

Л.В. КАРПЕНКОИнститут леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН,
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28, Россия, karp@ksc.krasn.ru**ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ БОЛОТ ЛЕСОТУНДРОВОЙ ПОДЗОНЫ
В УСЛОВИЯХ СЛАБОГО АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Проведено комплексное обследование болот в зоне слабого влияния предприятий Норильского промышленного района. Впервые для нижнего течения р. Кета-Ирбо (западный макросклон плато Путорана) получены сведения о современном состоянии болот, их типизации, степени загрязнения растительности и торфяной залежи аэротехногенными поллютантами — медью, никелем, кобальтом, свинцом и серой. Установлено, что доля болот в районе исследований невысока. Они залегают в долине реки на предгорных слабо дренированных равнинах, а также встречаются в нижней части горно-тундрового пояса. Болота низинного типа, лесо-топяного или топяного подтипа. Основными растениями-торфообразователями являются осоки, хвощ и гипновые мхи. Мощность торфяной залежи долинных болот варьирует от 2 до 3 м, горно-тундровых — от 0,6 до 1 м. Залежь сложена осоковым, гипновым, травяно-гипновым торфами. Торфяные залежи характеризуются кислой реакцией среды по всему профилю, невысокой степенью разложения торфа. Диагностика степени загрязнения растений-индикаторов болот ключевого участка по сравнению с фоном показала превышение концентраций по всем исследованным элементам, кроме свинца. Наибольшая концентрация меди и никеля отмечена в зеленых мхах сильно увлажненных мочажин, кобальта — в сфагновых мхах сухих гряд. Проведена эколого-геохимическая оценка степени загрязнения торфа болот (верхние 0,5 м залежи). Установлено, что уровень его загрязнения зависит от геоморфологического положения, гидротермического режима и типа фитоценоза болот. Выявлено, что концентрация меди, никеля, кобальта и серы в торфах долинных болот значительно ниже, чем в торфах болот межгорных котловин и заболоченного березняка. Показано, что в целом концентрация поллютантов в торфе болот района исследований, особенно по меди и никелю, значительно превышает фон.

Ключевые слова: болота, аэротехногенные поллютанты, растения-индикаторы, торф, уровень загрязнения.

L.V. KARPENKOSukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences,
Krasnoyarsk, 660036, Akademgorodok 50/28, Russia, karp@ksc.krasn.ru**ASSESSING THE PRESENT STATE OF BOGS IN THE FOREST-TAIGA SUBZONE
IN WEAK AEROTECHNOGENIC POLLUTION CONDITIONS**

A comprehensive study of fens was carried out in the zone of weak influence of the enterprises in the Norilsk industrial region. Evidence for the present state of these fens was obtained for the first time as well as on their typization, the pollution level of vegetation and peat deposits by aerotechnogenic pollutants, namely, copper, nickel, cobalt, lead and sulfur for the lower reaches of the Keta-Irbo river (western macroslope of the Putorana plateau). It was established that the proportion of fens in the study region is not high. They are located along the river valley on poorly drained piedmont plains and also occur in the lower part of the mountain-tundra belt. The fens are of forest-marshy or marshy subtype. Sedge, horsetail and Hypnum mosses are the main peat-forming plants in this area. The thickness of the peat deposit of the valley and mountain-tundra bogs varies from 2 to 3 and from 0 to 1 m, respectively. It is composed of sedge, Hypnum, grass-Hypnum peats. The peat deposits are characterized by an acid pH throughout the profile and by a low degree of peat decomposition. Diagnostics of the degree of pollution of plants-indicators for fens in the key area showed an exceedance of concentrations in all elements with the exception of lead when compared to the background. The highest copper and nickel concentration was observed in true mosses of pools filled with abundant water. The highest cobalt concentration was observed in sphagnum mosses of dry ridges. An ecological-geochemical assessment was made of the peat pollution level in the fens (the upper 0.5 m layer of the deposit). It was found that its pollution level depends on the geomorphological position, hydrothermal regime, and on the phytocenosis type of fens. The study revealed that the concentration of copper, nickel, cobalt and sulfur in peats of the valley fens is much lower than in peats of fens of intermontane depressions and in peats of the swamped birch forest. It is shown that generally the concentration of pollutants in peats of the fens in the study area significantly exceeds the background, especially for copper and nickel.

Keywords: fens, aerotechnogenic pollutants, plants-indicators, peat, pollution level.

ВВЕДЕНИЕ

Тундровые и лесотундровые экосистемы Енисейского Заполярья уже более 70 лет испытывают сильнейшие антропогенные воздействия предприятий Норильского промышленного района (НПР). Несмотря на их техническое перевооружение и модернизацию, экологическая ситуация на Таймыре по-прежнему остается напряженной. Согласно данным [1–6], наиболее интенсивное воздействие испытывают природные экосистемы в радиусе 40 км от НПР. Однако по направлению доминирующих ветров (юго-восток, юг и запад) даже на расстоянии 160 км от источника выбросов концентрация поллютантов в компонентах лесотундровых экосистем значительно превышает фон.

В составе комплексного отряда Института леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН в течение трех полевых сезонов мы провели обследование болот на ключевых участках, разноудаленных от НПР (от 226 до 31 км) в южном, юго-восточном и юго-западном направлениях. Это участки Черная, Горбичин, Тукуланда, Кета-Ирбо и Рыбная, расположенные в бассейнах одноименных рек. Результатами обследования стала оценка современного состояния растительности и торфяной залежи болот, их типизация и определение устойчивости к аэротехногенным поллютантам.

Цель настоящей работы — на примере болот ключевого участка Кета-Ирбо охарактеризовать современное состояние гидроморфной растительности и торфяной залежи и оценить уровень их загрязнения тяжелыми металлами (медью, никелем, кобальтом, свинцом) и серой — приоритетными загрязнителями НПР.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в западных отрогах плато Путорана, в зоне слабого влияния газопылевого шлейфа НПР. Район исследований расположен на широте оз. Кета, в долине р. Кета-Ирбо (68°52' с. ш. 89°45' в. д.). Ключевой участок разделен руслом р. Кета-Ирбо на право- и левобережный участки профиля и охватывает горную и низменную части долины реки. Объектами исследований стали пять гидроморфных массивов, различных по геоморфологической приуроченности, современному состоянию растительного покрова и генезису. На правобережном участке профиля обследованы три болота. Первое — старичное евтрофное болото, залегает в долине реки, на высокой слабозалеженной пойме. Мощность торфяной залежи — 2 м. Два других болота расположены в горной тундре, на седловинах плато. Они относятся к типу болот плоских межгорных котловин. Мощность торфяной залежи в них варьирует от 0,6 до 1 м. На левобережном участке профиля обследованы два болота. Первое термокарстовое, мощность торфяной залежи в его генетическом центре — 3 м. Второе представлено заболоченным березняком с мощностью залежи не более 0,6 м.

Оценка состояния растительного покрова болот произведена по эталонным геоботаническим описаниям. В каждой точке описания составлялся полный список видового состава растительности с указанием обилия каждого вида по шкале Друде (травяно-кустарничковый ярус) или в процентах (мхи и лишайники). Для каждого вида определяли жизненное состояние и визуальную фиксируемую степень повреждения. Латинские названия сосудистых растений даны по [7], листостебельных и сфагновых мхов — по [8, 9].

Отбор образцов торфа для анализа стратиграфии залежи и физико-химических свойств в долинных болотах производился буром Гиллера послойно, с интервалом 0,25 м на всю глубину залежи. В горной тундре образцы отбирались из обнаженной стенки торфяника сплошной колонкой с интервалом 0,1 м. Ботанический анализ торфа определяли по [10], зольность — по [11], плотность — по [12], степень разложения торфа — по [13]. Для идентификации растительных остатков в волокне торфа использовались атласы [14]. Классификация видов торфа дана по [15].

Для оценки уровня загрязнения растительности болот на эталонных площадках размером 5 × 5 м отбирался средний образец из 10 индивидуальных. В качестве биоиндикаторов служили зеленые мхи: виды родов *Drepanocladus*, *Dicranum*, *Polytrichum*, *Aulacomnium* и др., сфагновые мхи: сфагнум бурый (*Sphagnum fuscum* (Schmp.) Klinggr.), красноватый (*S. rubellum* Wils.) и Варнсторфа (*S. warnstorffii* Russ.) и др., морозка (*Rubus chamaemorus* L.), у которой отбирались только надземные органы. Торф для анализа брали из верхнего 0,5-метрового слоя залежи с интервалом 0,25 м. Содержание валовых форм основных загрязняющих веществ (Cu, Ni, Co, Pb и S) определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Современное состояние гидроморфной растительности и торфяной залежи района исследований рассмотрим на примере двух болот различного генезиса — старичного и болота межгорных котловин, расположенных в правобережной части профиля участка Кета-Ирбо.

Микрорельеф старичного болота носит фитогенный характер и образован моховыми грядами высотой 0,4 м, шириной 1,5–2 м и длиной более 50 м. Гряды занимают 10–15 % поверхности болота, мочажины — 90 %. Проективное покрытие гряд — 50–60 %, мочажин — 40 %. На грядах господствует кустарниково-моховая группировка растительности, в мочажинах — гипново-осоковая. Первый ярус гряд высотой 0,6 м образуют кустарниковая береза (*Betula nana* L.) и ивы: мохнатая (*Salix lanata* L.), сизая (*S. glauca* L.), ползучая (*S. reptans* Rupr.), филиколистная (*S. phylicifolia* L.). Во втором ярусе высотой 0,4 м произрастают осоки: водяная (*Carex aquatilis* Wall.), вздутая (*C. inflata* Huds.), редкоцветная (*C. rariflora* (Wahl.) Smits.). Третий ярус высотой 0,1–0,15 м образуют сабельник болотный (*Comarum palustre* L.), горичник (*Peucedanum* sp.), клюква мелкоплодная (*Oxycoccus microcarpus* Turcz.), морошка, можжевельник (*Juniperus sibirica* Burgsd.). Моховый покров гряд представлен зелеными мхами: аулакомниумом вздутым (*Aulacomnium turgidum* Schwaegr.), томентипнумом блестящим (*Tomenthypnum nitens* (Hedw.) Loeske), дикранумом удлинённым (*Dicranum elongatum*, Schleich.), дрепанокладусом крючковатым (*Drepanocladus uncinatus* Hedv.), дрепанокладусом крючкливо-изогнутым (*D. aduncus* Warnst.). В небольших количествах встречаются мхи: мниум близкий (*Mnium affine* Bland.) и скорпидиум скорпионовидный (*Scorpidium scorpioides* (Hedw.) Lind.). Редко на грядах отмечаются вкрапления сфагнового мха (*S. warnstorffii*).

Сильно обводненные мочажины заняты гипново-осоковой группировкой растительности. Осоки представлены следующими видами: водяной, одноцветной (*Carex concolor* R. Br.), топяной (*C. limosa* L.), прямостоячей (*C. stans* Wahlenb.), редкоцветной, плетевидной (*C. chordorhiza* Ehrh.). По краю мочажин растут пушицы: многоколосковая (*Eriophorum polystachyon* L.), рыжеватая (*E. russeolum* Fries.), Шейхера (*E. scheuchzeri* Норре.), стройная (*E. gracile* Koch.) и болотное разнотравье: вахта (*Menyanthes trifoliata* L.), сабельник болотный, хвощ топяной (*Equisetum fluviatile* L.). Моховый ковер, образованный зелеными мхами: дрепанокладусом плавающим (*Drepanocladus fluitans* Warnst.), крючкливо-изогнутым и Зенднера (*D. sendtneri*), густо переплетен печеночниками: птилидиумом красивейшим (*Ptilidium ciliare* (L.) Hampe.) и милией аномальной (*Mylia anomala* (Hook.) Grau.). В воде обильные диатомовые водоросли — пиннулария знатная (*Pinnularia nobilis* f. *intermedia* Dipp.), зеленые водоросли — виды родов *Penium* и *Closterium*, а также грибы — пеницилл мелкошпигватый (*Penicillium spinulosum* Thom.).

Строение стратиграфии торфяной залежи свидетельствует о том, что болотообразовательный процесс в долине р. Кета-Ирбо проходил в условиях постоянного подтопления речными водами. Залежь рыхлая, сильно обводненная и на всю глубину сложена низинными торфами топяного подтипа — травяно-гипновым, осоковым, гипновым (рис. 1). Торфяная залежь подстилается торфосапелем (0,5 м), органическая часть которого состоит из остатков гипновых мхов, осок, диатомовых водорослей и печеночных мхов.

Физико-химический анализ показал, что кислотность торфов старичного болота, как водная, так и солевая, мало варьирует по профилю и колеблется в следующих пределах: $pH_{\text{вод}}$ — от 5,9 до 5,1; $pH_{\text{сол}}$ — от 4,8 до 4,2. Степень разложения торфа относительно невелика (10–15 %). Это связано с промерзанием торфяной залежи (восемь месяцев в году) и замедленным процессом разложения торфа. В верхних горизонтах залежи отмечается высокая зольность торфов (10,6–20,6 %), что объясняется залеганием болота в слабопроточной озерной депрессии — приемником сильно обогащенных мелкоземом поверхностно-сточных вод. Высокая зольность придонных горизонтов болота, образованных торфосапелем (57,7–71,1 %), связана, вероятно, с привнесением минеральных веществ с окружающих водосборов и отложением их на дне болота в инициальный период его образования.

Плоскобугристые болота межгорных котловин встречены нами в нижней части горно-тундрового пояса (абс. отметка около 300 м). На примере одного из них кратко охарактеризуем растительный покров, строение стратиграфии торфяной залежи и ее физико-химические свойства. Микрорельеф образован мерзлыми плоскобугристыми комплексами, на долю которых приходится 60 % поверхности, и межбугорными слабо увлажненными понижениями. Поверхность торфяных бугров сильно деградирована, их высота варьирует от 0,6 до 1,4 м. Болото имеет мозаичную микроструктуру, в которой сочетаются кустарниково-мохово-лишайниковые элементы тундрового облика (на мерзлых буграх) и травяно-моховых болот (по обводненным межбугровым понижениям). В кустарниковом ярусе бугров доминируют низкорослые, большей частью стелющиеся формы кустарниковой березы и ольховника

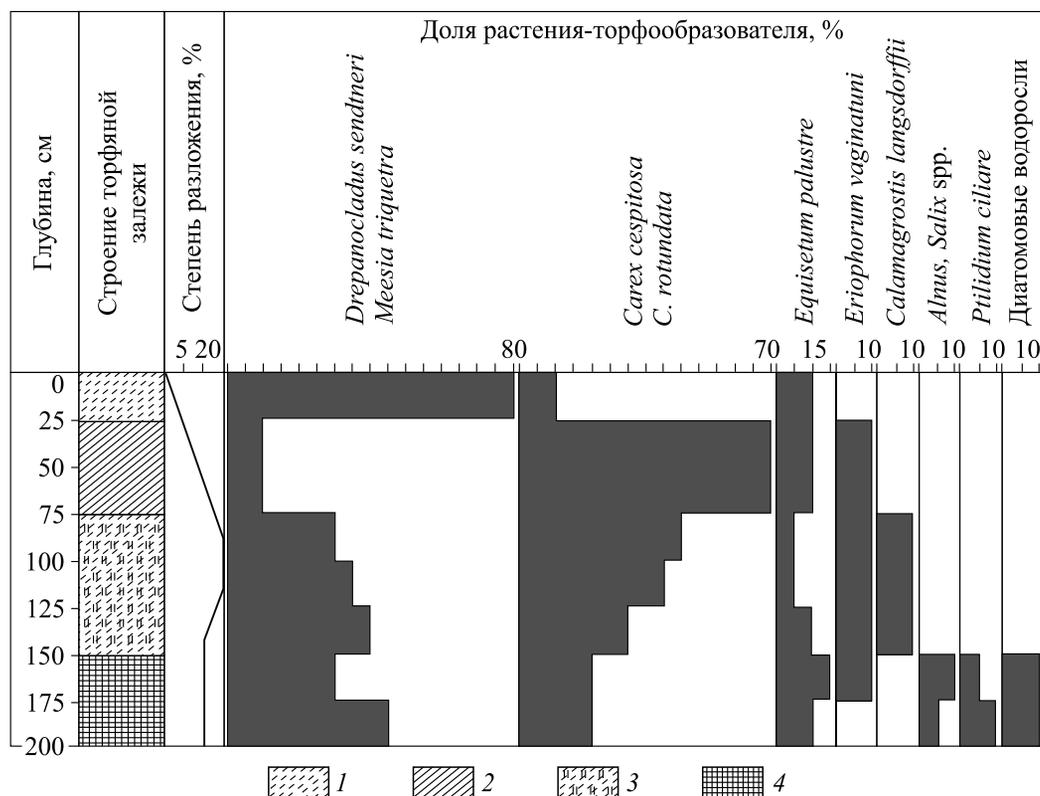


Рис. 1. Диаграмма стратиграфии торфяной залежи и ботанического состава торфа старичного болота, по [16].
Виды торфа: 1 — гипновый низинный, 2 — осоковый низинный, 3 — травяно-гипновый низинный, 4 — торфо-сапропель.

кустарникового (*Duschekia fruticosa* Rupr.). Меньшее участие принимают можжевельник и кустарничковые ивы: сетчатая (*Salix reticulata* L.) и скальная (*S. saxatilis* Turcz. ex Ledeb.). В сильно разреженном травяно-кустарничковом ярусе растут голубика (*Vaccinium uliginosum* L.), осока редкоцветная, мак полярный (*Papaver polare* (Tolm.)), мятлик альпийский (*Poa alpina* L.), астрагал альпийский (*Astragalus alpinus* L.). Мохово-лишайниковый ярус образуют разорванные пятна из зеленых мхов: плевроциума Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.) и видов рода *Dicranum*, с вкраплениями кустистых лишайников: цетрарии исландской (*Cetraria islandica* (L.) Ach.), кладонии звездчатой (*Cladonia stellaris* (Opiz.) Brodo) и оленьей (*C. rangiferina* (L.) Weber) и др. Увлажненные межбугорные понижения заняты осоками: редкоцветной, вздутой, кругловатой (*Carex rotundata* Wab.) водяной, пушицей рыжеватой (*Eriophorum russeolum* Fries.) и зелеными мхами — видами родов *Dicranum* и *Drepanocladus*.

Торфяная залежь холодная, в основании — с прослойками льда. Торф коричневого цвета, плотный, сильно минерализован. При зачистке стенки бугра на ее поверхности визуально отмечаются ярко окрашенные пятна полоторных оксидов. Ботанический анализ торфа показал, что основными растениями-торфообразователями нижних слоев торфяной залежи являются хвощ, гипновые мхи и кустарничковые формы ив (рис. 2). Средняя часть залежи образована преимущественно осоками и гипновыми мхами. Верхние слои мерзлого торфяного бугра, представленные дерниной, состоят из корешков кустарничков (багульника, шикши, голубики, мирта болотного), а также древесины и коры ивы и душики. Залежь бугра образована исключительно низинными торфами топяного и лесо-топяного подтипов — травяно-гипновым, гипновым, осоковым, древесно-травяным, хвощевым.

Физико-химическая характеристика торфа следующая. Кислотность увеличивается вниз по профилю и варьирует в пределах: $pH_{\text{вод}}$ — от 5,2 до 4,5 и $pH_{\text{сол}}$ — от 4,8 до 3,8. Низкая степень разложения торфа (5–15 %) объясняется пребыванием торфяника почти девять месяцев в году в мерзлом состоянии. Высокая зольность дернины (18,4–10,6 %) и объемной массы (0,21–0,19 г/см³) обусловлены большим количеством минеральных примесей за счет делювиальных наносов. В слоях торфа, лежащих под дерниной, зольность (5,0–4,9 %) и объемная масса (0,14–0,11 %) постепенно снижаются.

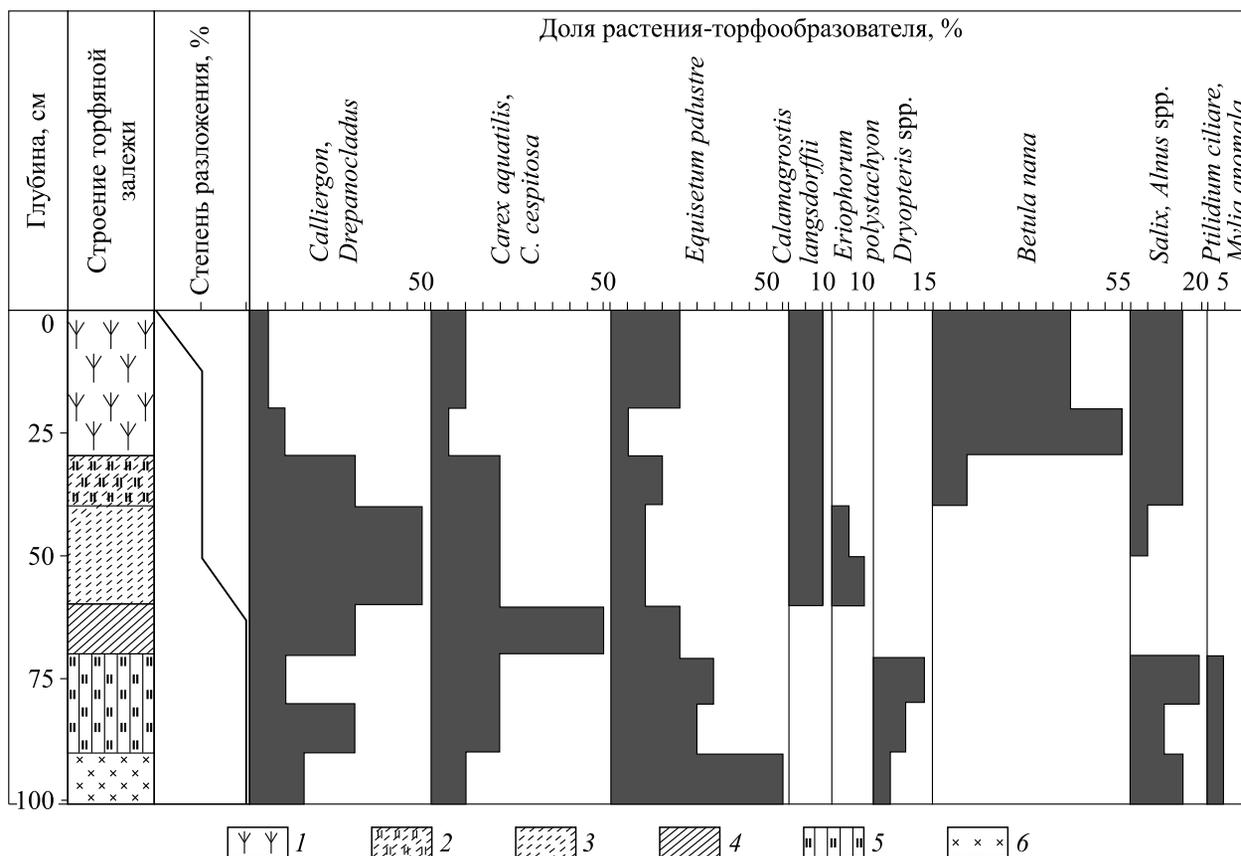


Рис. 2. Диаграмма стратиграфии торфяной залежи и ботанического состава торфа болота межгорных котловин.

1 — дернина. Виды торфа: 2 — травяно-гипновый, 3 — гипновый, 4 — осоковый, 5 — древесно-травяной, 6 — хвощевый.

Визуально установлено, что состояние растительного покрова всех исследованных болот участка Кета-Ирбо близко к зональному. Единичные признаки поражения в виде несезонного побурения листвы и хвои отмечены у кустарников — ольхи, ивы, кустарничковой березы и можжевельника. О начальной стадии деградации растительности болот может свидетельствовать также значительное сокращение обилия травяно-кустарничкового яруса (преимущественно *sp.*) и суммарной степени проективного покрытия мохово-лишайникового яруса (мхи — 10 %, лишайники — в виде вкраплений). Местами отмечается отмирание дерновинок гипновых мхов, особенно на сплавинах зарастающих озер. У лишайников выявлены морфологические признаки частичного поражения слоевищ, а также деградация их покрова примерно на 30 % площади.

Далее рассмотрим уровень загрязнения растительности и торфяной залежи болот ключевого участка Кета-Ирбо тяжелыми металлами (Cu, Ni, Co, Pb) и серой. Данные по концентрациям элементов в растениях болот и верхних слоях торфяной залежи сравним с фоном. За фоновое значение принято содержание элементов в растениях и торфяной залежи болот участка Черная, значительно удаленного от НПР (226 км на юг). Валовое содержание элементов в растениях-индикаторах исследованных болот и фона представлено в табл. 1. Видно, что концентрация почти всех элементов, за исключением свинца, в растениях болот участка Кета-Ирбо превышает фон: по меди в 1,3–7,1 раза, никелю — в 1,8–20, кобальту — в 4,6–20 и по сере — в 8,8–20,9 раза. Сопоставление концентраций тяжелых металлов и серы в растениях-индикаторах ключевого участка позволило ранжировать их по степени загрязнения. Установлено, что сильнее всего медью, никелем и серой загрязнены зеленые мхи сильно увлажненных мочажин, кобальтом — сфагновые мхи сухих торфяных гряд.

В зоне воздействия промышленных эмиссий верхние горизонты торфяных почв испытывают максимальное антропогенное воздействие и, как следствие, характеризуются наиболее значительны-

Таблица 1

**Содержание валовых форм тяжелых металлов и серы (мг/кг) в растениях-индикаторах
(числитель — фон, знаменатель — ключевой участок) и кратность превышения фоновых значений**

Растения-индикаторы	Cu	Крат- ность превы- шения	Ni	Крат- ность превы- шения	Co	Крат- ность превы- шения	Pb	Крат- ность превы- шения	S	Крат- ность превы- шения
Зеленые мхи из сплавины термокарстового озера	7,45	2,7	6,61	3,4	0,94	5,2	8,15	—	180	14,8
	20,49		22,65		4,92		0,02		2670	
Зеленые мхи сильно увлажненных мочажин	3,66	7,1	1,95	20	0,39	13,6	2,84	—	112	20,9
	26,10		39,02		5,30		0,05		2340	
Сфагновые мхи сухих торфяных гряд	4,27	3,5	1,43	8,9	0,10	20	2,39	—	106	12,0
	14,84		12,73		2,00		0,30		1270	
Листья морошки	5,86	1,3	1,82	1,8	0,05	4,6	0,23	—	311	8,8
	7,45		3,36		0,23		0		2750	

Примечание. Здесь и в табл. 2: прочерк — нет превышения фоновых значений.

ми концентрациями тяжелых металлов и серы [17, 18]. Для эколого-геохимической оценки степени загрязнения верхних горизонтов торфяной залежи мы применили коэффициент техногенной концентрации химического элемента K_c , который характеризует степень его концентрирования в исследуемом объекте (в зоне загрязнения) относительно фоновое содержание в компонентах ландшафта [19] и рассчитан по формуле

$$K_c = C_i / C_{\text{ф}}$$

где C_i — концентрация i -го химического элемента в исследуемом объекте; $C_{\text{ф}}$ — фоновое содержание элемента. Расчеты показали, что в поверхностном слое торфа (0–0,25 м) долинных болот — старичного и термокарстового, содержание меди превышает фон в 5,9–11,2 раза, никеля — в 6,2–18,4 раза (табл. 2). Концентрация кобальта и свинца ниже фона, а K_c серы равен 1,3–2,8. В нижележащем слое

Таблица 2

**Сравнительная оценка валового содержания тяжелых металлов и серы
в верхних горизонтах торфяной залежи болот ключевого участка Кета-Ирбо, мг/кг**

Глубина отбора образца, м	Cu	K_c	Ni	K_c	Co	K_c	Pb	K_c	S	K_c
Фон										
0–0,25	2,1	—	6,2	—	0,7	—	3,7	—	1728	—
0,25–0,5	1,3	—	5,0	—	1,9	—	1,0	—	1408	—
Старичное кустарничково-осоково-моховое болото										
0–0,25	23,6	11,2	18,4	2,9	0,9	1,5	0,021	—	4830	2,8
0,25–0,5	30,2	23,2	8,3	1,6	0,6	—	0,004	—	4020	2,8
Термокарстовое кустарничково-травяно-сфагновое болото										
0–0,25	12,4	5,9	6,2	—	0,6	—	0,006	—	2340	1,3
0,25–0,5	25,5	19,6	6,0	1,2	0,8	—	0,003	—	3670	2,6
Болото межгорных котловин травяно-кустарничковое										
0–0,25	56,9	27,1	40,2	6,5	8,7	12,4	0,1	—	4160	2,4
0,25–0,5	62,1	47,8	51,8	10,4	6,9	3,6	11,5	11,5	3970	2,8
Болото межгорных котловин кустарничково-мохово-лишайниковое										
0–0,25	60,4	28,8	35,6	5,7	4,9	7,0	7,8	2,1	3919	2,2
0,25–0,5	86,7	66,7	24,6	4,9	8,9	4,7	2,9	2,9	3338	2,4
Заболоченный березняк кочкарно-осоковый										
0–0,25	56,9	27,1	40,2	6,5	8,7	12,4	0,1	—	4160	2,4
0,25–0,5	62,1	47,8	51,8	10,4	6,9	3,6	11,5	11,5	3970	2,8

торфа (0,25–0,50 м) этих же болот превышение фона по меди еще выше: в 19,6–23,2 раза. Концентрация никеля превышает фон в 6–8,3 раза, а превышения по кобальту и свинцу нет. В торфах болота межгорных котловин и заболоченного березняка K_c всех поллютантов значительно выше фона. Так, в слое торфа 0–0,25 м K_c по меди равен 28,8–27,1; по никелю — 6,5–5,7; по кобальту — 7–12,4; по свинцу — 2,1 и по сере — 2,2–2,4. В слое торфа 0,25–0,50 м превышение еще выше: K_c по меди — 66,7–47,8; по никелю — 4,9–10,4; по кобальту — 4,7–3,6; по свинцу — 2,9–11,5. Превышение фона по сере не увеличилось, $K_c = 2,4–2,8$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам маршрутно-полевых исследований установлено, что болота в долине р. Кета-Ирбо относятся преимущественно к низинному типу, лесо-топяному или топяному подтипу. Основными растениями-торфообразователями болот являются осоки и гипновые мхи. Торф характеризуется кислой реакцией среды и низкой степенью разложения.

Диагностика степени загрязнения растений-индикаторов болот ключевого участка по сравнению с фоном показала превышение концентраций по всем элементам, кроме Pb. Максимальным уровнем аккумуляции Cu, Ni и S характеризуются зеленые мхи, произрастающие в сильно увлажненных мочажинах болот. Минимальной концентрацией Cu и Ni отличаются листья морошки. Однако в них кратность превышения по Co составляет 4,6, а по S — 8,8 раза.

Оценка уровня загрязнения торфяной залежи болот свидетельствует о том, что они концентрируют тяжелые металлы и серу по-разному. На наш взгляд, это связано с различным геоморфологическим залеганием болот по рельефу, их разным гидротермическим режимом и типом фитоценоза. Установлено, что содержание Cu, Ni, Co и S в поверхностных горизонтах торфяной залежи болот, находящихся в долине р. Кета-Ирбо (старичное и термокарстовое), значительно ниже, чем в аналогичных горизонтах залежи болота межгорных котловин и заболоченного березняка. Это можно объяснить тем, что болота, расположенные в долине реки, являются проточными. Кроме того, в летний период их торфяная залежь оттаивает на всю глубину профиля и часть загрязняющих элементов мигрирует с водами тающей мерзлоты. Высокий уровень загрязнения верхних слоев торфяной залежи болота межгорных котловин Cu, Ni и Co объясняется тем, что наветренные склоны гор служат барьером по отношению к воздушным массам, в результате чего эти элементы локально накапливаются в почве. Кроме того, непромывной водный режим и почти круглогодичное пребывание болот в мерзлом состоянии исключает вероятность выноса загрязняющих веществ за пределы торфяной толщи. Значительные превышения концентраций элементов-загрязнителей над фоном (особенно по Cu) в торфяной залежи заболоченного березняка, вероятно, обусловлены дополнительным их поступлением с опадом, а также вымыванием из растительного полога.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schulze E.-D. Air pollution and forest decline in a spruce (*Picea abies*) forest // Science. — 1989. — N 244. — P. 776–783.
2. Siversten B., Makarova T., Hagen L.O., Baklanov A.A. Air Pollution in the Border Areas of Norway and Russia. — Oslo: Norwegian Institute for Air Research, 1992. — 14 p.
3. Ершов Ю.И. Почвы предтундровых лесов Енисейского Заполярья, подверженные аэропромышленным выбросам серы // География и природ. ресурсы. — 1992. — № 1. — С. 33–39.
4. Ершов Ю.И. Эколого-геохимическая оценка мерзлотных почв Среднесибирского плоскогорья // Сиб. экол. журн. — 2014. — № 6. — С. 975–968.
5. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П. Эколого-геохимическая оценка уровней загрязнения тяжелыми металлами и серой бугристых торфяников юга Таймыра // Сиб. экол. журн. — 2014. — № 6. — С. 965–974.
6. Телятников М.Ю., Пристяжнюк С.А. Антропогенное влияние предприятий Норильского промышленного района на растительный покров тундры и лесотундры // Сиб. экол. журн. — 2014. — № 6. — С. 903–922.
7. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. — СПб.: Мир и семья, 1995. — 990 с.
8. Савич-Любичкая Л.И., Смирнова З.Н. Определитель листостебельных мхов СССР. Верхоплодные мхи. — Л.: Наука, 1970. — 824 с.
9. Савич-Любичкая Л.И., Смирнова З.Н. Определитель сфагновых мхов СССР. — Л.: Наука, 1968. — 112 с.
10. ГОСТ 28245–89. Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения торфа. — М.: Стандартинформ, 1989. — 9 с.

11. ГОСТ 11306–2013. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. — М.: Стандартинформ, 2014. — 8 с.
12. ГОСТ 24701–2013. Торф и продукты его переработки. Методы определения плотности. — М.: Стандартинформ, 2014. — 11 с.
13. Пьявченко Н.И. Степень разложения торфа и методы ее определения. — Красноярск: Изд-во Ин-та леса и древесины СО АН СССР, 1963. — 55 с.
14. Кац Н.Я., Кац С.В., Скобеева Е.И. Атлас растительных остатков в торфах. — М.: Недра, 1977. — 371 с.
15. Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения. — М.: Недра, 1976. — 488 с.
16. Кутенков С.А. Компьютерная программа для построения стратиграфической диаграммы состава торфа KORPI // Труды Карел. науч. центра РАН, 2013. — № 6. — С. 171–176.
17. Арманд А.Д., Кайданова В.В., Кушнарёва Г.В., Добродеев В.Г. Определение пределов устойчивости геосистем на примере окрестностей Мончегорского металлургического комбината // Изв. АН. Сер. геогр. — 1991. — № 1. — С. 93–104.
18. Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах севера в условиях аэротехногенного загрязнения. — Апатиты: Изд-во Кольск. науч. центра РАН, 1996. — Ч. 1. — 213 с.; Ч. 2. — 192 с.
19. Сагт Ю.Е., Ревич Е.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1990. — 335 с.

Поступила в редакцию 26 февраля 2016 г.
