



УДК 502.56
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.77>

Оценка современного экологического состояния почв западного побережья озера Байкал (на примере почв прибрежной части озера, дельты и бассейна реки Голоустной)

М. С. Костюкова*

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Установлены основные антропогенные источники воздействия на почвы западного побережья оз. Байкал, представлены данные современной оценки их экологического состояния. В ходе исследования было заложено 10 пробных площадок в бассейне р. Голоустной, ее дельте, а также в лесу прибрежной части оз. Байкал. Составлено описание почвенного покрова района исследования, согласно которому почвы здесь аллювиально-гумусовые, перегнойно-глеевые, дерново-подзолистые, серогумусовые (дерновые). Для оценки современного состояния почв были определены концентрации нефтепродуктов и тяжелых металлов (кадмий, свинец, кобальт, никель, медь, хром, ванадий, марганец, стронций) в них. Результаты исследования показали, что содержание нефтепродуктов в образцах почв минимально и ниже допустимого уровня загрязнения. На основе полученных данных построены карты-схемы пространственного распределения М_е на территории исследования. По содержанию кобальта, никеля, меди и хрома установлены превышения кларковского и регионального фонового значений. Сделано предположение, что повышенные концентрации металлов объясняются скорее природными факторами, а именно – составом подстилающих пород, нежели антропогенным воздействием.

Ключевые слова: почвенный покров, тяжелые металлы, нефтепродукты, Большое Голоустное, бассейн р. Голоустной.

Для цитирования: Костюкова М. С. Оценка современного экологического состояния почв западного побережья озера Байкал (на примере почв прибрежной части озера, дельты и бассейна реки Голоустной) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2022. Т. 41. С. 77–93. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.77>

Original article

Assessment of the Current Ecological State of Soils on the Western Coast of Lake Baikal (On the Example of Soils of the Coastal Part of the Lake, the Delta and the Basin of the Goloustnaya River)

M. S. Kostukova*

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The work was carried out on the territory of the Goloustnensky municipality, located on the western shore of the lake Baikal and part of the Baikal National Park. The article presents the data of the modern assessment of their ecological state. 10 test sites were laid in the Goloustnaya River basin, its delta, as well as in the forest of the coastal part of the lake. Baikal. To assess the current state of soils, concentrations of petroleum products and heavy metals (cadmium, lead, cobalt, nickel, copper, chromium) in them were determined. The results of the study showed that the content of petroleum products in soil samples is minimal and below the permissible level of pollution. The content of cobalt, nickel, copper and chromium has been found to exceed Clark and regional background values. The increased concentrations of metals are most likely due to natural factors – namely, the composition of the underlying rocks, rather than anthropogenic impact.

Keywords: soil cover, heavy metals, petroleum products, Bolshoe Goloustnoe, Goloustnaya river basin.

For citation: Kostukova M.S. Assessment of the Current Ecological State of Soils on the Western Coast of Lake Baikal (On the Example of Soils of the Coastal Part of the Lake, the Delta and the Basin of the Goloustnaya River). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2022, vol. 41, pp. 77-93. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.77> (in Russian)

Введение

Состояние окружающей среды является одной из самых острых глобальных проблем. Важную роль в оценке данного параметра играют почвы, выступающие как интегральный показатель экологического состояния окружающей среды.

Наиболее опасным видом деградации почв является их загрязнение. Под данным термином понимается присутствие повышенных концентраций различных химических веществ (тяжелых металлов, нефтепродуктов и т. д.), оказывающих неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Основные источники загрязнения почв являются антропогенными [Cachad, Rocha-Santos, Duarte, 2018], с расширением городов почва использовалась в качестве поглотителя твердых и жидких отходов, считалось, что после захоронения таким образом поллютанты не будут наносить ущерб окружающей среде и населению [Swartjes, 2011]. Химическое загрязнение почв может быть вызвано несколькими причинами: атмосферным переносом загрязняющих веществ от промышленных центров; сельскохозяйственным загрязнением (пестициды, удобрения); отвалами топливно-энергетических комплексов; мусором и проч. Почвы вблизи дорог характеризуются высоким уровнем содержания тяжелых металлов, полициклических ароматических углеводородов и других веществ [Influence of Road..., 2017; Kumar, Kothiyal, 2016].

Исследование, в том числе почвенного покрова, в бассейне р. Голоустной проводилось в 1997 г. Институтом географии им. В. Б. Сочавы СО РАН совместно с группой планирования «Экология и окружающая среда» (Ганновер, Германия) [Экологически ориентированное ... , 1997]. Изучение экологического состояния почв Байкальской территории остается актуальным, результаты отображены во множестве работ [Оценка экологического ... , 2016; Эколого-географические закономерности ... , 2020].

Цель работы заключалась в оценке современного экологического состояния почв Голоустненского муниципального поселения.

Объект и методы исследования

Для оценки современного экологического состояния почвенного покрова были обследованы почвы бассейна и дельты р. Голоустной, а также лесные почвы, расположенные в прибрежной полосе Байкала. Было заложено 10 почвенных разрезов глубиной до 30 см (рис. 1). Место отбора проб было выбрано вблизи населенного пункта и на удалении от него.

Рельеф территории сложный, в нем сочетаются горы, плоские возвышенности с волнисто-равнинными пологими водоразделами, пади, ложбины и понижения. По мере удаления от оз. Байкал рельеф постепенно сглаживается. Данная особенность территории обуславливает неоднородность почвенного покрова. Дифференцирующую роль играет мезорельеф: значительное превышение водоразделов над долинами, большая крутизна склонов проявляются в закономерной смене групп типов почв от вершин увалов к долинам рек, что усложнено неоднородностью подстилающих пород и влиянием Байкала [Кузьмин, 2002].

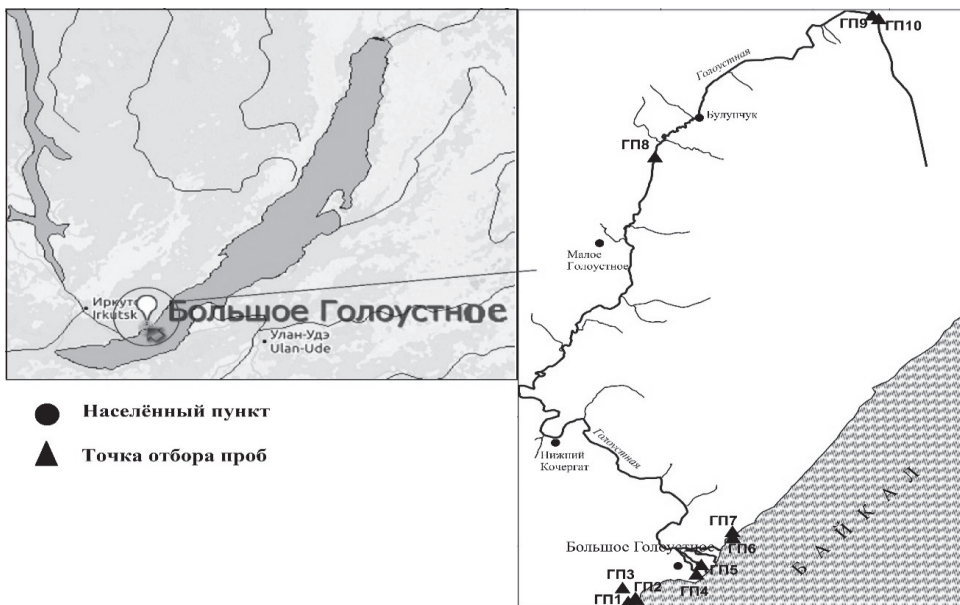


Рис. 1. Карта-схема расположения точек отбора проб

Развитие почв рассматриваемой территории происходит под сосновыми, лиственнично-сосновыми и березовыми кустарниковыми травяными и вейниково-разнотравными лесами [Атлас. Иркутская ... , 2004].

Согласно современной классификации почв России [Классификация и диагностика ... , 2004] рассмотренные почвы относятся к таким почвенным типам, как: аллювиально-гумусовые, перегнойно-глеевые, дерново-подзолистые, серогумусовые (дерновые).

В дельте р. Голоустной почвы представлены аллювиально-гумусовым типом, развивающимся в условиях кратковременного затопления полыми водами под луговой растительностью. Реакция среды почв кислая. Содержание гумуса в верхнем горизонте свыше 23 %.

Было проведено исследование почв оз. Сухое, расположенного у подножия Приморского хребта, в 3 км от пос. Большое Голоустное. Озеро образовалось в процессе перегораживания речной долины оползнем-обвалом [Макаров, 1999]. По сути это неширокая терраса, отгороженная от северных ветров горами и относящаяся к территории Прибайкальского национального парка. Основным питанием озера служит родниковая вода, периодически оно пересыхает. Водоем окружен котловиной, в которой произрастает смешанный лес. Почвы оз. Сухое – перегнойно-глеевые, они образуются в условиях избыточного увлажнения. Реакция среды почв нейтральная, содержание гумуса по профилю варьируется в пределах 22–26 %.

На склонах Приморского хребта, на стороне, выходящей к оз. Байкал, встречаются дерново-подзолистые и серогумусовые почвы. Дерново-подзолистые почвы образованы под лиственнично-сосновыми лесами, на подножии склона с уклоном к берегу Байкала, на практически ровной возвышенности. Реакция среды почв на всем протяжении профиля слабощелочная, не превышающая значения в 7,8 единицы. Содержание органического вещества максимально в верхнем горизонте и составляет 9,4 %.

На оstepненном склоне, обращенном к берегу озера, северо-восточнее пос. Большое Голоустное, почвы развиваются под сосновым лесом и представляют собой тип серогумусовых. Реакция среды почвы нейтральная, содержание органического вещества в верхнем горизонте не превышает 2,6 %.

На склоне хребта западной экспозиции, с уклоном 35–40 °С, под преимущественно сосново-березовым лесом развиваются дерново-подзолистые почвы.

Согласно литературным источникам [Экологически ориентированное ... , 1997], основное русло р. Голоустной сложено буроземами и дерново-подзолистыми почвами, левое – русло-дерново-подзолистыми почвами, буроземами, глееземами склонов и невысоких водоразделов под лиственничными и темнохвойными кустарничковыми и мохово-травяными лесами и их светлохвойными восстановительными сериями. Территорию пос. Малое Голоустное слагают подзолы иллювиально-гумусово-железистые, подбуры, глееземы (торфянисто-перегнойные), почвы водоразделов и склонов под темнохвойными кустарничково-моховыми лесами и их лиственничными и мелколиственными восстановительными сериями.

Исследуемый участок находится в зоне техногенного воздействия промышленных узлов Иркутска, Шелехова, Ангарска, Усоля-Сибирского, Свирска и Черемхово. Данные города преимущественно расположены в левобережной части верхней Ангары. По причине слаборасчлененного рельефа и преобладающего на территории северо-западного направления миграции поллютантов (тяжелые металлы, нефтепродукты и др.) они распространяются на

правобережную часть р. Ангары, а по ее долине попадают на акваторию Байкала, достигают предгорий Лено-Ангарского плато, Восточного Саяна, Онотской возвышенности [Потемкин, Потемкина, Гусева, 2011].

Среди основных факторов, воздействующих на почвенные процессы района исследования, можно выделить лесные пожары, захламление мусором. В 30-е гг. прошлого века началось освоение лесных ресурсов побережья. На р. Голоустной был построен каскад плотин, обеспечивающий молевой сплав бревен. В 1960-е гг. сплав был прекращен [Голоустненское муниципальное ... , 2022], однако последствием масштабных лесоразработок является нарушение растительного покрова и погребение почвенного покрова под мощным слоем щепы, коры и остатков древесины.

Для оценки антропогенной нагрузки было определено содержание нефтепродуктов и валовых форм тяжелых металлов в отобранных образцах почв. Анализ почв проведен согласно существующим гостированным методикам. Концентрации нефтепродуктов определялись с помощью флуориметрического метода с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02» (М 03-03-2012). Методом спектрометрии с индуктивно связанной плазмой устанавливались концентрации металлов в почвах (ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98)¹.

Результаты и обсуждение

Нефтепродукты. Нефтяные углеводороды представляют собой самую многочисленную группу органических загрязнителей, получаемых в процессе перегонки нефти [Hawrot-Paw, Nowak, 2012]. Нефтепродукты обладают высокой устойчивостью к биологическому разложению, способны накапливаться как в растениях, так и в организме человека и животных и проявляют канцерогенные и нейротоксические свойства [Petroleum hydrocarbon ... , 2019].

Источниками поступления нефтепродуктов (НП) в почвы являются газообразные выбросы различных промышленных предприятий, в том числе нефтеперерабатывающих, выбросы автотранспорта, а также НП попадают вместе со сточными водами промышленных производств.

Проникновение нефтепродуктов в почву приводит к изменениям в ее химическом составе, свойствах и структуре, что в первую очередь отрицательно сказывается на растительном покрове. В результате такого загрязнения происходит подавление процессов фотосинтеза растений и нарушение их естественного баланса в биоценозе.

В настоящий момент законодательно не установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) для суммарного содержания нефтепродуктов в почве. Согласно утвержденному в нашей стране документу «Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами»² приняты следующие нормативы по загрязненности почв нефтепродуктами (табл. 1).

¹ Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. URL: https://standart-gost.ru/g/%D0%9F%D0%9D%D0%94_%D0%A4_16.1:2.3:3.11-98?ysclid=18jwa72hbc866584924.

² Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами : утв. Министерством охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ 27 дек. 1993 г. № 04-25/61-5678. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9033369?ysclid=18jkge8z6f829332774>

Таблица 1

Уровни загрязнения почв нефтепродуктами

Содержание нефтепродуктов, мг/кг	Уровень загрязнения
< 1000	Допустимый
1000–2000	Низкий
> 2000–3000	Средний
> 3000–5000	Высокий
> 5000	Очень высокий

Отбор проб почв для определения концентраций нефтепродуктов произведен в семи точках: четыре точки были расположены в прибрежной части оз. Байкал – в лесном массиве (ГП1, ГП2, ГП6, ГП7), три точки – в основном русле р. Голоустной – одна вблизи населенных пунктов (ГП8) и две точки на удалении от поселений (ГП9, ГП10) (рис. 1). Концентрации НП в рассмотренных образцах почвы, взятых на глубине 0–5 см, были определены в пределах 5,4–29,4 мг/кг, наибольшие значения установлены в точке ГП5. В почвенном слое 5–20 см содержание нефтепродуктов было ниже, чем в верхнем, и варьировалось от 5 до 10 мг/кг.

В ходе анализа было установлено, что концентрации нефтепродуктов в образцах низкие, следовательно, по содержанию данного поллютанта почвы можно считать чистыми.

Тяжелые металлы. Загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) представляет серьезную опасность. Данные элементы оказывают токсическое действие на живые организмы и природные экосистемы. Поглощение корнями растений является одним из основных путей поступления тяжелых металлов в пищевую цепь [Cadmium levels ... , 2010]. Основными антропогенными источниками металлов являются выбросы предприятий металлургии, горнодобывающей промышленности, сжигание угольного топлива, выбросы выхлопных газов от автотранспорта. В почву тяжелые металлы поступают в процессе осаждения с промышленными, автомобильными, бытовыми выбросами из атмосферы.

Поведение ТМ связано с окислительно-восстановительными условиями и рН среды: так, в кислой среде большинство металлов более подвижны. Металлы техногенного происхождения сосредотачиваются в поверхностном, 5–6-сантиметровом почвенном слое, преимущественно в гумусово-аккумулятивном горизонте, где происходит их связывание с алюмосиликатами, несиликатными минералами и органическими веществами. В пределах почвенного профиля техногенный поток веществ встречает ряд почвенно-геохимических барьеров, например карбонатные, гипсовые, иллювиальные горизонты (иллювиально-железисто-гумусовые).

Рассмотренные микро- и макроэлементы относятся к разным классам опасности (табл. 2).

Для эколого-геохимической оценки уровня загрязнения почв исследуемой территории были определены некоторые санитарно-гигиенические показатели, а именно: коэффициент опасности рассматриваемых веществ (K_o) и коэффициент концентрации (K_c)³.

³ Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами 2.1.7.730-99. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003852?ysclid=18j1939ei9513042893>

Таблица 2

Классы опасности, ПДК и фоновые значения ТМ в почвах, мг/кг

Металл	ПДК (валовое содержание)*	Кларк по А. П. Виноградову**	Региональный фон***	
			Аллювиальные почвы	Дельтавиальные почвы
I класс (высокоопасные)				
Cd	-	0,13	0,45	0,45
Pb	130	16	10	10
II класс (умеренно опасные)				
Co	-	18	17	17
Ni	-	58	44	43
Cu	-	20	51	46
Cr	-	83	100	98
III класс (малоопасные)				
V	150	90	100	114
Mn	1500	1000	1046	1200
Sr	-	340	265	208

Примечания: *СанПиН 1.2.3685-21. **[Виноградов, 1962]. ***[Геохимия окружающей ... , 2008].

Коэффициент опасности (K_o) исследуемых веществ вычисляется отношением фактического уровня вещества в почве (C) к его предельно допустимой концентрации (ПДК):

$$K_o = \frac{C}{\text{ПДК}}. \quad (1)$$

Опасность загрязнения тем выше, чем больше значения K_o превышают 1.

Коэффициент концентрации химического элемента (K_c) рассчитывается по соотношению реального содержания загрязнителя в почве (C) к его фоновому уровню (C_ϕ):

$$K_c = \frac{C}{C_\phi}. \quad (2)$$

Данный коэффициент отображает распространенность химического элемента в пространстве.

Коэффициент концентрации был использован для расчета суммарного показателя загрязнения почв (Z_c), применяемого при санитарно-гигиенической оценке загрязнения почвенного покрова территории. Данный показатель определяется по формуле

$$Z_c = \left(\sum_{i=1}^n K_c \right) - (n - 1), \quad (3)$$

где K_c – коэффициент концентрации i -го химического элемента, n – число, равное количеству элементов, входящих в геохимическую ассоциацию.

Результаты расчета данных коэффициентов и суммарного показателя загрязнения представлены в табл. 3.

По полученным значениям коэффициента опасности (K_o) можно сделать вывод, что существует опасность загрязнения почв бассейна р. Голоустной свинцом (2,19), по остальным элементам значения коэффициента ниже 1.

Таблица 3

Значения коэффициента опасности (K_o), коэффициента концентрации (K_c) и суммарного показателя загрязнения (Z_c) для почвенного покрова рассматриваемой территории

Показатель	Значение						
	Cd	Pb	Co	Ni	Cu	V	Mn
Почвы побережья оз. Байкал							
Коэффициент опасности (K_o)	–	0,47	–	–	–	0,36	0,28
Коэффициент концентрации (K_c)	0,49	1,50	0,60	1,15	1,05	–	0,41
Суммарный показатель загрязнения (Z_c)	0,20						
Почвы оз. Сухое							
Коэффициент опасности (K_o)	–	0,12	–	–	–	0,02	0,06
Коэффициент концентрации (K_c)	0,56	0,39	0,30	0,02	0,20	–	0,08
Суммарный показатель загрязнения (Z_c)	<0						
Почвы дельты р. Голоустной							
Коэффициент опасности (K_o)	–	–	–	–	–	0,45	0,32
Коэффициент концентрации (K_c)	–	–	1,62	1,60	0,91	–	0,46
Суммарный показатель загрязнения (Z_c)	1,59						
Почвы бассейна р. Голоустной							
Коэффициент опасности (K_o)	–	2,19	–	–	–	0,54	0,33
Коэффициент концентрации (K_c)	0,40	–	1,64	1,07	0,78	–	0,48
Суммарный показатель загрязнения (Z_c)	0,37						

Примечание: «-» данные отсутствуют.

Уровни загрязнения почвенного покрова по суммарному загрязнению тяжелыми металлами представлены в табл. 4, составленной по данным методических указаний МУ 2.1.7.730-99. Суммарный показатель для почв побережья Байкала, оз. Сухое, бассейна р. Голоустной оказался менее 1, а для почвенного покрова дельты р. Голоустной составил 1,59. Полученные значения показателя, согласно ориентировочной шкале, соответствуют допустимому уровню загрязнения.

Таблица 4

Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения Z_c (МУ 2.1.7.730-99)

Уровень загрязнения	Величина Z_c	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимый	< 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасный	16–32	Увеличение общей заболеваемости
Опасный	32–128	Рост общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасный	> 128	Рост заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин

Кадмий. Типичный редкий и рассеянный элемент, широко применяется в промышленности, более подвижен в кислой среде [Перельман, Касимов, 1999]. Природными источниками поступления кадмия в окружающую среду являются: каменный уголь, полиметаллические руды, фосфориты. Антропогенное загрязнение Cd связано с промышленными выбросами предприятий цветной металлургии, сжиганием угля и нефти, сжиганием мусора, выхлопами автотранспорта, также данный элемент входив в состав некоторых минеральных удобрений. Кадмий обладает высокой способностью к проникновению в растительные и животные организмы и в последующем с трудом выводится из них.

Кадмий в почвах территории исследования, обладающих преимущественно щелочной и слабощелочной реакцией, определен на уровне ниже, чем установленные региональные фоновые значения (см. табл. 2). С глубиной концентрации Cd остаются практически неизменны и составляют в среднем 0,20 мг/кг.

Свинец. Данный металл является сильнотоксичным и относится к первому классу опасности. Повышенное содержание свинца в почве может приводить к снижению ее урожайности. Накапливается свинец в кислых сериях магматических пород и глинистых осадках в пределах 10–40 мг/кг, также он встречается более чем в 135 видах минералов, преимущественно в халькогенидах [Геохимия окружающей ... , 2008]. Антропогенное загрязнение окружающей среды свинцом происходит в результате сжигания нефти и бензина, выплавки цветных и черных металлов, добычи полиметаллических руд.

Повышенные концентрации свинца, с превышением фоновых значений, были установлены в точке подножия склона Приморского хребта, обращенного в сторону оз. Байкал, вблизи акватории озера (ГП1), и в 70 м от дороги, причем отмечается уменьшение концентраций свинца с глубиной, следовательно, данный элемент поступает с поверхности. Вероятно, зафиксированные концентрации свинца в почве можно объяснить таким антропогенным источником, как выхлопы автотранспорта. Почва обладает механизмами записи и сохранения информации о состоянии природной среды за многие годы, что, вероятно, и прослеживается по содержанию Pb в данной точке. В остальных исследуемых образцах почв концентрации Pb в среднем составляли 4,1 мг/кг, что ниже ПДК и фоновых значений (см. табл. 2).

Кобальт. Является типичным элементом ультраосновных пород (его содержание в них 100–200 мг/кг), в кислых породах концентрации меньше – 5–15 мг/кг, в осадочных породах – 0,1–20. Самое высокое содержание Co отмечается в глинистых отложениях и в органических соединениях [Геохимия окружающей ... , 2008]. В слабокислой и нейтральной среде серых лесных почв миграции кобальта ослабевают, отмечается его слабое накопление в гумусовых горизонтах. Антропогенными источниками кобальта служат отходы производства красителей и пластмасс, добычи черных руд, цветных и редких металлов. Повышенные концентрации кобальта токсичны.

Среднее содержание кобальта в исследованных почвах в верхнем и нижнем слоях составляет 10,3 и 13,1 мг/кг соответственно. Превышение региональных фоновых значений и кларка почв установлено в образцах, отобранных в устьевой части р. Голоустной, в пределах пос. Большое Голоустное (рис. 2), здесь концентрации кобальта варьировались в пределах 27–28 мг/кг, что превышает фон и кларк примерно в 1,5 раза.

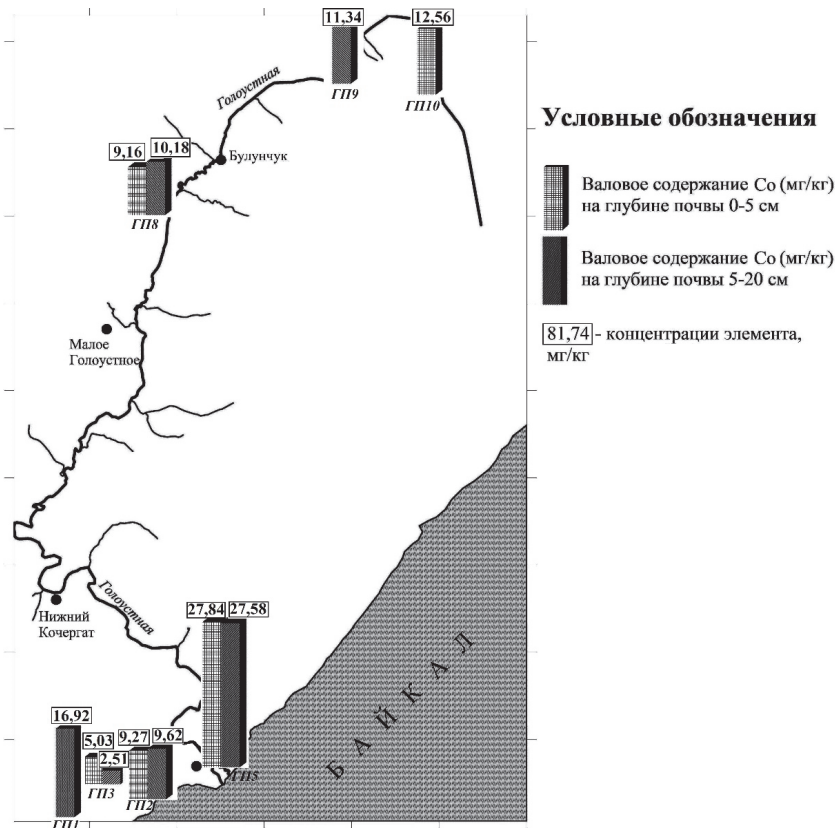


Рис. 2. Валовое содержание (мг/кг) Со в почвах исследуемой территории

Никель. Распространенный металл, типичный элемент ультраосновных пород. В кислых породах его содержание низкое, самое высокое установлено в глинистых отложениях и органических соединениях [Геохимия окружающей ... , 2008]. Антропогенным источником поступления никеля являются выбросы от металлообрабатывающих предприятий и сжигания угля и нефти.

Высокое содержание никеля с превышением фона в 1,3 и 1,6 раза в верхнем слое почвы и в нижнем соответственно было установлено в точке отбора, расположенной в дельте р. Голоустной, в пределах пос. Большое Голоустное (рис. 3). Незначительное превышение фона, менее чем в 1,5 раза, также определено в слое 5–20 см в лесном массиве на побережье Байкала, южнее пос. Большое Голоустное.

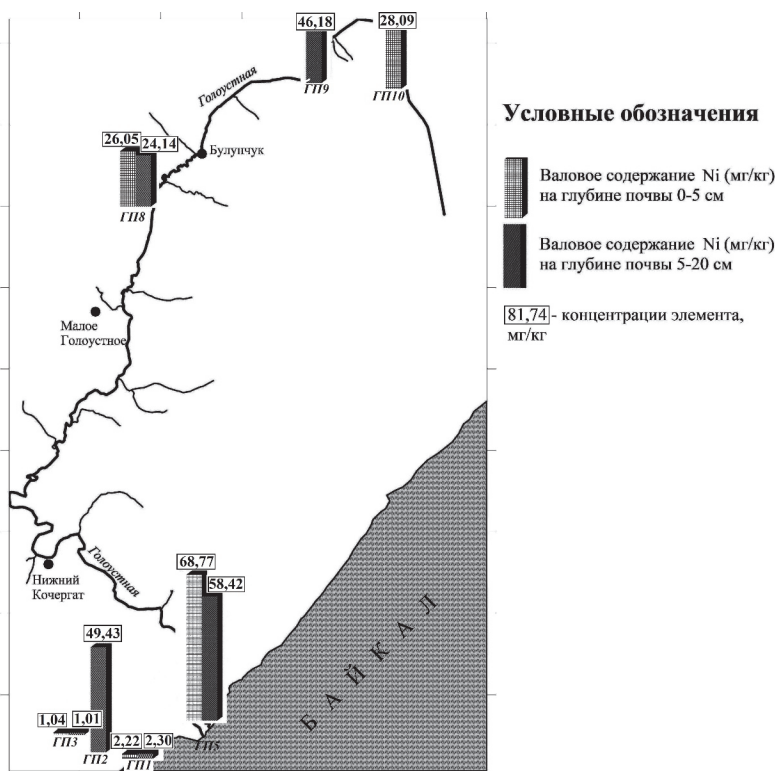


Рис. 3. Валовое содержание Ni (мг/кг) в почвах исследуемой территории

Превышения по содержанию Ni, вероятно, связаны с тем, что геохимическое поле элемента встречается в небольшом количестве в метаморфических породах западного берега Байкала [Геохимия окружающей ... , 2008].

Медь. Металл, преимущественно сосредоточенный в основных и средних породах (содержание может достигать 100 мг/кг), в ультраосновных и кислых породах концентрации Cu ниже [Геохимия окружающей ... , 2008]. В земной коре медь находится в одновалентном (Cu^+), двухвалентном (Cu^{2+}) и самородном состоянии (Cu^0). В горных породах содержания меди следующие: в аргиллитах – 150, глинах и глинистых сланцах – 45–60, песчаниках – до 0,1 мг/кг [Там же].

Антропогенными источниками меди являются выбросы предприятий цветной металлургии, электротехнической промышленности, хозяйственно-бытовые сточные воды. Дальность атмосферного переноса меди от техногенных источников составляет первые несколько километров, в пределах которых Cu накапливается в верхних горизонтах почв и в растениях [Перельман, Касимов, 1999]. Также данный элемент входит в состав препаратов, используемых для борьбы с нежелательными насекомыми, преимущественно в агроландшафтах, вследствие чего происходит загрязнение медью почв, растений и вод.

Средние концентрации Cu в верхнем слое почвы исследуемой территории составляют 20, а в нижнем – 24 мг/кг . Превышение кларкового содержания меди отмечено в пробе ГП5 (дельта р. Голоустной) как в верхнем (0–5 см), так и в нижнем (5–20 см) слое почвы в 2,32 и 1,93 раза соответственно, в точках ГП9 (в 2 раза) и ГП2 (в 2,6 раза) (рис. 4).

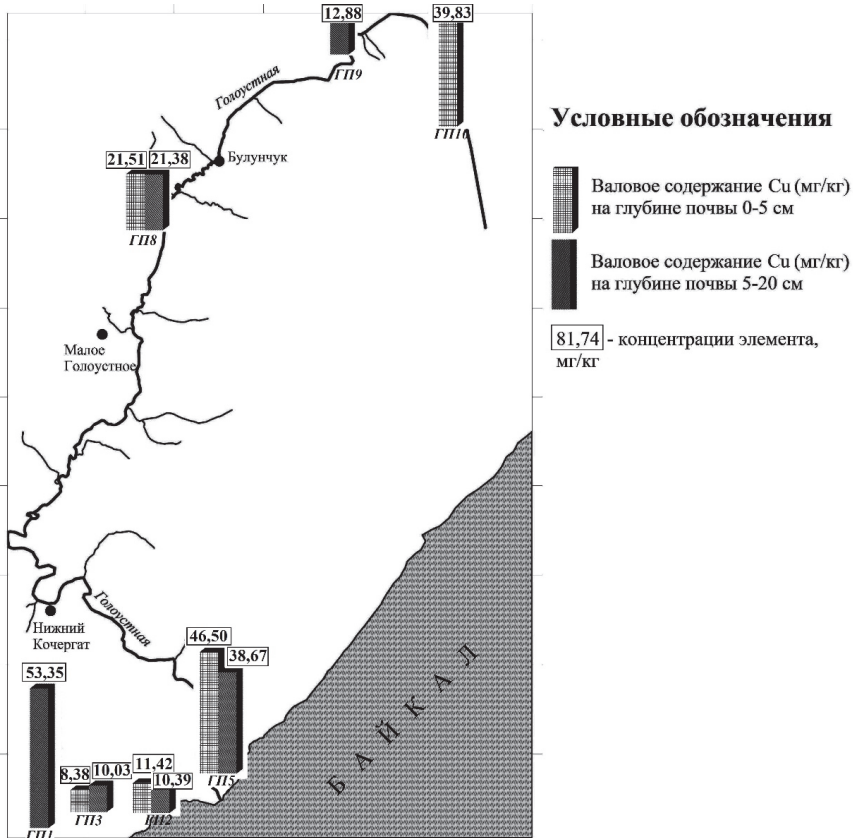


Рис. 4. Валовое содержание Cu (мг/кг) в почвах исследуемой территории

Повышенное содержание меди свойственно метаморфическим породам западного побережья озера, где расположена территория исследования, что, вероятно, влияет на ее содержание в почвенном покрове [Геохимия окружающей ... , 2008].

Хром. Распространенный элемент, встречающийся в основном в ультраосновных породах (содержание более 3000 мг/кг), кислые и щелочные породы Cr обеднены. В осадочных и метаморфических породах его содержание изменяется менее контрастно [Там же]. Антропогенными источниками хрома выступают выбросы предприятий отраслей промышленности, занимающихся добычей и переработкой хрома и его соединений, коммунальные сточные воды. За счет того, что Cr в основном концентрируется в крупнодисперсном аэрозоле, распространение имеет локальный характер, без дальней воздушной миграции.

Распределение хрома в почве пос. Большое Голоустное отражено на рис. 5. Среднее содержание Cr в верхних почвенных горизонтах несколько ниже, чем на глубине 5–20 см, – 39 и 49 мг/кг соответственно. Определенные концентрации хрома в большинстве рассмотренных проб находятся в пределах кларковых и фоновых значений. Превышение кларкового значения в 1,06 раза обнаружено на глубине 5–20 см точки ГП2 (побережье оз. Байкал).

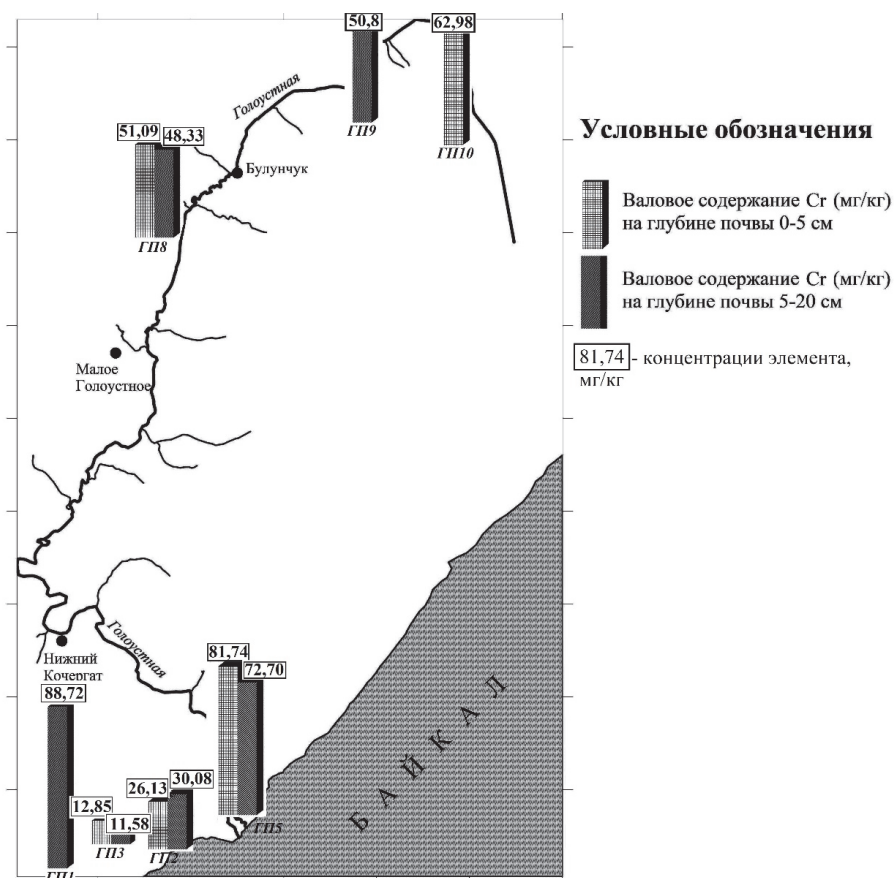


Рис. 5. Валовое содержание Cr (мг/кг) в почвах исследуемой территории

Ванадий. Среди изверженных пород ванадием обогащены базальты, среди осадочных – глины и глинистые сланцы [Перельман, Касимов, 1999]. Данный элемент относится к высокотоксичным. Основными техногенными источниками ванадия являются выбросы сталеплавильных заводов и ТЭЦ, работающих на мазуте.

Концентрации ванадия в рассмотренных почвах не превышают ПДК валового содержания (150 мг/кг), кларковые (90 мг/кг) и фоновые значения (100–114 мг/кг). Наибольшие концентрации данного элемента отмечаются в слое почв, не превышающем 5–10 см, в нижних горизонтах его содержание

меньше. Максимальные его концентрации в верхнем горизонте почв обнаружены в пойме основного русла р. Голоустной (80 мг/кг), на глубине 5–20 см высокие значения ванадия характерны для почв дельты р. Голоустной.

Марганец. Типичный металл, широко распространенный, способен образовывать множество соединений и активно мигрировать в земной коре. Наиболее высокие концентрации Mn характерны для основных и средних пород. В почвах различных стран мира его содержание колеблется в пределах 50–5000 мг/кг [Геохимия окружающей ... , 2008]. Важнейшими минералами марганца являются оксиды, гидроксиды и карбонаты [Перельман, Касимов, 1999]. Антропогенными источниками Mn являются предприятия черной металлургии, по производству сельскохозяйственной продукции. Данный металл не оказывает сильного токсического влияния на окружающую среду и не относится к приоритетным ее загрязнителям.

В проанализированных образцах наибольшие концентрации Mn установлены в поверхностном слое почв, наблюдается тенденция к уменьшению содержания марганца с глубиной. Его содержание изменяется от 45,5 до 1200 мг/кг, что в целом находится в санитарно-гигиенических пределах. Наименьшие концентрации марганца определены в почве дна оз. Сухое (45–84 мг/кг).

Стронций. Распространенный щелочноземельный металл. Концентрации стронция в почвах контролируются составом материнских пород и колеблются в пределах 5–3500 мг/кг при среднем значении 110–440 мг/кг [Геохимия окружающей ... , 2008].

Концентрации стронция в проанализированных почвах не превышают региональных фоновых и кларковых значений. Среднее содержание Sr в поверхностном слое почвы составляет 103,9, в нижних – 295,3 мг/кг.

Выводы

В ходе исследования было установлено, что содержание нефтепродуктов в почвах минимальное и значительно ниже допустимого уровня загрязнения.

Не обнаружено превышений фоновых и кларковых значений, а также ПДК валового содержания следующих металлов: кадмия, цинка, ванадия, марганца, стронция.

По содержанию кобальта, никеля, меди и хрома в проанализированных образцах почв отмечаются небольшие превышения кларковых и региональных фоновых значений. Вероятно, это связано с природным фактором: данные элементы свойственны метаморфическим породам, которыми сложена территория исследования.

Можно сделать вывод, что превышения фона по содержанию свинца в почвах района исследования, вблизи автодорог, связаны со способностью почвы запоминать и отражать особенности формировавших их процессов и природной обстановки. Таким образом, концентрации свинца, вероятно, сохраняются с того периода, когда данное вещество было использовано в топливе автомобилей и вместе с выхлопами попадало в окружающее пространство.

Почвенный покров западного побережья Байкала испытывает сильное рекреационное воздействие, усилившееся в последние годы. Следствием этого воздействия является уплотнение, разрушение верхних горизонтов почв, обезображивание его ямами, канавами, буграми и рытвинами. Но говорить о химическом загрязнении почв нефтепродуктами и металлами не приходится.

Список литературы

Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. Иркутск : Роскартография : Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2004. 90 с.

Виноградов А. П. Среднее содержание элементов в земной коре // Геохимия. 1962. № 7. С. 555-557

Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский экологический полигон) / В. И. Гребенщикова, Э. Е. Лустенберг, Н. А. Китаев, И. С. Ломоносов. Новосибирск : Акад. изд-во «Гео», 2008. 234 с.

Голоустненское муниципальное образование. История : [сайт]. URL: http://goloustnenskoe-mo.ru/o_poselenii/istoriya (дата обращения: 10.01.2022).

Классификация и диагностика почв России: монография / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.

Кузьмин В. А. Почвы центральной зоны Байкальской природной территории (эколого-геохимический подход). Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 2002. 166 с.

Макаров С. А. Речные долины юга Восточной Сибири в голоцене. Новосибирск : Акад. изд-во «Гео», 2012. 87 с.

Оценка экологического состояния почвенного покрова о. Ольхон по экспериментальным данным / В. А. Пеллинен, Т. Ю. Черкашина, Г. В. Пашкова, М. А. Густайтис, И. С. Журкова, С. И. Штельмах, С. В. Пантеева // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2016. Т. 16. С. 79-90

Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М. : Изд-во МГУ, 1999. 610 с.

Потемкин В. Л., Потемкина Т. Г., Гусева Е. А. Региональный перенос примесей как геоэкологическая проблема Прибайкалья // Вестник ИрГТУ. 2011. № 6. С. 103-107.

Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Бассейн р. Голоустной / гл. ред. А. Н. Антипов. Иркутск ; Ганновер : Ин-т географии СО РАН, 1997. 234 с.

Эколого-географические закономерности распределения почв и почвенные ресурсы Центральной экологической зоны Байкальского региона (на территории Республики Бурятия) / Л. Л. Убугунов, И. А. Белозерцева, В. И. Убугунова, А. А. Сороковой // Природа Внутренней Азии. 2020. № 2(15). С. 37-54.

Cached A., Rocha-Santos T., Duarte A. C. Chapter 1 – Soil and Pollution: An Introduction to the Main Issues. Soil Pollution. Academic Press, 2018. P. 1-28.

Cadmium levels in Europe: implications for human health / J. Pan, J. A. Plant, N. Voulvoulis, C. J. Oates, C. Ihlenfeld // Environmental Geochemistry and Health. 2010. Vol. 32, N 1. P. 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10653-009-9273-219>.

Hawrot-Paw M., Nowak A. An attempt at mathematical modelling of the process of microbiological biodegradation of diesel oil // Environ. Prot. Eng. 2012. P. 23-29.

Influence of Road Proximity on the Concentrations of Heavy Metals in Korean Urban Agricultural Soils and Crops / H. S. Kim, K.-R. Kim, W.-I. Kim, G. Owens, K.-H. Kim // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2017. Vol. 72, N 2. P. 260-268. <https://doi.org/10.1007/s00244-016-0344-y>

Kumar V., Kothiyal N. C. Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, Toxic Equivalency Factor and Related Carcinogenic Potencies in Roadside Soil within a Developing City of Northern India // Polycyclic Aromatic Compounds. 2016. Vol. 36, N 4. P. 506-526. <https://doi.org/10.1080/10406638.2015.1026999>

Petroleum hydrocarbon (PHC) uptake in plants: A literature review / L. J. Hunt, D. Duca, T. Dan, L. D. Knoppe // Environ. Pollut. 2019. Vol. 245. P. 472-484. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.012>

Swartjes F. Introduction to contaminated site management // Dealing with contaminated sites / ed. F. A. Swartjes. Dordrecht, Netherlands : Springer, 2011. P. 3–89.

References

Atlas. Irkutskaya oblast: ekologicheskie usloviya razvitiya [Atlas. Irkutsk region: ecological conditions of development]. Irkutsk, Roskartografiya, Institute of Geography SB RAS Publ., 2004, 90 p. (in Russian)

Vinogradov A.P. Srednee sodержanie elementov v zemnoj kore [Average content of elements in the Earth's crust. Geochemistry]. *Geohimiya* [Geochemistry], 1962, vol. 7, pp. 555-557 (in Russian)

Grebenshchikova V.I., Lustenberg E.E., Kitaev N.A., Lomonosov I.S. *Geohimiya okruzhayushchej sredy Pribajkal'ya (Bajkal'skij ehkologicheskij poligon)* [Geochemistry of the environment of Baikal region (the Baikal ecological landfill)]. Novosibirsk, Geo Publ., 2008, 234 p. (in Russian)

Goloustnenskoe municipal'noe obrazovanie. Istoriya [Goloustnenskoye municipality. History] Available at: http://goloustnenskoe-mo.ru/o_poselenii/istoriya (date of access: 10.01.2022) (in Russian)

Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of Russian soils]. Monograph. Smolensk, Ojkumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian)

Kuz'min V.A. *Pochvy central'noj zony Bajkalskoj prirodnoj territorii (ekologo-geohimicheskij podhod)* [Soils of the central zone of the Baikal natural territory (ecological and geochemical approach)]. Irkutsk, Institut of Geography SB RAS Publ., 2002, 166 p. (in Russian)

Makarov S.A. *Rechnye doliny yuga Vostochnoj Sibiri v golocene* [River valleys of the South of Eastern Siberia in the Holocene]. Novosibirsk, Geo Publ., 2012, 87 p. (in Russian)

Pellinen V.A., Cherkashina T.Y., Pashkova G.V., Gustajtis M.A., Zhurkova I.S., Shtelmah S.I., Panteeva S.V. Ocenka ekologicheskogo sostoyaniya pochvennogo pokrova o. Olhon po eksperimentalnym dannym [Assessment of the ecological state of the soil cover of Olkhon island according to experimental data]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Earth Sciences Series], 2016, vol. 16, pp. 79-90 (in Russian)

Perelman A.I., Kasimov N.S. *Geohimiya landshafta* [Geochemistry of landscape]. Moscow, Moscow St. Univ., 1999, 610 p. (in Russian)

Potemkin V.L., Potemkina T.G., Guseva E.A. Regionalnyj perenos primesej kak geoeologicheskaya problema Pribajkaliya [Regional transfer of impurities as a geo-ecological problem of the Baikal region]. *Vestnik IrGTU* [Bulletin of Irstu], 2011, vol. 6, pp. 103-107. (in Russian)

Ekologicheski orientirovanoe planirovanie zemlepolzovaniya v Bajkal'skom regione. Bassejn reki Goloustnoj [Environmentally oriented land use planning in the Baikal region. Goloustnaya River basin]. Irkutsk, Gannover, 1997, 234 p. (in Russian)

Ubugunov L.L., Belozerceva I.A., Ubugunova V.I., Sorokovoj A.A. Ekologo-geograficheskie zakonomernosti raspredeleniya pochv i pochvennye resursy Centralnoj ekologicheskoy zony Bajkalskogo regiona (na territorii Respubliki Buryatiya) [Ecological and geographical patterns of soil distribution and soil resources of the Central ecological zone of the Baikal region (on the territory of the Republic of Buryatia)]. *Priroda Vnutrennej Azii* [The nature of Inner Asia], 2020, no. 2(15). pp. 37-54 (in Russian)

Cachada A., Rocha-Santos T., Duarte A.C. Chapter 1 – Soil and Pollution: An Introduction to the Main Issues. *Soil Pollution*, Academic Press, 2018. pp. 1-28.

Pan J., Plant J.A., Voulvoulis N., Oates C.J., Ihlenfeld C. Cadmium levels in Europe: implications for human health. *Environmental Geochemistry and Health*, 2010, vol. 32, no. 1, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10653-009-9273-219>

Hawrot-Paw M., Nowak A. An attempt at mathematical modelling of the process of microbiological biodegradation of diesel oil. *Environ. Prot. Eng.*, 2012, vol. 38, pp. 23-29.

Kim H.S., Kim K.-R., Kim W.-I., Owens G., Kim K.-H. Influence of Road Proximity on the Concentrations of Heavy Metals in Korean Urban Agricultural Soils and Crops. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2017. vol. 72, no. 2, pp. 260-268. <https://doi.org/10.1007/s00244-016-0344-y>

Kumar V., Kothiyal N.C. Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, Toxic Equivalency Factor and Related Carcinogenic Potencies in Roadside Soil within a Developing City of Northern India. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 2016, vol. 36, no. 4, pp. 506-526. <https://doi.org/10.1080/10406638.2015.1026999>

Hunt L.J., Duca D., Dan T., Knopper L.D. Petroleum hydrocarbon (PHC) uptake in plants: A literature review. *Environ. Pollut.* 2019, vol. 245, pp. 472-484. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.012>

Swartjes F. Introduction to contaminated site management. *Dealing with contaminated sites*. Dordrecht, Netherlands, Springer, 2011, pp. 3-89.

Сведения об авторе

Костюкова Мария Сергеевна
младший научный сотрудник
Институт географии им. В. Б. Сочавы
СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 1
e-mail: m_s_yanchuk@mail.ru

Information about the author

Kostukova Maria Sergeevna
Junior Research Scientist
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: m_s_yanchuk@mail.ru

Код научной специальности: 1.6.21

Статья поступила в редакцию 17.01.2022; одобрена после рецензирования 05.05.2022; принята к публикации 12.09.2022
The article was submitted January, 17, 2022; approved after reviewing May, 5, 2022; accepted for publication September, 12, 2022