

УДК 631.38

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРХОВЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В СРЕДНЕЙ ТАЙГЕ СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ

© 2012 г. Ю. Н. Водяницкий¹, А. Т. Савичев²,
Н. А. Аветов³, С. Я. Трофимов³, С. А. Козлов³

¹ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 119017,
Москва, Пыжевский пер., 7

² Институт геологии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29

³ Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва,
Ленинские горы

Верховой торф средней тайги среднего Приобья представляет собой сильную отрицательную геохимическую аномалию многих химических элементов по сравнению с торфом южной тайги среднего и верхнего Приобья. Вероятно, в южной тайге сказывается близость горных систем (Алтая, Салаирского кряжа, Кузнецкого Алатау), и аэральный перенос пыли способствует обогащению многими металлами верховых болот, для удаленного среднего Приобья вклад аэрального переноса пыли минимален.

Ключевые слова: верховые торфа, средняя тайга, среднее Приобье, химический состав почв.

ВВЕДЕНИЕ

Болотные ландшафты, занимающие около 40% территории среднего Приобья, испытывают возрастающее антропогенное воздействие за счет расширения нефтедобычи, увеличения протяженности коммуникаций, износа трубопроводной сети на давно освоенных месторождениях, многие из которых расположены в наиболее заболоченных районах. При этом на торфяную почву влияют не только углеводороды нефти, но и сопутствующие минеральные поллютанты. Среди них наиболее опасны галогены, а также тяжелые металлы и металлоиды. Оценить это техногенное воздействие можно только, имея представление об исходном химическом со-

ставе торфов в зоне нефтедобычи. Сейчас определение фонового содержания химических элементов в местных торфах сопряжено с трудностями, поскольку некоторые особо подвижные поллютанты распространились на большое расстояние. Формальный выбор в поле «условного фона» на основе хорошего состояния растительности, оказывается грубым и часто не выдерживает проверки при химическом анализе торфа. Необходимость знания максимально точного фона связана с распространением как положительных, так и отрицательных природных геохимических аномалий. Без этого большие содержания некоторых элементов можно счесть результатом загрязнения, хотя на самом деле они отражают природную положительную геохимическую аномалию. Важно выявить и отрицательные природные геохимические аномалии: в них накопление некоторых техногенных элементов может улучшать питание растений (Обухов, 1990).

Цель настоящей работы – геохимическая характеристика верховых торфов в средней тайге среднего Приобья и сравнение ее с южной тайгой среднего и верхнего Приобья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Состав верховых торфов в средней тайге среднего Приобья изучали на основании двух источников. Во-первых, использовали данные о химическом составе фонового верхового торфа (разр. 1). Во-вторых, использовали данные об условно фоновом торфе на территории складирования и переработки шламов нефтедобычи (точка 1.1).

Территория фонового участка (разр. 1) лежит за пределами месторождения в 40 км от места разлива нефти. Образцы отбирали в мочажине олиготрофного грядово-крупномочажинного комплекса, характеризующейся сходными условиями с загрязненным участком. Общее проективное покрытие (ОПП) травяно-кустарничкового яруса 10–15%. Доминируют осока заливная (*Carex limosa* L.), шейхцерия болотная (*Scheuchzeria palustris* L.), пушица рыжеватая (*Oxycoccus palustris* Pers.), клюква болотная (*Eriophorum russeolum* Fries.), к ним примешиваются единичные экземпляры подбела и росянки круглолистной (*Drosera rotundifolia* L.). ОПП мохового яруса – 100% (*Sphagnum balticum*

(Russ.) Russ. ex C. Jens. – 80%, *S. papillosum* Lindb. – 20%). Образцы торфа отбирали буром с глубин 0–20, 20–70 и 70–100 см.

Второй (участок 1.1) рассматривается как «условно фоновый», поскольку он выбран в зоне действия шламового амбара одного из месторождений среднего Приобья. Образцы торфа отбирали с глубины 0–20 см. Шламовый амбар создан два года назад. Торф изучали на условном фоне в 86 м от шламового амбара. Углеводородами участок загрязнен слабо, их содержание не превышает фон районов нефтедобычи среднего Приобья – 0.2% (Шор, Хуршудов, 2000).

Поскольку концентрация металлов в торфе низка, его озоляли. Содержание золы в торфе низкое: 1.4–3.6%. Содержание химических элементов в золе торфа определяли рентгенофлуоресцентным методом на приборе «Респект». На нем же определяли содержание редкоземельных металлов рентгенорадиометрическим способом (Savichev, Vodyanitskii, 2009).

Химический состав золы верховых торфов средней тайги среднего Приобья сравнивали со средним содержанием элементов в золе верховых торфов южной тайги среднего Приобья, где Нечаевой и др., (2010) выполнен большой анализ образцов торфа $n = 150$.

При использовании высокочувствительных методов анализа, например, нейтронной активации, исследователи анализируют торф в целом. В такой форме определено содержание многих элементов в верховом торфе Васюганского болота в южной тайге верхнего Приобья (Инишева, Езупенок, 2007; Цыбукова и др., 2000; Цыбукова и др., 2001). Их содержание сравнивали с торфами в среднем Приобье. Для этого собственные данные, а также данные о торфе южной тайги среднего Приобья (Нечаева и др., 2010), полученные на золе, пересчитали на содержание элементов в торфе в целом.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Химические элементы подразделяются на группы в зависимости от электронного строения атомов. У элементов самый низкий s-подуровень, затем идут p- d- и f-подуровни, при этом p- и d-элементы делятся на главные и редкие. Все s-элементы относятся

к главным, а все f-элементы – к редким. Тип подуровней электронов определяет реакционную способность химических элементов. По структуре активного электронного слоя элементы делятся на три блока: I блок включает s- и p-элементы; II – переходные d-элементы; III – редкие f-элементы (Иванов, 1994–1997).

Химический состав торфов среднего Приобья изучен недостаточно. Особенно это касается редких элементов, о которых нет сведений. Верховые болота с автономным типом питания обеднены как макро-, так и микроэлементами (Перельман, Касимов, 1999).

В табл. 1, 2 приведено содержание химических элементов в золе верховых торфов в средней тайге среднего Приобья по двум источникам. Во-первых, фоновый торф в разр. 1, изученный нами ранее – усредненное содержание трех образцов, отобранных с глубин: 0–20, 20–40 и 40–100 см. Во-вторых, условный фон на глубине 0–20 см в зоне влияния шламового амбара – точка 1.1. Приведено также усредненное содержание элементов в золе торфов южной тайги среднего Приобья (Нечаева и др., 2010).

В этих же таблицах приведены результаты пересчета химических элементов на воздушно-сухой торф. Это выполнено для наших торфов, а также торфов южной тайги среднего Приобья – пересчитаны данные Нечаевой и др. (2010). Их сопоставляли с содержанием элементов в воздушно-сухом торфе южной тайги верхнего Приобья, взятых из работ (Инишева, Езупенок, 2007; Цыбукова и др., 2000; Цыбукова и др., 2000). В работе Инишевой и Езупенок (2007) приведены усредненные данные ($n = 12$) состава торфов. Содержание химических элементов в торфе двух рядов 2 и 3, описанных в работах Цыбуковой и др. (2000, 2001), усреднили.

ОБСУЖДЕНИЕ

Геохимия болот кардинально отличается от геохимии минеральных почв, благодаря разному вкладу биогенного фактора. В связи с этим приведем представительные результаты подсчета коэффициента биогенной миграции K_b , полученные после усредне-

Таблица 1. Содержание s- и p-элементов в фоновых торфах Приобья

| Регион | Болото | s-элементы | | | | | | | | | | p-элементы | | | | | | | | | |
|------------------|--------------------------|-------------------|------------------|-------|-------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------|------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | Зола | | % | | | | | | | | мг/кг | | | | | | | | | |
| | | Na ₂ O | K ₂ O | MgO | CaO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | SO ₃ | Cl | Br | I | Rb | Ba | Sr | Ga | As | Pb | | | |
| Ср. тайга ср. | Условный фон 1.1 | 3,6 | 2,96 | 15,12 | 3,32 | 13,69 | 4,94 | 29,59 | 3,17 | 2,18 | 1,72 | 29 | 28 | 76 | 80 | 100 | — | 11 | 56 | | |
| Приобье | Фон | 1,7 | — | 2,23 | 1,86 | 5,38 | 9,58 | 63,65 | 3,24 | 2,99 | 0,07 | — | — | 32 | 86 | 114 | 13 | 23 | 76 | | |
| Ю. тайга ср. | Среднее | 2,96 | — | 5,45 | 2,23 | 7,46 | 8,42 | 55,14 | 3,22 | 2,79 | 0,48 | 29 | 28 | 43 | 84 | 110 | 13 | 20 | 71 | | |
| Ю. тайга ср. | Обь-Иртышье ¹ | 6,0 | — | — | 2,3 | 6,3 | — | 57,0 | — | — | — | — | — | — | 1000 | 400 | — | — | 105 | | |
| Приобье | Условный фон 1.1 | — | 0,11 | 0,54 | 0,12 | 0,49 | 0,178 | — | — | — | — | 1,04 | 1,01 | 2,74 | 2,88 | 3,6 | — | 0,40 | 2,0 | | |
| Ср. тайга ср. | Фон | — | — | 0,038 | 0,032 | 0,09 | 0,163 | — | — | — | — | — | — | — | 0,54 | 1,46 | 1,9 | 0,22 | 0,39 | 1,3 | |
| Приобье | Среднее | — | — | 0,16 | 0,05 | 0,19 | 0,17 | — | — | — | — | — | — | — | 1,09 | 1,82 | 2,33 | 0,22 | 0,39 | 1,48 | |
| Ю. тайга ср. | Обь-Иртышье ¹ | — | — | — | 0,14 | 0,38 | — | — | — | — | — | — | — | — | 60 | 24 | — | — | — | 6,3 | |
| Приобье | Условный фон 1.1 | — | — | — | — | 0,36 | — | — | — | — | — | 9,0 | — | — | 75 | 60 | — | — | — | — | |
| Ю. тайга верхнее | Васюганье ² | — | — | — | — | 1,50 | — | — | — | — | — | 26 | — | 11 | 73 | 123 | — | — | — | — | |
| Приобье | Среднее | — | — | — | — | 0,52 | — | — | — | — | — | 11 | — | 11 | 74 | 69 | — | — | — | — | |

Примечание. ¹ – Нецаева и др., 2010; ² – Инишева, Езупенок, 2007; ^{3,4} – Цыбукова и др., 2010; Цыбукова и др., 2011.

Таблица 2. Содержание d-элементов и редких f-элементов в фоновых верховых торфах Приобья

| Регион | Болото | d-элементы | | | | | | | | | | f-элементы | | | | | | | | | |
|------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|-------|---------|-----|-------|-------|-------|--------|-------|------------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| | | зола | | % | | | | | | | | мг/кг | | | | | | | | | |
| | | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | Mn | V | Cr | Ni | Cu | Zn | Zr | Nb | Y | La | Ce | | | | | | | |
| Ср. тайга ср. | Условный фон 1.1 | 3,6 | 2,69 | 0,359 | 2100 | — | 34, | 19 | 55 | 447 | 68 | — | 8 | 2 | 3 | | | | | | |
| Приобье | Фон | 1,7 | 2,62 | 0,720 | 757 | — | 62 | 32 | 48 | 278 | 91 | 2 | 12,3 | 2,7 | 4 | | | | | | |
| Ю. тайга ср. | Среднее | 2,18 | 2,64 | 0,63 | 1092,75 | — | 55,00 | 28,75 | 49,75 | 320,25 | 85,25 | 2,00 | 11,23 | 2,53 | 3,75 | | | | | | |
| Приобье | Обь-Иртышье ¹ | — | 8,3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | | | | | | |
| Ср. тайга ср. | Условный фон 1.1 | — | 0,097 | 0,013 | 76 | — | 1,22 | 0,68 | 1,98 | 16 | 2,45 | — | 0,29 | 0,072 | 0,108 | | | | | | |
| Приобье | Фон | — | 0,044 | 0,012 | 13 | — | 1,05 | 0,54 | 0,82 | 5 | 1,56 | 0,03 | 0,21 | 0,046 | 0,068 | | | | | | |
| Ю. тайга ср. | Среднее | — | 0,06 | 0,012 | 28,75 | — | 1,09 | 0,58 | 1,11 | 7,75 | 1,78 | 0,03 | 0,23 | 0,05 | 0,08 | | | | | | |
| Приобье | Обь-Иртышье ¹ | — | 0,36 | 0,06 | 96 | 5,4 | 6,0 | 2,4 | 4,8 | 18 | 13,8 | — | — | 0,64 | 2,79 | | | | | | |
| Ю. тайга ср. | Васюганье ² | — | 0,33 | — | — | — | 1,55 | — | — | — | — | — | 1,32 | 5,25 | — | | | | | | |
| Приобье | Васюганье ^{3,4} | — | 0,72 | — | — | — | 18 | — | — | 85 | — | — | 1,32 | 1,30 | 2,79 | | | | | | |
| Ю. тайга верхнее | Среднее | — | 0,39 | — | — | — | 3,90 | — | — | 85,00 | — | — | — | — | — | | | | | | |

ния большого числа образцов ($n = 250$) в лесах и болотах Западной Сибири ($n = 250$). Коэффициенты K_b резко различаются. У одних элементов в болотах K_b , т.е. биофильность по сравнению с лесом снижается: Ca (23.3 → 7.8); Mg (7.2 → 2.2); Mn (38.7 → 1.8); P (16.7 → 12.78); Zn (6 → 3); Cu (5 → 3); Ba (5.7 → 0.7); K (2.4 → 0.7); Sr (1.6 → 0.4); тогда как у других элементов она возрастает Pb (2.0 → 3.0); Al (0.4 → 1.5); Fe (0.3 → 0.9); Zr (0.3 → 0.8); Ti (0.2 → 0.78); Si (0.1 → 0.7) (Нечаева и др., 2010). Как видно, накопление в болотной растительности типичных биофилов: Ca, P, K – резко уменьшается, тогда как Si, Ti, а также ряда тяжелых металлов: Pb, Fe, Zr – увеличивается. Причины этого, видимо, в следующем.

Рассмотрим различие в поведении таких металлов, как Zr и Ti. В минеральных почвах они входят в состав наиболее устойчивых минералов: циркония, рутила и др. (Роде, 1971). Именно эта недоступность циркония и титана растениям в минеральных почвах и определяет их низкую биофильность (Перельман, Касимов, 1999). Но в случае доступности цирконий ведет себя как биофил: это давно установлено в опытах с внесением ^{95}Zr в водоем (Агафонов и др., 1962). Очевидно, что в верховом болоте, минеральное питание которого обеспечивается аэрозолями, цирконий и титан поступают в доступной форме и могут успешно накапливаться в болотной растительности. Таким образом, болота – область высокой доступности ряда химических элементов, где масштабы биологического поступления сдерживаются только объемом валового содержания. Поэтому важно оценить размеры валового содержания химических элементов в зоне потенциального их дефицита.

Обратимся к анализу солевых компонентов в торфе. Как видно из табл. 1, условный фон в точке 1.1 заметно ими загрязнен. Прежде всего это касается галогенов. Содержание хлора составляет 1.7%, против 0.07% на удаленном фоне; содержание брома и иода равно 29 и 28 мг/кг, тогда как на удаленном фоне эти галогены ниже предела обнаружения. Завышено и содержание щелочно-земельных металлов. В точке 1.1 содержится 15% K_2O , тогда как на удаленном фоне – 2.2%. На условном фоне выше и содержание кальция – 13.7% CaO , против 5.4% на удаленном фоне и 6.3% в золе торфа южной тайги среднего Приобья. Это означает, что соли

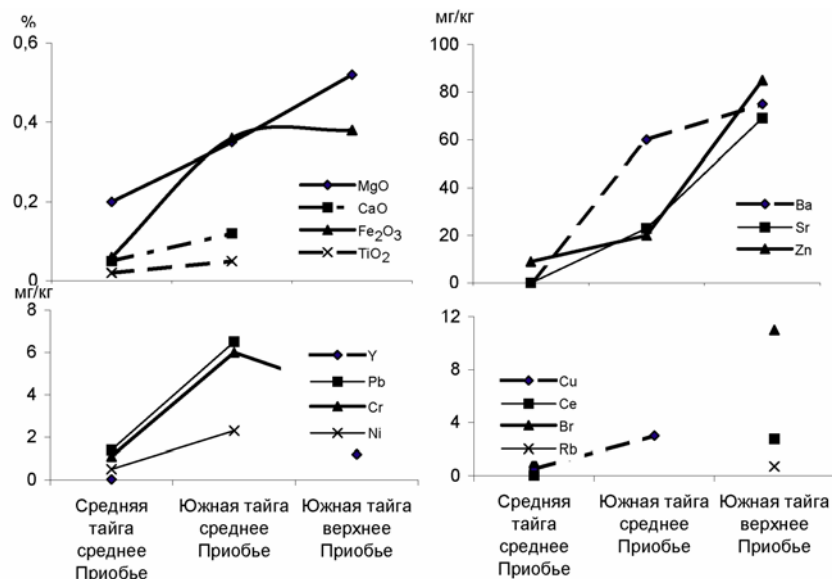
мигрируют по крайней мере до 86 м от амбара, где точка 1.1 назначена в качестве условного фона.

При сравнении содержания CaO в воздушно-сухих торфах выявилась такая картина. Фоновый торф средней тайги Среднего Приобья обеднен кальцием – в нем всего 0.09% CaO . Это значительно ниже содержания в торфах южной тайги среднего и южного Приобья: 0.4–1.5% CaO (Нечаева и др., 2010; Инишева, Езупенок, 2007; Цыбукова и др., 2000).

Данных по галогенам в верховом торфе южной тайги Верхнего Приобья мало. Содержание брома в нем высокое – 9–26 мг/кг (Инишева, Езупенок, 2007, Цыбукова и др., 2000), это значительно выше, чем в фоновом торфе средней тайги среднего Приобья, где его содержание ниже предела обнаружения. Несмотря на ограниченность информации, можно предположить, что верховые торфа верхнего Приобья значительно богаче галогенами, чем торфа средней тайги среднего Приобья.

По другим химическим элементам условный фон мало отличается от удаленного фона, их содержание можно рассматривать совместно при характеристике торфа средней тайги среднего Приобья. Мы построили зависимости усредненного содержания ряда металлов и брома в верховом воздушно-сухом торфе в трех регионах Приобья в направлении с северо-запада на юго-восток: от средней к южной тайге среднего Приобья и затем к южной тайге верхнего Приобья (рисунок). Видно, что верховой торф в этом направлении последовательно обогащается многими металлами. Из щелочноземельных особенно сильно накапливаются магний, барий и стронций, из тяжелых металлов – свинец, хром и цинк, из лантанидов – церий. Можно считать, что верховой торф средней тайги среднего Приобья представляет собой сильную отрицательную геохимическую аномалию большого ряда элементов.

Обсудим причину образования сильной отрицательной геохимической аномалии в болотах средней тайги среднего Приобья, особенно заметную при сравнении с более обогащенными торфами верхнего Приобья. Подчеркнем, что региональные различия в содержании ряда металлов в верховых болотах отмечены ранее в европейской части России (Ефимов, 1986). Больше всего цинка и марганца находится в торфах Уральского региона. Здесь это обо-



Усредненное содержание химических элементов в воздушно-сухом торфе разных регионов Приобья.

гащение торфа обязано влиянию металлоносных Уральских гор, за счет выпадения обогащенной металлами пыли. Ту же картину, но еще более выразительную, мы видим в Западной Сибири. Верховые торфа в предгорной части верхнего Приобья по сравнению со средним Приобьем обогащены очень многими металлами. Среди s-элементов это Ca; среди p-элементов – Br, Rb, Ba, Sr; среди d-элементов – Fe, Cr, Zn, Ni, Nb; среди f-элементов – La и Ce. Налицо явное и разностороннее влияние на химический состав торфов гор юга Сибири. Но расположенные на значительном расстоянии от горных систем болота средней тайги среднего Приобья лишены этого источника аэрального обогащения и остаются обедненными металлами, многие из которых растения используют в качестве микроэлементов питания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Верховой торф средней тайги среднего Приобья представляет собой сильную отрицательную геохимическую аномалию мно-

гих химических элементов по сравнению с торфом южной тайги среднего и верхнего Приобья. Вероятно, в южной тайге сказывается близость горных систем (Алтай, Салаирский кряж, Кузнецкий Алатау) и аэральный перенос пыли способствует обогащению многими металлами верховых болот, процесс, который недостижим для удаленного среднего Приобья. При контроле загрязнения торфов в районе нефтедобычи необходимо учитывать, что обогащение торфа некоторыми техногенными элементами восполняет природный их дефицит.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонов Б.М., Тимофеева-Ресовская Е.А., Тимофеев-Ресовский Н.В. О судьбе радионуклидов в водоемах // Тр. ин-та биологии Ур. АН СССР. 1962. Вып. 62.
2. Ефимов В.Н. Торфяные почвы и их плодородие. Л.: Агропромиздат, 1986. 264 с.
3. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. М.: Недра-Экология, 1994–1997. Кн. 1–6.
4. Инишева Л.И., Езупенко Е.Э. Содержание химических элементов в торфах верхового типа // Современные проблемы загрязнения почв: II Межд. научная конф. М., 2007. Т. 2. С. 63–67.
5. Нечаева Е.Г., Белозерцева И.А., Напрасникова Е.В., Воробьева И.Б., Давыдова Н.Д., Дубынина С.С., Власова Н.В. Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем сибирских регионов. Новосибирск: Наука, 2010. 350 с.
6. Обухов А.И. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами и мероприятия по их устранению // Поведение поллютантов в почвах и ландшафтах. Пушкино, 1990. С. 52–59.
7. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 768 с.
8. Роде А.А. Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, 1971. 92 с.
9. Цыбукова Т.Н., Инишева Л.И., Тихонова О.К., Зейле Л.А., Юсубов М.С. Комплексная оценка содержания редких элементов в торфяном сырье единого болотного ландшафта // Химия растительного сырья. 2001. № 4. С. 103–106.

10. *Цыбукова Т.Н., Инишева Л.И., Тихонова О.К., Зейле Л.А., Юсубов М.С.* Характеристика элементного состава торфяного сырья олиготрофного болота // Химия растительного сырья. 2000. № 4. С. 29–34.
11. *Шор Е.Л., Хуришудов А.Г.* Оценка средних фоновых концентраций нефтепродуктов в почвах и поверхностных водах нефтяных месторождений Нижневартовского района // Исследования эколого-географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивости развития нефтегазовых регионов России. Нижневартовск: НГПИ, ХМРО РАЕН, ИОА СО РАН, 2000. С. 147–148.
12. *Savichev A.T., Vodyanitskii Yu.N.* Determination of barium, lanthanum and cerium contents in soils by the X-Ray radiometric method // Eurasian Soil Science. 2009. V. 42. № 13. P. 1461–1469.

GEOCHEMICAL PECULIARITIES OF TOP PEAT IN MIDDLE TAIGA OF THE PRE-OB REGION

**Yu. N. Vodyanitsky, A. T. Savichev, N. F. Avetov,
S. Ya. Trofimov, S. A. Kozlov**

The top peat in middle taiga of the Pre-Ob region represents a highly negative geochemical anomaly of several chemical elements as compared to that in southern taiga located in the middle and upper parts of this region. Obviously, due to close location of mountain systems (Altai, Salair ridge, Kuznetsk Alatau) and the aerial dust transfer the top peat in southern taiga is enriched with the major metals; this process is unachievable for the remote middle part of the Pre-Ob region.

Key words: top peat, middle taiga, chemical composition of soils