

Изотопно-геохимические свойства торфяных почв территории месторождения Бованенково, центральный Ямал

Васильчук Джессика Юрьевна

старший лаборант, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ)

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, ауд. 2007

Vasil'chuk Jessica Yuryevna

Research Technician at the Department of Landscape Geochemistry and Soil
Geography of Moscow State University

119991, Russia, Moskva, g. Moscow, ul. Leninskie Gory, 1, aud. 2007

✉ jessica.vasilchuk@gmail.com



Буданцева Надежда Аркадьевна

кандидат географических наук

старший научный сотрудник, Географический факультет, МГУ имени
М.В.Ломоносова

119991, Россия, N/a область, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, ауд. 2007

Budantseva Nadine Arkad'evna

PhD in Geography

Senior Research Fellow at the Faculty of Geography of Moscow State
University

119991, Russia, Moscow, ul. Leninskie Gory, 1, room 2007

✉ nadin.budanceva@mail.ru



Гаранкина Екатерина Вадимовна

кандидат географических наук

старший научный сотрудник, географический факультет, Московский
государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ)

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, ауд. 1711

Garankina Ekaterina Vadimovna

PhD in Geography

Senior Research Fellow at the Faculty of Geography of Moscow State
University

119991, Russia, Moscow, ul. Leninskie Gory, 1, room 1711

✉ evgarankina@gmail.com



Шоркунов Илья Германович

кандидат географических наук

младший научный сотрудник, отдел географии и эволюции почв, ИГ РАН
119017, Россия, г. Москва, пер. Старомонетный, 29, оф. 58

Shorkunov Il'ya Germanovich

PhD in Geography

Junior Research Fellow at the Department of Geography and Soil Evolution of
the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences

119017, Russia, Moscow, per. Staromonetnyi, 29, of. 58

✉ shorkunov@gmail.com



Васильчук Юрий Кириллович

доктор геолого-минералогических наук

профессор, кафедра Геохимии ландшафтов и географии почв, Московский
Государственный университет имени М.В.Ломоносова
119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, ауд. 2007

Vasil'chuk Yuriy Kirillovich

Doctor of Geology and Mineralogy

Professor at the Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography
of Moscow State University

119991, Russia, Moscow, ul. Leninskie Gory, 1, room 2007

✉ vasilch_geo@mail.ru



Аннотация. Гистосоли, или торфяные почвы полигонально-бугристых ландшафтов составляют основу природного почвенного покрова Центрального Ямала наряду с торфяно-глееземами и криометаморфическими почвами. Подробно исследована траншея, пересекающая полигонально-бугристый комплекс на вершинной поверхности крупного останца третьей террасы вблизи поселка Бованенково. Прослежено изменение подтипов торфяных почв с торфяно-олиготрофных до торфяно-эвтрофных вдоль траншеи – от плоскобугристых полигонов до разделяющих их заболоченных ложбин. Современная классификация почв России не может ввиду малого разнообразия органогенных горизонтов и жестких критериев их выделения охарактеризовать почвы рассматриваемых плоскобугристых ландшафтов, сфагновый по ботаническому составу торф из-за ограничения по мощности отнесен к горизонту Т, а залегающий под ним слой эвтрофного торфа был отнесен к горизонту ТЕ. Таким образом почва была нами классифицирована как эвтрофно-торфяная несмотря на присутствие в ней олиготрофно-торфяных компонентов в ней. Возраст торфа определен радиоуглеродным методом. Содержание кислорода, углерода и азота в торфе определено наряду с составом стабильных изотопов углерода. Эмиссия углекислого газа измерена с помощью портативного газоанализатора. В целом торфяные почвы датированы возрастом 2,5 тыс лет. На вершине бугра в части профиля, зафиксировано увеличение серы (явно приуроченное к морфону с более темной окраской торфа) и азота и уменьшение содержания углерода при этом в этом горизонте наблюдается локальный максимум значений изотопного состава углерода. Содержание углерода колеблется в целом от 45 до 28%. Изотопный состав углерода варьирует от –25,5 до –28 ‰, что близко к значениям в органогенных горизонтах почв сопредельных Арктических регионов.

Ключевые слова: радиоуглеродный возраст, тундровые почвы, сера, изотопный состав углерода, углеродно-азотное соотношение, торфяные почвы, полуостров Ямал, торфяники, органический углерод, азот

УДК: 631.41

DOI: 10.7256/2453-8922.2017.1.22331

Дата направления в редакцию: 23-03-2017

Дата публикации: 02-04-2017

Химико-аналитические определения финансированы Российским научным фондом (грант № 14-27-00083), изотопные определения - РФФИ (грант 17-05-00793), полевые исследования поддержаны хоздоговором № 1200-1808-2015.

Abstract. Polygonal tundra histosols are among the most widespread soils of the Central Yamal Peninsula (around Bovanenkovo) together with Gleysols and Cryosols. The authors study the trench crossing the peat polygons on the surface of the third terrace near Bovanenkovo village. The authors study the transformation of sub-types of histosols from oligotrophic to eutrophic histic horizons. It is impossible to properly describe the soils of those flat-topped polygonal landscapes, according to the current classification of Russian soils, due to the small variety of organic horizons and strict criteria for their differentiation. The authors assigned Sphagnum horizon to the horizon T, and the underlying layer of eutrophic peat – to the TE horizon. Thus the authors classify such type of soil as eutrophic peat despite the presence of oligotrophic peat components. The age of peat was ascertained using the scintillation radiocarbon method. Carbon dioxide emission was measured by a portable gas-analyzer. The content of oxygen, carbon and nitrogen in the peat was measured as well as the composition of carbon stable isotopes. The considered Histosols are aged 2,5 thousand years. At the top of the polygonal mound in the profile the authors trace an increase in sulfur (apparently associated with the darker colored peat layer) and nitrogen content and a decrease in the carbon content. At the same time local maximum of the carbon isotope composition was observed. The carbon content varies in general from 45 to 28%. The carbon isotope composition is from –25.5 to –28 ‰, which is close to the values in organic horizons of soils in the Arctic regions.

Keywords: radiocarbon age, tundra soils, sulfur, carbon isotope composition, Carbon-to-nitrogen ratio, the Yamal Peninsula, Histosols, peat bogs, organic carbon, nitrogen

Введение

Согласно Единому государственному реестру почвенных ресурсов России [4], комплексы торфяных болотных переходных (по классификации WRB: Fibric Histosols Dystric [14]) и торфяных болотных деградирующих почв плоскобугристых ландшафтов составляют 12,4% почвенного фонда Ямало-Ненецкого автономного округа. По доле занимаемой площади эти почвенные комплексы находятся на втором месте после комплексов тундровых глеевых торфянистых и торфяных, торфянисто и торфяно-глеевых болотных и почв пятен (15,3%). Таким образом, торфяные почвы плоскобугристых ландшафтов таким образом являются одним из наиболее распространенных отделов природных почв п-ова Ямал, именно эти почвы могут служить эталоном сравнения при изучении антропогенной трансформации почв в ходе нефтегазового освоения территории. Изотопный состав углерода торфа отражает степень и скорость разложения органического вещества [9], наличие или отсутствие обводнения торфяных горизонтов [1]. Содержание азота, углерода [10] и серы в торфе отражает изменение органического вещества при торфообразовании. Цель работы – охарактеризовать торфяные почвы Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ), а также изотопно-геохимические свойства этих почв.

Объекты и методы исследований

Значительную часть территории Бованенковского НГКМ составляют низкие (до 15 м абс.) участки голоценовых озерных и аллювиальных пойм, сложенных иловатыми суглинками и разноразмерными песками [2, 6]. Поверхность дренируется р. Сеяхой, испещрена изометричными контурами небольших озёр [8], характеризуется широким распространением полигональных грунтов, в северной части территории – крупными буграми пучения – гидролакколитами. В высоких абразионных береговых обрывах [7] р. Сеяхи (до 25-30 и 50-60 м) вскрывается комплекс отложений второй и третьей позднеплейстоценовых террас, представленный иловатыми, пылеватыми суглинками, часто вмещающими мощные (до 30 м) пластовые льды. Более крупные фрагменты террас встречаются на отдалении от русла р. Сеяхи и представляют собой серии разнонаправленных, вытянутых гряд, выполненных с поверхности слоистой иловато-пылевато-тонкопесчаной пачкой, реже иловато-пылевыми суглинками. Все почвообразующие породы являются многолетнемерзлыми, преимущественно высокольдистыми, с сетчатой и атакситовой криотекстурой. Актуальная средняя мощность деятельного слоя – 60-80 см. В сезон протаивания деятельный слой песчаных пород переходит в воздушно-сухое, иловато- и пылевато-суглинистых – в вязкопластичное и вязкотекучее физическое состояние. Фоновые почвы территории охарактеризованы в терминах классификации почв России [4], они представлены отделами криометаморфических, глеевых, альфегумусовых и торфяных почв. Техногенное воздействие на природные почвы территории Бованенковского НГКМ является строго локальным и связано с непосредственным размещением на поверхности объектов инфраструктуры месторождения. Основной тип воздействия – погребение под мощными (более 1 м) толщами песчаных и песчано-полимерных конструкций-литострат. При несистематических нарушениях серьёзные изменения претерпевает фитоценоз, при этом макроморфологический архетип почвы и тип почвенных комбинаций остаются неизменными.

Почвенные исследования проводились авторами на территории Бованенковского НГКМ с 29 августа по 10 сентября 2015 г. Сеть опорных литолого-почвенных разрезов строилась исходя из задачи максимального изучения основных геоморфологических уровней и приуроченные к ним выходы почвообразующих пород, а также с учётом расположения объектов инфраструктуры месторождения. Литолого-почвенные разрезы закладывались путём прямой выборки грунта до кровли многолетнемерзлых пород (ММП) с последующим углублением, либо глубина залегания кровли ММП устанавливалась с помощью зондирования щупом днища разреза (при мощности сезонно-талого слоя более 100-120 см).

Ключевой участок располагается на правобережье р. Сеяхи (Мутной) в 600 м. к юго-западу от промысловой базы ГП-1 Бованенковского НГКМ (рис. 1) и в 5 км к северо-западу от поселка Бованенково (70°23,4 с.ш., 68°19,4 в.д.), на правом борту одной из крупных балочных систем исследуемой территории. Абсолютная высота местности составляет 85-90 м.

Ландшафты ключевого участка ГП-1 представлены плоскобугристой мохово-кустарничковой тундрой (рис. 2) с зелеными мхами с преобладанием политрихума (*Polytrichum sp.*) и сфагновыми мхами на вершинах полигональных торфяников и преимущественно сфагновыми мхами и осоками с ивой (*Salix nummularia* And., *Salix polaris* Wahl.) и березкой карликовой (*Betula nana* L.). Превышение бугров над разделяющими их ортогонально сочленяющимися ложбинами составляет 55-60 см. Глубина залегания кровли многолетнемерзлых пород от поверхности составляет 45-50 см.

К северо-западу от ключевого участка в водосборном понижении одного из отвершков балочной системы расположена котловина озера диаметром около 30 x 45 м, в нижней северо-восточной части она целиком занята озером, а более возвышенные участки

представлены низкой заболоченной озерной террасой. В южной части бровку озерной котловины осложняет оползень-спływ.



Рис. 1. Точки почвенного опробования для описания почвенного покрова, рассматриваемый в статье ключевой участок обозначен точкой ГП-1 (Т1-Т4) Источник: космический снимок Microsoft Bing Maps с помощью открытого программного обеспечения SAS Планета

Он вдаётся в вершинную поверхность в виде небольшой циркообразной ниши диаметром 25-30 м с обрывистой стенкой высотой 0,6-0,9 м, местами с нависающей дерниной на бровке. Днище формы заполнено тиксотропным грунтом, поверхность которого в значительной степени покрыта сорвавшимися дерновыми блоками размером 0,3-0,4 x 1-2 м. Всего в 15-20 м от стенки срыва тело крупного оползня практически сплошь задерновано и относительно стабильно. В северо-восточной части ниши отмечен свежий конус выноса небольшого оползня-сплыва диаметром 2-2,5 м, который сформировался в результате прорыва скопления тиксотропного грунта сквозь одну из запруд грунтовых блоков.

В стенке срыва основного оползня-сплыва под дерновым покровом мощностью 2-4 см преимущественно из карликовой березки вскрываются:

3-45 см – буровато-серый средний суглинок с рыжими потеками и пятнами. До 0,25-0,3 м суглинок бесструктурный, плотный.

45-65 см – серый суглинок с оливковым оттенком, плотный, пластичный, к низу еще более уплотняется, массивный. На глубине 0,48-0,52 м – линза торфа мощностью 2-3 см.

65-85 м – тот же суглинок, плотный, очень влажный, пластичный, с мелкоореховатой структурой.

В 20 м к западу вершинная поверхность террасы покрыта хорошо выраженным полигональным торфяником площадью 30 х 40 м². Выпуклые плосковершинные полигоны достигают 3-5 м в диаметре и высоты 0,7 м и ограничены крутыми бортами, часто осложненными кочкарным микрорельефом и выполаживающимися у тыловых швов.



Рис. 2. Ландшафты изученного участка полигональной тундры близ Бованенково: а – разрез Т1 – Т4 до начала шурфования, б, в – тот же разрез после заложения шурфатраншеи Фото: И.Шоркунов, Р.Сайфутдинов

Их разделяют ложбины шириной от 1-1,5 до 2 м в ортогональных пересечениях, с плоскими днищами, занятыми осокой. Плоские вершины занимают зеленые мхи и кустарнички (брусника), по склонам произрастает карликовая березка (*Betula nana* L.) и ива (*Salix polaris* Wahl.).

На ключевом участке ГП-1 на относительно ненарушенной антропогенной и эрозионной деятельностью вершинной поверхности абс. высотой 87 м был заложен траншейный разрез протяженностью 12 м, пересекающий два плоскобугристых эродированных полигональных торфяника и ложбину между ними (рис. 3).

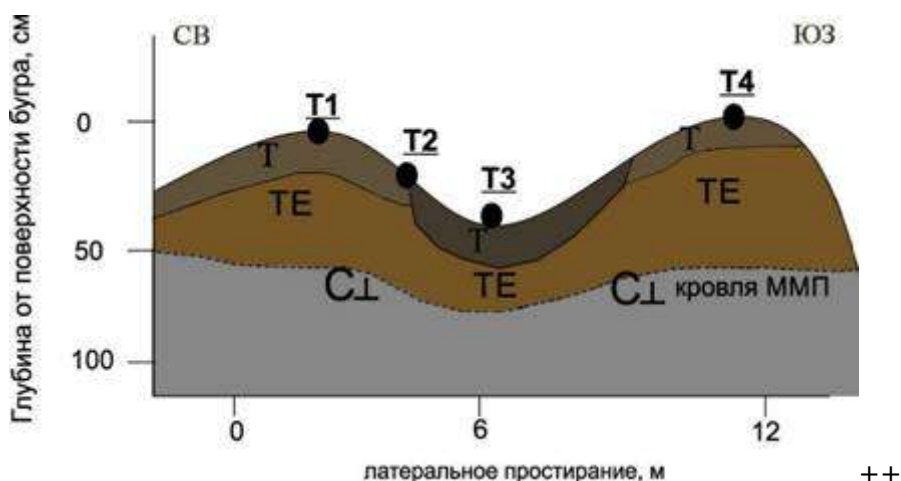


Рис. 3. Схема расположения точек отбора на плоскополигональном бугре, Бованенковское НГКМ. Ракурс совпадает с рис. 1 а, б

Для морфологического описания и отбора образцов были выбраны 4 точки, T1 – вершина северо-восточного плоского бугра, T2 – склон бугра, T3 – ложбина между буграми и T4 – вершина юго-западного бугра. В траншее были изучены торфяно-эвтрофные почвы (точки T1, T2, T4) и торфяно-олиготрофные почвы отдела торфяных почв, ствола органогенного почвообразования. В каждой точке был произведен отбор образцов по глубине через каждые 3 см.

В точке ГП-1 были измерены потоки CO_2 с поверхности почв. Измерения потоков двуокси углерода велись прямоточным методом закрытых камер с помощью набора портативных инфракрасных CO_2 -газоанализаторов AZ 77532 (Temp- CO_2) (КНР, Тайвань) с точностью 1 ppm. Эти и другие данные потоков CO_2 в почвах Бованенковского НГКМ обобщены в публикации одного из авторов статьи ^[13]. Температуры приземного слоя воздуха и почвы определены электронным термометром с зондом из нержавеющей стали (Checktemp-1; Hanna Instruments), объемная влажность почвы – полевым рефлектметром HH2 Moisture Meter с датчиком ThetaProbe ML2x (Delta-T Devices Ltd.).

В близлежащих водных объектах, а также во внутрпочвенных включениях льда измерены такие показатели как pH, Eh, TDS и температура воды в момент измерения с помощью мультифункциональных датчиков (HANNA, Германия)

Содержание азота, углерода и кислорода измерено в эколого-геохимическом центре кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ с помощью CHNS-анализатора VARIO EL III V4.01, Elementar Analysensysteme GmbH, Германия. В качестве стандартного образца использована сульфаниловая кислота. Относительная ошибка измерений составила 1,3% при измерении азота, 6,97% при измерении углерода и 15% при измерении серы. Измерения значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ в образцах торфа выполнены в изотопной лаборатории географического ф-та МГУ на масс-спектрометре Delta-V с элемент-анализатором. Радиоуглеродные измерения

возраста выполнены сцинтилляционным методом в лаборатории радиоуглеродного датирования ИИМК РАН.

Результаты и обсуждение

На северо-восточной вершине полигона (Т1) вскрыта эвтрофно-торфяная почва под зелеными и сфагновыми мхами (рис. 4).

0-10 см – Т – Олиготрофный-торфяной горизонт. Уплотнен, влагонасыщен, неоднородный по цвету в верхней части от бурого до темного серовато-бурого сфагновый торф.

10-50 см – ТЕ – Темно-серовато-бурый влагонасыщенный, уплотненный торф, с 20 см более темный эвтрофный торф. С глуб. 50 см – высокольдистый мерзлый торф.



Рис. 4. Эвтрофно-торфяная почва, Т1, Бованенковское НГКМ

На северо-западном склоне полигона (Т2, рис. 5) вскрывается эвтрофно-тофяная почва, покрытые зелеными и сфагновыми мхами, осоками, лишайниками.



Рис. 5. Профиль эвтрофно-торфяной почвы склона полигона, Т2, Бованенковское НГКМ

0-10 см – Т – свежий сфагновый уплотненный бурый торф

10-48 см – ТЕ – эвтрофно-торфяной горизонт. Гипновый торф, уплотненный, свежий, неоднородный по цвету в верхней части – от бурого до темного серовато-бурого цвета гипновый торф. В нижней части горизонта – узкие субвертикальные ледяные прожилки.

В ложбине между плоскими буграми (ТЗ, рис. 6) вскрывается олиготрофно-торфяная почва:

0-27 (30) см – Т – олиготрофно-торфяной горизонт. Светло-бурый слабоуплотненный, влажный сфагновый торф. Волнистая граница.

27(30)-45 см – ТЕh – эвтрофно-торфяной горизонт. Более темный серо-бурый, суше вышележащего, слаборазложившийся торф. В нижней части в мерзлом торфе вскрываются субвертикальные прожилки льда и линзы иловато-пылеватого, тусклого сизо-светло-серого мёрзлого суглинка – вероятно, верхняя часть криометаморфического горизонта (подобный суглинок вскрывается в обнажении борта озёрной котловины).



Рис. 6. Профиль олиготрофно-торфяной почвы ложбины, ТЗ, Бованенковское НГКМ

Срез кровли многолетнемёрзлых пород на глубине 45-50 см вскрывает субвертикальные грунтовые прожилки органогенного и органоминерального материала в периферической (рис. 7) и ледяную жилу – в центральной части (рис. 8) межблочной ложбины. Тело жильного льда в мерзлых суглинисто-торфяных отложениях в центральной части состоит из белого пузырчатого льда и обрамлено более темным прозрачным льдом по внешнему краю, расширяясь книзу от 0,5-1 см на глубине 40 см до 40 см на глубине 55-60 см.



Рис. 7. Субгоризонтальный срез кровли многолетнемерзлых пород в ложбине, Бованенковское НГКМ



Рис. 8. Субгоризонтальный срез кровли многолетнемерзлых пород ложбины: ледяная жила, Бованенковское НГКМ

Вершина юго-западного бугра (рис. 9) покрыта зелеными и сфагновыми мхами, осоками, лишайниками и в разрезе представлена:



Рис. 9. Профиль эвтрофно--торфяной почвы вершины бугра, Т4, Бованенковское НГКМ

0-10 см – Т– олиготрофный торф, уплотненный, влагонасыщенный, неоднородный по цвету – от бурого до темного серовато-бурого цвета.

10-50 см – ТЕ – эвтрофно-торфяной горизонт, уплотненный, влагонасыщенный, темно-серовато-бурый гипновый торф, с 20 см более темный, неоднородный.

В описанных разрезах почва была названа по доминирующему ботаническому составу наиболее мощного торфяного горизонта. В современной классификации почв России ввиду жестких критериев и малого разнообразия торфяных горизонтов детальная классификация подобных почв затруднена.

Для сопоставления с геохимическими свойствам почв были измерены химические, физические и физико-химические параметры грунтовых включений льда и водных объектов (табл. 1).

Таблица 1. Химические, физические и физико-химические параметры льда и водных объектов Бованенковское НГКМ

Объект	pH	Eh, мВ	TDS, ppm	T, °C
р. Сеяха (Мутная)	6,5	52	805	5,4
Озеро ГП-1	7,04	162	216	7,1
Лед ПЖЛ под торфяником	4,74	150	25	0,1

В пределах плоскобугристого торфяника pH находится в диапазоне кислых значений – 4,74, вероятно, что и торф имеет близкие значения pH. Eh льда составил 150 мВ, лед ультрапресный. Для торфяных почв Бованенковского месторождения описаны значения pH солевой вытяжки равные 4,0-4,4 и водной вытяжки 5,5 [5]. В р. Сеяха (Мутная) и озере ГП-1 значения этого показателя более щелочные. Условия среды во всех трех объектах, окислительные.

Торф вершины плоскобугристого торфяника был послойно датирован по общему радиоуглероду (табл. 2).

Таблица 2. Радиоуглеродный возраст торфа в верхней части плоскополигонального торфяного бугра, Бованенковское НГКМ

Лабораторный номер	Глубина отбора, см	Местоположение точки отбора	Тип торфа	Возраст, лет назад
Ле-11264	12-24	T1– плоская вершина торфяного бугра.	Олиготрофный торф бурый	2415 ± 100
Ле-11265	24-36	T1– плоская вершина торфяного бугра.	Эвтрофный торф, темно-бурый	4520 ± 240
Ле-11266	36-48	T1– плоская вершина торфяного бугра.	Эвтрофный торф, темно-бурый	2340 ± 210

Возраст олиготрофно-торфяного горизонта с глубины 12-24 см составил 2415 ± 100 лет, на глубине 27-36 см возраст эвтрофного торфа – 4520 ± 240 лет, а возраст эвтрофного торфа на глубине 39-48 см датирован возрастом 2340 ± 210 лет. Вероятно, эти полигональные плоскобугристые торфяники начали формироваться не ранее 2,5 тыс. лет назад.

Значения $\delta^{13}\text{C}$ в торфе в точке T1 варьируют от -25,5 до -28‰ (рис. 10). Близкие значения ($\delta^{13}\text{C} = -29.. -28 \text{ ‰}$) были зафиксированы для органогенного горизонта криоземов в низовьях р.Колымы [\[11\]](#) и $\delta^{13}\text{C} = -24...-28\text{‰}$ в нескольких криоземах оглеенных криотурбированных на Тазовском и Таймырском полуостровах [\[12\]](#). $\delta^{15}\text{N}$ варьирует в диапазоне от -0,46 до 5,96‰ (табл. 3).

Таблица 3. Вариации $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ в торфе (точка T1), Бованенковское НГКМ

Глубина отбора, см	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{15}\text{N}$, ‰
0-3	-28,09	-0,46
3-6	-26,98	0,43
6-9	-26,81	5,94
9-12	-26,9	3,64
12-15	-25,75	2,7
15-18	-27,11	1,8
18-21	-27,91	1,94
21-24	-28,2	0,49
24-27	-28,22	0,68
27-30	-27,95	4,15
30-33	-26,79	1,46
33-36	-27,76	2,04
36-39	-27,52	2,08
39-42	-28,01	1,99
42-45	-27,58	1,29
45-48	-27,28	1,84

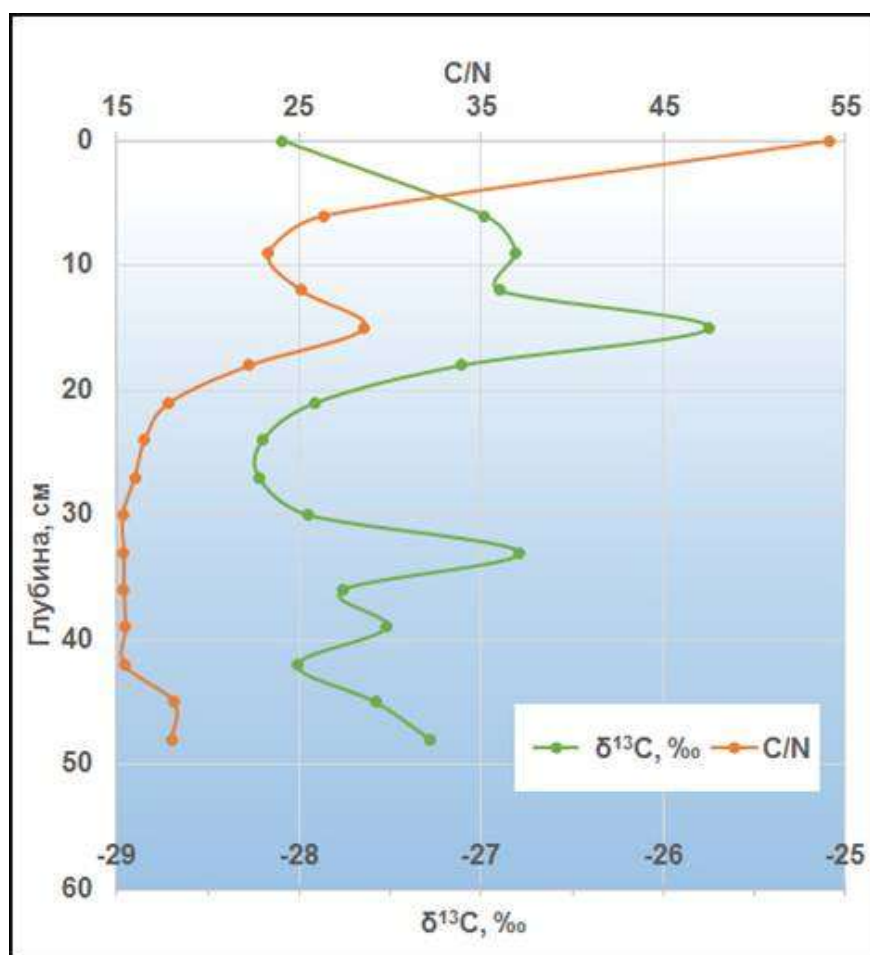


Рис. 10. Распределение по глубине значений $\delta^{13}\text{C}$, ‰ (V-PDB) и соотношения C/N в торфе (точка T1), Бованенковское НГКМ

Изотопный состав азота и углерода обнаруживают близкие тенденции: при облегчении изотопного состава углерода, облегчается и изотопный состав азота. Как и в пределах Бованенковского НГКМ для ряда почвенных профилей Российской Арктики также отмечены такие геохимические свойства как разнонаправленные тренды соотношения C/N и изотопного состава углерода почв [10], то есть уменьшение соотношения C/N при увеличении $\delta^{13}\text{C}$ с глубиной. В случае торфяно-эвтрофной почвы Бованенковского НГКМ подобные изменения четко прослеживаются для соотношения углерода и азота, но слабо выражены в изотопном составе. Соотношение углерода к азоту в торфе высокое и близко к соотношению в других органомных почвах Российской Арктики [10, 11, 12] изменяется на вершине полигонального торфяника в диапазоне значений от 55 до 20 с увеличением глубины, а в ложбине от 39 до 25. Изотопный состав углерода торфяно-эвтрофной почвы изменяется в сторону утяжеления до глубины 18 см, и далее с глубиной изотопный состав вариабелен но в целом становится более легким и снова достигает таких же значений как на поверхности. Это объясняется тем, что рассматриваемая нами толща полностью торфяная, а не минеральная, и слои торфа формировались в разное время независимо друг от друга. Отметим также из изотопно-геохимических свойств локальный максимум $\delta^{13}\text{C}$ на глубине 36 см после которого значения $\delta^{13}\text{C}$ снова снижаются.

Геохимические свойства торфа (рис. 11) имеют разнонаправленные тенденции. Содержание углерода с глубиной в профиле T1 (вершина полигона) уменьшается с 45 до 28%, при этом в точке T3 (ложбина) в верхней части профиля содержание углерода составило 42% (табл. 4), а в нижней 40%, то есть тенденция уменьшения содержания углерода сохраняется с глубиной, но в ложбине менее выражена, чем на вершине.

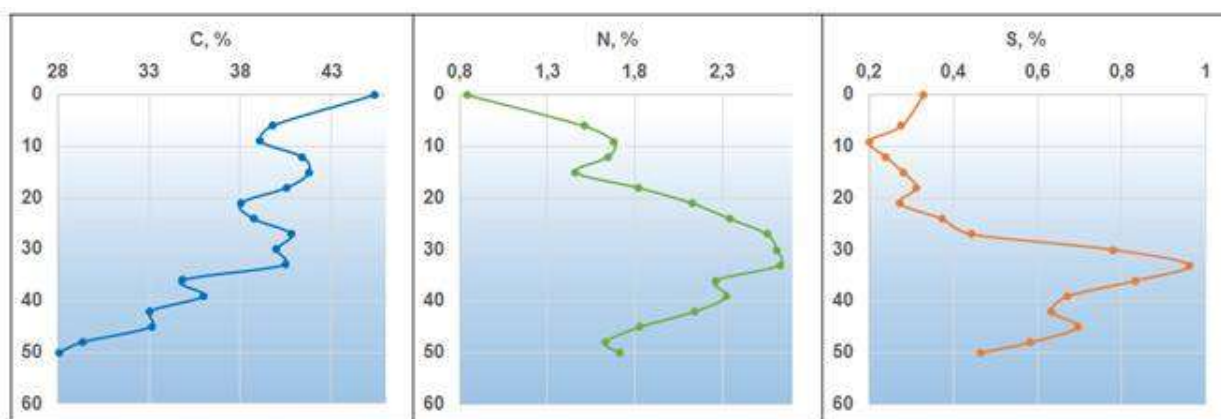


Рис. 11. Распределение содержания углерода, азота, серы, % по глубине профиля Т1, Бованенковское НГКМ

Таблица 4. Элементный состав торфа Бованенковского НГКМ

Точка отбора	Глубина отбора, см	N, %	C, %	S, %	C/N
Т1	0-3	0,839	45,358	0,33	54,06
	3-6	1,509	39,747	0,277	26,34
	6-9	1,678	39,098	0,2	23,30
	9-12	1,649	41,388	0,24	25,10
	12-15	1,461	41,775	0,281	28,59
	15-18	1,821	40,567	0,313	22,28
	18-21	2,128	38,026	0,273	17,87
	21-24	2,343	38,717	0,372	16,52
	24-27	2,555	40,82	0,444	15,98
	27-30	2,611	39,97	0,78	15,31
	30-33	2,629	40,457	0,96	15,39
	33-36	2,26	34,799	0,832	15,40
	36-39	2,326	36,004	0,672	15,48
	39-42	2,144	33,05	0,633	15,42
	42-45	1,827	33,138	0,695	18,14
	45-48	1,631	29,364	0,581	18,00
	48-50	1,713	28,079	0,466	16,39
Т3	3-6	1,067	42,627	0,709	39,95
	42-45	1,607	40,406	0,511	25,14

Содержание азота с глубиной, напротив, растет от 0,839 из до 2,629%, достигая максимального значения на глубине 36 см, а в нижней части профиля содержание азота составляет 1,713. В ложбине содержание азота в верхней части почвенного профиля составило 1,067, а в верхней 1,607%, также сохраняя тенденцию к увеличению содержания азота в торфе. Эти значения значительно больше (в 2-6 раз), чем в болотно-низинных почвах арктических тундр (0,44%). Содержание серы изменяется от 0,2 до 0,96%, достигая максимума в той же части профиля, что и азот (36 см). В целом содержание серы увеличивается с глубиной. Для ложбины отмечена обратная тенденция уменьшения содержания серы с глубиной от 0,7 до 0,5%.

Для точки Т1 распределение серы и азота имеет похожий характер и их пики совпадают с горизонтом, выделяющимся морфологически (более темный морфон) по локальному увеличению значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ и по более древнему возрасту торфа.

Геохимические свойства газовой фазы почв рассмотрены при анализе эмиссии углекислого газа с поверхности почв. Средний измеренный поток диоксида углерода в пересчёте на атомарный углерод на вершине торфяного блока ГП-1, Т1 составляет 0,08 гС/(м²×час). Это самое низкое из измеренных нами значений для природных почв, при этом наиболее высокие значения выявлены у глееземов вблизи дорожной насыпи 0,13 гС/(м²×час), а у подбуров типичных значение измеренного потока диоксида углерода составило – 0,12 гС/(м²×час). Среди нарушенных почв наиболее высокую эмиссию диоксида углерода демонстрируют погребенные под маломощным наносом (до 20 см) из материала дорожной насыпи торфяно-глеевые почвы, значения эмиссии диоксида углерода составляют 0,25 гС/ (м²×час), наименьшие значения (0,02 гС/ (м²×час)) характерны для поверхностей насыпных площадок кустов газовых скважин. Измеренные нами значения потока углекислого газа с поверхности эвтрофно-торфяных почв в целом характерны для фоновых почв гипоарктических и арктических тундр [13]. Температура почвы в точке Т1 на период начала сентября 2015 измерена и колеблется в пределах 6,3...6,6 °С на поверхности и 4,8...5,3 °С на глубине 10 см. Относительная влажность торфа при этом составила от 30,9 до 38,2%.

Заключение

1. Современная классификация почв России [4] не позволяет точно охарактеризовать почвы рассматриваемых плоскобугристых ландшафтов, ввиду малого разнообразия органогенных горизонтов. Сфагновый по ботаническому составу торф из-за ограничения по мощности отнесен к горизонту Т, а залегающий под ним слой эвтрофного торфа к горизонту ТЕ. Почва авторами классифицирована как эвтрофно-торфяная несмотря на присутствие олиготрофно-торфяных компонентов.
2. Повторно-жильный лед в пределах торфяников имеет кислую реакцию среды за счет поступления органических кислот из кислых торфяных почв.
3. Возраст изученных торфяных почв не более 2,5 тыс. лет.
4. По изотопно-геохимическим характеристикам торф Бованенковского НГКМ близок к арктическим торфам. Изотопный состав углерода торфа варьирует от –25,5 до –28 ‰, обнаруживая тенденцию к утяжелению с глубиной в верхней части профиля и облегчению в нижней. Содержание углерода в ложбине и на вершине плоского торфяного бугра убывает с глубиной также, как и соотношение углерода к азоту, что характерно для почв Российской Арктики.
5. Геохимические свойства эвтрофно-торфяных почв плоскобугристого торфяника выражены в распределениях серы и азота, которые имеют схожий характер (увеличение с глубиной). Их пики совпадают с горизонтом, выделяющимся морфологически (более темный морфон) по локальному увеличению значений $\delta^{13}\text{C}$ и по более древнему возрасту торфа.
6. Содержание углерода с глубиной в профиле почв на вершине полигона и в ложбине уменьшается с 45 до 28% и с 42% до 40% соответственно, то есть тенденция уменьшения содержания углерода с глубиной сохраняется на разных ландшафтных позициях.
7. Анализ геохимических свойств газовой фазы торфяных почв при измерении потока диоксида углерода с поверхности показал их сопоставимость по этому показателю с фоновыми почвами арктических и гипоарктических тундр, при этом техногенное воздействие на торфяные и торфяно-глеевые почвы может как увеличить эмиссию

CO₂ как в 2 раза (в случае маломощного наноса до 20 см) так и почти полностью блокировать ее при засыпании мощным слоем песка и полимерных материалов.

Благодарности

Авторы благодарят к.г.н. Ю.Н.Чижову и Л.В.Добрыдневу. за помощь в проведении изотопных и химико-аналитических работ.

Библиография

1. Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н., Васильчук Ю.К. Отражение в изотопном составе торфа фаз развития бугристых ландшафтов Большеземельской тундры // Арктика и Антарктика. 2016. № 1. С. 124-138.
2. Государственная геологическая карта РФ, масштаб 1:1000000 R-(40)-42. О. Вайгач – п-ов Ямал, отв. ред. Л.Л. Подсосова. 1999.
3. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России, 2014 <http://egrpr.esoil.ru/> дата обращения 22.03.2017
4. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343 с.
5. Московченко Д.В. Биогеохимическая структура криогенных ландшафтов Западной Сибири как индикатор их экологического состояния и устойчивости // Криосфера Земли, 2011. Том XV, № 4, с. 29-32
6. Полуостров Ямал (инженерно-геологический очерк)/ Трофимов В.Т., Бадю Ю.Б., Кудряшов В.Г., Фирсов Н.Г. / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во Московского ун-та, 1975. 277 с.
7. Романенко Ф.А., Воскресенский К.С., Тарасов П.Е. и др. Особенности формирования рельефа и рыхлых отложений Западного Ямала и побережий Байдарацкой губы (Карское море) // Проблемы общей и прикладной геоэкологии Севера. М.: Изд-во Московского ун-та, 2001. С. 41-68
8. Романенко Ф.А. Динамика озерных котловин // Эрозионные процессы центрального Ямала. СПб. С. 139-160
9. Alewell, C., Giesler, R., Klaminder, J., Leifeld, J., Rollog M. Stable carbon isotopes as indicators for environmental change in peatlands // Biogeosciences. 2011. Vol.8. P. 1769-1778.
10. Gentsch N., Mikutta R., Alves R.J.E., Barta J., Čapek P., Gittel A., Hugelius G., Kuhry P., Lashchinskiy P., Palmtag J., Richter A., Šantrůčková A, Schnecker J., Shibistova O, Urich T., Wild B., Guggenberger G. Storage and transformation of organic matter fractions in cryoturbated permafrost soils across the Siberian Arctic // Biogeosciences, 2015. Vol. 12. P. 4525-4542.
11. Gentsch N., Mikutta R., Shibistova O., Wild B., Schnecker J., Richter A., Urich T., Gittel A., Šantrůčková A, Barta J., Lashchinskiy P., Muellen C., Fuß R., Guggenberger G. Properties and bioavailability of particulate and mineral-associated organic matter in Arctic permafrost soils, Lower Kolyma Region, Russia // European Journal of Soil Science, 2015. Vol. 66. P. 722-734
12. Kaiser C., Meyer H., Biasi C, Rusalimova O., Barsukov P., Richter A. Conservation of soil organic matter through cryoturbation in arctic soils in Siberia // Journal of geophysical research, 2007. Vol. 112, g02017.
13. Karelin D.V., Zazovskaya E.P., Shishkov V.A., Dolgikh A.V., Shorkunov I.G., Pochikalov A.V., Karpov A.A., Antonov E.V., Goryachkin S.V. The emissions of biogenic greenhouse gases from arctic and north boreal soils due to the different types of anthropogenic land use at local and regional scales: prospects and dynamics // Report Series in Aerosol Science. — 2016. No. 180. P. 217-221.
14. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. FAO, Rome, 192 pp.

References (transliterated)

1. Budantseva N.A., Chizhova Ju.N., Vasil'chuk Yu.K. Otrazhenie v izotopnom sostave torfa faz razvitiya bugristykh landshaftov Bol'shezemel'skoi tundry // *Arktika i Antarktika*. 2016. № 1. S. 124-138.
2. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF, masshtab 1:1000000 R-(40)-42. O. Vaigach – p-ov Yamal, otv. red. L.L. Podsova. 1999.
3. Edinyi gosudarstvennyi reestr pochvennykh resursov Rossii, 2014 <http://egrpr.esoil.ru/data/obrashcheniya> 22.03.2017
4. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii. Smolensk: Oikumena, 2004. 343 s.
5. Moskovchenko D.V. Biogeokhimicheskaya struktura kriogennykh landshaftov Zapadnoi Sibiri kak indikator ikh ekologicheskogo sostoyaniya i ustoichivosti // *Kriosfera Zemli*, 2011. Tom XV, № 4, s. 29–32
6. Poluostrov Yamal (inzhenerno-geologicheskii ocherk)/ Trofimov V.T., Badu Yu.B., Kudryashov V.G., Firsov N.G. / Pod red. V.T. Trofimova. M.: Izd-vo Moskovskogo un-ta, 1975. 277 s.
7. Romanenko F.A., Voskresenskii K.S., Tarasov P.E. i dr. Osobennosti formirovaniya rel'efa i rykhlykh otlozhenii Zapadnogo Yamala i poberezhii Baidaratskoi guby (Karskoe more) // *Problemy obshchei i prikladnoi geoekologii Severa*. M.: Izd-vo Moskovskogo un-ta, 2001. S. 41–68
8. Romanenko F.A. Dinamika ozernykh kotlovin // *Eroziionnye protsessy tsentral'nogo Yamala*. SPb. S. 139-160
9. Alewell, C., Giesler, R., Klaminder, J., Leifeld, J., Rollog M. Stable carbon isotopes as indicators for environmental change in peatlands // *Biogeosciences*. 2011. Vol.8. P. 1769–1778.
10. Gentsch N., Mikutta R., Alves R.J.E., Barta J., Čapek P., Gittel A., Hugelius G., Kuhry P., Lashchinskiy P., Palmtag J., Richter A., Šantrůčková A., Schneckner J., Shibistova O., Urich T., Wild B., Guggenberger G. Storage and transformation of organic matter fractions in cryoturbated permafrost soils across the Siberian Arctic // *Biogeosciences*, 2015. Vol. 12. P. 4525–4542.
11. Gentsch N., Mikutta R., Shibistova O., Wild B., Schneckner J., Richter A., Urich T., Gittel A., Šantrůčková A., Barta J., Lashchinskiy P., Muellen C., Fuß R., Guggenberger G. Properties and bioavailability of particulate and mineral-associated organic matter in Arctic permafrost soils, Lower Kolyma Region, Russia // *European Journal of Soil Science*, 2015. Vol. 66. P. 722–734
12. Kaiser C., Meyer H., Biasi C., Rusalimova O., Barsukov P., Richter A. Conservation of soil organic matter through cryoturbation in arctic soils in Siberia // *Journal of geophysical research*, 2007. Vol. 112, g02017.
13. Karelin D.V., Zazovskaya E.P., Shishkov V.A., Dolgikh A.V., Shorkunov I.G., Pochikalov A.V., Karpov A.A., Antonov E.V., Goryachkin S.V. The emissions of biogenic greenhouse gases from arctic and north boreal soils due to the different types of anthropogenic land use at local and regional scales: prospects and dynamics // *Report Series in Aerosol Science*. — 2016. No. 180. P. 217–221.
14. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. FAO, Rome, 192 rr.

Васильчук Дж.Ю., Буданцева Н.А., Гаранкина Е.В., Шоркунов И.Г., Васильчук Ю.К. Изотопно-геохимические свойства торфяных почв территории месторождения Бованенково, центральный Ямал // *Арктика и Антарктика*. — 2017. - № 1. - С.110-126. DOI: 10.7256/2453-8922.2017.1.22331. URL: http://e-notabene.ru/arctic/article_22331.html