

*И.Н. Безкоровайная, И.В. Борисова, А.А. Ильин**Сибирский федеральный университет, ibezkorovaynaya@sfu-kras.ru*

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПОЧВЕННОГО АЗОТА В ПОСЛЕПОЖАРНЫХ ЛИСТВЕННИЧНИКАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЭВЕНКИИ

Проведен анализ способности криогенных почв в послепожарных лиственничниках к минерализации азота. Азотный фонд исследованных почв на 67-85% представлен инертными соединениями. Подстилки отличаются более высокой минерализационной активностью. Фракционный состав азотсодержащих соединений и аммонифицирующая способность почв свидетельствуют о том, что только в первый год после пожара происходит активизация процессов, способствующих переводу азотсодержащих соединений в доступные для растений формы.

Ключевые слова: криогенные почвы; пожары; аммонификация; минерализация азота.

Введение

Тренд повышения активности пожаров и горимости лесов Сибири подтверждается многими авторами (Швиденко, Щепашенко, 2013; Пономарев, Швецов, 2013; Lourian, 2006). Прогнозируемые изменения климата совместно с пирогенной трансформацией экологических условий в северных лесных экосистемах отразятся на мерзлотном режиме и направленности гетеротрофных процессов, локализованных в почве. В результате может снизиться аккумулирующая роль криогенных почв, активизация биологических процессов приведет к увеличению доступности питательных элементов, в том числе азота. Анализ послепожарной динамики и трансформации азотсодержащих соединений особенно актуален для криогенных почв, поскольку азот является мощным лимитирующим фактором продуктивности наземных экосистем (Шугалей, Ведрова, 2004; Разгулин, 2008).

Цель исследования: оценить влияние пирогенного фактора на аммонифицирующую способность почв в условиях многолетней мерзлоты на примере северотаежных лиственничников Центральной Эвенкии.

Материалы и методы исследования

Район исследования относится к Эвенкийской лесорастительной провинции, где основной лесобразующей породой является лиственница Гмелина (*Larix gmelinii*). Пробные площади представлены лиственничными гарями разного возраста (1, 2 и 24 года) и соответствующими им лиственничниками кустарниково-лишайниково-зеленомошными, не подвергавшимися пожарам более 100 лет. Почвы – подбуры грубогумусированные (Оао-BHF-C) и подбуры глееватые

(О-BHF-BFg-Cg).

На каждой пробной площади были отобраны образцы почв в следующих слоях почвы: подстилка, минеральные слои почвы 0-5 см, 5-10 и 10-20 см. Одновременно с отбором образцов проводили измерение температуры почвы. Фракционный состав азота определялся титриметрическим методом с помощью щелочного гидролиза по Корнфилду в чашках Конвея. Применялся ступенчатый гидролиз: из почвы вначале извлекались трудногидролизуемые соединения азота с помощью 6н NaOH, далее извлекался легкогидролизуемый азот с помощью 1н NaOH (Аринюшкина, 1970). При определении аммонифицирующей способности образцы почв и подстилок компостировали в течение двух недель в термостате при 28°C и влажности 60% от полной влагоемкости (ПВ). В исходных и компостированных образцах определяли обменный аммоний. Содержание обменного аммония определяли колориметрическим методом с реактивом Несслера (Орлов, Гришина, 1981). Нитратный азот не учитывали, поскольку в криогенных почвах северной тайги его содержание можно охарактеризовать как «следы» (Шугалей, Ведрова, 2004). Минерализацию оценивали по количеству аммонийного азота, накопленного в результате компостирования почвы.

Результаты и их обсуждение

Процессы минерализации органического вещества в почвах зависят от динамики поступления растительных остатков на поверхность почвы, гидротермических условий и активности почвенной биоты (MacDonald et al., 1995; Beermann et al., 2017). Подстилка в исследованных лиственничниках представляет собой рыхлую плохо разложившуюся массу растительных остатков мощно-

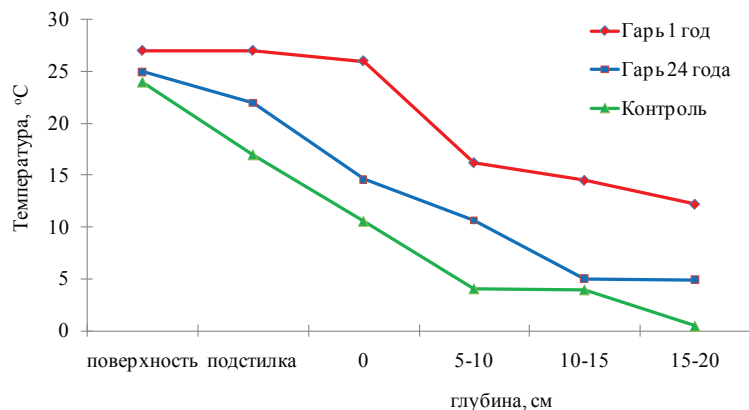


Рис. 1. Динамика температур почвы на контрольном участке и гари разного возраста (июль)

стью 15-25 см. Запасы характеризуются высокой вариабельностью и составляют 3.7-6.9 кг/м². В первые годы после пожара мощность пирогенно трансформированной подстилки не превышает 5 см. Ее запасы снижаются до 0.7 кг/м² и представлены свежим послепожарным опадом лиственницы (шишки, ветки, хвоя) и травяно-кустарничкового яруса. Через 24 года после пожара, когда под покров кустарничков начинают внедряться лесные мхи, запасы подстилки приближаются к таковым на контрольных площадках и составляют в среднем 3.6 кг/м².

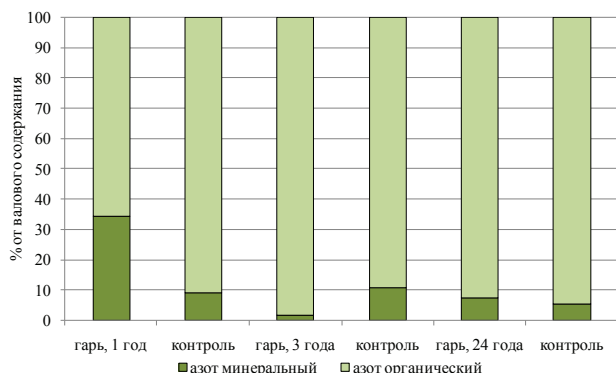
Послепожарные изменения в напочвенном покрове и подстилках приводят к трансформации температурного режима почвы (Безкорвайная и др., 2018). Основное влияние пирогенного фактора на температурные условия проявляется в подстилках и верхнем минеральном слое 0-5 см и в первый год после пожара температура может превышать 25°C, в минеральном слое 5-10 см температура на десять градусов выше таковой 24-летней гари и контрольного лиственничника

(рис. 1). Через 24 года после пожара температура в подстилке и в минеральном слое почвы 20 см близки к таковым контрольного участка.

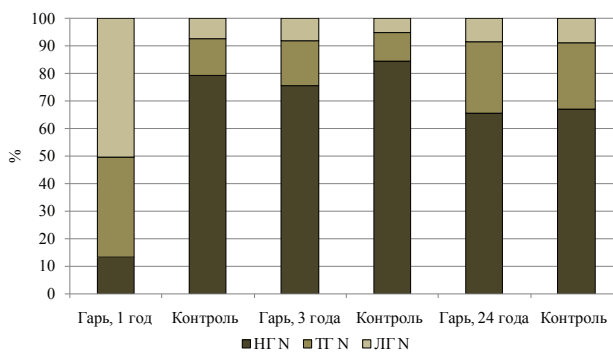
Содержание валового азота в исследуемых почвах составляет в подстилках от 19 мг/100г на свежих гари до 474 мг/100г на контрольных участках (табл.). В минеральном слое почвы его содержание в среднем для 0-20 см составляет 35 мг/100г. На гари 2013 и 1993гг. отмечено увеличение содержания азота в верхнем слое почвы 0-5 см. Почвенный азот представлен широкой группой соединений, неоднородных по своему составу и доступности для растений. Основная доля (89-95%) азота в исследуемых почвах представлена органическими соединениями (рис. 2А).

Анализ фракционного состава азота показал, что до 85% азота относится к инертным соединениям негидролизуемого остатка (рис. 2Б). Среди гидролизующих форм доминируют трудногидролизующие, на легкогидролизующий азот, способный при определенных гидротермических условиях быстро минерализоваться и вовлекаться в биологический круговорот, приходится не более 9% от его общего содержания. Основные процессы минерализации протекают в подстилках, о чем свидетельствует более высокое содержание аммонийного азота по сравнению с таковым в минеральных слоях почвы всех исследуемых лиственничников (табл.). Через год после пожара отмечена активизация почвенных биологических процессов и, как следствие, увеличение доли минерального азота до 35%. Значительно увеличивается доля гидролизующих соединений, среди которых доминируют легкогидролизующие фрак-

ции. Анализ фракционного состава азота показал, что до 85% азота относится к инертным соединениям негидролизуемого остатка (рис. 2Б). Среди гидролизующих форм доминируют трудногидролизующие, на легкогидролизующий азот, способный при определенных гидротермических условиях быстро минерализоваться и вовлекаться в биологический круговорот, приходится не более 9% от его общего содержания. Основные процессы минерализации протекают в подстилках, о чем свидетельствует более высокое содержание аммонийного азота по сравнению с таковым в минеральных слоях почвы всех исследуемых лиственничников (табл.). Через год после пожара отмечена активизация почвенных биологических процессов и, как следствие, увеличение доли минерального азота до 35%. Значительно увеличивается доля гидролизующих соединений, среди которых доминируют легкогидролизующие фрак-



А



Б

Рис. 2. Фракционный состав азота почв послепожарных лиственничников. А – соотношение минеральных и органических форм азота, Б – соотношение гидролизующих форм азота: ЛГН – легкогидролизующий азот; ТГН – трудногидролизующий азот; НГН – негидролизующий азот

Таблица. Аммонифицирующая способность почв в послепожарных лиственничниках

Глубина, см	N валовый, мг/100 г	N-NH ₄ , мг/100 г		Аммонифи- цирующая способность, мг/100г
		До компости- рования	После компости- рования	
Гарь, 1 год после пожара				
подстилка	19.0	16.3	12.0	-4.3
0-5	17.9	2.9	2.1	-0.8
5-10	8.4	0.8	1.4	0.6
10-20	5.6	1.0	1.7	0.7
Контроль				
подстилка	85.9	16.3	19.9	3.6
0-5	100.7	2.9	3.4	0.5
5-10	38.0	1.3	3.2	1.9
10-20	9.5	1.0	1.6	0.6
Гарь, 3 года после пожара				
подстилка	18.0	8.5	14.5	6.0
0-5	142.0	1.6	3.6	2.0
5-10	36.2	1.0	1.4	0.4
10-20	70.5	0.6	1.3	0.7
Контроль				
подстилка	474.0	7.0	15.3	8.3
0-5	39.5	1.1	2.8	1.7
5-10	22.8	0.8	1.6	0.8
10-20	5.9	0.8	1.1	0.3
Гарь, 24 года после пожара				
подстилка	110.5	14.5	17.5	3.0
0-5	88.2	1.3	3.8	2.5
5-10	10.3	0.2	1.8	1.6
10-20	9.4	0.2	1.0	0.8
Контроль				
подстилка	140.0	9.0	19.1	10.1
0-5	19.9	0.3	1.4	1.1
5-10	14.5	0.2	2.1	1.9
10-20	5.8	0.2	1.0	0.8

ции (рис. 2Б). В последующие послепожарные годы фракционный состав азота соответствует таковому в почвах лиственничников, не подвергавшихся пирогенному воздействию.

В естественных условиях активность процессов трансформации органических азотсодержащих соединений в доступные для растений формы зависит от соотношения таких экологических факторов, как качественный состав органического вещества, гидротермические условия, активность ферментов азотного метаболизма, реакции среды и др. и является интегральным показателем экологических условий и эффективного плодородия

почв (Шугалей, Ведрова, 2004; Разгулин, 2012; MacDonald et al., 1995; Beermann et al., 2017). Компостирование почвы в оптимальных условиях температуры (28°C) и влажности (60% от ПВ) выявляет потенциальные возможности накопления почвами минерального азота. Взаимосвязанные процессы минерализации и иммобилизации азота протекают в оптимальных условиях и их соотношение зависит, прежде всего, от качественного состава органического вещества.

Ранее было показано, что в криогенных почвах процессы трансформации азотсодержащих соединений идут до образования аммония (Шугалей, Ведрова, 2004; Краснощек и др., 2004; Безкоровая и др., 2007). Анализ аммонифицирующей способности исследуемых почв выявил преобладание процессов минерализации для всех исследуемых участков, вне зависимости от послепожарного возраста (табл.). За две недели компостирования в оптимальных условиях в подстилках и в минеральном слое почвы 0-5 см большинства исследованных местообитаний аммонийного азота накопилось в два раза больше его исходного содержания. Прирост аммония осуществляется за счет минерализации легкогидролизуемой фракции и вовлечения в эти процессы части трудногидролизуемых азотсодержащих соединений. Только для однолетней гари в пирогенно трансформированной подстилке и верхнем минеральном слое почвы 0-5 см отмечена иммобилизация подвижного азота, что объясняется более глубокой трансформацией азотсодержащих органических соединений. В процессе компостирования активно развивается почвенная микрофлора, которая может использовать не только азот, образующийся в процессе компостирования, но и исходный минеральный азот. Кроме того, потери азота могут быть за счет активного развития денитрификаторов (Сорокин и др., 2017).

Заключение

В криогенных почвах под лиственничниками северной тайги содержание валового азота изменяется в широких пределах от 10 до 136 мг/100г.

После пожаров происходит его снижение более чем в два раза. Основная доля валового азота (67–85%) представлена инертными соединениями. Только в первый год после пожара отмечается активизация биологических процессов, приводящая к увеличению доли легкогидролизуемого азота как ближайшего поставщика минерального азота, доступного для растений. В исследованных почвах процессы минерализации преобладают. Прирост аммония в оптимальных условиях температуры и влажности осуществляется за счет вовлечения в эти процессы легкогидролизуемых и трудногидролизуемых азотсодержащих соединений, что свидетельствует о потенциальной возможности криогенных почв накапливать минеральный азот при наступлении благоприятных условий. Пирогенный фактор стимулирует более глубокую трансформацию азотсодержащих соединений. Через три и более лет после пожара в процессе восстановления напочвенного покрова и формирования подстилки фракционный состав азота в исследованных криогенных почвах соответствует таковому в лиственничниках, не подвергавшихся пирогенному воздействию.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-04-00796.

Список литературы

1. Ариункина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
2. Безкоровая И.Н., Климченко А.В., Шабалина О.М., Борисова И.В., Кастерин, Г.И. Формирование температурного режима криогенных почв на гарях разного возраста // Почвы в биосфере. 2018. С. 179–182.
3. Безкоровая И.Н., Тарасов П.А., Иванова Г.А., Богородская А.В., Краснощекова Е.Н. Азотный фонд песчаных подзолов после контролируемых выжиганий сосняков Средней Сибири // Почвоведение. 2007. № 6. С. 775–783.
4. Краснощек Ю.Н. Валендик Э. Н., Безкоровая И. Н., Сорокин Н. Д., Кузьмиченко В. В., Верховец С.В., Кисляхов Е.К. Влияние контролируемого выжигания шелкопрядников на свойства дерново-подзолистых почв в Нижнем Приангарье // Лесоведение. 2005. №5. С. 16–24.
5. Краснощек Ю.Н. Валендик Э. Н., Безкоровая И.

Информация об авторах

Безкоровая Ирина Николаевна, доктор биологических наук, профессор, Сибирский федеральный университет, 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, E-mail: ibezkorovaynaya@sfu-kras.ru.

Борисова Ирина Викторовна, кандидат географических наук, доцент, Сибирский федеральный университет, 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, E-mail: irina_borisova77@mail.ru.

Ильин Артем Александрович, магистр, Сибирский федеральный университет, 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, E-mail: ilyinartyom@yandex.ru.

Information about the authors

Irina N. Bezkorovaynaya, D.Sci. in biology, Professor, Siberian Federal University, 79, Svobodny ave., Krasnoyarsk, 660041, Russia, E-mail: ibezkorovaynaya@sfu-kras.ru.

Irina V. Borisova, Ph.D. in Biology, Assistant Professor, Siberian Federal University, 79, Svobodny ave., Krasnoyarsk, 660041, Russia, E-mail: irina_borisova77@mail.ru.

Artem A. Ilyin, Master, Siberian Federal University, 79, Svobodny ave., Krasnoyarsk, 660041, Russia, E-mail: ilyinartyom@yandex.ru.

Н., Сорокин Н. Д., Кузьмиченко, В. В., Верховец С.В., Кисляхов Е.К. Влияние контролируемого выжигания шелкопрядников на свойства дерново-подзолистых почв в Нижнем Приангарье // Лесоведение. 2005. №5. С. 16–24.

6. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса // М.: Изд-во МГУ, 1981. 272 с.

7. Разгулин С.М. Минерализация азота в почвах бореальных лесов // Лесоведение. 2008. №4. С. 57–62.

8. Сорокин Н.Д., Александров Д.Е., Гродницкая И.Д., Евграфова С.Ю. Микробиологическая трансформация соединений углерода и азота в лесных почвах Центральной Эвенкии // Почвоведение. 2017. №4. С. 490–496.

9. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. №5. С. 50–61.

10. Шугалей Л. С., Ведрова Э. Ф. Азотный фонд лиственничников северной тайги Средней Сибири // Известия РАН. Сер.биол. 2004. №2. С. 247–256.

110. Beermann F., Langer M., Wetterich S., Strauss J., Boike J., Fiencke C., Schirrmeister L., Pfeiffer E.-M., Kutzbach L. Permafrost thaw and liberation of inorganic nitrogen in eastern Siberia // Permafrost and Periglacial Processes. 2017. V. 28, №4. P. 605–618.

12. Loupian E.A., Flitman A.A., Ershov E.V. Satellite Monitoring of Forest Fires in Russia at Federal and Regional Levels Mazurov // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2006. V. 11. P. 113–145.

13. MacDonald N.W., Zak D.R., Pregitzer K.S. Temperature effects on kinetics of microbial respiration and net nitrogen and sulfur mineralization // Soil Science Society of America Journal. 1995. V. 59. P. 233–240.

I.N. Bezkorovaynaya, I.V. Borisova, A.A. Ilyin. Mineralization of soil nitrogen in post-fire larch forests of Central Evenkia.

The ability of cryogenic soils in post-fire larch forests to nitrogen mineralization was analyzed. The nitrogen fund of the studied soils is 67–85% represented by inert compounds. Litters have a higher mineralization activity. The fractional composition of nitrogen-containing compounds and the ammonifying capacity of soils indicate that only in the first year after the fire processes are activated that promote the transfer of nitrogen-containing compounds into forms accessible to plants.

Keywords: cryogenic soils; fires; ammonification; nitrogen mineralization.