, Попова, 2012].

Согласно МУ 2.1.7.730-99 и СанПин 2.1.7.1287-03 превышение в исследуемых почвах содержания токсичных металлов в два и более раз относительно фоновых значений характеризует их как загрязненные. Среднее содержание рассмотренных тяжелых металлов в почвах некоторых районов г. Петропавловска-Камчатского за период 2017–2018 гг. существенно превосходило фоновые значения, полученные для участка, расположенного у озера Синичкино. Для меди в районе «Ботанический переулок» оно было в 2,1 раза выше, для цинка в районах «Ботанический переулок», «Госпиталь» и «Краевая библиотека» пре-

вышение варьировало от 2,3 до 2,9 раза. Для свинца во всех исследованных почвах города оно было в 5,0 и более раз выше, максимальное превышение отмечено в районе «Ботанический переулок» (24,4 раза).

При оценке экологического состояния почв Петропавловска-Камчатского с учетом ПДК/ОДК и суммарного показателя  $Z_c$  выявлена разная степень загрязнения тяжелыми металлами одних и тех же районов. Принимая во внимание, что допустимые концентрации являются основным критерием гигиенической оценки загрязнения почв, обнаруженное превышение ПДК свинца в исследованных районах является приоритетным при экологической оценке территорий города. Этот металл практически во всех районах содержался в опасных концентрациях. Остальные металлы (Cu и Zn) выявлены в допустимом пределе. Основываясь на полученных значениях показателя суммарного загрязнения металлами, наиболее неблагоприятными в 2017 г. районами были «Госпиталь» и «Автостанция 10-й км», в 2018 г. – «Ботанический переулок» и «Госпиталь».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распределение тяжелых металлов в почвах территорий города Петропавловска-Камчатского неравномерно и определяется, главным образом, действием антропогенного фактора. Содержание Zn и Cu обусловлено природными особенностями города, их концентрация изменялась в незначительном диапазоне на различных участках, в отличие от свинца, присутствие которого определяется антропогенным воздействием. За период исследований с 2017 г. по 2018 г. загрязнение почв города тяжелыми металлами возросло. В 2018 г. степень их загрязнения по содержанию свинца оценивается как опасная. Однако

показатель суммарного загрязнения почв металлами, включающий воздействие меди, цинка и свинца, характеризует экологическую обстановку в районах исследования как допустимую.

### ЛИТЕРАТУРА

- ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
- ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.: Роспотребнадзор, 2009. 11 с.
- Доклад об экологической ситуации в Камчатском крае в 2018 г. Министерство природных ресурсов и экологии Камчатского края. Петропавловск-Камчатский, 2019. 395 с.
- Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. 2018. Вулканизм и связанные с ним процессы. *Материалы XXI региональной научной конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и геохимия экосистем»*. С. 52–55.
- Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. 2019а. Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Специфика формирования элементного состава вулканических почв в холодных гумидных условиях. *Вулканология и сейсмология*. № 3. С. 25–33.
- Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. 2019б. Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Элементный состав растительности вулканических экосистем. *Вулканология и сейсмология*. № 4. С. 40–51.
- Ильин В.Б., Сысо А.И. 2001. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 229 с.
- Карпачевский Л.О., Алябина И.О., Захарихина Л.В. и др. 2009. Почвы Камчатки. М.: ГЕОС. 250 с.
- Коновалова О.Н. 2018. Формы нахождения тяжелых металлов в почвенно-растительном покрове г. Архангельска. *Диссертация ... канд. хим. наук*. Архангельск. 202 с.
- Корельская Т.А., Попова Л.Ф. 2012. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове селитебного ландшафта города Архангельска. *Арктика и Север*. № 7. С. 136–152.
- Корчагина К.В. 2014. Оценка загрязнения городских почв тяжелыми металлами с учетом профильного распределения их объемных концентраций. *Автореферат дис. ... канд. биолог. наук*. Москва. 25 с.
- Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В. 2008. Почвенные провинции Камчатки и их геохимическая характеристика. *Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле*. № 1. С. 98–112.
- Лукманов Н.А. 2018. Элементный состав почв платообразных возвышенностей Южного Урала. *Диссертация ... канд. биол. наук*. Уфа. 147 с.
- Медведев И.Ф., Деревягин С.С. 2017. Тяжелые металлы в экосистемах. Саратов: Ракурс. 178 с.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. 1992. М.: ЦИНАО. 57 с.
- МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. *Методические указания*. М.: НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды, 1999. 20 с.
- Постановление 23.12.2019 г. № 2603 Об утверждении актуализированной схемы

теплоснабжения Петропавловск-Камчатского городского округа до 2030 года на 2020 год. <http://pkgo.ru/about/administration/documents/22105/>

Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. 1990. Геохимия окружающей среды. М.: Недра. 335 с.

СанПин 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. М.: Роспотребнадзор, 2003. 15 с.

Davydova S. 2005. Heavy metals as toxicants in big cities. *Microchemical Journal*. Vol. 79. P. 133–136.

Sharma V., Singh P. 2015. Heavy metals pollution and it's effects on environment and human health. *International Journal of Recent Scientific Research*. Vol. 6. Issue 12. P. 7752–7755.

## REFERENCES

HN 2.1.7.2041-06. Maximum permissible concentration (MPC) of chemical substances in soil. М.: Federal Hygienic and Epidemiological Center of Rospotrebnadzor, 2006. 15 p.

HN 2.1.7.2511-09. Approximate permissible concentration (APC) of chemical substances in the soil. М.: Rospotrebnadzor, 2009. 11 p.

Report on the environmental situation in the Kamchatka territory in 2018. Ministry of natural resources and ecology of the Kamchatka territory. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2019. 395 p.

Zakharikhina L.V., Litvinenko Yu.S. 2018. Volcanism and related processes. *Proceedings of regional scientific conference dedicated to the day of volcanologist "Volcanism and Geochemistry of Ecosystems"*. P. 52–55.

Zakharikhina L.V., Litvinenko Yu.S. 2019a. Volcanism and geochemistry of soil and vegetation cover of Kamchatka. Communication 2. Specificity of forming the

elemental composition of volcanic soil in cold and humid conditions. *Vulkanologia i seismologia (Journal of Volcanology and Seismology)*. № 3. P. 25–33.

Zakharikhina L.V., Litvinenko Yu.S. 2019b. Volcanism and geochemistry of soil and vegetation cover of Kamchatka. Communication 3. Elemental composition of vegetation of volcanic ecosystems. *Vulkanologia i seismologia (Journal of Volcanology and Seismology)*. № 4. P. 40–51.

Ilyin V.B., Syso A.I. 2001. Trace elements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region. Novosibirsk: Publisher SB RAS. 229 p.

Karpachevsky L.O., Alyabina I.O., Zakharikhina L.V. et al. 2009. Soils of Kamchatka. М.: GEOS. 250 p.

Konovalova O.N. 2018. Forms of finding heavy metals in the soil and vegetation cover of Arkhangelsk. *Candidacy dissertation for chemical sciences*. Arkhangelsk. 202 p.

Korelskaya T.A., Popova L.F. 2012. Heavy metals in the soil and vegetation cover of the residential landscape of the city of Arkhangelsk. *Arktika i sever (Arctic and North)*. № 7. P. 136–152.

Korchagina K.V. 2014. Assessment of urban soil contamination with heavy metals taking into account the profile distribution of their volume concentrations. *Abstract of candidacy dissertation for biological sciences*. Moscow. 25 p.

Litvinenko Yu.S., Zakharikhina L.V. 2008. Soil provinces of Kamchatka and their geochemical characteristics. *Vestnik KRAUNTS. Seriya: Nauki o Zemle (Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center")*. Earth Sciences). № 1. P. 98–112.

Lukmanov N.A. 2018. Elemental composition of soils of platform hills of the southern Urals. *Candidacy dissertation for biological sciences*. Ufa. 147 p.

- Medvedev I. F., Derevyagin S.S. 2017. Heavy metals in ecosystems. Saratov: Rakurs. 78 p.
- Guidance document on the determination of heavy metals in farmland soils and crop production. 1992. M.: CINAO. 57 p.
- GD 2.1.7.730-99. Hygienic assessment of soil quality in populated areas. M.: Research Institute of human ecology and environmental hygiene, 1999. 20 p.
- Resolution 23.12.2019 № 2603 About the approval of the updated scheme of heat supply of Petropavlovsk-Kamchatsky city district until 2030 for 2020. <http://pkgo.ru/about/administration/documents/22105/>
- Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P. et al. 1990. Geochemistry of environment. M.: Nedra. 335 p.
- SanPin 2.1.7.1287-03. Sanitary and epidemiological requirements for soil quality. M.: Rospotrebnadzor, 2003. 15 p.
- Davydova S. 2005. Heavy metals as toxicants in big cities. *Microchemical Journal*. Vol. 79. P. 133–136.
- Sharma V., Singh P. 2015. Heavy metals pollution and its effects on environment and human health. *International Journal of Recent Scientific Research*. Vol. 6. Issue 12. P. 7752–7755.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Авдошенко Виктория Геннадьевна** – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; заведующий отделом подготовки кадров высшей квалификации; vikaav91@mail.ru. SPIN-код: 2784-7863, AuthorID: 926402.

**Avdoshchenko Viktoria Gennadevna** – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Head of the Postgraduate Department; vikaav91@mail.ru. SPIN-код: 2784-7863, AuthorID: 926402.

**Климова Анна Валерьевна** – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук; заведующий сектором коллективного использования научного оборудования; annaklimovae@mail.ru. SPIN-код: 3188-5428, AuthorID: 732623; Scopus ID: 56711736100.

**Klimova Anna Valerievna** – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences; Head of the Center for Collective Use of Scientific Equipment; annaklimovae@mail.ru. SPIN-код: 3188-5428, AuthorID: 732623; Scopus ID: 56711736100.