

Современное состояние торфяной залежи болот лесотундровой подзоны Красноярского края и геохимическая оценка ее загрязнения

Л. В. КАРПЕНКО

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28
E-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru*

АННОТАЦИЯ

Исследовано современное состояние торфяной залежи болотных экосистем в зоне факела выбросов Норильского промышленного района. На основании визуального обследования и анализа физико-химических и геохимических свойств торфа установлено, что болота на четырех ключевых участках, удаленных от источника выбросов более чем на 80 км, мало подвержены антропогенным воздействиям и вполне соответствуют зональным. Болота, расположенные на расстоянии 45 км от Норильска, подверглись сильному техногенному прессу.

Ключевые слова: тяжелые металлы и сера, болото, торфяная залежь, фоновое содержание микроэлементов, аэротехногенные поллютанты, деградация гидроморфных экосистем.

Болота являются одним из наиболее значимых ландшафтов лесотундры и северной тайги Средней Сибири. В криолитозоне Таймырского национального округа (НО) они занимают около 24 % территории и широко распространены в долинах рек Норило-Пясинской водной системы. Несмотря на проводившиеся ранее исследования, они до настоящего времени остаются слабо изученными. Поэтому оценка их современного состояния и региональных особенностей развития, а также реакции болот на техногенные загрязнения является актуальной.

Нами в составе комплексного отряда Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН в рамках хоздоговора № 225-04/Н проводились полевые экспедиционные работы по обследованию болотных экосистем в зоне воздействия предприятий Норильского промышленного района (НПР). Целью обследования являлась комплексная оценка экологического состояния

болотных экосистем, расположенных на фоновых территориях и в зоне факела выбросов.

Детальное описание растительности болот, экологическая оценка степени ее повреждения на ключевых участках (кл. уч.), разноудаленных от источника выбросов (“Черная”, “Горбиачин”, “Тукаланда”, “Кета-Ирбо” и “Рыбная”), приведена в работе Карпенко с соавт. [2012]. Цель настоящей статьи – оценить современное состояние торфяной залежи болот разного типа и генезиса на ключевых участках, определить уровень загрязнения торфа медью, никелем, кобальтом, свинцом и серой, основными аэротехногенными поллютантами НПР.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись болота в пределах ключевых участков, расположенных в долинах рек Черная, Горбиачин, Ту-

Местонахождение и краткая характеристика исследованных болот

Название ключевого участка	Географические координаты	Удаленность от источника выбросов, км; направление	Болотные комплексы	Мощность торфяной залежи, м
“Черная”	67°22′ с. ш., 86°47′ в. д.	240; юго-запад	Болотные мерзлые плоскобугристые мезо-олиготрофные	1,2–3,5
“Горбиачин”	67°30′ с. ш., 88°18′ в. д.	210; юг	Болотные талые олиго-мезотрофные грядово-мочажинные и евтрофные мочажинные	0,4–1,0
“Тукаланда”	68°24′ с. ш., 88°18′ в. д.	110; юго-запад	Болотные талые олиго-мезотрофные грядово-мочажинные	0,7–1,3
“Кета-Ирбо”	68°52′ с. ш., 89°45′ в. д.	80; юго-восток	Болотные талые мезо-евтрофные кустарниково-осоково-моховые речных долин	1,75–3,0
“Рыбная”	69°07′ с. ш., 88°49′ в. д.	45; юг	Горно-тундровые евтрофные Тундрово-болотные мерзлые евтрофные осоково-пушицево-зеленомошные	0,6–1,1 0,3–0,7

каланда, Кета-Ирбо и Рыбная, поэтому они носят такие же условные названия. В табл. 1 приводится краткая характеристика объектов исследования.

Для оценки современного состояния торфяной залежи болот ключевого участка и определения ее общетехнических свойств в доминирующих фитоценозах закладывались почвенные разрезы. На всю глубину органического горизонта с интервалом 5–10 см отбирались образцы торфа для определения ботанического состава, степени разложения и физико-химических свойств: влажности, зольности, объемного веса, кислотности. Анализ проведен в соответствии с методиками, применяемыми в болотоведении.

Часть собранного материала – 32 образца оцеса и торфа – проанализированы на содержание в них валовых форм тяжелых металлов – меди, никеля, кобальта и свинца, а также серы. Анализы проведены в сертифицированной лаборатории Института биофизики СО РАН (г. Красноярск) с использованием метода атомно-абсорбционной спектрометрии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Краткая характеристика современного состояния торфяной залежи болот ключевых участков и ее качественная характеристика. В подзоне северной тайги и лесотундры Средней Сибири в настоящее время

наиболее широко распространены низинные и верховые болота. Мощность торфяной залежи таких болот варьирует от 0,5 до 3,0 м. Глубина сезонно-талого слоя колеблется от 0,25 до 1,0 м.

Ключевой участок “Черная” расположен в низовьях р. Черной, левобережного притока Енисея, на контакте подзон северной тайги и лесотундры. Он находится на расстоянии около 240 км на юго-запад от источника промышленных выбросов. Здесь болота занимают около 30 % поверхности территории, располагаются в основном на плоских (с уклонами менее 1°) и слабодренированных надпойменных террасах Енисея, где представлены мерзлотно-бугристыми тундрово-болотными комплексами и лесными рединами (зачастую также мерзлотно-бугристыми). Геоботаническое исследование растительности болот и визуальная оценка состояния торфяной залежи ключевого участка не выявили каких-либо признаков влияния аэротехногенных поллютантов на гидроморфные экосистемы, поэтому этот ключевой участок отнесен нами к фоновому [Карпенко и др., 2012].

Микрорельеф бугристых тундрово-болотных комплексов, расположенных на плосковогнутых террасах р. Черной, представлен уплотненными мерзлыми буграми высотой до 2,5–3,0 м, которые чередуются с термокарстовыми мокрыми западинами, ложбинами и озерами. Мощность бугристых торфяников,

зафиксированная на береговых обнажениях озер, составляет от 0,5 до 4,0 м. Поверхность бугров покрыта морозобойными трещинами, вследствие чего появляется резко дифференцированный нанорельеф. По вершинам положительных нанорельефов рассеяны пятна обнаженного деградирующего торфа, на долю которого приходится до 5 % площади. Растительность бугров в целом носит тундровый облик и занята олиготрофной кустарничково-сфагново-лишайниковой группировкой. Понижения между буграми заняты микроозерами термокарстового происхождения и сильно увлажненными мочажинами. Здесь доминирует кустарничково-мохово-травянистая группировка растительности.

Мощность торфяника в стенке обнажения берега озера составила 4,0 м. Торфяная залежь смешанная. Нижняя и средняя ее части образованы низинными видами торфа: в основании – древесно-травяным, в средней части – травяным, хвощевым и древесным. Верхняя часть мощностью 0,65 м целиком сложена фускум-торфом.

Качественная характеристика торфяной залежи, вскрытая разрезом, следующая. Степень разложения торфа в верхних слоях варьирует от 5 до 10 %. В средних слоях залежи эта величина равна 20–25 %, а к низу резко возрастает и составляет 35–40 %. Влажность торфа по слоям колеблется в широких пределах – от 80 % вверху до 97,5 в основании залежи. Зольность торфа верхней части залежи, образованная фускум-торфом, составляет 2,0–3,7 %. В горизонтах, сложенных древесным торфом, она варьирует от 5,6 до 8,2 %. Кислотность торфов от поверхности залежи до ее основания изменяется слабо и колеблется от 2,9 до 4,0.

Ключевой участок “Горбиачин” расположен в наиболее возвышенной и глубоко расчлененной юго-западной части плато Путорана, в подзоне горных лесотундр. Удаленность от источника выбросов – 210 км на юг. Доля болот на этом кл. уч. незначительна. Небольшие мелкоконтурные болота расположены преимущественно по берегам крупных рек или вокруг термокарстовых озер межгорных котловин.

Обследованы два гидроморфных участка. Первый представляет собой заболоченный

лиственничник кустарничково-разнотравно-моховый. Моховые подушки и приствольные торфяные бугры образованы сфагновыми мхами, и только в нижней их части находится плохо разложившийся древесно-гипновый низинный торф. Мощность моховых бугров и подушек – 0,2 м. А в мочажинах торфа нет совсем или слой его маломощный – около 0,03–0,05 м.

Второй гидроморфный участок представлен бугорково-мочажинно-озерковым комплексом. Здесь на низких грядах и бугорках развита мезотрофная багульниково-сфагново-лишайниковая, а в мочажинах – евтрофная кустарничково-травяная группировка растительности. Мощность торфа под грядами – 0,8–1,0 м, а в мочажинах 0,4 м. Ниже – мерзлота. В центре болотного массива находится термокарстовое озеро, вокруг которого расположены плоские торфяные бугры. В условиях естественного дренажа эти бугры подверглись пересыханию, поэтому они плотные, сухие, с сильно растрескавшейся поверхностью. Мощность сезонно-талого слоя торфа здесь составляет 1,0 м. Ниже – льдистая мерзлота.

Ботанический анализ торфяной залежи в обнажении берега озера показал, что она по всему профилю низинная, придонные слои образованы древесно-сфагновыми и древесно-осоковыми видами торфа. Средняя и верхняя ее части слагаются сфагновыми и гипновыми торфами.

Качественная характеристика торфяной залежи, вскрытая разрезом, следующая. Степень разложения торфа в верхних слоях слабая, 4,8–5,0 %, к низу заметно увеличивается и составляет 22–36 %. Влажность торфа по слоям колеблется в широких пределах – от 80,7 до 67,3 %, уменьшаясь к основанию залежи. Зольность торфа в верхних слоях залежи варьирует от 4,1 до 8,7 %, в нижних – от 14,8 до 16,0 %. Торфяная залежь в ее основании сильно минерализована, и величина зольности здесь приближается к 20 %. Кислотность торфов в большинстве своем соответствует или несколько выше величины, характерной для данных видов – 3,7–5,8.

Ключевой участок “Тукаланда” расположен в бассейне р. Хантайки, с севера ограничен хребтом Лонтокойский камень, а с востока – горным массивом плато Путорана.

В ботанико-географическом отношении это подзона северной тайги. Удаленность от источника выбросов – 110 км на юго-запад.

Долина р. Тукаланды сильно заболочена. Исследовано болото общей площадью около 10 000 га, которое представлено грядово-мочажинно-озерковым комплексом. Древесный ярус и подрост на болоте отсутствуют. Растительный покров на грядах и буграх образован олиготрофной кустарничково-сфагновой, преимущественно фускум-группировкой, в мочажинах – мезо-евтрофной травяно-гипновой. Мощность сезонно-талого слоя торфяной залежи на болоте варьирует от 0,6 до 0,9 м.

В северной части болота в единственном числе расположен реликтовый плоский торфяной бугор, возвышающийся над поверхностью примерно на 2 м. В настоящее время торфообразование здесь полностью прекратилось, о чем свидетельствует верхний слой торфяника, который представлен хорошо разложившимся мертвым моховым очесом, редко пронизанным корнями кустарничков. Этот горизонт тесно не связан с нижележащим торфом и легко снимается руками. Торф светло-коричневого цвета землисто-порошковой структуры, сильно минерализован и засорен остатками болотных кустарничков. Мощность торфяной залежи – 1,1 м, в основании бугра – мерзлота.

В пяти доминирующих фитоценозах болота и в зачищенной стенке плоского реликтового торфяного бугра мы заложили почвенные разрезы и отобрали образцы. Торфяная залежь болота относится к смешанному типу. Нижняя ее часть образована низинным древесно-травяными торфом, средняя и верхняя ее части сформированы фускум-торфом. Отличительной особенностью торфяной залежи гряд болота является то, что под разными растительными группировками она сверху вниз сложена в основном одинаковыми или близкими видами торфа – сфагновым, пушицевым, древесно-гипновым.

Ботанический состав торфяной залежи плоского бугра значительно отличается от такового торфяных гряд болотного массива. Здесь она на всю глубину сложена низинными осоковым, травяным, древесно-травяным и древесным видами торфа. Общетехнические свойства торфяной залежи болота и ре-

ликтового бугра описаны ранее [Карпенко, 2006].

Ключевой участок “Кета-Ирбо” расположен в западных отрогах плато Путорана, на границе с низменными озерными равнинами Норильской котловины, в долине р. Кета-Ирбо, с северо-востока впадающей в оз. Кета. Удаленность от промышленного центра составляет 80 км на юго-восток. Промышленные смоги, обтекая горные хребты плато Путорана, проникают глубоко внутрь горных систем по долинам рек, впадающих в оз. Кета.

В ботанико-географическом отношении это подзона лесотундр и северной тайги. Болотообразование здесь протекает в слабопроточных озерных депрессиях и идет по пути заторфовывания в условиях богатого водно-минерального питания. Болота в основном мелкоконтурные, но глубокозалежные, торфяная залежь на всю глубину талая. На седловинах плато Путорана на высоте около 320 м встречаются горно-тундровые мерзлые болота, занятые евтрофными травяно-моховыми фитоценозами.

Проанализированы образцы из трех болот. Первое залегает на правом берегу р. Кета-Ирбо, на предгорном участке озерно-гривистой равнины ледникового генезиса. Оно расположено в вогнутой термокарстовой западине, на днище долины древнего стока между минеральными буграми. Уровень грунтовых вод находится на поверхности. Нанорельеф носит фитогенный характер и образован моховыми грядами, на которых развита кустарничково-моховая группировка растительности и сильно увлажненными осоково-гипновыми мочажинами.

Мощность торфяной залежи – 2 м. Болото озерного происхождения, о чем свидетельствует залегающий в ее основании (2,0–1,5 м) сапропель сероватого цвета с примесью остатков высших водных растений: топяных осок, хвоща, сабельника и др. В сапропеле встречены остатки диатомовых водорослей и печеночных мхов. Выше залежь на всю глубину сложена низинными видами торфа: 1,5–0,5 м – травяно-гипновым, 0,5–0,25 м – осоковым. Очес (0,25–0) м образован гипновыми мхами.

Второе болото расположено на левом берегу р. Кета-Ирбо в слабо проточной озер-

ной депрессии. Тип болотного фитоценоза – грядово-мелкомочажинный комплекс. В центре болотного массива расположено термокарстовое озеро с глубиной около 1,5 м. На грядах произрастает кустарничково-сфагновая растительная группировка, а в мочажинах – осоково-гипновая. В некоторых мочажинах большую площадь занимают пятна черного “голового” торфа, свидетельствующие о начале деградации мохового покрова мочажин. Мощность торфяной залежи – 3 м. По всему профилю она сложена низинными видами торфа, среди которых доминируют травяные и осоковые.

Третий объект исследований – горно-тундровое болото, которое представлено плоскобугристым комплексом. На буграх доминирующей растительной группировкой является ерниково-шикшево-сфагновая. Межбугорные понижения, как правило, талые. Растительность в них образована гипново-пушицевой группировкой. Торфяная залежь мерзлых плоскобугристых комплексов сильно деградирована. Торф имеет слоистую органоминеральную структуру, крошится до состояния пыли, характеризуется большим количеством рыжих и белесых пятен на поверхности структурных отдельностей. Залежь мерзлая по всему профилю, ее мощность варьирует от 0,6 до 1,0 м. Она преимущественно лесо-топяного подтипа и представлена от основания к верху залежи следующими видами торфа: хвощевым, древесно-травяным, осоковым, гипновым, травяно-гипновым, древесным.

Качественная характеристика торфяной залежи болот кл. уч. “Кета-Ирбо”, расположенных в озерных депрессиях, следующая. Влажность торфов высокая и колеблется от 75,6 до 84,8 %. Степень разложения торфа варьирует от низкой до средней (8,8–18,0 %), что связано с промерзанием залежи (8 месяцев в году) и замедленным процессом разложения торфа. Наибольшая величина зольности характерна для поверхностных горизонтов залежи (10,9–12,0 %). Это объясняется тем, что торфяники расположены в слабoproточных озерных депрессиях и являются приемниками снежных и дождевых сильно обогащенных мелкоземом осадков, стекающих с горных склонов плато Путорана. Высокая зольность торфа придонных горизонтов (16,5–20,8 %) объясняется привнесением и

отложением на дне болот делювия в начальном этапе их образования. Кислотность, как водная, так и солевая, мало варьирует по профилю и колеблется в следующих пределах: $pH_{\text{водн}}$ – от 5,9 до 5,1; $pH_{\text{сол}}$ – от 4,8 до 4,2.

Визуальное обследование торфяной залежи болот на кл. уч. “Черная”, “Горбиачин”, “Тукаланда” и “Кета-Ирбо” и анализ общетехнических свойств торфов, ее слагающих, свидетельствуют о том, что современное состояние болот и их залежей соответствует зональным признакам и мало подвержено техногенным воздействиям НПП.

Ключевой участок “Рыбная” расположен на редколесно-тундрово-болотной ледниковой равнине, по которой протекает р. Рыбная. Удаленность от источника выбросов составляет 45 км в южном направлении.

В ботанико-географическом отношении это подзона равнинных лесотундр. На этом участке повсеместно распространена мерзлота, залегающая на глубине в среднем 0,5–0,6 м и играющая роль водоупора. По причине ослабленной дренированности территории характерными элементами ландшафта являются мерзлые мохово-лишайниковые болота, образующие обширные комплексы с тундрами и лесными редианами.

Объектом наших исследований являлось низинное травяно-моховое болото, залегающее на первой надпойменной террасе р. Рыбной в неглубокой водораздельной депрессии. Микрорельеф образуют плоские бугры с мерзлым минеральным ядром, покрытые сверху торфом мощностью 0,2–0,3 м. Они возвышаются над поверхностью болота на 2,0–2,5 м и занимают не более 5 % площади. На деградированные торфяные бугры и кочки приходится 15–20 % поверхности, на избыточно увлажненные и с открытой водной поверхностью мочажины – 40 %, на сухие деградированные мочажины (“голый” торф) – 10 % поверхности. Важным элементом микрорельефа являются многочисленные термокарстовые озера, занимающие до 30 % поверхности. Они различны по площади и глубине. Мощность сезонно-талого слоя торфяной залежи болота не превышает 0,5 м.

Визуальная оценка современного состояния болота показала, что растительность и торфяная залежь подверглись сильному техногенному прессу [Карпенко и др., 2012]. Так,

из растительного покрова полностью выпали лиственница, кустарничковая береза, ивы, сфагновые мхи и лишайники, значительно поражен листовой аппарат морошки. Токсический эффект проявился и в изменении структуры растительного покрова мерзлых бугров пучения – здесь широкое развитие получили не свойственные гидроморфным ландшафтам злаковые группировки.

Торф на грядах и буграх, лишенный естественной растительности, сильно минерализован, засорен древесными остатками отмерших болотных кустарничков и лиственницы. Он сухой, имеет слоистую структуру, слабо связан с нижележащим слоем. Также происходит интенсивное разрушение торфа в мочажинах, о чем свидетельствуют пятна “голового” торфа.

Проанализированы образцы торфа из пяти доминирующих элементов нанорельефа болота, описанных выше. Ботанический анализ торфа показал, что залежь болота – низинного типа. В ее основании залегают древесно-травяной и древесно-осоковый виды торфа, средние и верхние слои залежи сложены гипновым и осоковым торфами.

Общетехнические свойства торфяной залежи следующие. Влажность торфов варьирует слабо – 78,5–89,1 %, увеличиваясь с глубиной залежи. Степень разложения низкая и колеблется по слоям от 3 до 17 %. Визуально торф похож на минеральную почву и отличается повышенной зольностью – от 12,5 до 36,5 %, а следовательно, и высоким объемным весом – 0,45–0,90 г/см³. Кислот-

ность торфа сильно варьирует в зависимости от места отбора образцов (гряда, мочажина, пятно “голового торфа” и т. д.): рН_{водн} 3,3–5,8 и рН_{сол} 3,0–4,6.

Сравнительная оценка содержания тяжелых металлов и серы в торфах болот ключевых участков. Как отмечали П. В. Елпатьевский [1993], Siversten с соавт. [1992], современные технологии переработки медно-никелевых руд предприятиями НПП способствуют формированию на прилегающих экосистемах техногенной аномалии с высокими концентрациями тяжелых металлов и сернокислотных компонентов в почве и растительном покрове.

Так как на данный момент мы не располагаем сведениями о ПДК тяжелых металлов в болотных торфяных почвах исследованной территории, в качестве фоновых значений принято содержание их в торфогенном слое (далее моховом очесе) и торфе болота кл. уч. “Черная”. Однако прежде чем перейти к характеристике содержания тяжелых металлов в торфяных почвах, мы остановимся на сравнительной оценке содержания кларков исследованных микроэлементов в литосфере [Виноградов, 1957], почвообразующих породах бассейна р. Хантайки – ледниковых и моренных суглинках – как района, наиболее приближенного к нашим исследованиям, и торфах [Краснощеков, 1999]. Данные приведены в табл. 2.

Как следует из таблицы, ледниковые моренные суглинки Приенисейской Сибири несколько обогащены медью, никеля содержат меньше, а содержание кобальта и свинца

Т а б л и ц а 2

Кларк литосферы, содержание микроэлементов в ледниковых моренных суглинках Приенисейской Сибири и торфах болот ключевых участков, мг/кг

Элемент	Кларк литосферы	Ледниковые и моренные суглинки	Торф, ключевой участок				
			“Черная”	“Горбичин”	“Тукаланда”	“Кета-Ирбо”	“Рыбная”
Cu	47,0	50,0	0,9	47,0	2,4	25,5*	37,2
						85,1	705,3
Ni	58,0	42,0	3,3	16,0	1,4	6,0	42,9
						35,6	1641,0
Co	18,0	18,0	1,3	3,1	2,5	0,6	11,2
						10,1	38,2
Pb	16,0	15,0	0,4	0,4	0,2	0,004	7,6
						7,8	23,7

П р и м е ч а н и е. В числителе минимальное, в знаменателе – максимальное содержания элемента.

близко кларку литосферы. А в торфах болот, расположенных на кл. уч., концентрация микроэлементов относительно ледниковых моренных суглинков следующая. Содержание всех исследованных микроэлементов в торфе болота кл. уч. “Черная” значительно ниже их нахождения в моренных суглинках. Содержание меди в торфах болот кл. уч. “Горбиачин” близко к средней концентрации ее в почвообразующей породе, на кл. уч. “Тукаланда” они сильно обеднены медью (меньше, чем в породе, в 20,8 раза), в торфах болот кл. уч. “Кета-Ирбо” ее содержание в 1,7, а на кл. уч. “Рыбная” – в 14,0 раз выше ее содержания в породе. Содержание никеля и кобальта в торфе болот кл. уч. “Черная”, “Горбиачин”, “Тукаланда” и “Кета-Ирбо” значительно ниже, чем в породе. А в торфе болота кл. уч. “Рыбная” концентрация никеля в 39,0, а кобальта – 2,1 раза превышает их среднее содержание в породах. Превышение содержания свинца в торфе по отношению к породе в 1,6 раза отмечается только на кл. уч. “Рыбная”.

Валовое содержание исследованных элементов в торфогенном (очесе) и верхнем горизонте болотных торфяных почв кл. уч. приведено в табл. 3 и на рис. 1.

Далее, основываясь на данных табл. 3, проведем сравнительный анализ содержания тяжелых металлов в очесе и торфе болот, расположенных на ключевых участках. Фоном, как отмечалось ранее, послужило содержание поллютантов в очесе и торфе болота кл. уч. “Черная”. В качестве показателя степени загрязнения мы применили коэффициент концентрации загрязнения (ККЗ), который вычисляется по формуле:

$$\text{ККЗ}_i = x_i / x_{\text{ф}},$$

где ККЗ_i – коэффициент концентрации загрязнения для i -го вещества; x_i – содержание i -го загрязняющего вещества; $x_{\text{ф}}$ – фоновое содержание этого вещества.

ККЗ верхних горизонтов торфяных почв тяжелыми металлами приведен в табл. 4.

Рассмотрим сначала ККЗ торфогенного горизонта почв на исследованных болотах. ККЗ медью этого горизонта на кл. уч. “Горбиачин”, “Тукаланда”, “Кета-Ирбо” и “Рыбная” равен 4,4; 8,3; 11,2–5,9 и 414,0–58,0 соответственно; ККЗ никелем значительно превышает фон только на кл. уч. “Кета-Ирбо” (в

15,7 раза) и на кл. уч. “Рыбная” (от 2,9 до 220,3 раза в зависимости от места отбора образца). ККЗ кобальтом очеса болот кл. уч. “Горбиачин”, “Тукаланда” и “Рыбная” равен соответственно 3,4; 4,5 и 69,5–22,2. А на болотах кл. уч. “Кета-Ирбо” содержание кобальта в этом горизонте близко фону. ККЗ свинцом торфогенных горизонтов исследованных болотных почв следующее: на кл. уч. “Горбиачин” и “Тукаланда” его концентрация близка фону, на кл. уч. “Кета-Ирбо” – значительно ниже фона, а на кл. уч. “Рыбная” ККЗ превышает фон от 2,3 до 4,9 раза. Закономерность накопления тяжелых металлов торфами несколько иная.

Медь. В верхних горизонтах болотных торфяных почв кл. уч. “Горбиачин” довольно высокая концентрация меди – 46,9 мг/кг, а ККЗ относительно фона равен 52,0. В торфах кл. уч. “Тукаланда” содержание меди превышает фон в 2,6 раза. На кл. уч. “Кета-Ирбо” ККЗ в торфах долинных болот равен 33,5, а в горно-тундровом болоте – 94,5. В торфе болота на кл. уч. “Рыбная” это превышение еще выше, и ККЗ здесь варьирует от 41,3 до 783,3.

Никель. Содержание никеля в верхнем горизонте торфяных почв подвержено следующей закономерности: на кл. уч. “Тукаланда” ниже фона, на кл. уч. “Горбиачин” ККЗ равен 4,8. На кл. уч. “Кета-Ирбо” в торфах долинных болот ККЗ равен 1,8, а в горно-тундровом торфянике – 10,8. На кл. уч. “Рыбная” ККЗ торфов, отобранных на анализ в различных элементах нанорельефа, колеблется от 13,0 до 182,0.

Кобальт. ККЗ кобальтом торфов кл. уч. “Горбиачин” и “Тукаланда” почти в два раза превышает фон. Торф долинных болот кл. уч. “Кета-Ирбо” не загрязнен этим элементом, а ККЗ торфа горно-тундрового болота равен 7,8. ККЗ торфов кл. уч. “Рыбная” варьирует от 3,3 до 29,3, в зависимости от места отбора образца торфа.

Свинец. Содержание свинца в торфе болот кл. уч. “Горбиачин”, “Тукаланда” и “Кета-Ирбо” (долинные болота) ниже фона. ККЗ свинцом торфа горно-тундрового болота составляет 28,7. ККЗ торфов на кл. уч. “Рыбная” варьирует от 3,5 до 59,2.

Заканчивая сравнительную оценку содержания тяжелых металлов в верхних горизон-

Валовое содержание тяжелых металлов и серы в верхних горизонтах торфяных почв болот ключевых участков, мг/кг

Гидроморфные комплексы (место отбора образцов)	Образец	Глубина, см	Cu	Ni	Co	Pb	S
Ключевой участок "Черная"							
Термокарстовое олиготрофное кустарничково-сфагновое болото (крупнобугристый комплекс)	Очес	3-5	2,1	6,2	0,7	3,7	1728,0
	Торф	5-22	0,9	3,3	1,3	0,4	1138,0
Ключевой участок "Горбичин"							
Олиго-мезотрофный грядово-мочажинный (обнажение берега термокарстового озера)	Очес	0-8	9,3	7,3	2,4	5,6	1530,0
	Торф	8-12	47,0	16,0	3,1	0,4	3980,0
Ключевой участок "Тукаланда"							
Олиго-мезотрофный грядово-мочажинный (сфагновая гряда)	Очес	0-10	17,4	11,7	2,1	4,8	146,0
		10-20	16,9	11,0	2,7	8,3	123,0
Олиго-мезотрофный грядово-мочажинный (плоский торфяный бугор)	Очес	0-10	3,9	1,4	3,2	0,4	4913,0
	Торф	10-20	2,4	1,4	2,5	0,2	5716,0
Ключевой участок "Кета-Ирбо"							
Правый берег р. Кета-Ирбо, мезо-евтрофное кустарничково-осоково-моховое болото	Очес	0-25	23,6	18,4	0,9	0,0	4830,0
	Торф	25-50	30,2	8,3	0,6	0,0	4020,0
Левый берег р. Кета-Ирбо, мезо-евтрофное кустарничково-осоково-моховое болото	Очес	0-25	12,4	6,2	0,6	0,0	2340,0
	Торф	25-50	25,5	6,0	0,8	0,0	3670,0
Горно-гундровое болото	Торф	0-10	60,4	35,6	4,9	19,5	3919,0
	Торф	10-20	85,1	28,0	10,1	0,4	3123,0
Ключевой участок "Рыбная"							
Евтрофный осоково-пушицево-зеленомошный (пятно "голово" торфа)	Очес	0-5	869,5	1365,9	48,7	26,6	2936,0
	Торф	5-10	150,4	124,8	4,4	1,4	2160,0
Евтрофный осоково-пушицево-зеленомошный (начинающая деградировать мочажина)	Торф	0-10	705,3	1641,0	38,2	18,6	7300,0
	Торф	10-20	692,8	1209,4	28,5	12,0	7600,0
Евтрофный осоково-пушицево-зеленомошный (избыточно увлажненная мочажина)	Торф	0-10	610,9	1286,9	26,8	23,7	6270,0
	Торф	10-20	210,2	324,0	11,2	7,6	7470,0
Евтрофный осоково-пушицево-зеленомошный (сухая деградированная моховая гряда)	Очес	0-5	193,5	309,6	15,6	8,8	850,0
	Торф	5-10	314,9	505,3	14,5	12,9	150,0
Евтрофный осоково-пушицево-зеленомошный (плоские бугры с мерзлым минеральным ядром)	Очес	0-5	121,9	181,0	14,7	18,2	610,0
	Торф	5-10	37,2	42,9	14,5	11,9	2366,0

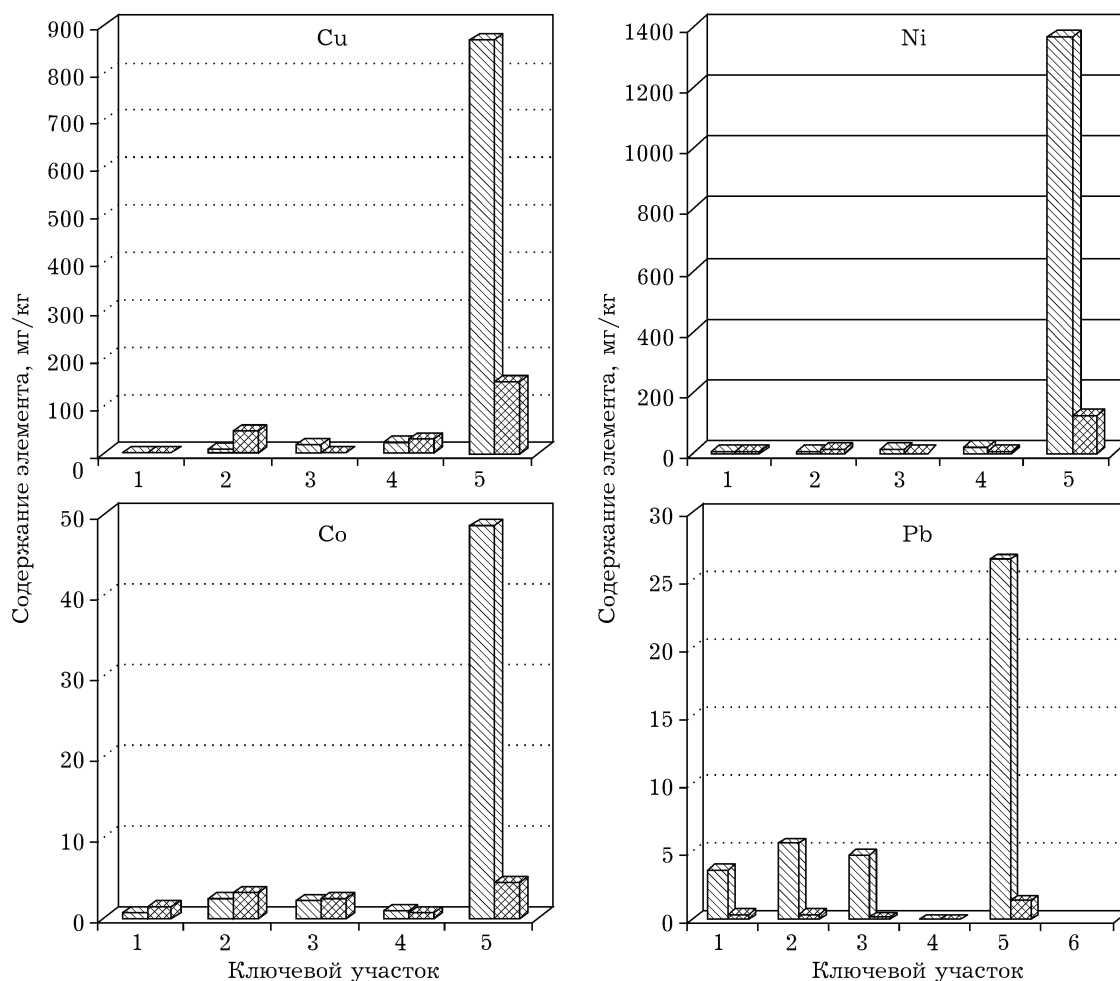


Рис. 1. Валовое содержание меди, никеля, кобальта и свинца в очесе (косая штриховка) и торфе (клетчатая штриховка) болот ключевых участков: 1 – “Черная”, 2 – “Горбиачин”, 3 – “Тукаланда”, 4 – “Кета-Ирбо”, 5 – “Рыбная” (пятно “голово” торфа)

тах торфяных почв исследованных болот, необходимо отметить, что оно почти по всем элементам превышает фон. Особенно сильным это превышение оказалось в торфяных почвах болота кл. уч. “Рыбная” (по меди и никелю – сотни, по кобальту и свинцу – в де-

сятки раз). Однако и здесь концентрация этих микроэлементов сильно колеблется в зависимости от местонахождения отбора образцов торфа. Например, первые четыре болотных микрокомплекса (см. табл. 3), несмотря на явные критические нагрузки, имеют отно-

Т а б л и ц а 4

Коэффициент концентрации загрязнений тяжелыми металлами очеса и торфа на болотах ключевых участков

Элементы	“Горбиачин”		“Тукаланда”		“Кета-Ирбо”		“Рыбная”	
	Очес	Торф	Очес	Торф	Очес	Торф	Очес	Торф
Cu	4,4	52,0	8,3	2,6	11,2–5,9	33,5–94,5	58,0–414,0	41,3–783,3
Ni	1,2	4,8	1,9	–	2,9	1,8–10,8	2,9–220,3	13,0–182,3
Co	3,4	2,4	4,5	1,9	1,2	7,8	22,2–69,5	3,3–29,3
Pb	1,5	–	1,2	–	–	28,7	2,3–4,9	3,5–59,2

П р и м е ч а н и е. Прочерк – содержание элемента ниже фонового.

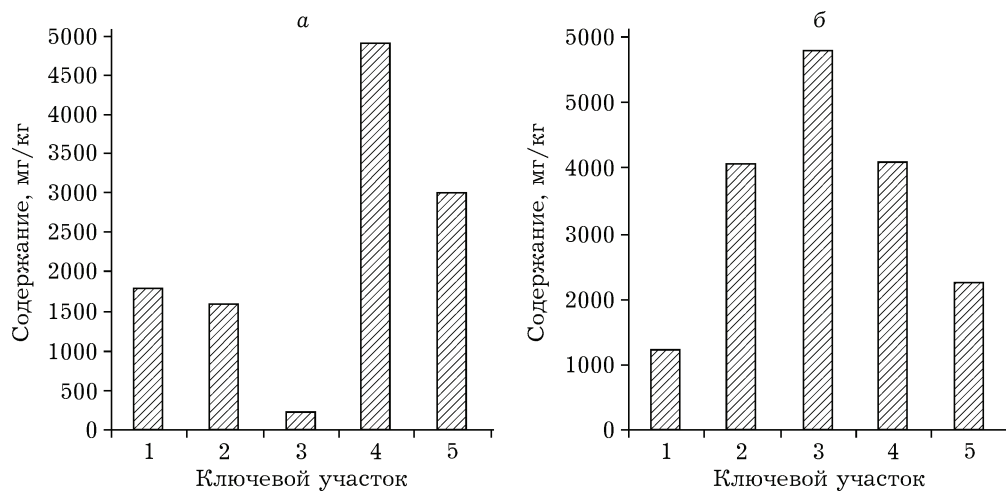


Рис. 2. Содержание валовой серы в очесе (а) и торфе (б) ключевых участков: 1 – “Черная”, 2 – “Горбиачин”, 3 – “Тукаланда”, 4 – “Кета-Ирбо”, 5 – “Рыбная” (пятно “голового” торфа)

сительно хорошее жизненное состояние гипновых мхов, а следовательно, и высокую поглощательную способность тяжелых металлов. Кроме того, мощность сезонно-талого слоя торфа здесь составляет 0,5 м. В торфяных почвах, слагающих верхний горизонт плоскобугристых комплексов, содержание поллютантов значительно ниже. Скорее всего, это связано с тем, что при деградации почв произошло разложение и распыление органического вещества торфа, что привело к снижению поглощательной способности и уменьшению накопления им тяжелых металлов.

Рассмотрим далее содержание серы в верхних горизонтах болотных торфяных почв ключевых участков. По имеющимся данным [Ершов, 1992; http://www.fil_nikel-report-bellona-2010.ru], около 95 % всех вредных газовых выбросов предприятий НПП прихо-

дится на SO_2 , а степень его утилизации не превышает 8 %. На рис. 2 показано содержание серы в торфогенном горизонте и торфе ключевых участков.

Из рисунка видно, что наибольшее количество серы содержится в очесе кл. уч. “Кета-Ирбо”, а в торфе на кл. уч. “Горбиачин”, “Тукаланда” и “Кета-Ирбо” ее концентрация значительно превышает фон и увеличивается по мере приближения к источнику загрязнений.

На основе данных табл. 3 проведем сравнительную оценку содержания валовой серы на исследованных кл. уч. с кларком почвы (850 мг/кг) и ее фоновым содержанием (кл. уч. “Черная”). Как следует из табл. 5, содержание валовой серы даже в фоновой точке превышает кларк как в очесе, так и в торфе (в 2,0 и 1,3 раза соответственно).

Т а б л и ц а 5

Превышение концентрации валовой серы в поверхностных горизонтах торфяных почв ключевых участков по сравнению с кларком почв и фоновым содержанием

Ключевые участки									
“Черная”		“Горбиачин”		“Тукаланда”		“Кета-Ирбо”		“Рыбная”	
Очес	Торф	Очес	Торф	Очес	Торф	Очес	Торф	Очес	Торф
2,0	1,3	1,8	4,7	*	*	2,7	3,6	*	2,5
–	–	*	*	5,8	6,7	5,6	4,7	3,4	8,9
–	–	*	*	*	*	1,3	2,7	*	1,8
–	–	–	3,4	2,8	5,0	2,8	3,5	1,7	6,7

П р и м е ч а н и е. * Ниже кларка и фона; в числителе – минимальное, в знаменателе – максимальное превышения.

На кл. уч. “Горбиачин”, удаленном от источника выбросов на 210 км, содержание серы в торфе довольно велико и превышает кларк в 4,7 раза. На кл. уч. “Тукаланда” содержание серы как в очесе, так и в торфе варьирует от нижекларкового значения до превышения его в 5,8 и 6,7 раз, соответственно в зависимости от места отбора образца. На кл. уч. “Кета-Ирбо” содержание серы как в очесе, так и в торфе выше кларка (см. табл. 5). И, наконец, содержание серы в очесе болота на кл. уч. “Рыбная” варьирует от нижекларкового значения до его превышения в 3,4 раза. А в торфе ее содержание превышает кларк в 2,5–8,9 раза.

Сравнение содержания валовой серы в очесе и торфе болот фоновой точки и на ключевых участках, разноудаленных от НПР, показало следующее. Концентрация серы в очесе болота кл. уч. “Горбиачин”, “Тукаланда” и “Рыбная” ниже или близка фону, на кл. уч. “Кета-Ирбо” эта величина в несколько раз выше фона. Тенденция накопления серы торфами совершенно иная. Ее содержание в поверхностных горизонтах торфяных почв всех ключевых участков превышает фон и это превышение варьирует от 3,4 до 6,7 раза. Особенно велико содержание серы в торфе кл. уч. “Кета-Ирбо”, где отмечается превышение над фоном в 2,7–3,5 раза. Концентрация серы в торфах кл. уч. “Рыбная”, в зависимости от места отбора образца (см. табл. 3), превышает фон от 1,8 до 6,7 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что, несмотря на превышение содержания тяжелых металлов и серы в очесе и торфе болот почти всех исследованных ключевых участков, однозначно говорить о негативном влиянии на них выбросов НПР нельзя. Растительный покров и торфяная залежь болот в пределах кл. уч. “Черная”, “Горбиачин”, “Тукаланда” и “Кета-Ирбо” (исключая горно-тундровое болото), находятся в своем естественном состоянии. Это можно объяснить следующим образом. Торфяные залежи являются активными геохимическими барьерами [Перельман, 1966; Лозановская и др., 1998; Инишева, Цыбукова, 1999]. Гумусовые кислоты

органического вещества торфа в условиях кислой реакции среды образуют комплексы почти со всеми поступающими в торф загрязняющими веществами. Торф, адсорбируя эти вещества, переводит их в малодоступное для растений состояние, очищая тем самым болотные воды и понижая концентрацию вредных веществ. Несомненно, что часть загрязняющих элементов мигрирует с водами тающей мерзлоты и грунтовыми потоками за пределы болот. Ранее при изучении болот, находящихся в зоне выбросов Мончегорского металлургического комбината (основные загрязнители – медь, никель, кобальт), установлено, что из-за накопленной полуразложившейся органики в них не отмечено видимых реакций на повышение антропогенного стресса [Арманд и др., 1991]. Именно этим и объясняется высокая жизнеспособность болотной растительности в ландшафтах, нарушенных в результате аэротехногенных выбросов.

Что касается торфяных почв болота кл. уч. “Рыбная”, то здесь максимальные концентрации загрязняющих элементов, как отмечалось выше, в сотни раз превышают фон по меди и никелю, в десятки раз – по кобальту и свинцу. Концентрация серы больше фоновых значений почти в семь раз. Поэтому даже если поступление аэротехногенных поллютантов будет прекращено, накопленный потенциал токсичности торфяных почв не позволит им восстановиться до фонового уровня.

Автор искренне благодарит коллег по полевым экспедиционным исследованиям: С. М. Горжанкину, А. С. Шишкина, В. Д. Перевозникову, В. И. Полякова.

ЛИТЕРАТУРА

- Арманд А. Д., Кайданова В. В., Кушнарера Г. В., Добродеев В. Г. Определение пределов устойчивости геосистем на примере окрестностей Мончегорского металлургического комбината // Изв. АН. Сер. геогр. 1991. № 1. С. 93–104.
- Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
- Елпатьевский П. В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных системах. М.: Наука, 1993. 253 с.
- Ершов Ю.И. Почвы предтундровых лесов Енисейского Заполярья, подверженные аэропромышленным выбросам серы // География и прир. ресурсы. 1992. № 1. С. 33–39.

- Инишева Л. И., Цыбукова Т. Н. Эколого-геохимическая оценка торфов юго-востока Западно-Сибирской равнины // Там же. 1999. № 1. С. 45–49.
- Карпенко Л. В. Строение, общетехнические свойства и эволюция торфяных почв в бассейне р. Хантайки // Сиб. экол. журн. 2006. № 3. С. 305–313.
- Краснощечков Ю. Н. Микроэлементы в криоземах предтундровых лесов Приенисейской Сибири // Почвоведение. 1999. № 12. С. 1455–1462.
- Лозановская И. Н., Орлов Д. С., Садовникова Л. К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высш. шк., 1998. 287 с.
- Мат-лы website [Электронный ресурс]: http://www.fil_nikel-report-bellona-2010.ru
- Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М.: Высш. шк., 1966. 392 с.
- Siversten B., Makarova T., Hagen L. O., Baklanov A. A. Air pollution in the border areas of Norway and Russia // NILU OR: 8/92, 1992. 14 p.

Current State of Bog Peat Deposits in the Tundra Forest Subzone of the Krasnoyarsk Region and Geochemical Assessment of Pollution Levels

L. V. KARPENKO

*V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28
E-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru*

The current state of peat deposits in bog ecosystems within the emission plume from Norilsk industrial area was investigated. On the basis of a visual survey and analysis of physical, chemical and geochemical properties of the peat it was determined that the bogs in the four key areas, located further than 80 km from the source of emissions, had been only slightly exposed to anthropogenic influences. The bogs, located at a distance of 45 km from Norilsk had received severe technogenic impact.

Key words: heavy metals and sulfur, swamp, peat deposit, background content of microelements, degradation of hydromorphic ecosystems.