



Мошкина Е.В.

канд. с.-х. наук, научный сотрудник

Мамай А.В.

канд. биол. наук, младший научный сотрудник

Институт леса Карельского научного центра РАН
Россия, г. Петрозаводск

ОЦЕНКА ПЛОДРОДИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОРФНЫХ ПОЧВ ГОРОДСКИХ И ПРИГОРОДНЫХ ЛЕСОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ИХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ г. ПЕТРОЗАВОДСКА) *

В результате проведенных исследований изучены почвы городских и пригородных лесов. Дана эколого-биохимическая оценка состояния лесных почв Петрозаводского городского округа. Выявлено, что в условиях антропогенного воздействия происходит изменение химических свойств лесных почв. Отмечены изменения кислотно-щелочных свойств и состава азотного фонда почв. В исследуемых почвах наблюдали изменение активности микробного сообщества по показателям их функциональной активности. Полученные данные позволяют расширить спектр показателей, характеризующих экологическое состояние почв для данных природно-климатических условий, которые могут быть использованы при проведении мониторинга почв городских и пригородных лесов.

Ключевые слова: лесные почвы, плодородие, биологическая активность почв, урбанизация.

В последнее десятилетие существенно возрос интерес к экологическим проблемам городов, во многом в связи с ростом урбанизации. Учитывая исключительно важную роль почвенного покрова в функционировании природных экосистем, особое внимание уделяется изучению городских почв, их плодородию и экологическому состоянию. Особая актуальность исследования почв и почвенного покрова городских лесов обусловлена их экологической и рекреационной ролью.

Целью работы было формирование подхода по оценке плодородия и экологического состояния автоморфных почв городских и пригородных лесов согласно показателям их биологической активности (на примере г. Петрозаводска). Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Оценить продуктивность исследуемых почв по Н.Г. Федорев [12, с. 114].
2. Исследовать особенности азотного фонда автоморфных почв городских лесов.
3. Определить ряд диагностических показателей, позволяющих оценить

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ КарНЦ РАН (№ 0220-2014-0006).

интенсивность трансформации соединений азота и углерода почв.

4. Дать оценку экологического состояния исследуемых почв с использованием показателей их биологической активности.

Исследования проводили на автоморфных почвах под сосновыми (б, в), еловыми (д, е) и березовыми (з, и) насаждениями Петрозаводского городского округа (61°45-48'N; 34°14-28'E) в течение полевых сезонов 2013–2016 годов. Контролем служили аналогичные почвы (а, г, ж), расположенные на территории заповедника «Кивач» и в районе пос. Березовка Кондопожского района (62°12-17'N; 34°00-08'E). Буквенные обозначения введены для удобства чтения гистограмм.

Почвы под сосновыми лесами. 1. Сосняк черничный (а) – контроль, заповедник «Кивач». Чистое сосновое насаждение (10С) со вторым ярусом ели (10Е) и примесью березы, возраст 170 лет, класс бонитета II.0. Почва – подзол иллювиально-гумусово-железистый песчаный на двучленных озерно-ледниковых отложениях. 2. Сосняк черничный (б) – пос. Сайнаволоок. Возраст 60 лет, (10С+Б), II класс бонитета. Почва – подзол иллювиально-гумусово-железистый песчаный на озерно-ледниковых песчаных отложениях. 3. Сосняк черничный (в) – р-н ТЭЦ. Возраст 100 лет (10С), I класс бонитета. Почва поверхностно подзолистая иллювиально-железисто-гумусовая супесчаная на завалуненной морене.

Почвы под еловыми лесами. 1. ельник черничный (г) – контроль, пос. Березовка. Чистое еловое насаждение (10Е), возраст 120 лет, класс бонитета III.0. Почва – подзол иллювиально-гумусово-железистый пылевато-песчаный на двучленных водно-ледниковых отложениях. 2. Ельник кисличный (д) – р-н Ключевая. Возраст 100 лет, (10Е), I класс бонитета. Почва поверхностно подзолистая иллювиально-

гумусово-железистая супесчаная на завалуненной морене. 3. Ельник черничный (е) – р-н Кукковка. Возраст 70 лет, (7ЕЗОс+Б), II класс бонитета. Почва подзолистая иллювиально-железисто-гумусовая супесчаная грунтово-глееватая на морене.

Почвы под березовыми насаждениями. 1. Березняк злаково-разнотравный (ж) – контроль, заповедник «Кивач». Березовый древостой (10Б, ед. С). Единично встречается сосна, осина, ольха серая. Возраст 60 лет, класс бонитета Ia.8. Почва – подзолистая грунтово-глееватая супесчаная на суглинках, переходящих в ленточные глины. 2. Березняк черничный (з) – р-н Птицефабрика. Возраст 80 лет, (9Б10С), III класс бонитета. Почва дерново-подзолистая грунтово-глееватая супесчаная на грубопесчаной морене с большим количеством щебня и гальки. 3. Березняк травяной (и) – р-н Ключевая. Возраст 40 лет, (10Б), III класс бонитета. Индустрием (пылевато-песчаная супесь).

Названия почв с естественным сложением даны по региональной классификации Р.М. Морозовой [7, с. 48, 55]. Для городских почв использовали классификацию, предложенную учеными Московского государственного университета [8, с. 34]. Таксационная характеристика объектов исследования выполнена А.Н. Пеккоевым (ИЛ КарНЦ РАН).

Оценку плодородия и продуктивности исследуемых почв проводили с использованием рекомендаций, разработанных Н.Г. Федорец и др. [11; 12] Продуктивность лесных почв оценивали сопоставлением показателей плодородия почв и продуктивности насаждений. Помимо генезиса почвообразующих пород и характера увлажнения, основными являлись следующие параметры: мощность рыхлой тощи, мощность лесной подстилки, содержание органического вещества и элементов минерального питания (N, P, K), кислотно-основные

свойства. Согласно бонитировочной шкале почв Республики Карелия [11; 12] почвы исследованной территории оценены по 100-балльной системе следующим образом: 70–75 баллов – почвы еловых лесов (г, д, е); 65–70 баллов – почвы сосновых лесов (а, б, в) и контрольного варианта березняка (ж); 45–50 баллов – почвы березняков Петрозаводского городского округа. Все почвы автоморфные. Пространственная изменчивость основных режимных и физико-химических показателей почв городских лесов существенно выше, чем на контрольных участках. В целом исследуемые почвы характеризовались легким гранулометрическим составом, средним содержанием обменных оснований и обедненностью биофильными элементами.

Среди всех показателей, характеризующих лесорастительные свойства почв, особо выделяют N, так как его содержание и доступность в условиях Карелии определяют продуктивность лесов [11, с. 7]. Валовое содержание азота в почвах городских лесов с естественным профилем под мелколиственными лесами варьировало от 0.01 до 0.73 %, в почве сосновых лесов – от 0.03 до 0.84 %, ельников – от 0.01 до 1.29 %. Отмечено снижение запасов валового азота в верхней части профиля почв городских лесов по сравнению с контролем, что, возможно, связано с повышенной рекре-

ационной нагрузкой, сопровождающейся активным вытаптыванием, приводящим к уплотнению и сокращению мощности лесной подстилки. Существенное влияние на азотный фонд пригородных лесов оказывает незаконная вырубка деревьев в местах массового отдыха горожан, которая существенно сокращает количество опада и отпада на изучаемой территории. При этом выявлено повышенное содержание органического углерода как в профиле почв городских лесов, так и в почвах земель общего пользования по сравнению с природными аналогами.

В целом для изучаемых почв хвойных и мелколиственных лесов отмечено высокое (до 97 % от $N_{общ}$) содержание негидролизующего азота и обедненность их минеральными (0.78–2.47 %) и гидролизующими формами азота (1.35–13.10 %) (см. рис. 1). Содержание азота свободных аминокислот незначительное – до 0.8 % от $N_{общ}$. Доля азота белковых аминокислот в азотном фонде почв существенна и составляла до 50 % от общего азота почв. Содержание минеральных форм азота в почвах городских лесов варьировало в следующих пределах: нитратного азота от 0.09 (min) до 18.8 (max) мг на 100 г; аммонийного от 0.1 (min) до 12.2 (max) мг на 100 г. Максимальное содержание аммонийного азота наблюдалось в начале вегетационного периода, нитратного – в середине и конце.

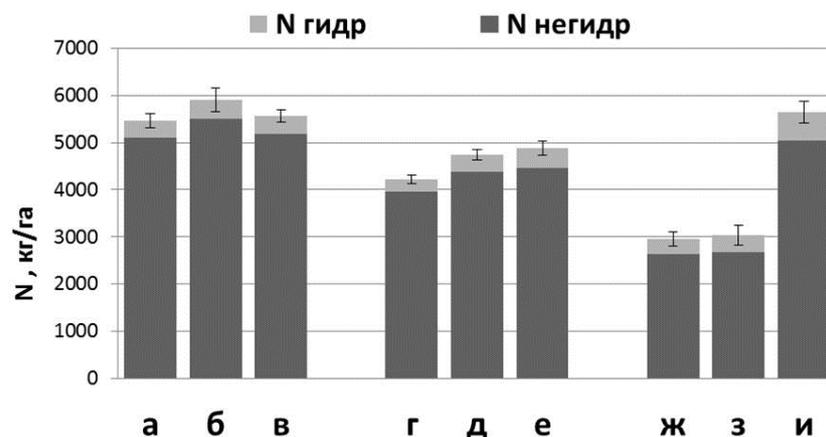


Рис. 1. Доля негидролизующего азота в запасах азота 50-сантиметрового слоя исследуемых почв

Основные отличия почв городских лесов по сравнению с контролем заключались в подщелачивании верхних горизонтов на 0.3–0.5 ед. рН, сокращении мощности лесных подстилок (в 1.4–1.9 раза), значительном увеличении плотности верхней части профиля почв (в 1.1–1.5 раза), повышенном содержании $N-NO_3$ и азота легкогидролизуемых соединений (в 2–5 раз). Увеличение доли нитратного азота в азотном фонде почв городских лесов по сравнению с контролем может быть обусловлено аэротехногенным загрязнением оксидами азота от автотранспорта и теплоэлектроцентрали.

Впервые для естественных и антропогенно нарушенных лесных почв Карелии проведена оценка количественного содержания азота ($N_{\text{мик}}$) и углерода ($C_{\text{мик}}$) микробной биомассы, их

доли в общих запасах азота и органического вещества (см. рис. 2), микробной дыхательной активности и удельного дыхания микробной биомассы, иллюстрирующая активность микробных сообществ лесных почв. Для изучения функциональной активности микробного сообщества почв использован метод субстрат-индуцированного дыхания (СИД) [3, с. 1328; 14, р. 215], позволяющий оценить взаимосвязи величины микробной биомассы, ее дыхательной активности и параметров экофизиологического статуса микробного сообщества. Данный метод эффективно используется в экологических исследованиях [1, с. 1235; 2, с. 582; 5, с. 225; 6; 8; 10, с. 1235; 15, р. 63], в ряде зарубежных стран он включен в перечень стандартных параметров, характеризующих биологические свойства почв.

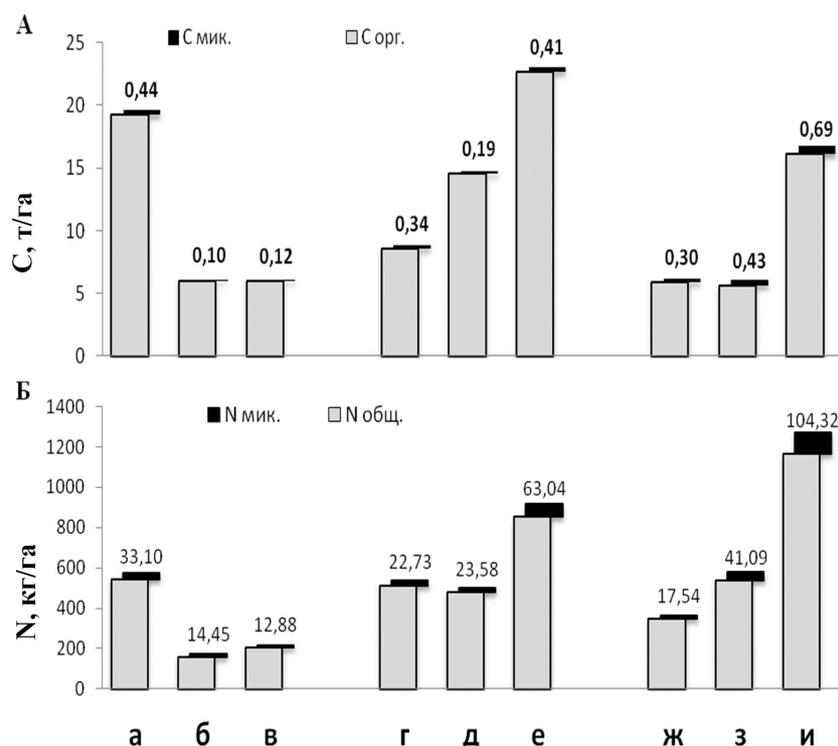


Рис. 2. Запасы углерода и азота в органогенных горизонтах естественных и антропогенно нарушенных почв:

А – доля углерода микробной биомассы в углероде органического вещества почв, т/га;
 Б – доля азота микробной биомассы в общем содержании азота, кг/га)

Установлено, что уровень биологической активности лесных почв, как естественных, так и антропогенно нарушенных, существенно возрастает в ряду: сосняки (i) – ельники (ii) – березняки (iii). Так, для почв городских лесов количество $N_{\text{мик}}$ (определяемого регидратационным методом) составило: i = 27–88, ii = 61–98, iii = 41–142 (мг/100 г) и $C_{\text{мик}}$ (методом СИД), соответственно, i = 201–1005, ii = 219–857, iii = 442–1468 (мг/100 г). Увеличение доли содержания азота микробной биомассы в азотном фонде городских почв в 1.2–1.9 раза по сравнению с контролем происходило за счет интенсивной ассимиляции азота, быстро разлагающегося опада и почвенных запасов. На фоне увеличения запасов органического углерода органогенных горизонтов почв городских лесов доля $C_{\text{ми}}$ в них несколько снизилась.

Оценка экологического состояния почв возможна также по величине микробного метаболического коэффициента $q\text{CO}_2$ [4, с. 210], который отражает экофизиологический статус почвенного микробного сообщества. Сравнивая величины метаболических коэффициентов городских почв с контрольными вариантами, можно дать количественную оценку различным воздействиям. Наиболее высокие (до 0.6) значения $q\text{CO}_2$, характеризующие интенсивные процессы разложения органики, отмечены для почв мелколиственных лесов. Отмечается изменение величины $q\text{CO}_2$ в сторону увеличения в органогенных горизонтах всех исследуемых почв пригородных лесов и в минеральном слое почв березовых и еловых насаждений. Коэффициент $q\text{CO}_2$ более 0.2–0.3, свидетельствующий о неблагоприятных климатических или антропогенных воздействиях, отмечен для минерального слоя почв городских сосновых и еловых лесов.

По сравнению с контролем экологическая ситуация в городских лесах существенно меняется, на нее влияют

повышенная температура воздуха и почвы, иной состав воздуха, аэротехногенные выпадения, изменение гидрологического режима и др. Антропогенное влияние городских ландшафтов сказывается на запасах органического вещества и азота почв, интенсивности процессов их трансформации. Наибольшее антропогенное воздействие испытывают верхние органогенные горизонты почв городских лесов с ненарушенным строением профиля, в которых активно протекают процессы микробной трансформации N и C почв. В связи с этим идеальным критерием оценки состояния природных экосистем является анализ биогоризонтов почв, так как они интегрируют действие различных абиотических и биологических факторов. В настоящее время возрастает актуальность дальнейшего изучения последствий урбанизации для цикла N и C лесных экосистем. Снижение плодородия антропогенно нарушенных почв вследствие дегумификации и деградации почвенного покрова видится одной из наиболее значимых проблем урбанизации.

Данная работа является продолжением многолетнего изучения азотного режима почв, биологического круговорота N и C, а также структуры и функциональной активности микробных сообществ в естественных и антропогенно нарушенных почвах Карелии, проводимого сотрудниками лаборатории лесного почвоведения ИЛ КарНЦ РАН. Новизна данного исследования связана со значительным расширением спектра определяемых параметров, позволяющих расширить и углубить существующие представления о процессах трансформации органического вещества в лесных экосистемах региона. Изучение микробиологической трансформации N и C различных биогоризонтов лесных почв имеет важное фундаментальное и прикладное значение, поскольку позволяет количественно оценить биогенную

составляющую баланса углерода и азота лесных экосистем в разных экологических условиях, а также проследить его изменение в результате антропогенного воздействия.

Полученные результаты могут быть использованы при закладке основ почвенного мониторинга, определении уровня плодородия почв и для оценки степени антропогенного воздействия на почвенный покров городских и пригородных лесов.

**Авторы благодарят д-ра с.-х. наук, проф., заведующего лабораторией лесного почвоведения ИЛ КарНЦ РАН Н.Г. Федорец за участие в разработке программы исследования и канд. биол. наук, доц., ведущего научного сотрудника лаборатории почвенных циклов азота и углерода ИФХБПП РАН Т.В. Кузнецову за помощь в проведении камеральных работ.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Демкина Т.С. Пространственное и временное варьирование микробного метаболического коэффициента в почвах // Почвоведение. – 2002. – № 10. – С. 1233–1241.
2. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Демкина Т.С. Оценка устойчивости микробных комплексов почв к природным и антропогенным воздействиям // Почвоведение. – 2002. – № 5. – С. 580–587.
3. Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г. Особенности определения углерода микробной биомассы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение. – 2011. – № 11. – С. 1327–1333.
4. Благодатская Е.В., Ананьева Н.Д., Мякшина Т.Н. Характеристика состояния микробного сообщества по величине метаболического коэффициента // Почвоведение. – 1995. – № 2. – С. 205–210.
5. Васенев В.И., Ананьева Н.Д., Макаров О.А. Особенности экологического функци-

онирования конструкторземов на территории Москвы и Московской области // Почвоведение. – 2012. – № 2. – С. 224–235.

6. Биомасса и дыхательная активность почвенных микроорганизмов в антропогенно-измененных экосистемах (Московская область) / К.В. Ивашенко, Н.Д. Ананьева, В.И. Васенев, В.Н. Кудеяров, Р. Валентини // Почвоведение. – 2014. – № 9. – С. 1077–1088.

7. Морозова Р.М. Лесные почвы Карелии. – Л.: Наука, 1991. – 184 с.

8. Почва, город, экология / ред. Г.В. Добровольский. – М.: За экон. грамотность, 1997. – 310 с.

9. Стольников Е.В., Ананьева Н.Д., Чернова О.В. Микробная биомасса, ее активность и структура в почвах старовозрастных лесов европейской территории России // Почвоведение. – 2011. – № 4. – С. 479–494.

10. Микробный углерод в профиле лесных почв южной тайги (заповедник «Калужские засеки» и Звенигородская биостанция МГУ) / Е.А. Сусьян, Н.Д. Ананьева, Е.Г. Гавриленко, О.В. Чернова, М.В. Бобровский // Почвоведение. – 2009. – № 10. – С. 1233–1240.

11. Федорец Н.Г., Бахмет О.Н. Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах: монография / под ред. С.А. Шоба. – Петрозаводск: Кар. науч. центр РАН, 2003. – 240 с.

12. Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Солодовников А.Н. Лесные почвы Карелии и оценка их продуктивности // Труды КарНЦ РАН. – 2003. – Вып. 5. – С. 108–120.

13. Эколого-геохимические и биологические закономерности почвообразования в таежных лесных экосистемах / ред. Н.Г. Федорец, О.Н. Бахмет. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. – 176 с.

14. Anderson J.P.E., Domsch K.H.A. Physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. – 1978. – Vol. 10, № 3. – P. 215–221.

15. Annual emission of CO₂ from gray forest soils / A.A. Larionova, L.N. Rozanova, T.S. Demkina, I.V. Evdokimov, S.A. Blagodatskii // Eurasian soil science. – 2001. – Vol. 34, № 1. – P. 61–68.

Moshkina E.V.

Candidate of Agricultural Sciences, Research Officer

Mamaj A.V.

Candidate of Biological Sciences, Research Assistant

*Institute of forest Karelian scientific centre of Russian Academy of Sciences Institute
Russia, Petrozavodsk*

**ESTIMATION OF FERTILITY AND ECOLOGICAL CONDITION
OF AUTOMORPHOUS SOILS OF URBAN AND SUBURBAN FORESTS IN TERMS
OF THEIR BIOLOGICAL ACTIVITY (BY THE EXAMPLE OF PETROZAVODSK)**

As a result of the studied soils in urban and suburban forests. Given the ecological-biochemical assessment of the status of forest soils of the Petrozavodsk urban district. It is revealed that in the conditions of anthropogenic impact is the change in the chemical properties of forest soils. Marked changes in acid-base properties and composition of nitric Foundation soils. In the studied soils was observed a change in the activity of the microbial community in terms of their functional activity. The data obtained allow to expand the range of indicators characterizing the ecological condition of soils in these climatic conditions, which can be used in monitoring soils in urban and suburban forests.

Key words: *forest soil, fertility, soil biological activity, urbanisation.*