



УДК 630.548:630.114.61(571.51)

Н.Д. Сорокин, Д.Е. Александров

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Авторами статьи исследованы микробиологические факторы трансформации углерода и азота в лесных почвах Средней Сибири. Установлено, что общая продуктивность бактерий и микромицетов в исследуемых почвах составляет 1,2–3,8 т/га в верхнем слое 0–50 см, расчетный углерод микробной биомассы меняется в пределах 0,7–1,3 т/га, или 0,4–1,7 % от общего углерода. Энергия гумуса при переходе от почв южно-таежной подзоны к северным криогенным почвам уменьшается от $27,9 \times 10^8$ до $1,3 \times 10^8$ ккал/га. Микробиологическая трансформация азота и углерода может служить показателем лесорастительной способности (плодородия) почв.

Ключевые слова: экология микроорганизмов, Средняя Сибирь, трансформация углерода, трансформация азота, плодородие почв.

N.D. Sorokin, D.E. Alexandrov

CARBON AND NITROGEN MICROBIOLOGICAL TRANSFORMATION IN MIDDLE SIBERIA FOREST SOILS

The microbiological factors of carbon and nitrogen transformation in Middle Siberia forest soils are researched by the authors of the article. It is established that the general efficiency of bacteria and micromycetes in the studied soils makes 1,2–3,8 t/hectare in the top layer of 0–50 cm, microbial biomass rated carbon changes within 0,7–1,3 t/hectare, or 0,4–1,7 % from the general carbon. Humus energy in transition from southern taiga subzone soils to northern cryogenic soils decreases from $27,9 \times 10^8$ to $1,3 \times 10^8$ kcal/hectare. The nitrogen and carbon microbiological transformation can serve as an indicator of the soil forest vegetation ability (fertility).

Key words: microorganism ecology, Middle Siberia, carbon transformation, nitrogen transformation, soil fertility.

Введение. Круговорот углерода имеет фундаментальное значение для поддержания экологического равновесия и нормального функционирования лесных экосистем. С ним связаны процессы фотосинтеза и минерализации органических веществ с выделением углекислоты.

Исследование микробиологической трансформации углерода в лесных экосистемах Сибири имеет большое значение, так как дает возможность количественно оценить биогенную составляющую баланса углерода и его динамику в различных биогоризонтах (почва, подстилка, опад) под влиянием экологических и антропогенных факторов.

В то же время хорошо известно, что микробиологическая мобилизация углеродных соединений тесно связана с динамикой азота почвы. Сопряженные процессы микробиологической трансформации углерода и азота в лесных почвах севера и юга Средней Сибири имеют свои особенности, но однозначно в значительной степени определяют лесорастительную способность почв.

Цель исследований. Провести сравнительный анализ мобилизационной активности микробных комплексов лесных почв Средней Сибири при переходе от ее северной части к центральной и южнотаежной подзоне. Определить количественные микробиологические параметры трансформации углерода и азота.

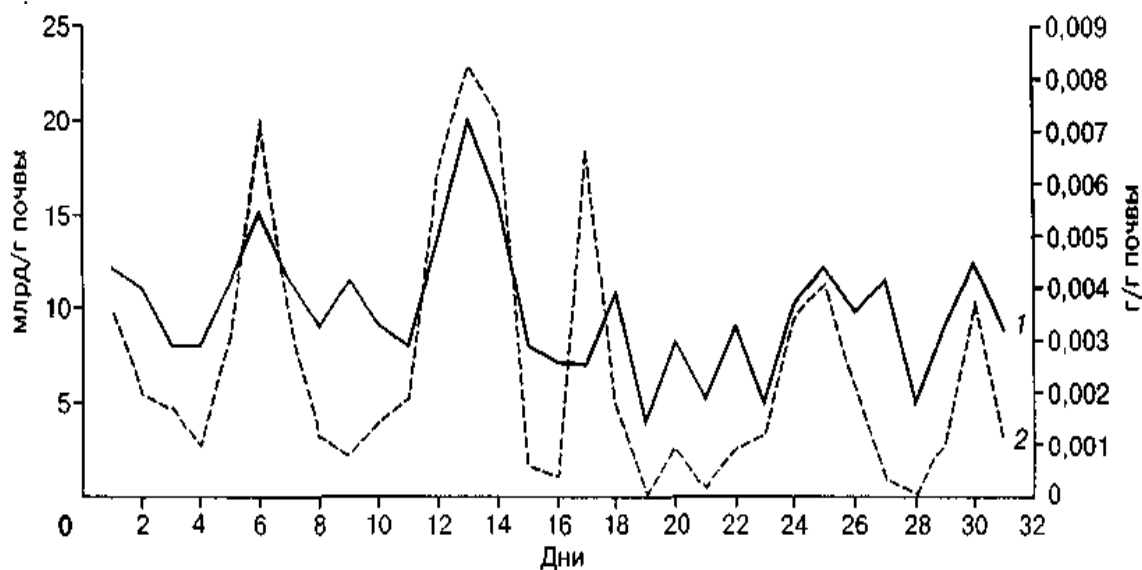
Объекты и методы исследований. Объектами исследований явились микробные комплексы криоземов гомогенных лиственничников Центральной Эвенкии, таежных осолоделых почв сосняков Иркутского Приангарья, серых лесных почв пихтарников Нижнего Приангарья и темно-серых лесных почв юга Красноярского края.

Для количественной оценки аккумуляции и эмиссии углерода в почвах лесных экосистем использовался регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов [1] и газоаналитический метод СИД [7]. Скорость эмиссии CO_2 из почвы определяли по Очакову и на газовом хроматографе ЛХМ-80. Интенсивность деструкции клетчатки микроорганизмами изучали методом разложения стандартной целлюлозы на поверхности почвы и методом деструкции хлопчатобумажной ткани на глубине 0–20 см. Общую протеазную активность почв определяли по [3].

На основе полученных данных рассчитывали коэффициенты микробиологической активности $K_{ма}$ [5].

Результаты исследований и их обсуждение. Установлено, что в таежных почвах Сибири в период летней вегетации (июль) количество генераций микроорганизмов может достигать 7–9 независимо от зональной принадлежности почв (рис.).

Однако весной и осенью число генераций численности микроорганизмов в почвах северной и южной подзоны резко отличается. При этом биогенность 1 г почвы лесных территорий составляет от 2,3 млрд клеток в условиях Севера Сибири до 6,4 млрд в Приангарье и 8,9 млрд – в предгорьях Западного Саяна, что соответствует их реальной величине трофического коэффициента.



Динамика численности и биомассы бактерий в серой почве сосняка разнотравного (Нижнее Приангарье):
1 – численность бактерий, млрд/г почвы; 2 – биомасса бактерий, г/г почвы

Общая продуктивность бактерий и грибов верхнего гумусированного горизонта почв исследованных биогеоценозов достигает 1,4–4,0 мг/см^3 (1,2–3,8 т/га в слое 0–50 см), или 0,3–1,5 % от количества гумуса. Известно, что содержание углерода в микробной клетке колеблется от 48 до 58 % [6]. Следовательно, расчетный углерод микробной биомассы исследованных почв меняется в пределах 0,65–2,0 мг/см^3 (0,7–1,3 т/га в слое 0–50 см), или 0,4–1,7 % от общего углерода.

Следует отметить, что энергия, заключенная в микробной биомассе, расходуется клетками на конструктивные или/и на деструкционные процессы. Именно за счет гетеротрофной деструкции органического вещества лес поставляет в атмосферу двуокись углерода в количестве, сопоставимом и даже превышающем антропогенные поступления. Как отмечают И.П. Бабьева и Г.М. Зенова [1], в аэробных условиях грибы дают 2/3, а бактерии – 1/3 выделяющейся различными биогоризонтами углекислоты.

По нашим данным, продукция CO_2 1 га почв таежной зоны составляет 40–62 кг за 24 ч (табл.). Коэффициент окислительной активности, определяемый по соотношению дыхание/микробная биомасса, для исследованных почв равен 3–4. Это означает, что ежегодный приток углекислого газа в атмосферу из лесных почв исследуемых регионов за счет деятельности микробиоты колеблется от 4,8 до 5,5 т/га.

Мобилизационная активность микроорганизмов лесных почв Сибири

Район исследований, тип леса и почвы	Интенсивность выделения CO ₂ , кг/га за 1 ч	Общая протеазная активность, % раз- рушения желатины за сезон	Разложение клетчатки, %		Кoeffици- ент микро- биологиче- ской актив- ности, K _{ма}
			за сезон	за год	
Среднее Приангарье; сосняк бруснично- зеленомошный; таеж- ная осолодевшая	2,4±0,3	62	41	77	4,6
Нижнее Приангарье: пихтарник; серая сугли- нистая	3,3±0,3	68	53	81	5,1
Западный Саян: пих- тарник высокотравно- папоротниковый; горно- таежная бурая	3,1±0,3	74	57	86	5,2
Центральная Эвенкия: лиственничник кустар- ничково- зеленомошный; крио- зем гомогенный	0,8±0,1	37	18	37	1,7
Юг Красноярского края: сосняк мертвопокров- ный; темно-серая лес- ная	4,8±0,05	72	53	84	5,8

Расчет скорости микробного дыхания (БД), биомассы микроорганизмов (МБ) и метаболического коэффициента (qCO_2) через субстратиндуцированное дыхание (СИД) свидетельствует о том, что этот метод дает превышение по биомассе микроорганизмов в 1,5 раза, а по интенсивности дыхания – в 2 раза. Таким образом, расчетные данные по эмиссии CO₂ в исследуемых почвах должны быть увеличены примерно в 2–2,5 раза.

Следует отметить, что функциональная активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов зависит от наличия в почве легкоподвижных азотных соединений, а скорость разрушения клетчатки пропорциональна общей протеазной активности почв. Зная величину общей протеазной и целлюлолитической активности и величину биомассы микроорганизмов, можно посчитать коэффициент микробиологической активности почвы (K_{ма}), который представляет собой отношение суммарного количества разложившейся клетчатки и желатина в граммах к биомассе микроорганизмов за определенный отрезок времени [5]. Коэффициенты микробиологической активности закономерно возрастают при переходе от северных почв к почвам южной подзоны тайги Сибири (см. табл.).

Преимущественное использование микробценозами и фитоценозами лесных сообществ аммонийных форм азота выражается в преобладающем развитии в исследуемых почвах аммонифицирующих микроорганизмов. Энергия размножения аммонификаторов выражается в аммонифицирующей способности почв. Накопление поглощенного аммония наиболее активно происходит в серых лесных и дерново-подзолистых почвах приенисейской части Сибири и наименее активно в супесчаной почве Среднего Приангарья. В первом случае накапливается до 17–20 мг NH₄ на 100 г почвы, во втором – 3,5 мг.

Накопление нитратных форм азота не имеет прямой зависимости от числа нитрифицирующих бактерий, но находится в большей связи с общей численностью микроорганизмов, участвующих в метаболизме азота. Нитрификаторы в исследуемых почвах развиты слабо вследствие неблагоприятных для них почвенно-экологических условий. Но согласно результатам Докстадера и Александера [8], нитрификация может осуществляться гетеротрофными организмами. В частности, гетеротрофные бактерии, актиномицеты и грибы продуцируют нитраты из различных восстановленных форм азота. Отсутствие соответствия между чис-

лом нитрификаторов и содержанием нитратов в почве может являться именно этим фактом, и кроме того, другой причиной является поглощение нитратов высшими растениями и денитрификация.

Исследования показывают, что процессы трансформации легкогидролизуемых форм органики наиболее полно протекают в серых лесных почвах Нижнего Приангарья. Здесь при определенных экологических условиях в летний период может происходить биологическое окисление солей аммония в нитратную форму. В остальных почвах процесс трансформации азота заканчивается на стадии образования аммония. При этом возможны потери азота в газообразной форме за счет активного развития денитрификаторов или за счет иммобилизации его другими группами микроорганизмов, которые после отмирания и лизиса возвращают поглощенный азот в почву в более сложной органической форме.

Обобщая полученные данные по трансформации азота и углерода в лесных почвах Средней Сибири, мы имеем возможность провести оценку плодородия почв региона, поскольку, как было показано, азот является в данном случае основным компонентом органического вещества, лимитирующим плодородие.

В.А. Ковда [2] и И.И. Свентицкий [4] предлагают оценивать потенциальное плодородие почв по одному комплексному показателю – количеству энергии, заключенной в органическом веществе почв, поскольку и почвообразование в целом, и гумусообразование являются энергетическими процессами.

Если принять запасы гумуса и энергии за уровень потенциального плодородия, то исследуемые почвы можно расположить в следующий нисходящий ряд: дерново-перегнойные суглинистые – серые оподзоленные – дерново-подзолистые суглинистые – перегнойно-поверхностно-глеевые осолоделые – серые осолоделые – таежные осолоделые красно-бурые – дерново-карбонатные – дерново-подзолистые супесчаные. Энергия гумуса в этом ряду убывает от $27,9 \times 10^8$ до $1,3 \times 10^8$ ккал/га. По запасам энергии в микробной массе такой закономерности не наблюдается. Самые низкие и довольно близкие между собой величины отмечены в дерново-перегнойных суглинистых почвах и дерново-подзолистых супесчаных – $1,2 \times 10^6$ и $1,3 \times 10^6$ ккал/г соответственно. Причем доля микробной массы в энергии органических соединений в первом случае самая низкая, а во втором самая высокая среди исследованных почв.

Заключение. При переходе от криогенных почв севера Сибири (Центральная Эвенкия) к длительно сезоннопромерзающим почвам центральной и южной части Красноярского края резко возрастает продукция микробной массы (от 1,2 до 3,8 т/га) и дыхательная активность микробиоты. Сопряженно в 3–5 раз увеличивается аммонифицирующая способность микроорганизмов и деструкция целлюлозы. Показателем мобилизационной активности гетеротрофных микроорганизмов является коэффициент микробиологической активности – Кма, который закономерно возрастает в почвах юга Красноярского края по сравнению с северными почвами от 1,7 до 5,8.

По всем параметрам микробиологической трансформации углерода и азота (сбалансированности процессов деструкции и синтеза клетчатки, накоплению микробной биомассы, эмиссии CO₂, процессам аммонификации, нитрификации и др.), определяющим почвенное плодородие, лучшие условия создаются в лесных экосистемах юга Красноярского края и Нижнего Приангарья. Самой низкой лесорастительной способностью обладают почвы северной и восточной части Средней Сибири (Центральная Эвенкия и Иркутское Приангарье).

Литература

1. *Бабьева И.П., Зенова Г.М.* Биология почв. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 336 с.
2. *Ковда В.А.* Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана. – М.: Наука, 1981. – 182 с.
3. *Методы стационарного изучения почв.* – М.: Наука, 1977. – 248 с.
4. *Свентицкий Н.Н.* Биоэнергетическая основа оценки плодородия почв // Вестн. с.-х. науки. – 1981. – № 2. – С. 32–38.
5. *Сорокин Н.Д.* Микробиологический мониторинг лесных экосистем Сибири при различных антропогенных воздействиях // Успехи современной биологии. – 1993. – Т. 113. – Вып. 4. – С. 137–169.
6. *Шлегель Г.* Общая микробиология. – М.: Мир, 1987. – 567 с.
7. *Anderson T.H., Domsh K.H.* A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil // Soil Biology and Biochemistry. – 1978. – № 10. – P. 215–221.
8. *Doxtader R.G., Alexander V.* Nitrification by heterotrophic soil microorganisms // Soil Sci. – 1966. – Vol. 30. – P. 73–78.

АГРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ ПРОИЗВОДНЫХ ОСИННИКОВ ЮЖНОГО ПРИАНГАРЬЯ

В статье приводятся результаты почвенных исследований, проведенных в молодых и средневозрастных осинниках осочково-разнотравного типа, формирующихся на сосновых вырубках. В осиновых молодняках выявлено определенное ухудшение основных агрохимических и агрофизических характеристик верхних почвенных горизонтов, обусловленное негативными последствиями проведения рубки. Однако под влиянием растительных компонентов осиновых насаждений происходит постепенное восстановление исходных почвенных показателей, главную роль в котором играет активно протекающий дерновый процесс.

Ключевые слова: *коренной сосновый древостой, производные молодые и средневозрастные осинники, дерново-подзолистая почва, агрохимические и агрофизические показатели.*

P.A. Tarasov, A.V. Tarasova

SOIL AGROPHYSICAL CHARACTERISTIC OF SECOND GROWTH ASPEN WOODS IN SOUTH ANGARA REGION

The results of soil studies conducted in young and middle-aged aspen woods of sedge-mixed grass type formed on pine cuttings are given in the article. The certain deterioration of the upper soil horizon basic agro-chemical and agro-physical characteristics, due to the cutting negative effects is revealed. However, under the influence of aspen wood plant components there is a gradual recovery of the initial soil indices, where the active sod process plays the main role.

Key words: *native pine forest stand, second growth young and middle-aged aspen woods, sod-podzolic soil, agro-chemical and agro-physical indices.*

Введение. Исследования целого ряда российских и международных научных организаций показали, что в сибирских регионах, в которых многие десятилетия активно использовались сплошные концентрированные рубки, коренные хвойные древостои сменяются производными мелколиственными. Особенно ярко этот нежелательный с хозяйственной точки зрения процесс проявляется в Приангарье, где только за 15-летний период на рубеже XX–XXI веков площадь сосновых насаждений сократилась почти на 214 тыс. га, тогда как занятая березняками и осинниками, напротив, увеличилась соответственно на 60 и 75 тыс. га [8].

Столь масштабная по своим размерам смена хвойных пород мелколиственными, заметно отличающимися от них по характеру и степени своего влияния на почву [4, 16], определила актуальность оценки данного процесса с точки зрения лесного почвоведения. При этом в большинстве работ, выполненных в различных регионах страны (от Поволжья до Сибири), рассматривалось влияние смены хвойных пород березой, которое, по мнению всех авторов, приводит к улучшению почвенных условий [14, 18, 19].

К сожалению, осине, не менее активно, чем березе, возобновляющейся на вырубках хозяйственно ценных пород, в данном аспекте уделялось неоправданно мало внимания. Лишь в работах М.Е. Ткаченко [16] и С.В. Зонна [4] отмечается неоднозначное и противоречивое влияние осины на свойства почв, вследствие чего данную породу, в отличие от других лиственных, даже не считают почвоулучшающей.

Вместе с тем М.Е. Ткаченко подчеркивал, что «Одна и та же порода ... при разных климатических и почвенно-топографических условиях и в зависимости от других обстоятельств будет оказывать на почву различное воздействие» [16].

Цель исследований. Оценка характера и степени влияния насаждений осины, формирующихся на сосновых вырубках, на свойства почв в условиях Южного Приангарья.

Объекты и методы исследований. Исследования проводились на территории Абанского лесничества, отнесенной, согласно лесорастительному районированию Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, к Ангарскому южно-таежному району лиственнично-сосновых лесов. В соответствии же с почвенно-географическим районированием данная территория является частью Приангарской провинции дерново-подзолистых, дерново-карбонатных и дерново-таежных почв [3].