

УДК 630.182:574.4:581.133.1:631.416.1

АЗОТ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Н.Г. ВАСИЛЬЕВ, Е.В. КУЗНЕЦОВ, Л.В. МОСНИНА

(Кафедра лесоводства и геологии)

Изучено содержание азота в биомассе компонентов лесных экосистем: в стволовой древесине, ветвях, корнях, подлеске, живом напочвенном покрове, подстилке и гумусовом горизонте сосновых и еловых формаций европейской части России. Приведены данные о накоплении азота в древостоях лесообразующих пород Лесной опытной дачи Тимирязевской академии и круговороте биологического азота, фиксируемого почвенными микроорганизмами. Рассмотрены вопросы влияния лесосушения, рекреации и загрязнения среды на лесные фитоценозы и почву.

Лес, как известно, является активной функциональной частью биосферы. Ежегодно лесная растительность планеты продуцирует 38—40 млрд т органического вещества в абсолютно сухом веществе, что составляет более 60% прироста годовой биомассы суши. По сравнению с другими экосистемами Земного шара лесные экосистемы наиболее продуктивны. Первичная биологическая продуктивность леса на 25—30% выше продуктивности сельскохозяйственных полей. Воздействие на окружающую среду 1 га леса равноценно действию 23—35 га тундр, полупустынь и пустынь, 6—7 га океанов и морей,

3—4 га степей, лугов и пастбищ.

В России производят 12—14 млрд т ежегодно прирастаемой биомассы. Годовой прирост в тундре составляет 1—2,5 т/га, в северной тайге — 2,5—5, южной тайге — 10 т/га и более. Зона тайги, где преобладают хвойные леса, занимает более половины территории России. Максимальную годовую продукцию дают влажные тропические леса — в среднем 22 т/га.

Леса России связывают 1,5 млрд т чистого углерода и выделяют в атмосферу более 4 млрд т кислорода. При этом в процессе фотосинтеза в круговорот вещества вовлекается 125—130 млн т азота.

Содержание азота в ежегодном приросте биомассы в северной тайге составляет 120—150 кг/га. Основную роль в круговороте азота в биосфере играет атмосферный азот. Его фиксация и выделение осуществляются определенными видами организмов, количество которых ограничено. К числу обогащающих почв азотом благодаря симбиозу с почвенными бактериями относятся представители семейства березовых, бобовых и лоховых, таких, как ольха, акация, лох, облепиха, акатник, леспедеца и др. Эти древесные и кустарниковые растения используют при рекультивации нарушенных и окультуривании малопродуктивных и бесплодных земель (посадки на песках, отвалах горных разработок, бывших свалках, карьерах).

Предполагается, что азотное питание древесных растений на бедных почвах (например, сосны на песках) осуществляется благодаря сложному симбиозу в ризосфере растения. В мицелиях микоризных грибов поселяются бактерии-прокариоты, обеспечивающие фиксацию азота. В корневых выделениях древесных растений присутствуют азотистые соединения: аминокислоты, низкомолекулярные пептиды, которые также вовлекаются в круговорот азота.

Азотный обмен — важнейшее звено метаболизма растений, поскольку свойствами белков и других азотсодержащих соединений определяются молекулярная организация клеточных структур, обмен веществ и защитные функции растения. Поэтому изучение накопления и круговорота азота в лесных экосистемах имеет важное

теоретическое и практическое значение.

В табл. 1 и 2 представлены данные о запасах азота в основных лесных формациях европейской части России. Таблицы составлены на основании результатов наших исследований и литературных источников [1, 4, 10, 11]. Из них следует, что наибольшее количество азота содержится в надземной части древостоя: от 3516 кг/га в насаждениях с преобладанием сосны и 3348 кг/га в благоприятных для них условиях местопроизрастания до 1032 кг/га в сосняках с примесью березы на тяжелых переувлажненных суглинках, на которых сосна угнетена. Общее количество азота в данных лесных экосистемах превышает 5 т/га. При этом участие в лесных сообществах небольшой примеси других пород способствует увеличению количества накапливаемого азота. Важную роль в превращении азота в лесу играет подстилка, в образовании которой участвует естественный опад: ветви, сучья, листья, хвоя. На долю азота в этой части лесной экосистемы приходится примерно 12% общего его количества [3, 7].

Насаждения Лесной опытной дачи, где нами ведутся многолетние комплексные лесоводственно-экологические исследования, отличаются относительно высокой продуктивностью, несмотря на сильное влияние, которое они испытывают в условиях такого крупного города, как Москва [5]. Наибольшей продуктивностью здесь отличаются лиственничные древостой. Их запас достигает 948,2 м³/га (табл. 3) при классе

Т а б л и ц а 1
Лесоводственно-таксационная характеристика и запасы азота в основных типах еловых лесов европейской части России в 120-летнем возрасте

Тип леса	Почва (механический состав, влажность, дренированность)	Состав древостоя	Бонитет	Запас древесины, м ³ /га	Азот, кг/га				Всего
					в надземной части древостоя	в подземной части древостоя	в подлеске и живом напочвенном покрове	в подстилке и гумусовом горизонте 2 см	
Сложный	Свежий средний суглинок, дренированный	8Е 2Лп + Д	Ia	558	3348	636	186	526	4696
Кислitchник	Свежий легкий суглинок, хорошо дренированный	8Е 2С + Б	I	456	2736	548	112	462	3858
Черничник свежий	Свежий тяжелый суглинок, хорошо дренированный	7Е 2С 1Б	II	372	2232	446	148	408	3134
Черничник влажный	Влажный тяжелый суглинок, дренаж слабый	7Е 3С+Б+Ос	III	323	1938	388	124	426	2876
Брусничник	Периодически свежий легкий суглинок, хорошо дренированный	6Е 3С 1Б	III	385	2310	462	102	327	3201
Долгомошник	Сырой тяжелый суглинок, дренаж ослаблен	8Е 1С 1Б	IV	242	1452	290	98	289	2129
Сфагновый	Заболоченный тяжелый суглинок, дренаж резко ослаблен	6Е 2С 2Б	V	186	516	103	87	207	903

П р и м е ч а н и я. Б — береза повисшая, В — вяз гладкий, Д — дуб черешчатый, Е — ель европейская, Кл — клен остролистный, Ос — осина обыкновенная, Я — ясень обыкновенный, Лп — липа мелколистная, Л — лиственница, Т — тополь черный.

Лесоводственно-таксационная характеристика и запас азота в основных типах сосновых лесов европейской части России

Тип леса	Почва (механический состав, влажность, дренированность)	Состав древостоя	Бонитет	Запас древесины, м ³ /га	Азот, кг/га			всего	
					в надземной части древостоя	в подземной части древостоя	в подстилке и гумусовом покрове		
Сложный	Свежий средний суглинок, дренаж хороший	6С 2Е 2Лп + Д	ІВ	586	3516	712	206	623	5047
Кедрничник	Свежий легкий суглинок, хорошо дренированный	8С 2Е + Б	Іа	492	2952	590	104	496	4142
Лишайничковоый	Сухой песок или супесь, хорошо дренированный	10С + Б	IV—V	202	1212	242	81	212	1747
Брусничник	Пергодческии свежий легкий суглинок, хорошо дренированный	8С ІЕ ІБ	ІІІ	406	2436	488	97	352	3373
Черничник свежий	Свежий тяжелый суглинок, дренаж хороший	7С 3Е + Б + Ос	ІІ	381	2286	456	159	436	3337
Черничник влажный	Влажный тяжелый суглинок, дренаж ослаблен	6С 3Е ІБ	ІІІ	338	2028	406	138	452	3024
Долгомошник	Сырой тяжелый суглинок, дренаж ослаблен	8С 2Б	IV	251	1506	302	107	312	2227
Сфагновый	Оглсенный тяжелый суглинок, дренаж резко ослаблен	8С 2Б	V	172	1032	206	92	232	1562

бонитета Iа. Большой запас имеют сосновые насаждения с примесью липы — 608,2 м³/га при классе бонитета II. Накопление такого количества стволовой древесины обеспечивается вовлечением в кругооборот соответственно 7680 и 4100 кг азота на 1 га. Высокими таксационными показателями и использованием азота отличаются дубово-липовые насаждения с примесью березы и липово-сосновые. В условиях урбанизированной среды существенное значение для роста насаждений имеет обеспеченность лесной почвы, кроме прочих макроэлементов, азотом. Расчеты показывают, что в мощно- и среднемощнодерновых среднеподзолистых суглинистых и супесчаных почвах Лесной опытной дачи в 0,5 м слое в среднем содержится 4 т азота на 1 га. Содержание этого элемента только в древесине, по данным

табл. 3, составляет в расчете на 1 га от 1,235 т в березняках до 7,68 т в лиственничниках. Наличие достаточного количества доступного азота обеспечивает удовлетворительное развитие лесных сообществ даже при повышенном влиянии антропогенного фактора. В этих условиях особенно выражена зависимость роста насаждений от их обеспеченности питательными веществами.

Процессы минерализации органики блокируются также при избыточном увлажнении почвы. На переувлажненных почвах произрастают малопродуктивные леса. Например, в Тверской области, где мы проводили исследования, имеется около 15% таких лесов — сфагново-черничных ельников.

В Нелидовском леспромхозе мы изучали влияние лесосушительной мелиорации на рост ельников сфагново-черничных [6]. За 14 лет

Т а б л и ц а 3

Лесоводственно-таксационная характеристика и запасы азота в насаждениях Лесной опытной дачи Тимирязевской академии

Квартал, пробная площадь	Состав древостоя	Возраст, лет	Бонитет	Запас древесины общий, м ³ /га	Содержание азота в древесине, кг/га
5,Г	5С 5Лп	110	II	608,2	4100
5,и	5С 5 + Д ед. Лп, Л, Кл	105	III	303,0	2045
11,Т	10Л ед. С	110	Iа	948,2	7680
11,Д	6Л 2Лп 2Кл ед. Б, Д	50	Iа	379,0	3070
11,Б ₃	8Лп 2С ед. Б, Кл	110	II	491,1	3314
11,М	4Д 5Лп 1Б ед. В, Кл	250	II	427,5	3463
5,Ф	7Б 2Лп 1Я, ед. Т	41	1Б	183,8	1235
6,Ъ	9Б 1Д + Лп	116	I	337,9	2280

после проведения мелиоративных работ ельники достигли II класса бонитета и запаса древесины 500—600 м³/га. Ельники вне вли-

яния осушения (контроль) представляли собой древостой IV класса бонитета с запасом 301 м³/га. В результате улучшения во-

дногo режима среднй прирост площади сечения 80-летних ельников увеличился на 0,1 см², а усвоение азота удвоилось (с 2 до 4,1 т/га).

Обеспеченность лесных почв этим элементом в большой степени определяется количеством биологического азота, т.е. того азота, который фиксируется из воздуха и который поступает в почву с микробной плазмой. Содержание азота в последней достигает 12%, а в пересчете на микробную биомассу это уже довольно значительная величина [12].

Определение содержания микробного азота в верхнем слое почвы под некоторыми насаждениями Лесной опытной дачи [8, 9] свидетельствует о связи его количества с возрастом насаждений, климатическими и антропогенны-

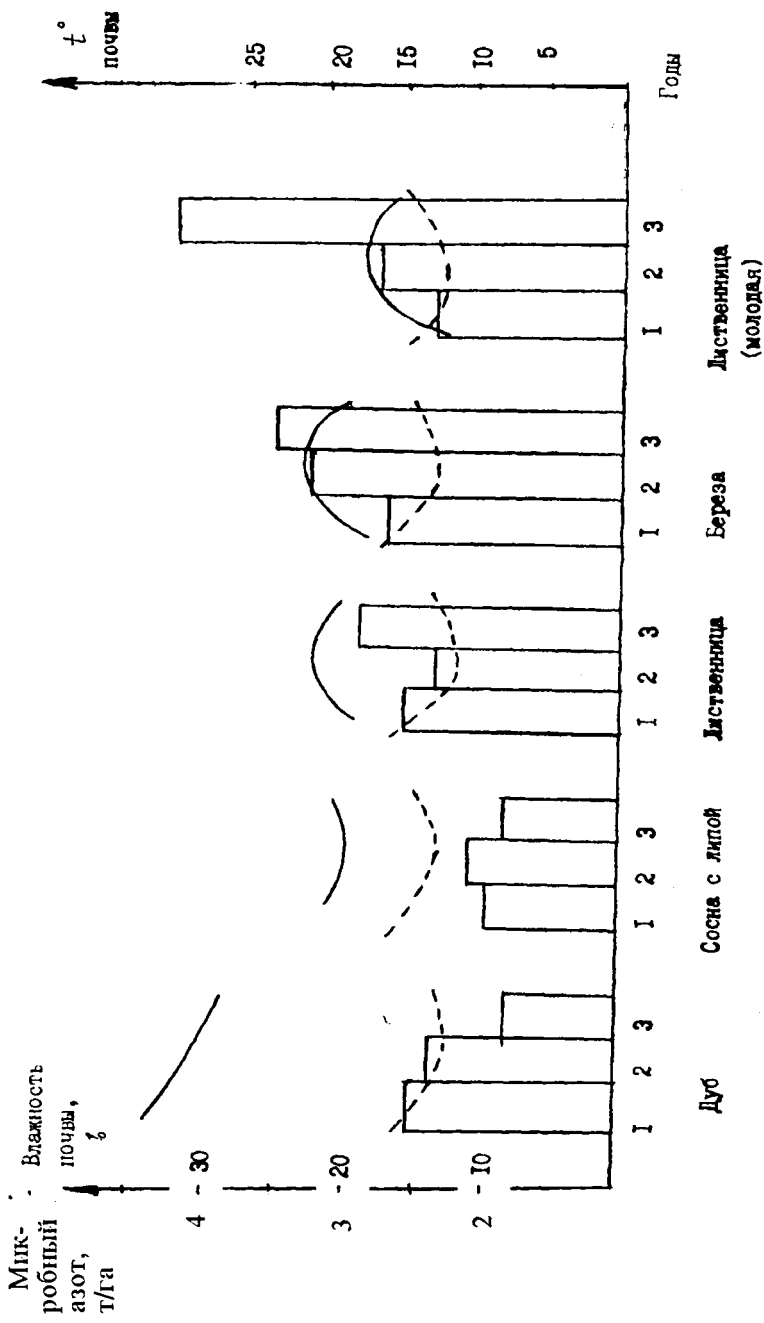
ми факторами. Оно варьирует в слое почвы 0—10 см в зависимости от указанных факторов (рисунков) от 1,8 до 4,1 т/га. Наибольшее количество биологического азота включается в круговорот под молодыми насаждениями (15—22-летними). В рассматриваемом случае это древостой лиственницы (табл. 4, вариант 5). В почвах под ними содержание азота в микробной плазме за вегетационный период достигает 4,1 т/га. Большое количество биологического азота вовлекается в круговорот в березовых фитоценозах, где в зависимости от климатических факторов оно варьирует в указанном слое от 2,7 до 3,54 т/га.

Повышенная рекреационная нагрузка приводит к увеличению

Таблица 4

Лесоводственно-таксационная характеристика и микробная продуктивность почв насаждений Лесной опытной дачи Тимирязевской академии

Вариант	Состав древостоя	Возраст, лет	Запас древесины, м ³ /га	Текущий прирост, м ³ /га	Количество микробной массы в слое почвы 0—10 см (числитель) и содержание биологического азота (знаменатель), т/га		
					1977 г.	1978 г.	1979 г.
1	5Д 5Лп ед.Б 9Кл 1Лп Д ед.Б	200	330	2,8	$\frac{21.1}{2,53}$	$\frac{20.1}{2,41}$	$\frac{14.8}{1,78}$
2	10С 10Лп	$\frac{101}{55-65}$	430	2,0	$\frac{17.1}{2,05}$	$\frac{19.0}{2,28}$	$\frac{15.5}{1,86}$
3	10Л	86-91	700	6,9	$\frac{21.7}{2,60}$	$\frac{20.2}{2,42}$	$\frac{24.5}{2,94}$
4	6Б 2Л 1С 1Кл ед.В ед.С	30-35	140	7,6	$\frac{22.4}{2,70}$	$\frac{27.2}{3,26}$	$\frac{29.5}{3,54}$
5	10Лп ед.Д	15-22	82,5	10,4	$\frac{20.3}{2,44}$	$\frac{23.0}{2,76}$	$\frac{34.2}{4,10}$



Трехлетняя динамика содержания микробного азота под насаждениями Лесной опытной дачи МСХА в верхнем 10 см слое почвы и колебания температуры и влажности.

a — влажность почвы, *б* — температура почвы. 1 — 1976 г., 2 — 1977 г., 3 — 1978 г.

плотности почвы с 0,6—1,0 до 1,3—1,8 г/см³, а в сочетании с загрязнением почв тяжелыми металлами и другими токсикантами и к 7—20-кратному снижению численности аэробных и анаэробных микроорганизмов, сокращению нитрогеназной активности, а в результате к ухудшению азотного питания древостоев из-за сокращения количества микробного азота с 1,9—1,2 до 0,6—0,3 т/га. Одной из причин снижения доли микробного азота явилось загрязнение почвы тяжелыми металлами. Так, содержание свинца в почве периферийных участков Лесной опытной дачи оказалось в 2 раза выше, чем в центральной, и составило 140 мг/кг. Аналогичная картина наблюдалась и в отношении цинка и меди.

В целом уплотнение почв, а также загрязнение их токсикантами, по полученным данным, снижают долю биологического азота в общем круговороте биогенных элементов в 2—6 раз, что негативно сказывается на устойчивости и продуктивности лесных сообществ.

В настоящее время увеличивается поступление в лесные экосистемы соединений азота с техногенными поллютантами. Самыми распространенными компонентами эмиссий тепловых электростанций, заводов, производящих удобрения, автотранспорт и т.п., являются оксиды азота, среди которых наиболее токсична двуокись азота. Это соединение и еще более токсичная двуокись серы, являясь компонентами «кислотных» дождей, вызывают разрушение хлорофилла в хвое и листьях, а при значительной их концентрации наблюдаются угнетение и даже отмирание целых насаждений, особенно хвойных. Поэтому

необходим учет загрязнения поллютантами лесных площадей, находящихся в зоне действия источников техногенных выбросов.

Результаты комплексного изучения круговорота азота в лесных экосистемах можно использовать в лесном мониторинге, при разработке рекомендаций по увеличению продуктивности и устойчивости насаждений на лесоаграрных и урбанизированных территориях.

Для повышения плодородия почв лесных насаждений в практике лесного хозяйства применяются мероприятия по использованию накопиваемой в лесах органической массы. В частности, в темнохвойных лесах, характеризующихся большими запасами грубой неразложившейся подстилки, возможно проведение огневой очистки и беглых низовых пожаров, которые способствуют минерализации почвы и обогащению ее макро- и микроэлементами.

В ряде регионов России, где преобладает равнинный рельеф, а также в ряде стран (во Франции, Австралии, США, Канаде) управляемая огневая обработка лесных почв является одной из действенных мер, содействующих естественному возобновлению лесов и хорошему росту молодых насаждений.

Для увеличения плодородия бедных песчаных почв, на которых в европейской части России обычно растут насаждения сосны обыкновенной, практикуют посевы вики, клевера, акации желтой. С этой же целью при проведении рубок ухода, санитарных и реконструктивных рубок в лесу используют такие приемы, как разбрасывание порубочных остатков или оставление их в небольших кучах для перегнивания.

Выводы

1. Лесные биогеоценозы являются саморегулирующимися природными системами, обеспечивающими себя всеми жизненно важными элементами питания и энергией, в том числе и азотом.

2. Содержание азота в биомассе фитоценозов сосновых и еловых лесов европейской части России составляет от 1,5 до 5 т/га.

3. В лесных почвах в биологический круговорот вовлекается от 1,8 до 4,1 т/га азота, заключенного в микробной плазме аэробных гетеротрофных микроорганизмов.

4. Под влиянием рекреации и загрязнения содержание биологического азота в почве снижается до 0,3—0,6 т/га.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Автухович Е.В., Васильев Н.Г., Савельев О.А.* Сосновые леса Северо-Запада и Центра европейской части России: их использование, восстановление и выращивание. — Тез. докл. Всероссийской научно-технической конференции «Восстановление, выращивание и использование сосновых лесов России». Йошкар-Ола, 1995, с. 4—5. — 2. *Аристовская Т.В.* Теоретические аспекты проблемы численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов. — В сб.: *Вопр. численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганиз-*

мов. Л.: Наука, 1972, с. 7—20. — 3. *Белов С.В.* Лесоводство. М.: Лесная промышленность, 1983. — 4. *Васильев Н.Г., Автухович Е.В., Савельев О.А., Толстопятенко А.И.* Еловые леса Северо-Запада и Центра европейской части России. — Докл. МСХА. М.: МСХА, 1996, вып. 267, с. 239—248. — 5. *Васильев Н.Г., Бородин А.М., Кузнецов Е.В.* Итоги исследований в Лесной опытной даче ТСХА за 125 лет (1862—1987). — Лесоведение, 1989, 1 2, с. 21—30. — 6. *Кузнецов Е.В., Самойлов Г.С.* Влияние лесосошения на прирост ели. — Изв. ТСХА, 1985, вып. 5, с. 189—192. — 7. *Мелехов И.С.* Лесоведение. М.: Лесная промышленность, 1980. — 8. *Мосина Л.В., Емцев В.Т.* Бактериальная продуктивность в почвах разных насаждений Лесной опытной дачи ТСХА. — Изв. ТСХА, 1979, вып. 6, с. 95—103. — 9. *Мосина Л.В., Паракш В.В., Грачева Н.М.* Азотфиксирующая активность почв под насаждениями рекреационных лесов. — В сб.: *Биоэкологическая оптимизация лесных и аграрных ценозов.* М.: МСХА, 1991, с. 49—54. — 10. *Рысин Л.П.* Сосновые леса европейской части СССР. М.: Наука, 1975. — 11. *Чертовской В.Г.* Еловые леса европейской части СССР. М.: Лесная промышленность, 1978.

*Статья поступила 23 мая
1996 г.*

SUMMARY

Nitrogen content in biomass of the components of fir-tree and pine-tree wood ecosystems in European part of Russia has been studied.

The results of investigating Nitrogen accumulation as well as circulation of biological nitrogen fixed by soils microorganisms in soils under the forests at Forest Experimental Station of Timiryazev Agricultural Academy in Moscow are presented.

The problems of influence of forest drainage, recreation and anthropogenic pollution on forest phytocenoses and soils have been considered as well.