

УДК 631.416.8:502.53:581.5(571.56-14)

## СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ НА АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ УЧАСТКАХ (ЮГО-ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)

Десяткин Р.В., Николаева М.Х., Софронов Р.Р., Иванова А.З.

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, e-mail: mayan34@yandex.ru*

Исследованы образцы растительности и почвы, отобранные на нарушенных и прилегающих к ним участках в Южной Якутии, в районе п. Ленск и п. Витим. Дано подробное описание восстанавливающейся растительности на антропогенных площадях. Определено содержание свинца, кадмия, меди, цинка и никеля в валовой и подвижной форме в почвах, и в валовой – в растительности. Для каждого исследуемого участка был отобран фоновый образец. Выявлено, что в грунтах и растительности отмечается низкое содержание никеля для всех образцов, что говорит о низких региональных значениях. Содержание свинца и меди в почве сопоставимо друг с другом. Присутствует загрязнение свинцом и кадмием в почве. Распределение абсолютных концентраций элементов чаще всего выглядит следующим образом:  $Zn > Cu > Pb > Ni > Cd$  или  $Zn > Pb > Cu > Ni > Cd$ . Наиболее высокая подвижность в почве отмечается у кадмия и свинца (отношение подвижных форм к валовым формам), что также обуславливает повышенное содержание этих элементов в образцах растительности. Также наблюдается повышенное содержание кадмия в растительных образцах, что коррелирует с высоким содержанием данного элемента в почве.

**Ключевые слова:** Юго-Западная Якутия, почва, растительность, тяжелые металлы, антропогенная нарушенность

## THE CONTENT OF HEAVY METALS IN SOILS AND PLANTS IN ANTHROPOGENIC DISTURBED AREAS (SOUTH-WESTERN YAKUTIA)

Desyatkin R.V., Nikolaeva M.C., Sofronov R.R., Ivanova A.Z.

*Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, e-mail: mayan34@yandex.ru*

Vegetation and soil samples were taken from disturbed and adjacent areas in South Yakutia, in the area of Lensk and Vitim villages. A detailed description of the regenerating vegetation on anthropogenic areas is given. The content of total and mobile forms of lead, cadmium, copper, zinc and nickel was determined in soils, and the total content of metals was determined in vegetation. A background sample (control) was taken for each study site. It was revealed that in soils and vegetation there is a low content of nickel for all samples, which indicates low regional values. The content of lead and copper is comparable to each other. There is lead and cadmium pollution. The distribution of absolute concentrations of elements most often looks like this:  $Zn > Cu > Pb > Ni > Cd$  or  $Zn > Pb > Cu > Ni > Cd$ . The highest mobility in the soil is noted for cadmium and lead (the ratio of mobile forms to total ones), which also causes an increased content of these elements in vegetation samples.

**Keywords:** South-Western Yakutia, soil, vegetation, heavy metals, anthropogenic disturbance

Тяжелые металлы – основные опасные загрязнители природной среды на освоенных человеком территориях. Республики Саха (Якутия) является уникальной территорией по разнообразию, количеству и качеству полезных ископаемых, здесь разрабатываются много различных месторождений, поэтому мониторинг участков, попадающих непосредственно под антропогенное влияние, не только имеет научно-практическое значение, но и характеризует актуальное состояние экологии региона в целом. В юго-западной части республики Саха (Якутия) наиболее развита нефтегазодобывающая деятельность, здесь проложены крупнейшие сооружения по транспортировке нефти и газа. Влияние линейных сооружений по перекачке нефти на окружающую среду как источника загрязнения не всегда связано только с авариями и разливом нефти [1]. Возведение многочисленных нефтеперекачивающих, наливных

и технологических станций, усиление загрузки транспортной сети, прокладка новых дорог и просек создают определенные условия для увеличения антропогенной нагрузки на экосистему.

В настоящее время существует не очень много данных о содержании тяжелых металлов в почвах и растениях Якутии, особенно на нарушенных территориях. Например, существуют исследования Центральной Якутии [2, 3], Северной Якутии [4], Западной Якутии [5] и Южной Якутии [6].

Цель исследования – оценка содержания тяжелых металлов в почве и растениях на нарушенных человеком территориях в пределах Юго-Западной Якутии.

### Материалы и методы исследования

Исследуемые нарушенные участки территориально относятся к Ленскому и Олекминскому административным районам Юго-Западной Якутии (59–60° с.ш.,

110–118° в.д.), равно удалены друг от друга и пронумерованы в порядке возрастания по направлению с юга на северо-восток.

По природно-ботаническим признакам исследованная территория входит в подзону среднетаежных лесов, Центральноякутскую среднетаежную подпровинцию, Верхнеленский округ. По флористическому районированию Якутии исследованная территория входит в Верхне-Ленский район [7]. По лесорастительному районированию исследованная территория относится к Юго-Западному приленскому среднетаежному округу, где преобладают лиственничники брусничные с значительной примесью лиственничников багульниково- и голубично-моховых, а также сосняков брусничных и толокнянковых [8]. С точки зрения почвенно-географического районирования объекты расположены в пределах Восточно-Сибирской мерзлотно-таежной почвенной области, Среднесибирской почвенной провинции, в зоне распространения таежных мерзлотно-палевых почв средней тайги. Наименования почв даны согласно списку, приведенному в Едином государственном реестре почвенных ресурсов России [9], краткая морфогенетическая характеристика изученных почв дана в книге «Почвы Якутии» [10], для нарушенных участков использовалась профилно-генетическая классификация почв техногенных ландшафтов: эмбриоземы инициальные, органо-аккумулятивные, дерновые, гумусово-аккумулятивные.

На нарушенных и прилегающих к ним естественных участках (всего 4 участка, под номерами № 1, № 2, № 3, № 4) были отобраны растительные и почвенные образцы по следующему принципу: внутри нарушенного участка (маркировка пробы В), 100 м от границы участка (маркировка пробы С), контроль 500–600 м (маркировка пробы К). Растения напочвенного покрова (смешанный образец) срезали на уровне поверхности почвы, на участках с высокой и густой растительностью на площади 20x20 см, на участках с растительностью средней густоты на площади 50x50 см, на участках с разреженной растительностью на площади 2x2 м. Грунты отбирались методом конверта в объединенные почвенные пробы с глубины 0–20 см.

Содержание Pb, Zn, Cu, Ni, Cd в образцах растений определяли атомно-абсорбционным методом (AAnalyst 400, PerkinElmer). Для определения тяжелых металлов использовали кислотную и ацетатно-аммонийную буферную вытяжку. Пробоподготовку по-

чвенных и растительных образцов проводили в микроволновой системе разложения Speedwave 3+ (Berghof) с использованием соляной и азотной кислот. В почвенных образцах были определены pH водной суспензии, содержание органического углерода титриметрическим методом по Тюрину, содержание физической глины методом Качинского, подвижные и валовые формы Cu, Zn, Cd, Pb и Ni атомно-абсорбционным методом (ФР.1.31.2007.04106).

Оценка уровня загрязнения растительного покрова ТМ проводилась по показателю, разработанному при сопряженных биогеохимических исследованиях окружающей среды с действующими источниками загрязнения. Таким показателем является коэффициент концентрации химического вещества (Кк) [11], который определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в точке опробования к его содержанию в аналогичной природной среде на фоновом участке:

$$K_k = C_i / C_{\phi},$$

где  $C_i$  – содержание химического элемента в точке опробования;  $C_{\phi}$  – среднее содержание элемента в аналогичной среде на фоновом участке.

Для оценки уровня загрязнения почв использовались сравнение с нормативными значениями концентраций и расчет суммарного показателя загрязнения. Согласно нормативным документам существуют следующие показатели предельно допустимых концентраций (ПДК) подвижных форм металлов в почвах: кадмий – нет нормативов; медь – 3 мг/кг; никель – 4 мг/кг; свинец – 6 мг/кг; цинк – 23 мг/кг. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) валовых форм были выбраны в соответствии с pH и гранулометрическим составом.

Суммарный показатель химического загрязнения почв ( $Z_c$ ) рассчитывается по формуле:

$$Z_c = K_{c_1} + \dots + K_{c_i} + \dots + K_{c_n} - (n-1),$$

где  $n$  – число определяемых компонентов, а  $K_{c_i}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го загрязняющего вещества, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением (содержание веществ в контрольно-фоновом образце).  $Z_c$  является количественной мерой, представляющей собой аддитивную сумму превышений коэффициентов концентрации (рассеяния) над единичным (фоновым) уровнем [12]. В пробах, где фактические данные

опробования не превышают концентраций в фоновых образцах, расчет  $Z_c$  не был произведен, а уровень загрязнения считался допустимым априори.

### Результаты исследования и их обсуждение

Поверхность исследуемых участков практически полностью нарушена при прокладке линейного сооружения для перекачки нефти. Это территории, прилегающие к дорогам, различным техническим сооружениям, подвергшиеся полной техногенной трансформации, без признаков аварий и с восстановленной луговой растительностью.

**Участок № 1.** Внутри участка разреженная растительность. Участок в стадии зарастания растительностью. Поверхность грунта ровная. Растительность сильно разреженная, мозаичная. Встречаются иванчай узколистный (*Chamerion angustifolium*), полынь замещающая (*Artemisia commutata*), хвощ болотный (*Equisetum palustre*), подорожник средний (*Plantago media*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), пырейник изменчивый (*Elymus mutabilis*), белокопытник холодный (*Petasites frigidus*), донник ароматный (*Melilotus suaveolens*).

От границы участка в 100 м – разнотравно-злаковая растительность. Поверхность грунта ровная, есть выходы камней и галечника. Проективное покрытие растительного покрова до 85%, средняя высота до 40 см. Встречаются единичные подросты березы повислой (*Betula pendula*), кусты ивы Бебба (*Salix bebbiana*) и шиповника иглистого (*Rosa acicularis*). Доминируют пырей ползучий (*Elytrigia repens*) – 30%, полевица гигантская (*Agrostis gigantea*) – 15%, мятлик луговой (*Poa pratense*) – 10%, клевер луговой (*Trifolium pratense*) – 25%, иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium*) – 5%. Также участвуют осока ситничек (*Carex juncella*), скерда кровельная (*Crepis tectorum*), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), одуванчик роганосный (*Taraxacum ceratophorum*), арктагросис тростниковидный (*Arctagrostis arundinaceus*), вика приятная (*Vicia amoena*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), полынь замещающая (*Artemisia commutata*), подмаренник северный (*Galium boreale*), белокопытник холодный (*Petasites frigidus*) и др.

Фоновая растительность представлена листовичным лесом зеленомошно-голубично-брусничным (*Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Aulacomnium turgidum*, *Pteridium aquilinum*).

Почвы фоновых ландшафтов на Участке № 1 представлены мерзлотной таежной почвой на остаточном карбонатных породах [О-АО-В-ВС-Сса<sub>1</sub>]. Это суглинистые слабо дифференцированные почвы с невысоким содержанием гумуса в минеральной части [10]. Реакция почвенной среды в верхней части профиля кислая, сменяется с глубиной до нейтральной и слабощелочной. Нарушенные почвы представлены эмбриоземами дерновыми и органо-аккумулятивными.

**Участок № 2.** Внутри участка ландшафт в стадии зарастания растительностью. Поверхность грунта ровная, сухая. Растительность сильно разреженная. Встречаются единичные подросты кедра (*Pinus sibirica*), березы повислой (*Betula pendula*), кусты ивы Бебба (*Salix bebbiana*), а также иванчай узколистный (*Chamerion angustifolium*), пырейник изменчивый (*Elymus mutabilis*), одуванчик роганосный (*Taraxacum ceratophorum*), латук сибирский (*Lactuca sibirica*), полынь замещающий (*Artemisia commutata*), лапчатка песчаная (*Potentilla arenosa*) и др.

В 100 м от участка растительность представлена злаковым разнотравьем. Поверхность грунта ровная, сухая. Проективное покрытие растительного покрова до 85%, средняя высота до 40 см. Встречаются единичные подросты березы повислой (*Betula pendula*), кусты ивы Бебба (*Salix bebbiana*) и таволги средней (*Spiraea media*). Доминируют пырей ползучий (*Elytrigia repens*) – 5%, колокольчик Лангсдорфа (*Campanula langsdorfiana*) – 5%, иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium*) – 5%, шиповник иглистый (*Rosa acicularis*) – 10%, пырейник изменчивый (*Elymus mutabilis*) – 50%. Также участвуют осока ситничек (*Carex juncella*), бескильница Гаупта (*Puccinellia hauptiana*), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), одуванчик роганосный (*Taraxacum ceratophorum*), арктагросис тростниковидный (*Arctagrostis arundinaceus*), латук сибирский (*Lactuca sibirica*), водосбор сибирский (*Aquilegia sibirica*), лилия кудреватая (*Lilium martagon*), вика приятная (*Vicia amoena*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), полынь замещающая (*Artemisia commutata*), подмаренник северный (*Galium boreale*), водосбор сибирский (*Aquilegia sibirica*) и др.

Характеристика популяций редких растений на участке: водосбор сибирский (*Aquilegia sibirica*), лилия кудреватая (*Lilium martagon*) по описанному участку распространены рассеянно повсеместно.

Естественный фон – лиственничный лес с кедром грушанково-зеленомошный (*Pinus sibirica*, *Pyrola asarifolia*, *Aulacomnium turgidum*, *Pleurozium shreberi*).

Естественные почвы на Участке № 2 представлены мерзлотным дерново-карбонатным типом [О-Ad-BCA-Cca]. Гранулометрический состав легкосуглинистый, содержание гумуса в дерновом горизонте относительно высокое, реакция почвенной среды в верхней части – слабокислая, близкая к нейтральной, в нижней – щелочная [10]. Нарушенные почвы представлены эмбриозёмами органо-аккумулятивными внутри участка и дерновыми – в 100 м от границы участка

**Участок № 3.** Внутри участка разреженная растительность. Общее проективное покрытие%. Средняя высота 15–18 см. Галечник. Разреженный растительный покров представлен иван-чаем узколистным (*Chamerion angustifolium*) – 5%, одуванчиком роганосным (*Taraxacum ceratophorum*) – 5%, также участвуют мышиный горошек (*Vicia cracca*), бескильница Гаупта (*Puccinellia hauptiana*), хвощ луговой (*Equisetum pratense*), латук сибирский (*Lactuca sibirica*) и др. Присутствуют низкорослые подросты (15–20 см) березы повислой (*Betula pendula*).

Разнотравно-злаковый переходный участок имеет неровную поверхность, выходы камней и галечника средней и крупной фракции. Растительный покров разреженный, мозаичный, средняя высота до 45 см. Проективное покрытие до 40%. Доминируют мышиный горошек (*Vicia cracca*) – 5%, полынь замещающая (*Artemisia commutata*) – 10%, иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium*) – 25%. Также участвуют княженика (*Rubus arcticus*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), осока ситничек (*Carex juncella*), одуванчик роганосный (*Taraxacum ceratophorum*), овсяница овечья (*Festuca ovina*), чистотел большой (*Chelidonium majus*), скерда кровельная (*Crepis tectorum*) и др. Встречаются единичные кусты шиповника иглистого (*Rosa acicularis*).

Фон – лиственничный лес бруснично-зеленомошный (*Vaccinium vitis-idaea*, *Aulacomnium turgidum*, *Pleurozium shreberi*).

На Участке № 3 в ненарушенном лесу сформированы мерзлотные перегнойно-карбонатные почвы [О-Н(АН)-В-BCA-Cca]. Это легкосуглинистые почвы с относительно мощным перегнойным органомным горизонтом (около 10 см), слабокислые и нейтральные в верхней части и щелоч-

ные – в нижней [10]. Нарушенные почвы представлены эмбриозёмами инициальными на участке и органо-аккумулятивными – в 100 м от границы.

**Участок № 4.** Внутри участка разнотравно-злаковая разреженная растительность. Средняя высота растительного покрова 15 см. Проективное покрытие до 75%. Господствуют хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*) – до 5%, бескильница Гаупта (*Puccinellia hauptiana*) – 10%, иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium*) – 5%, клевер ползучий (*Trifolium repens*) – 55%. Также в сложении травостоя участвуют прострел многонадрезный (*Pulsatilla multifida*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), мак голостебельный (*Papaver nudicaule*), одуванчик роганосный (*Taraxacum ceratophorum*), хвощ луговой (*Equisetum pratense*), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), водосбор сибирский (*Aquilegia sibirica*) и др. Присутствуют кусты рябины (*Sorbus sibirica*) в виде насаждения.

Злаково-разнотравная растительность распространена на границе с лесом. Поверхность грунта относительно ровная, сухая. Растительный покров равномерный, разреженный, средняя высота до 40 см. Проективное покрытие 45–50%. Господствуют овсяница овечья (*Festuca ovina*) – 5%, хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*) – 5%, полынь замещающая (*Artemisia commutata*) – 5%, клевер луговой (*Trifolium pratense*) – 5%, иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium*) – 30%. Также в сложении травостоя участвуют арктагросис тростниковидный (*Arctagrostis arundinaceus*), клевер ползучий (*Trifolium repens*), змеевик эллиптический (*Bistorta elliptica*), лапчатка гусиная (*Potentilla anserina*), одуванчик роганосный (*Taraxacum ceratophorum*), осока ситничек (*Carex juncella*), астрагал альпийский (*Astragalus alpinus*), подорожник средний (*Plantago media*), латук сибирский (*Lactuca sibirica*) и др. Присутствуют единичные подросты сосны (*Pinus sylvestris*) высотой до 45 см.

Фон – лиственничный лес багульниково-бруснично-зеленомошный (*Ledum palustre*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Aulacomnium turgidum*, *Pleurozium shreberi*).

Естественные почвы на участке № 4 представлены мерзлотными дерново-карбонатными [О-Ad-BCA-Cca]. Гранулометрический состав супесчаный, реакция почвенной среды в верхней части – слабокислая, близкая к нейтральной, в нижней – щелочная [10]. Нарушенные почвы представлены эмбриозёмами дерновыми.

Таблица 1

Содержание подвижных форм определяемых металлов в почвенных пробах

№ п/п	№ участка	Маркировка пробы	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Zc**
			мг/кг					
1	Участок № 1	В	1,98±0,46	14,90±4,92	0,78±0,20	7,25±1,52*	0,21±0,09	15,8
2		С	0,70±0,16	5,55±0,18	0,26±0,07	2,59±0,54	0,24±0,10	3,9
3		К (фон)	0,26±0,07	4,82±1,59	0,16±0,05	2,41±0,51	0,18±0,08	–
4	Участок № 2	В	1,10±0,25	0,98±0,32	0,82±0,21	7,35±1,54	0,55±0,23	6,8
5		С	0,30±0,08	0,05±0,02	0,18±0,05	2,95±0,62	0,17±0,07	–
6		К (фон)	0,40±0,11	1,73±0,57	0,32±0,13	3,82±0,80	0,21±0,09	–
7	Участок № 3	В	0,66±0,15	1,35±0,45	0,04±0,01	1,08±0,23	0,25±0,11	8,4
8		С	1,26±0,35	0,25±0,11	0,52±0,13	5,38±1,13	0,33±0,14	9,8
9		К (фон)	0,22±0,06	0,21±0,09	0,14±0,04	2,65±0,56	0,28±0,12	–
10	Участок № 4	В	0,42±0,12	0,24±0,10	0,10±0,03	0,95±0,24	0,11±0,05	11,9
11		С	0,36±0,1	0,18±0,08	0,08±0,02	0,45±0,11	0,09±0,04	7,5
12		К (фон)	0,08±0,02	0,10±0,04	0,04±0,01	0,21±0,05	0,09±0,04	–
Предельно допустимые концентрации (ПДК)			3,00	23,00	–	6,00	4,00	

Примечание: \* – полужирным шрифтом отмечены концентрации, превышающие или равные ПДК; \*\* – Zc суммарный показатель химического загрязнения почв

Анализ содержания подвижных форм тяжелых металлов в почве (табл. 1) показал, что незначительные превышения предельно допустимых значений наблюдаются только по свинцу на южных нарушенных участках № 1 и № 2 (1,2 ПДК), расположенных практически на границе Иркутской области. Это более промышленно освоенные территории – здесь больше дорог, соответственно более оживленный автомобильный поток. Свинец считается одним из наиболее опасных загрязнителей, его источником являются продукты нефтяной переработки и выхлопные машинные газы.

Содержание подвижных форм тяжелых металлов во всех образцах грунта относительно фоновое содержание находится на допустимом уровне. Особой зависимости в фоновых образцах от типа почв нет, так как почвы сформированы под похожими лесами на карбонатных или остаточнок-карбонатных породах. На Участках № 1 и № 2 отмечается повышенное фоновое содержание свинца и цинка, что, возможно, связано с тем, что это наиболее тяжелые по гранулометрическому составу почвы (табл. 2). Наиболее чистый контрольный образец был отобран на участке № 4, где образец представлен супесью. Но следует отметить, что превышения относительно фона наблюда-

ются почти во всех образцах, отобранных на нарушенных участках и в прилегающей зоне (в пределах 100 м от границы участка) независимо от механического состава и содержания органики, что говорит о прямом антропогенном влиянии, хотя и в пределах допустимых норм.

Анализ содержания валовых форм тяжелых металлов (табл. 2) показал, что превышение ориентировочного допустимого концентраций наблюдается преимущественно только по кадмию на нарушенной части участков (1,3 ПДК на участке № 1, 1,3–1,6 ПДК на участке № 2, 3 ПДК в прилегающей зоне участка № 3, 1,4 ПДК на участке № 4).

По степени загрязнения в сравнении с фоном наиболее загрязнен Участок № 4, где суммарный показатель превышает допустимые 16. По содержанию в земной коре обычно соотношение концентраций выглядит следующим образом: Zn>Ni>Cu>Pb>Cd. В нашем случае похожее распределение наблюдается лишь в фоновой почве участка № 4. В остальных образцах отмечается очень низкое содержание никеля, и распределение чаще всего выглядит так: Zn>Cu>Pb>Ni>Cd или Zn>Pb>Cu>Ni>Cd. Свинец только в одном случае превышает содержание цинка – на нарушенной части участка № 2.

Таблица 2

Физико-химические показатели и содержание валовых форм определяемых металлов

№ п/п	№ участка	Маркировка пробы	pH	С <sub>орг</sub> , %	Сумма частиц <0,01 мм	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Zc**
1	Участок № 1	10В	7,80	0,21	28,5	29,20±6,72	81,12±26,77	2,30±0,58*	32,60±6,85	5,66±1,58	10,9
2		10С	7,41	0,78	21,4	20,75±4,77	53,64±17,70	0,65±0,16	18,96±3,98	3,21±0,90	3,4
3		10К (фон)	4,15	1,55	29,8	12,20±2,81	61,10±20,16	0,40±0,10	12,72±2,67	2,00±0,56	
4	Участок № 2	11В	8,15	0,99	29,6	10,95±2,52	24,66±8,14	3,25±0,81	37,42±7,86	10,22±2,86	12,0
5		11С	7,28	0,47	17,8	16,70±3,84	49,62±16,37	0,65±0,16	21,43±4,50	12,34±3,46	4,6
6		11К (фон)	6,34	1,41	26,8	9,80±2,25	44,74±14,76	0,40±0,10	8,60±1,81	7,41±2,07	–
7		12В	7,35	0,09	10,5	4,70±1,08	28,78±9,50	0,15±0,04	4,05±0,85	2,05±0,57	–
8	Участок № 3	12С	6,97	0,91	18,9	22,65±5,21	39,12±12,91	1,50±0,38	24,66±5,18	7,83±2,19	6,7
9		12К (фон)	5,97	4,25	20,7	9,80±2,25	44,38±14,65	1,00±0,25	17,36±3,65	5,32±1,49	–
10	Участок № 4	13В	7,58	0,44	8,9	14,75±3,39	51,91±17,13	0,70±0,18	9,91±2,08	6,27±1,76	23,8
11		13С	5,03	1,25	11,3	9,45±2,17	34,25±11,30	0,45±0,11	5,15±1,08	5,99±1,68	13,8
12		13К (фон)	7,39	1,55	15,5	1,20±0,28	15,35±5,07	0,15±0,04	1,78±0,37	3,24±0,91	
Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК):											
						Сульфиды	33,00	55,00	0,5	32,00	20,00
						Кислые, сульфидные	66,00	110,00	1,00	65,00	40,00
						Щелочные, сульфидные	132,00	220,00	2,00	130,00	80,00
Кларки элементов:											
						47,00	83,00	0,13	16,00	58,00	

Примечание: \* – полужирным шрифтом отмечены концентрации, превышающие или равные ПДК; \*\* – Zc суммарный показатель химического загрязнения почв

Таблица 3

Кларки концентраций валовых форм определяемых металлов

№ п/п	№ участка	Маркировка пробы	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni
			мг/кг				
1	Участок № 1	10В	0,62	0,98	17,69	2,04	0,10
2		10С	0,44	0,65	5,00	1,18	0,06
3		10К (фон)	0,26	0,74	3,08	0,80	0,03
4	Участок № 2	11В	0,23	0,30	25,00	2,34	0,18
5		11С	0,36	0,60	5,00	1,34	0,21
6		11К (фон)	0,21	0,54	3,08	0,54	0,13
7	Участок № 3	12В	0,10	0,35	1,15	0,25	0,04
8		12С	0,48	0,47	11,54	1,54	0,14
9		12К (фон)	0,21	0,53	7,69	1,09	0,09
10	Участок № 4	13В	0,31	0,63	5,38	0,62	0,11
11		13С	0,20	0,41	3,46	0,32	0,10
12		13К (фон)	0,03	0,18	1,15	0,11	0,06

Таблица 4

Содержание кислотных форм определяемых металлов в растительных образцах (мг/кг сухой массы)

№ п/п	Номер участка	Маркировка пробы	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Коэффициент концентрации				
			мг/кг					Cu	Zn	Cd	Pb	Ni
1	Участок № 1	В	18,50	91,95	2,00	24,50	0,02	2,7	4,5	4,0	2,2	2,0
2		С	14,00	87,15	0,75	16,50	0,02	2,1	4,3	1,5	1,5	2,0
3		К (фон)	6,75	20,48	0,50	11,13	0,01	–	–	–	–	–
4	Участок № 2	В	11,25	108,48	0,50	20,45	0,05	1,5	4,2	0,4	1,5	2,5
5		С	7,00	34,33	0,25	3,33	0,01	–	1,3	–	–	–
6		К (фон)	7,75	26,10	1,25	13,68	0,02	–	–	–	–	–
7	Участок № 3	В	6,50	29,23	0,40	3,35	0,02	–	–	–	–	–
8		С	11,5	23,05	1,00	13,15	0,02	–	–	2,0	–	0,7
9		К (фон)	16,00	45,25	0,50	31,75	0,03	–	–	–	–	–
10	Участок № 4	В	26,25	224,23	0,50	42,13	0,01	15,0	17,7	10,0	21,0	2,0
11		С	13,25	20,25	0,30	15,85	0,009	7,6	1,6	6,0	7,9	1,8
12		К (фон)	1,75	12,70	0,05	2,00	0,005					

В таблице 3 приведен расчет кларков концентраций (отношение фактического содержания элемента в пробе к его содержанию в земной коре), который показал, что район исследования характеризуется относительным рассеянием цинка и значительной аккумуляцией кадмия, как антропогенного, так и естественного. Также наблюдается аккумуляция свинца, в основном на нарушенных территориях. Содержание меди и никеля – низкое.

Результаты исследований растительных образцов приведены в таблице 4. Внутри Участка № 1 содержание некоторых метал-

лов (Cu, Ni, Pb) более чем в 2 раза превышает содержание по сравнению с естественной растительностью, превышение по Cd и Zn составляет 4 и 4,5 раза соответственно. В прилегающей к участку зоне превышения составляют по Cd и Pb – в 1,5, Ni – в 2,0, Cu – в 2,1, Zn – в 4,3 раза.

В растительных образцах внутри Участка № 2 наибольший коэффициент концентрации отмечен по Zn (4,2), по Cu, Pb – 1,5. По Cd превышения не выявлено. В прилегающей к участку зоне превышения отмечено только по Zn (в 1,3 раза).

**Таблица 5**

Примерная концентрация микроэлементов в зрелых тканях листьев по обобщенным данным для многих видов (мг/кг сухой массы) [13]

Элемент	Дефицит или меньше, чем установленные необходимые количества элемента	Достаточная или нормальная	Избыточная, или токсичная
Cd	–	0,05–0,2	5–30
Cu	2–5	5–30	20–100
Ni	–	0,1–5	10–100
Pb	–	5–10	30–300
Zn	10–20	27–150	100–400

По содержанию тяжелых металлов в растительности внутри Участка № 3 превышений не выявлено. В прилегающей к нарушенному участку зоне влияния коэффициент концентрации по Cd составляет 2,0, по Ni – 0,7. По остальным определяемым элементам превышения отмечено не было.

Высокие значения коэффициента концентрации отмечены внутри Участка № 4: Pb – 21,0, Zn – 17,7, Cu – 15,0, Cd – 10,0. В прилегающей к участку зоне превышения выявлены по всем определяемым элементам (Zn – 1,6, Ni – 1,8, Cd – 6,0, Cu – 7,6, Pb – 7,9).

При сравнении с примерными концентрациями микроэлементов по литературным данным (табл. 5) можно отметить, что внутри Участка № 4 медь содержится в избыточном количестве. Фоновые значения концентрации меди на Участке № 4 ниже, чем установленные необходимые количества элемента. На остальных участках концентрации Cu достаточные.

Фоновые значения концентрации Zn на Участке № 4 меньше, чем установленные необходимые количества элемента. На нарушенной части Участка № 4 концентрация металла в растительности является избыточной, или токсичной. В остальных образцах концентрация цинка является достаточной.

Концентрация Cd на всех участках (кроме фоновых значений Участка № 4) выше достаточной, или нормальной.

Концентрация Pb в сильно нарушенной части Участка № 4 – избыточная (токсичная). Также избыточное количество поллютанта содержится в растительности фона Участка № 3. В остальных образцах растительность испытывает дефицит свинца или содержится в достаточной концентрации.

Концентрация Ni во всех пробах растительности меньше, чем установленные необходимые количества элемента.

Таким образом, в сравнении с фоновыми значениями наиболее высокие коэффи-

циенты концентрации тяжелых металлов отмечены в растительных образцах, отобранных внутри Участка № 4 и в 100 м от границы сильно нарушенной территории. В растительных образцах, отобранных внутри Участка № 1 и прилегающей зоне, коэффициенты концентрации не превышают 4,5. В растительных образцах внутри Участка № 2 коэффициенты концентрации не превышают 4,2. На Участке № 3 коэффициенты концентрации в прилегающей к участку зоне невысокие.

#### Заключение

На антропогенных участках Юго-Западной Якутии, где влияние обусловлено целым комплексом факторов (таких как транспорт, нефтепровод, строительство и т.д.), в сравнении с фоновым содержанием наблюдаются превышения практически по всем определяемым в данном исследовании элементам, особенно в грунтах, но отмечаются схожие тенденции. Например, превышение предельно допустимых значений в грунтах нарушенных участков отмечается по подвижному свинцу и валовому кадмию. Содержание свинца практически сопоставимо с содержанием меди, а никель имеет очень низкие концентрации. Распределение абсолютных концентраций элементов чаще всего выглядит так: Zn>Cu>Pb>Ni>Cd или Zn>Pb>Cu>Ni>Cd. Наиболее высокая подвижность в почве отмечается у кадмия и свинца (отношение подвижных форм к валовым), что также обуславливает повышенное содержание этих элементов в образцах растительности.

Все участки находятся на стадии восстановления растительности. Техногенные почвы представлены щелочными эмбриозёмами инициальными и органо-аккумулятивными. На территориях с большей степенью самозарастания, переходных к фоновому лесу, содержание загрязняющих веществ

в почве в разы меньше, чем на более нарушенной части участка, что связано, возможно, также с очищающей деятельностью растительности с уменьшением зоны воздействия. Также следует отметить, что в грунтах сильно нарушенной части Участка № 4 почти не наблюдается превышений по ПДК и ОДК (за исключением Cd), но показатель суммарного загрязнения относительно фона здесь наибольший, а также содержание тяжелых металлов в растительности здесь выше. Учитывая то, что эти фоновые образцы на данном участке самые чистые, а почва наиболее легкая по гранулометрическому составу, мы можем предположить, что, несмотря на относительно хороший дренаж, загрязнение здесь идет несколько интенсивнее, что, возможно, связано с загрязнителями в осадках, талых и почвенных водах.

*Работа выполнена при поддержке базового проекта FWRS-2021-0026 (номер гос. регистрации в ЕГИСУ: АААА-А21-121012190036-6) и Гранта РФФИ 19-29-05151 (регистрационный номер АААА-А20-120061190009-9). Работа выполнена с использованием приборной базы ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН (грант № 13.ЦКП.21.0016).*

#### Список литературы

1. Десяткин Р.В. Обретения и потери. Анализ факторов прямого и косвенного влияния строительства и эксплуатации промышленных объектов на экосистемы Западной Якутии // Крайний Север: проблемы экологии: сборник научных трудов. М., 1999. С. 51-56.
2. Прикладные экологические проблемы г. Якутска: сборник научных трудов. Новосибирск: Наука, 2017. 236 с.
3. Абрамов А.Ф., Слепцова Т.В., Попова М.Г. Содержание тяжелых металлов в почве и кормовых травах Кобяйского улуса Якутии // Новые материалы и технологии в условиях Арктики: Материалы международного симпозиума. Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова (г. Якутск, 25-27 июня 2014 г.). Ставрополь: Центр научного знания «Логос», 2014. С. 72-76.
4. Иванова А.З., Десяткин Р.В. Валовой состав основных типов почв бассейна реки Алазея // Наука и образование. 2016. № 1(81). С. 110-114.
5. Легостаева Я.Б., Гололобова А.Г. Особенности распределения микроэлементов в почвах фоновых и импактных зон на участках алмазодобычи на северо-западе Сибирской платформы // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. № 9(332). С. 142-153. DOI: 10.18799/24131830/2021/9/3364.
6. Чевычелов А.П., Собакин П.И., Горохов А.Н., Кузнецова Л.И. Основы экологической безопасности (радионуклиды и тяжелые металлы) в Алданском районе Республики Саха (Якутия) // География и краеведение в Якутии и сопредельных территориях Сибири и Дальнего Востока: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию Якутской Автономной Советской Социалистической Республики (ЯАССР) (г. Якутск, 25-26 марта 2022 г.). Якутск: Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2022. С. 114-119.
7. Определитель высших растений Якутии / Е.А. Афанасьева, К.С. Байков, А.А. Бобров и др. 2 изд., перераб. и доп. М.: Товарищество научных изданий КМК; Новосибирск: Наука, 2020. 896 с.
8. Щербаков И. П. Лесной покров Северо-Востока СССР. Новосибирск: Наука, 1975. 344 с.
9. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почв.ин-т им. В.В. Докучаева, 2014. 768 с.
10. Десяткин Р.В., Оконешникова М.В., Десяткин А.Р. Почвы Якутии. Якутск: Бичик, 2009. 64 с.
11. Корельская Т.А., Попова Л.Ф. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове селитебного ландшафта города Архангельска // Арктика и Север. 2012. № 7. С. 136-152.
12. Геохимия окружающей среды / под ред. Ю.Е. Саэт. М.: Недра, 1990. 335 с.
13. Kabata-Pendias A., Szeke B. Trace elements in abiotic and biotic environments. CRS Press, Fran-cis&Taylor Group, Boca Raton Fl., 2015. P. 440. DOI: 10.1201/b18198.