

ОЦЕНКА ПОДВИЖНОСТИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОДСТИЛОК И ПОЧВ КРИОЛИТОЗОНЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

© И.В. Гавриленко, А.С. Прокушкин, Р.А. Степень, С.Г. Прокушкин

УДК 630

ГОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет» г. Красноярск,
Россия

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 03-04-48037.

Водорастворимое органическое вещество играет важную роль в функционировании наземных экосистем. В работе исследована зависимость подвижности органического вещества подстилок и почв криолитозоны Средней Сибири от количества растворителя (воды). Показано, что осадки высокой интенсивности и их частота способствуют существенному увеличению количества мобилизуемого водорастворимого органического вещества. При этом общее количество вымываемого органического углерода может достигать более 1% от валового содержания углерода в данных компонентах экосистем.

Water-soluble organic matter plays an important role in terrestrial ecosystems. Current study presents the results describing dependence between amount of solvent (water) and mobility of organic matter of forest floors and soils collected in cryogenic region of Central Siberia. It has been shown that precipitation at high intensities and higher frequency leads to significant increase of release of mobile organic matter. Total stock of washed organic carbon per one percolation event may reach more than 1% of soil organic carbon accumulated in these ecosystem compartments.

Водорастворимое органическое вещество (ВОВ), формально рассматриваемое как смесь органических молекул разной природы размером менее 0.45 мкм, играет важную роль в функционировании наземных экосистем (Zsolnay, 1996, Michalzik & Matzner, 1999). В частности, показаны его значение в формировании химического состава почв и их развития (Kaizer et al., 2001, Lofts et al., 2001), в переносе питательных элементов и металлов (Michalzik & Matzner, 1999, Christ & David, 1996), а также как субстрата для почвенной микрофлоры (McDowell & Likens, 1988) и растительности (Nasholm, 1998).

В лесных сообществах гидрологические условия являются одним из ключевых факторов, определяющих накопление и транспорт ВОВ в подстилках и почвах. С одной стороны, водный режим оказывает влияние на интенсивность и направленность микробиологических процессов разложения органического материала и, соответственно, определяет образование ВОВ (Hongve et al., 2000). С другой стороны, осадки, проходя через полог древостоя, живой напочвенный покров и подстилку, обеспечивают мобилизацию и миграцию ВОВ в почву (Поздняков, 1963; Шиханова, 2000; Прокушкин и др., 2003). Вместе с тем, количественные характеристики запасов и величины потоков ВОВ в экосистемах изучены явно недостаточно, что связано как со значительной вариабельностью этих показателей, так и недостатком данных о его механизмах мобилизации.

Нами была поставлена задача в модельных экспериментах изучить: 1) влияния объема поступающего растворителя (воды) на мобилизацию ВОВ и 2) влияния последовательных экстракций на количество высвобождающегося ВОВ.

Материалы и методы

Сбор материала проводился в листовенных экосистемах Центральной Эвенкии (64°15'N 100° 13'E), сформированных на многолетне мерзлых грунтах. В среднем положении склонов северной и южной экспозиции экспериментальных водосборов отбирались образцы подстилки и верхнего горизонта

почв (0-5 см) в 5-кратной повторности. Крупный детрит и живые корни удалялись. Далее образцы доводились до воздушно-сухого состояния, гомогенизировались и просеивались через сито (2 мм). Определение содержания органического вещества проводили по параметру «потеря при сжигании» (ППП) после выдерживания в течение 2 ч при температуре 550°C в муфельной печи SNOL-1100 (Латвия). Для пересчета на содержание органического углерода использовали коэффициент 0.54, полученный на основе данных ППП и $C_{орг}$ для почв региона, опубликованных ранее в работе Ю.И. Ершова (1994), а также прямых измерений на автоматическом анализаторе Vario EL (Elementar Analysensysteme GmbH, Германия).

Влияние объема сольвента (дист. H_2O) на количество мобилизуемого водорастворимого органического вещества проводили в ряду соотношений почва:вода 1:2, 1:5, 1:10, 1:20, 1:50 (w:v). Для оценки общего пула водорастворимого органического вещества производили 9 последовательных экстракций дистиллированной H_2O в соотношении почва:вода 1:10.

Содержание водозэкстрагируемого органического углерода (ВЭОУ) в водных экстрактах определялось мокрым сжиганием по методу Тюрина.

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что взятые для анализа подстилки южного и северного склонов достоверно различаются по валовому содержанию углерода - 34% и 41%, соответственно. Полученные результаты свидетельствуют о более глубокой трансформации органического вещества в условиях более теплообеспеченных склонов южной экспозиции. Обратная тенденция наблюдается в верхних органогенных горизонтах почвы (0-5 см) - валовое содержание углерода в почве склона южной экспозиции в более чем 2 раза превышало таковое на северном ($8.5 \pm 3.4\%$ и $4.1 \pm 1.5\%$, соответственно). При этом, однако, обнаружено существенное варьирование содержания общего углерода ($4.6-11.3\%$) на

южном склоне. Данный факт отражает значительную пространственную неоднородность гумусонакопления в условиях криогенеза, что связано, в частности, с выраженностью микрорельефа. Низкая теплообеспеченность почв микропонижений ингибирует микробиологические процессы, что негативно влияет на образование ВОВ и, снижает количество закрепляющегося органического вещества в органоминеральных комплексах.

Анализ концентраций ВЭОУ в водных вытяжках из почв с разным содержанием $C_{орг}$ показал двукратное превышение ВОВ в почвах с высоким валовым его содержанием при минимальном значении соотношении почвы и растворителя. Увеличение объема воды, использованной для экстракции в 25 раз, вело к 10-кратному понижению концентраций ВЭОУ с 270 до 26 мгС/л и со 100 мгС/л - до 11,2 мгС/л в растворах почв с содержанием $C_{орг}$ 11.3% и 4.6%, соответственно (рисунок 1). Данный результат, хоть и свидетельствует о разбавлении ВОВ при повышении объема сольвента, предполагает более сложный механизм диффузии органического вещества в раствор.

В целом существование эффекта разбавления подтверждается наблюдениями и в естественных экосистемах, где интенсивные осадки могут обуславливать

снижение концентрации водорастворимых органических веществ в смывах крон, подстилок и почвенных растворов (McDowell&Likens, 1988; Tao&Lin, 2000; Горбачева и Лукина, 2004). Наши исследования в условиях криолитозоны также показали, что концентрация растворенного органического углерода в лизиметрических водах из подстилок с повышением количества поступивших осадков снижается в среднем со 100 до 25 мгС/л (Прокушкин и др., 2005). Б. Михальчик и Е. Матцнер (1999) для лесов умеренной зоны также обнаружили снижение концентраций ВОВ в растворах, выщелачиваемых из подстилок, с 41 до 22 мгС/л.

Обратные закономерности получены при анализе выхода ВОВ в зависимости от объема растворителя. Показано, что увеличение соотношения почва:вода, как видно из рисунка 2, ведет к увеличению выхода ВЭОУ из почвы.

Максимальное количество органического вещества, которое удалось мобилизовать при максимальном соотношении почва:вода (1:50), составило, соответственно, 0.56 и 1.33 мгС/г а.с.м. для образцов с содержанием углерода 4.6 и 11.3%. При соотношении почва:вода 1:20 наблюдается полный выход почвенного ВЭОУ в раствор и дальнейшее увеличение объема воды не ведет к возрастанию экстрагируемого ВОВ (рисунок 2).

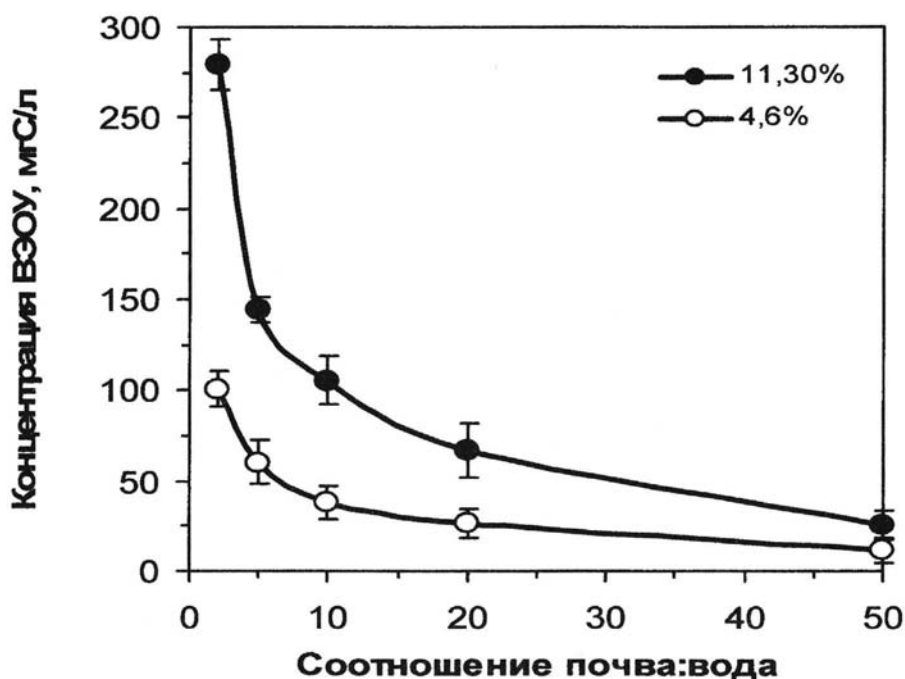


Рисунок 1 - Влияние объема сольвента на концентрацию ВЭОУ в экстрактах почв с разным содержанием валового углерода

Поскольку биотическая компонента при работе с воздушно-сухими образцами ничтожно мала, данная закономерность определяется исключительно физическими процессами - конвекцией и диффузией. По градиенту концентрации происходит перераспределение органических веществ между твердой фазой и раствором до достижения определенного равновесия между ними. При относительно небольших количествах сольвента его, вероятно, недостаточно для полного выхода ВЭОУ, а в процессах перераспределения ВОВ участвуют только макропоры почвы (Zsolnay, 1996).

Увеличение объема воды ведет к повышению роли ВЭОУ, сосредоточенного в мезо- и микропорах, что и сказывается на увеличении его выхода в почвенный раствор. Сходные результаты продемонстрированы в работе К. Кайзера и др. (Kaiser et al., 2001) на примере подзолистых почв при изменении соотношения почвы и воды от 1:5 до 1:40. Следует также отметить, что почва с малым содержанием общего углерода характеризуются и меньшим запасом ВЭОУ (рисунок 2).

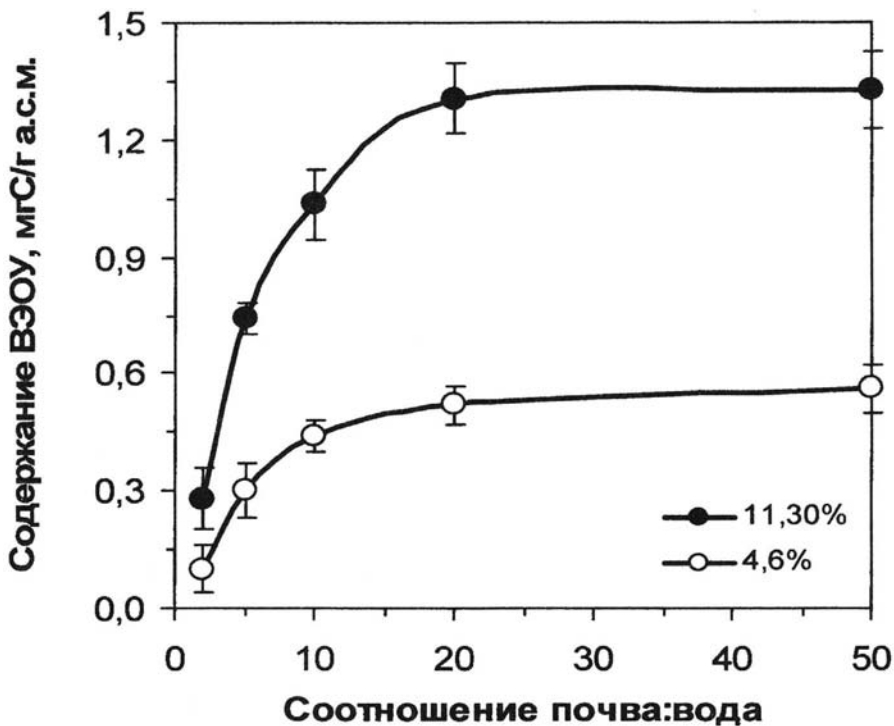


Рисунок 2 - Влияние объема сольвента на выход ВЭОУ в экстракт из почв с разным содержанием общего углерода

Несмотря на общее увеличение выхода ВЭОУ при повышении объема сольвента, подобная закономерность сохраняется. Таким образом, наряду с ранее полученными нами результатами (Прокушкин и др., 2005), отмеченное свидетельствует, что количество мобилизуемого ВЭОУ имеет прямую зависимость от валового содержания

органического вещества. Относительные количества подвижного органического углерода в обоих типах почв составляют около 1,2% и не зависят от его общего содержания (рисунок 3), что указывает на существование достаточно определенного пула $C_{орг}$, способного к мобилизации.

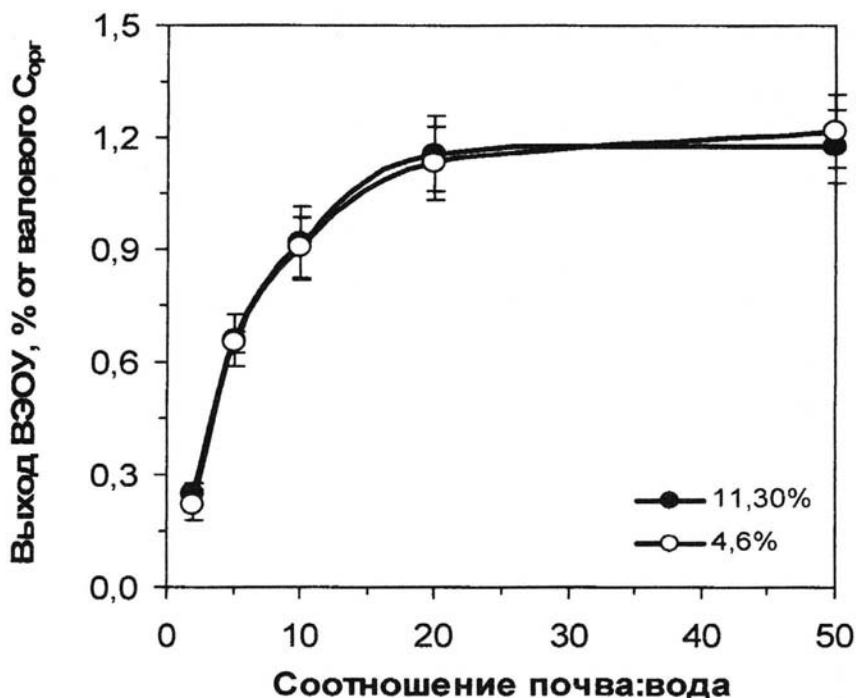


Рисунок 3 - Влияние объема сольвента на подвижность органического углерода в почвах с разным содержанием валового углерода

Можно также сделать вывод, что в природных условиях летние осадки большой интенсивности могут вызывать существенное выщелачивание ВОВ, которое может достигать более 1 % от общего запаса углерода в почве. В связи с этим в условиях криолитозоны, при наличии многолетнемерзлого водоупора, осадки высокой интенсивности, вызывая надмерзлотный и поверхностный сток, могут вызывать существенный вынос ВОВ из наземных экосистем, что подтверждается литературными данными (McDowell&Likens, 1988; Добровольский и др., 1999; Neff&Asner, 2001; Прокушкин и др., 2003; Прокушкин и др., 2005).

Помимо количества осадков, их частота выпадения является еще одним немаловажным фактором мобилизации ВОВ в органогенных горизонтах. После выщелачивания водорастворимого вещества восполнение его пула может быть обусловлено деятельностью микробоценоза,

Первая экстракция характеризуется максимальным выходом ВЭОУ в раствор, достигая 50% от его общего запаса (рис. 4Б). После 4 экстракций в раствор выходит уже более 80% ВЭОУ. Дальнейшее выщелачивание до шестой экстракции характеризуется стабилизацией количества ВЭОУ, что указывает на уравнивание

физико-химическими процессами - высыхание-увлажнение, а также уже отмеченного выше перераспределения между микро-, мезо- и макропорами. С целью изучения процессов мобилизации подвижного органического вещества нами была предпринята серия последовательных экстракций. Данный подход позволил оценить динамику мобилизации ВЭОУ и определить его валовое содержание.

Проведенные исследования показали, что динамика выхода ВЭОУ описывается обратной экспоненциальной кривой, что указывает на достаточно быстрое истощение пула доступного ВОВ (рисунок 4, А). Суммарный выход ВЭОУ за 9 экстракций в подстилках северного склона составил около 13 мгС/г а.с.м, а южного - 9.7 мг/г а.с.м. Однако если первоначально больший выход ВЭОУ был свойственен образцам северного склона, то в дальнейшем подстилки с южного склона, наоборот, выделяли в раствор более высокие количества ВЭОУ (рисунок 4, Б). скоростей его образования и выходом в раствор. Но после этого стабильного состояния наблюдалось резкое снижение количества ВЭОУ и устанавливалось новое равновесное состояние. В целом полученные результаты указывают на достаточно сложный механизм образования и перераспределения ВЭОУ, а также вероятное

участие микробиологической компоненты, утилизирующей разные пулы органического вещества подстилок.

В связи с вышеизложенным можно сделать вывод, что осадки высокой интенсивности и их частота способны вымывать значительные количества ВЭОУ из подстилок и почв за счет мобилизации нескольких его пулов, в которых сосредоточено более 1% от валового содержания органического углерода в данных компонентах экосистем. Кроме того, достаточно быстрое восполнение запасов

водорастворимого вещества за счет микробиологических процессов в течение вегетационного периода способно еще более увеличивать величину его экспорта из лесных экосистем. Таким образом, полученные данные свидетельствует о высокой вероятности возрастания потерь органического вещества наземными экосистемами в гидрографическую сеть в результате увеличения количества осадков при прогнозируемом изменении климата.

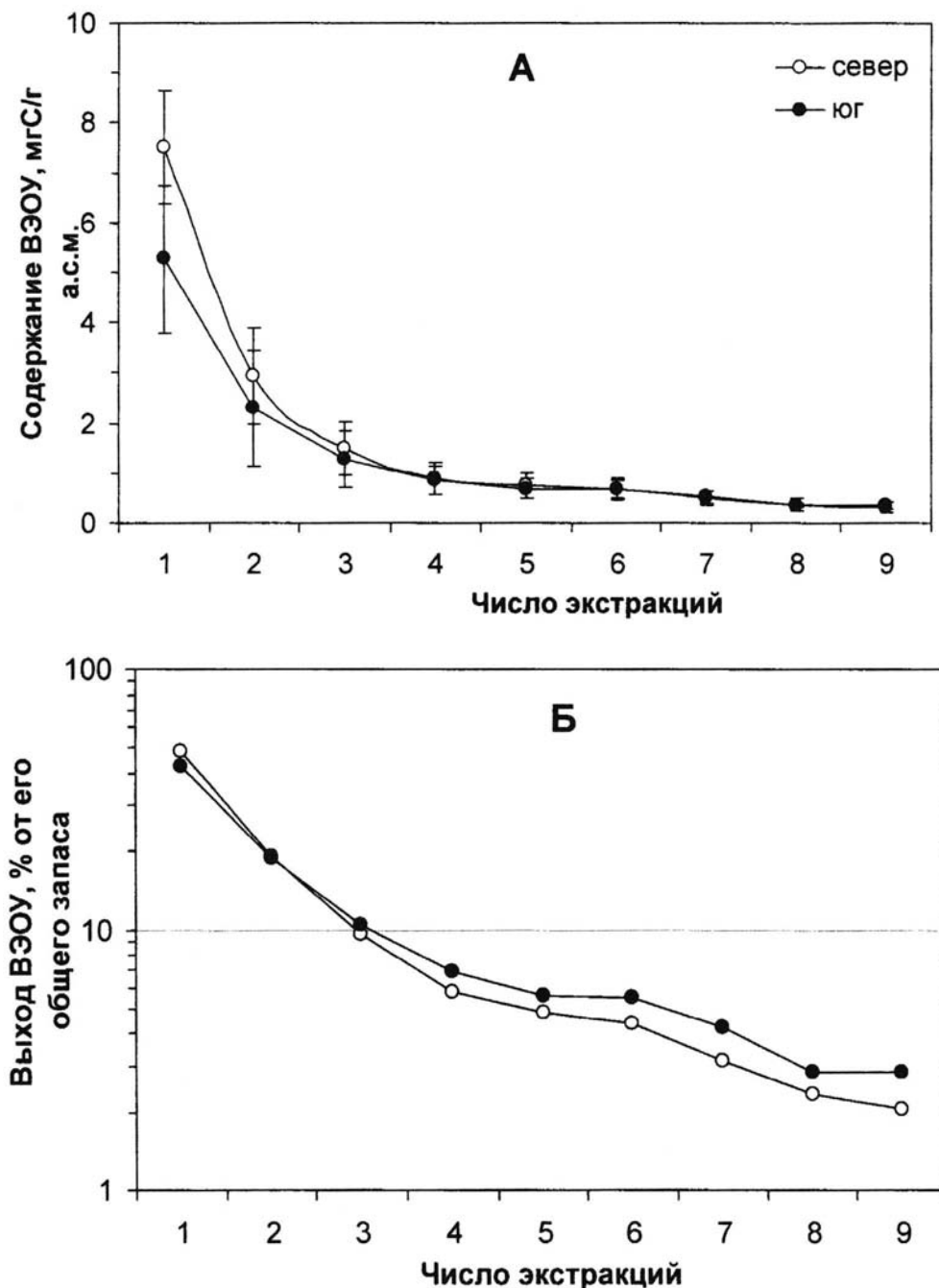


Рисунок 4 - Выход водорастворимого органического углерода в раствор в зависимости от числа экстракций подстилок склонов южной и северной экспозиции (А) и доля ВЭОУ относительно его общего запаса (Б)

Библиографический список

1. Горбачева, Т.Т., Лукина, Н.В. Органический углерод в водах подзолов ельников зеленомошных Кольского полуострова // Лесоведение. - 2004. - № 4. С. 43-50.
2. Углерод в почвах ландшафтах Северной Евразии / Г.В. Добровольский [и др.] // Круговорот углерода на территории России. - М.: Наука. 1999. - С. 223-270.
3. Ершов, Ю.И. Мезоморфное почвообразование в таежно-мерзлотном семигумидном секторе Средней Сибири // Почвоведение. - 1994. - № 10. - С. 10-18.
4. Поздняков, Л.К. Гидроклиматический режим лиственничных лесов Центральной Якутии. М.: Изд-во Академии наук СССР. - 1963. - 144 с.
5. Растворенный органический углерод в водотоках мерзлотной зоны Центральной Эвенкии / А.С. Прокушкин, [и др.] // Сибирский Экол. Жур. 2003. - Т. 10. - №6. - С. 727-735.
6. Поступление растворенного органического углерода в почву лиственничников в условиях сплошной мерзлоты Средней Сибири / А.С. Прокушкин [и др.] // Лесоведение. - 2005. - № 4. - С. 1-8.
7. Шиханова, Т.А. Формирование лесных подстилок в хвойно-мелколиственном насаждении средней тайги // Лесоведение. - 2000. - № 6. - С. 33-39.
8. Christ M.J., David, M.B. Temperature and moisture effects on the production of dissolved organic carbon in a spodosol // Soil Biol. and Biochem. - 1996. 28 (9). - P. 1191-1199.
9. Hongve, D. Van Hees, P.A.W., Lunsdrom, D. Dissolved components in precipitation water percolated through forest litter // Europ. J. Soil Sci. 2000. - 51. - P. 667-677.
10. Kaiser, K., Kaupenjohann, M., W. Zech. Sorption of dissolved organic carbon in soil: effects of soil sample storage, soil-to-solution ratio, and temperature // Geoderma. - 2001. - 99. - P. 317-328.
11. Lofts, S., Simon, B.M., Tiping, E., Woof, C. Modeling the solid-solution partitioning of organic matter in European forest soils // Europ. J. Soil Sci. - 2001. - 52. - P. 215-226.
12. McDowell, W.H., Likens, G.E. Origin, composition, and flux of dissolved organic carbon in the Hubbard brook valley // Ecol. Monog. - 1988. - 58 (3). - P. 177-195
13. Michalzik, B., Matzner, E. Dynamics of dissolved organic nitrogen and carbon in a Central European Norway spruce ecosystem // Europ. J. Soil Sci. - 1999. - 50 (4). - P. 579-590.
14. Näsholm, T., Ekblad, A., Nordin, A., Giesler, R., Högberg, M., Högberg, P. Boreal forest plants take up organic nitrogen // Nature. 1998. - 392. - P. 914-916.
15. Neff, J.C., Asner, G.P. Dissolved organic carbon in terrestrial ecosystems: Synthesis and a Model // Ecosystems. 2001. 4. P. 29-48.
16. Tao, S., Lin, B. Water soluble organic carbon and its measurement in soil and sediment / Wat. Res. - 2000 Vol. 34 (5). - P. 1751-1755.
17. Zsolnay, A. Dissolved humus in soil waters // Humic substances in terrestrial ecosystems. Ed. Piccolo A. Amsterdam: Elsevier. - 1996. - P. 171-223.

Поступило в редакцию 1 апреля 2005 г.

Рецензия от 17 апреля 2005 г.