АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ

З. Н. АРЕФЬЕВА

На правах рукописи

ВЛИЯНИЕ ОГНЯ НА АЗОТНЫЙ РЕЖИМ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ЗАУРАЛЬЯ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель: доктор географических наук, профессор Б. В. Надеждин

Свердловск 1964

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ

З. Н. АРЕФЬЕВА

На правах рукописи

ВЛИЯНИЕ ОГНЯ НА АЗОТНЫЙ РЕЖИМ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ЗАУРАЛЬЯ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель: доктор географических наук, профессор Б. В. Надеждин

Свердловск 1964

Работа выполнена в лаборатории лесоведения Института биологии Уральского филиала АН СССР (научный руководитель лаборатории — доктор биологических наук, профессор **Б. П. Колесников).**

Диссертационная работа состоит из 172 страниц машинописного текста, в том числе: 36 таблиц и списка литературы на 34 страницах, включающего 255 работ отечественных и 25 работ иностранных авторов. Текст иллюстрируется 17 рисунками.

Защита состоится на заседании Объединенного ученого совета Института биологии Уральского филиала АН СССР.

23 апреля 1965 г.

Отзывы и замечания просим присылать по адресу: г. Свердловск, 8, ул. 8 Марта, 202, Институт биологии УФАН. Ученому секретарю Объединенного ученого совета Г. С. Хреновой.

Автореферат разослан 17 марта 1965 г.

ВВЕДЕНИЕ

К числу основных современных задач, поставленных партией и правительством в области лесного хозяйства, относится улучшение условий возобновления и повышение продуктивности лесов. Решение их неразрывно связано с повышением плодородия лесных почв. Одним из важных и доступных средств повышения плодородия последних следует считать биологические методы, поскольку возможности применения минеральных удобрений в лесном хозяйстве пока крайне ограничены.

Для создания высокопродуктивных лесных насаждений, а также направленного изменения условий, обеспечивающих хорошее возобновление леса, необходимо всестороннее изучение физико-химических и биохимических процессов, происходящих в конкретных биоэкологических условиях. Особый интерес в этом отношении представляет изучение азотного режима лесных почв, поскольку азот в них всегда находится в минимуме. В науке накоплен значительный материал по проблеме почвенного азота, однако многие вопросы, связанные с его режимом в лесных почвах, все еще недостаточно изучены. К ним относится влияние температур на режим азота, в частности, действие высоких температур (лесных пожаров, палов, огневой очистки лесосек) на биохимические процессы, происходящие в прогретой почве.

Лесные пожары являются одним из природных факторов, периодическое действие которых испытывали и испытывают до сих пор лесные почвы на многих этапах своего исторического развития и формирования. Кроме того, в течение многих тысяч лет человек пользовался огнем в целях изменения растительности и свойств почв. С развитием культуры земледелия огонь утратил свое былое значение в сельском хозяйстве; однако в лесном хозяйстве до сих пор огневая очистка лесосек от порубочных остатков сознательно широко исполь-

зуется как санитарное и лесомелиоративное мероприятие. За рубежом, например, особенно в США, Канаде, Швеции, огнем пользуются для повышения продуктивности лесных почв путем выжигания грубого гумуса с помощью специальных огнеметов или иных способов.

Несмотря на то, что метод огневой очистки лесосек от порубочных остатков в России применяется давно (более 300 лет), изученность этого вопроса далеко не достаточна. Имеющиеся исследования схематичны, а выводы крайне противоречивы. Поэтому вопрос о целесообразности применения огневой очистки лесосек остается неясным и на протяжении столетия служит предметом оживленных дискуссий среди лесоводов.

Данная работа является частью комплексных исследований действия лесных пожаров и огневой очистки лесосек на физико-химические, биохимические и микробиологические свойства лесных почв и процессы возобновления лесов в условиях Урала и Зауралья, проведенного лабораторией лесоведения БИУФАН СССР в 1958—1962 гг. Автором проводилось изучение влияния огня на некоторые биохимические процессы, в частности, на азотный режим и общую биологическую активность (CO_2) легких лесных дерново-подзолистых почв.

В задачу наших исследований входило:

1) выяснение влияния огня на органическое вещество и азотистые соединения в почве;

2) изучение характера изменений некоторых биохимических процессов в прогретой почве;

3) изучение сезонной динамики в накоплении и сохранении подвижных форм азота в почве.

Решение поставленных задач должно расширить наши сведения о действии высоких температур на содержание азота в почве и дать ответ, сохраняется ли при этом азот, и если сохраняется, то в каком количестве и в какой форме. Все эти вопросы довольно слабо освещены в литературе, а по Уралу подобных работ нет.

Результаты исследований изложены в настоящей диссертации, состоящей из введения, 4 глав и выводов.

I. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Многими крупными учеными (А. Ф. Миддендорф, А. Н. Криштофович, А. Я. Гордягин, В. Н. Сукачев, И. С. Мелехов, А. А. Корчагин, Э. Уггла и др.) установлена лесообразующая роль огня в формировании таежной растительности, а некоторые авторы предлагают рассматривать лесные пожары даже как геологический фактор, оказывающий сильное влияние на развитие таежных ландшафтов в целом (В. Ф. Тумель).

Известно, что высокие температуры, вызванные лесными пожарами или сжиганием порубочных остатков, оказывают значительное влияние и на свойства почв, что неоднократно отмечалось отечественными и зарубежными учеными (Н. Н. Степанов, М. Е. Ткаченко, В. З. Гулисашвили, Б. П. Колесников, Б. В. Надеждин, Ю. А. Орфанитский, В. П. Фирсова, П. Бернс, А. Сэмпсон, К. Дэвис, Г. Байрам, В. Крам, Э. Уггла), но при этом почти не отмечалась почвообразующая роль огня и не учитывалось его значение в историческом развитии лесных почв.

Первым специальным отечественным исследованием вопроса о действии влияния огня на физико-химические свойства торфяных почв можно считать работу Н. Н. Степанова (1925). Позднее, в 30-х годах, сотрудниками Ленинградской лесотехнической академии под руководством профессора М. Е. Ткаченко были проведены более широкие исследования, положившие начало научному обоснованию метода огневой очистки лесосек.

В последние годы (1953—1963), после довольно длительного перерыва, вопрос о влиянии огневой очистки лесосек вновь привлек внимание советских исследователей. Почти одновременно были начаты исследования в Архангельском институте леса и лесохимии под руководством академика

ВАСХНИИЛ, профессора-доктора И. С. Мелехова и на Урале в Институте биологии УФАН СССР под руководством профессора-доктора Б. П. Колесникова.

Изучение влияния огня на почву шло в основном по двум направлениям: изучалось действие огня на физико-химические и водно-физические свойства почв, связанные с изменением минеральной части, и влияние огня на органическое вещество, в частности, на содержание азота в почве. Но почти все исследователи опирались на материалы однократных наблюдений и изучением динамики почвенных процессов при этом не занимались.

Большинство авторов пришло к выводу, что сжигание порубочных остатков оказывает положительное влияние на физико-химические свойства почв: повышает содержание калия, фосфора, кальция, повышает щелочность и улучшает аэрацию почв. Для тяжелых и бедных каменистых почв (Б. П. Колесников, Э. Уггла) отмечено отрицательное действие огня на физико-химические свойства.

Крайне противоречивые мнения высказываются по поводу действия огня на органическое вещество и азотистые соединения почвы. Многие исследователи (Н. Н. Степанов, Н. А. Казанский, Н. П. Ремезов) считают, что под действием огня органическое вещество, а с ним и азот, полностью теряется для почвы, надолго задерживается микробный синтез азота. Другие (А. Г. Трутнев, В. Н. Былинкина, Г. Лутц, Э. Уггла) приходят к выводу, что даже при сильном обжиге потери органической части подстилки составляют от 30 до 70%. Но при этом после частичной стерилизации в обожженных почвах наступает бурное развитие микроорганизмов (Н. Н. Сушкина, Г. С. Хренова, А. С. Творогова).

Большое внимание изучению влияния огня на физико-химические свойства почв уделяется зарубежными исследователями (США, Канада, Швеция). Среди иностранных работ заслуживают внимания исследования Р. Остина и Д. Бейсингера (1955), П. Бернса (1952), А. Сэмпсона (1944), К. Дэвиса и др. (1959), Э. Уггла (1960—1961). Анализ современной зарубежной литературы по данному вопросу позволяет сказать, что за границей не внесено чего-либо принципиально нового в те общие положения, которые были сформулированы в нашей стране 30 лет назад М. Е. Ткаченко и его сотрудниками.

II. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Припышминские боры расположены в Зауралье (Свердловская область) на западной окраине Западно-Сибирской низменности, между 56° 40′—57° с. ш. и 63° 10′—65° 25′ в. д., на междуречьи Пышма—Исеть. Происхождение их тесно связано с древними песчаными отложениями р. Пышмы. Припышминский боровой массив является крупнейшим лесным массивом в подзоне предлесостепных сосново-березовых лесов (Б. П. Колесников). Общая площадь бора составляет 350 тыс. га. Леса массива с середины XIX в. интенсивно эксплуатируются и часто поражаются лесными пожарами.

Территория Припышминского бора представляет довольно однообразную, почти не размытую, слабо расчлененную равнину (абсолютная высота ее 120—140 м), сформированную в неогеновое и четвертичное время. Собственно грунтовые воды находятся глубоко. Главную роль в водном режиме почв играют верховодки.

Климат района континентальный. Об этом свидетельствуют значительные годовые амплитуды колебания температуры, достигающие 75°, низкий годовой коэффициент увлажнения (меньше 1,0), поздневесенние и раннеосенние заморозки. Среднее годовое количество осадков около 400 мм, средняя годовая температура + 1,4° (Талица).

Почвы массива формируются на водно-континентальных отложениях (супеси и пески, подстилаемые тяжелыми суглинками) четвертичного возраста. Преобладающими почвами являются дерново-подзолистые легкого механического состава (Б. В. Надеждин, 1960). Развитие подзолообразовательного процесса в районе Припышминского бора, окруженного пространствами с черноземными почвами, тесно связано с давним господством древесной растительности.

Основной лесообразующей породой в исследуемом районе является сосна. Она занимает около 50% площади. Немногим больше 20% приходится на березовые насаждения, остальные площади занимают безлесные участки и вырубки. Преобладающими типами леса являются леса из группы боров зеленомошников (П. И. Чудников, С. Н. Санников).

III. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения динамики азотного режима были подобраны дерново-подзолистые почвы легкого механического соста-

ва. Стационарные исследования проводились в Талицком лесничестве в двух наиболее распространенных типах леса: сосняках черничниковом II бонитета (участки в кварталах 158, 77 и 76) и травяно-зеленомошниковом I бонитета (кварталы 55 и 67). Морфологические различия почв этих двух типов леса сводятся в основном к различной степени выраженности горизонтов A_1 и A_2 по окраске, мощности и механическому составу.

В химическом отношении различия более существенны. Почвы под сосняками черничниковыми развиты дерново-сильноподзолистые легкосуглинистые малогумусные (3,55%), почвы, обладающие сравнительно высокой обменной кислотностью, обусловленной в основном алюминием, бедные поглощенными основаниями. Почвы под сосняками травяно-зеленомошниковыми значительно богаче гумусом (5,8%) и поглощенными основаниями, степень насыщенности в них выше.

В каждом типе леса были заложены постоянные пробные площадки в трех вариантах: под пологом леса (контроль), на вырубке и на огнищах той же вырубки, где порубочные остатки были сожжены в больших кучах за месяц до начала наших работ.

В лесу и на вырубке образцы брались по генетическим горизонтам с глубины 0—5 (A_0), 5—8 (A_1) и 10—18 (A_2) см. При взятии образцов на огнищах также придерживались генетических горизонтов, но мощность верхнего слоя A_0 определялась в зависимости от прогорания подстилки и слоя золы, образовавшегося на поверхности обожженной почвы. На свежих слабо прогоревших огнищах (опытное сжигание) горизонт A_0 был разделен на два «A_0—верх» и «A_0^1—низ». Во всех вариантах опыта брался средний образец из пяти точек с одной и той же глубины.

В течение вегетационного сезона в 1958 г. проведено 4 наблюдения (в июне, июле, сентябре и октябре), а в 1959 г.— 6 (с мая по октябрь, раз в месяц) и для завершения годичного цикла дополнительно были взяты образцы в декабре и марте. В последующие два года (1960 и 1961) число летних наблюдений было сокращено до трех, а зимние проводились в том же порядке (XII—III).

С целью изучения влияния интенсивности обжига на содержание и накопление азота в почве, помимо использования производственных огнищ, был проведен экспериментальный обжиг почвы без сжигания порубочных остатков, а также

сжигание их в крупных и мелких кучах. Дополнительно изучались также почвы гари, возникшей в мае 1959 г. в сосняке травяно-зеленомошниковом (кв. 67) после сильного верхового и низового пожара. И, наконец, было проведено сжигание порубочных остатков, изолированных от почвы и разделенных на три фракции: хвоя, тонкие сучья (диаметром до 5 см) и крупные (диаметром более 5 см.). Помимо стационарных наблюдений, в Припышминских борах проведены однократные исследования в различных лесорастительных условиях и разных районах Среднего и Южного Урала.

IV. ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР (ОГНЕВОЙ ОЧИСТКИ И ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ) НА АЗОТНЫЙ РЕЖИМ ЛЕСНЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ЗАУРАЛЬЯ

1. Азотный режим почв под пологом леса и на необожженных вырубках

Общеизвестно, что одним из важнейших элементов в природном круговороте веществ является азот. Он входит в состав любых живых клеток, после отмирания которых возвращается в почву и вновь служит источником построения живых организмов. Поэтому накопление азота и других биогенных элементов в почве связывается многими авторами (Н. И. Базилевич, А. Ф. Тюлин) прежде всего с круговоротом веществ.

Установлено (А. Ф. Тюлин, В. С. Шумаков, С. В. Зонн и др.), что каждой растительной формации соответствует свой особый тип накопления и разложения органического вещества, особый тип обмена веществ. Поэтому само по себе изучение азотного режима почв под разными типами леса представляет большой научный интерес. В дерново-подзолистых почвах разложение азотистых органических соединений идет, как правило, до стадии аммиака (Н. П. Ремезов и др.). Причиной этого является высокая кислотность, малая насыщенность почв основаниями, высокое содержание битумов и пр. Типичным биохимическим процессом для них является аммонификация.

Дерново-подзолистые почвы Припышминских боров в этом отношении не являются исключением. Из минеральных форм азота в них всегда преобладает аммиак, причем наибольшее содержание его наблюдалось в лесной подстилке (З. Н. Арефьева, 1963). Наименьшее содержание NH_3 отмечалось, как правило, в горизонте A_2.

Наши исследования показали, что интенсивность процесса аммонификации в почве разных типов леса различна*). Так. в почве под сосняками черничниковыми содержание NH_3 всегда выше, чем в почве под сосняками травяно-зеленомошниковыми. Это, очевидно, связано с различными свойствами этих почв, в частности, с различной степенью оподзоленности и минерализации органического вещества подстилки.

Отмечено, что вырубка леса заметно влияет на азотный режим и на характер биохимических процессов, особенно в почве под сосняками травяно-зеленомошниковыми. Прежде всего, после вырубки мы наблюдаем появление в почве нитратного азота, отсутствовавшего под пологом леса. Повышается содержание аммиачного азота и количество выделившейся из почвы углекислоты, что также указывает на повышение активности биохимических процессов в почве вырубки.

Известно (В. С. Шумаков, С. В. Ковригин и др.), что содержание азота в почве в течение вегетационного сезона резко меняется. В условиях Зауралья максимальное накопление аммиака в почве в большинстве случаев наблюдается в июне и июле, минимальное осенью. Но в разные годы, в зависимости от гидротермических условий, отмечался сдвиг максимумов (на июнь—сентябрь). Влияние гидротермических условий в разной степени проявляется и на участках, испытавших воздействие огня (огнища, палы, гари).

Высокое содержание аммиака в почве обычно связывается с нормальной влажностью и сравнительно высокой температурой. Сильные засухи сопровождаются резким понижением содержания аммиачного азота в почве. Избыток влаги в почве, как и ее недостаток, подавляет процесс аммонификации. Накопление нитратов на вырубках наблюдалось в более засушливые периоды, при этом содержание NH_3 в почве падало. После сильных дождей нитраты обычно вымываются из верхних горизонтов почвы.

Исследования показали также, что содержание общего азота и гумуса в почве изменяется в течение вегетационного периода в зависимости от погодных условий, а именно—уменьшается летом и увеличивается осенью. Это совпадает с данными других исследователей (А. Ф. Тюлин, М. М. Абрамова, А. В. Барановская, В. Д. Холопов).

---

*) Интенсивность аммонификации и нитрификации принято условно оценивать количеством аммонийных и нитратных соединений, определенных в почве.

2. Действие высоких температур на азотный режим почв

На основании проведенных исследований выяснилось, что любое температурное воздействие на почву приводит к значительному изменению в азотном режиме и в характере биохимических процессов, главным образом, в органогенных горизонтах (A_0 и A_1). Степень этих изменений различна в зависимости от характера влияния огня на почву.

При сжигании порубочных остатков в больших кучах происходит почти полное выгорание подстилки, в связи с чем неизбежна потеря некоторой части азота, содержащегося в органическом веществе подстилки. Но при этом, в ниже расположенном прогретом горизонте (A_1) содержание аммиака увеличивается в 4—5 раз, по сравнению с аналогичным горизонтом вырубки и леса (табл. I). Образующийся на поверхности огнища слой золы (мощностью 3—4 см) также не лишен полностью азота (преимущественно в форме NO_3). Кроме того, в обожженных почвах резко увеличивается содержание легкогидролизуемого азота.

При сжигании порубочных остатков в мелких кучах и при легких палах не происходит полного уничтожения органического вещества подстилки, а слой золы на поверхности огнища не превышает 1—2 см. Максимальное содержание аммиака (359 мг/кг) в этом случае наблюдалось не в гумусовом горизонте, а в слое прогретой, но не прогоревшей подстилки (A_0^1), находившемся под слоем золы. Обжиг подстилки без сжигания порубочных остатков (пал) дает аналогичное увеличение NH_3 в гумусовом горизонте, хотя и менее ярко выраженное (в момент обжига), чем на огнищах. Можно отметить, что чем сильнее было воздействие огня, т. е. чем значительнее прогрелась почва, тем выше в ней становилось содержание аммиака. Например, на опытном огнище в горизонте A_1 содержалось 134 мг/кг, на участке сильного пала— 105 и слабого 35 мг/кг. Максимальное же накопление аммиачного азота на паловых участках наступило через два месяца после обжига (663—785 мг/кг), в 5—6 раз превысив содержание аммиака в необожженных почвах (табл. 2).

Для проверки данных, полученных в полевых условиях, были поставлены лабораторные опыты с прогреванием почв в муфеле. Последние показали, что даже кратковременное (30 мин.) прогревание почв при температуре 100—120°сопровождается резким увеличением содержания NH_3. Например,

Таблица 1

Динамика содержания аммиака в двух типах леса в различных экологических условиях (1958 г.)

Варианты опыта	Генетический горизонт	Глубина взятия образца, см	Июнь			Июль			Сентябрь			Октябрь		
			NH_3 мг/кг	Количество аммонифицирующих бактерий млн/г[1])	Влажность почвы %	NH_3 мг/кг	Количество аммонифицирующих бактерий млн/г[1])	Влажность почвы, %	NH_3 мг/кг	Количество аммонифицирующих бактерий млн/г[1])	Влажность почвы, %	NH_3 мг/кг	Количество аммонифицирующих бактерий млн/г[1])	Влажность почвы, %
Сосняк черничниковый														
Огнище (производственное)	A_0	0—3(4)	94,06	17,8	38,5	110,4	16,22	32,6	245,1	22,66	46,9	168,0	—	59,8
	A_1	3(4)—8	418,2	18,7	41,3	341,2	16,83	34,4	322,6	13,64	19,6	235,0	—	28,3
	A_2	9—17	50,3	—	22,1	75,6	—	19,1	172,2	—	11,7	37,0	—	17,7
Лес	A_0	0—5	300,0	27,7	60,3	189,0	26,5	58,6	430,0	4,4	54,7	103,3	—	61,0
	A_1	6—10	75,9	3,45	27,6	27,25	23,25	23,4	256,7	0,14	10,5	11,9	—	27,6
	A_2	10—18	36	—	17,2	18,0	—	8,7	105,1	—	6,0	11,5	—	12,8
Вырубка	A_0	0—5	216,0	—	48,7	99,0	—	48,8	595,0	—	58,7	84,5	—	52,5
	A_1	6—10	54,7	—	40,3	44,8	—	25,0	259,5	—	18,6	16,0	—	22,1
	A_2	11—18	43,3	—	18,7	20,4	—	11,7	106,8	—	6,0	1,10	—	13,0
Сосняк травяно-зеленомошниковый														
Огнище (производственное)	A_0	0—3(4)	24,5	12,4	9,8	182,5	11,0	36,8	222	1,0	42,3	90,6	—	47,7
	A_1	3(4)8	98,6	18,7	41,4	226,4	8,82	21,0	131,8	13,0	16,3	109,8	—	18,0
	A_2	9—17	29,1	—	12,5	70,8	—	13,8	111,5	—	11,8	51,5	—	11,4
Лес	A_0	0—5	29,0	5,2	51,7	76,6	12,7	45,9	620,0	1,44	58,5	67,2	—	53,7
	A_1	6—11	22,4	10,5	43,7	32,2	0,3	12,6	210,8	0,6	19,8	9,0	—	19,5
	A_2	12—18	16,7	—	11,1	19,6	—	6,2	101,1	—	12,9	10,0	—	7,8
Вырубка	A_0	0—5	74,2	—	54,3	128,1	—	58,4	561,7	—	58,0	86,7	—	66,7
	A_1	6—12	21,2	—	20,7	24,0	—	21,6	225,4	—	23,4	8,8	—	28,3
	A_2	12—18	31,86	—	15,8	17,7	—	7,8	100,7	—	10,6	6,94	—	11,5

[1]) По неопубликованным данным Г. С. Хреновой, работавшей совместно с автором.

содержание NH_3 в подстилке до прогревания было 561 мг/кг, после прогревания—951, в гумусовом горизонте до прогревания 211, после прогревания—616 мг/кг. Одновременные химические и микробиологические (Г. С. Хренова) исследования, проведенные на одних и тех же образцах, показали, что увеличение NH_3 в почве происходит в момент ее прогревания, очевидно, за счет распада сложных азотистых соединений, без участия микроорганизмов, так как значительная часть их. в том числе и аммонификаторов, погибает (табл. 1 и 2). При слабом термическом воздействии (на палах) увеличение NH_3 в почве, происходящее спустя 2—3 месяца после обжига, можно отнести, однако, не только за счет химического окисления органического вещества, но частично и за счет микробного синтеза азотистых соединений.

Аналогичные данные по увеличению NH_3 при нагревании почв в лабораторных условиях опубликованы Е. Ф. Березовой с соавторами Б. Д. Оношко, М. М. Хлустиковой-Дикусар, Л. И. Вигоровым, А. В. Кузнецовой и др. Многие из них (Н. Н. Сушкина, Л. И. Вигоров, В. В. Буткевич, А. Ньюхолл) связывают это явление с массовым отмиранием почвенных микроорганизмов, биомасса которых затем используется уцелевшими и быстро размножающимися видами и формами микробов. Ньюхолл (1958), например, предполагал, что при прогревании почвы погибают только неспорообразующие бактерии, а аммонификаторы, как дающие споры, выживают, в связи с чем усиливается микробный синтез азота.

Другие (А. Н. Лебедянцев, М. М. Хлустикова-Дикусар) отмечают, что высокие температуры вызывают в почве, в первую очередь, химические изменения, связанные с процессами окисления органического вещества, в результате чего уменьшается количество белкового азота и увеличивается содержание аммиачного и амидного азота.

В последние годы появились данные (Аллисон, Роллер, Баршед, Смирнов, Фруктова и др.) о том, что аммиак в почве может находиться не только в обменном, но и необменном (фиксированном) состоянии, т. е. в составе кристаллической решетки глинных минералов или сложных органических соединений, трудно разлагаемых микроорганизмами. Предполагают, что при нагревании кристаллические решетки минералов изменяются и часть фиксированного NH_4 может освобождаться из межпакетных пространств, переходя в обменное состояние (Э. И. Шконде, Е. И. Королева и др.). Кроме того,

Таблица 2

Динамика аммиака в различных экологических условиях сосняка черничникового (кв. 77), 1959 г.

Варианты опыта	Генетический горизонт	Глубина взятия образца, в см	Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь	
			NH_3 мг/кг почвы	Количество аммонифицирующих бактерий млн/г[1]	NH_3 мг/кг	Количество аммонифицирующих бактерий млн/г[1]	NH_3 мг/кг	Количество аммонифицирующих бактерий млн/г[1]	NH_3 мг/кг	Количество аммонифицирующих бактерий млн/г[1]	NH_3 мг/кг	Количество аммонифицирующих бактерий млн/г[1]
ОПЫТНОЕ СЖИГАНИЕ												
Огнище (опытное)	A_0	0—1	42,15	0	41,75	0,9	123,4	—	84,64	253,0	96,5	7,3
	A_{01}	2—3	359,1	21,5	109,7	1,46	322,3	1,26	189,2	132,6	213,0	119,1
	A_1	3—7	134,0	16,2	46,1	0,8	89,15	1,4	127,9	102,5	136,7	91,5
	A_2	9—15	19,63	—	22,1	0,27	25,36	1,3	11,25	—	31,0	30,0
Вырубка	A_0	0—3	—	3,76	74,35	0,8	—	1,34	43,0	9,0	101,45	67,1
	A_{01}	3—6	189,75	28,1	59,0	0,43	114,36	0,04	92,9	71,2	28,9	107,9
	A_1	7—10	26,46	10,0	23,1	1,66	14,15	0,9	16,64	35,3	17,6	7,0
	A_2	10—17	34,8	8,4	20,6	—	15,86	0,28	11,5	—	—13,3	—
Лес	A_0	0—3	—	—	—	—	—	—	—	—	99,1	662,0
	A_{01}	3—5	—	—	47,4	0,5	140,1	1,6	55,7	412,0	16,27	7,6
	A_1	6—10	—	—	21,26	0,9	46,1	0,3	18,07	32,1	9,65	0
	A_2	10—17	—	—	22,2	1,2	28,5	0,03	21,7	—	—	—
Пал № 1 (слабый)	A_0	0—5	80,2	—	212,2	—	785,4	—	166,5	—	210,2	—
	A_1	5—10	35,66	—	122,5	—	373,6	—	175,7	—	57,7	—
	A_2	10—16	13,1	—	34,7	—	35,8	—	69,87	—	12,75	—
Пал № 2 (сильный)	A_0	0-4	56,46		233,1	—	663,5	—	127,8	—	171,2	—
	A_1	4—10	104,8	—	121,0	—	496,0	—	37,4	—	57,5	—
	A_2	10—16	19,43	—	28,1	—	34,0	—	19,3	—	19,7	—

[1]) По неопубликованным данным Г. С. Хреновой, работавшей совместно с автором.

и обменный аммоний, как указывают О. Ботини (1938) и И. А. Могилевкина (1964), в почве имеет связи различной прочности, а поэтому полное выделение обменного аммония начинается при температуре 50° и заканчивается при 400 — 460°С.

В свете изложенных представлений увеличение NH_3 в обожженных почвах можно объяснить прежде всего усилением физико-химических процессов и лишь последующие изменения допустимо относить за счет жизнедеятельности почвенных микроорганизмов.

Таблица 3

Максимальное содержание нитратного азота в свежей золе порубочных остатков в лесах Зауралья и Южного Урала

Место сжигания порубочных остатков	Время сжигания	Количество NO_3 мг/кг
Талицкое лесничество (подзона предлесостепных березово-сосновых лесов) сосняк черничниковый	октябрь 1959	1200,0
Сосняк черничниковый	июль 1960	341,0
Сосняк черничниковый	март 1962	1469,0
Ивдельский лесхоз (подзона северной тайги) сосняк ягодниково-мшистый	август 1962	2056,0
Тавдинское лесничество (подзона южной тайги) сосняк зеленомошниковый	октябрь 1963	1230,0
Тавдинское лесничество ельник кисличниковый	октябрь 1963	86,0
Чусовское лесничество (подзона южной тайги Среднего Урала) ельник разнотравно-зеленомошниковый	июль 1963	157,0
Саткинское лесничество (подзона южной тайги, Южного Урала) ельник разнотравно-зеленомошниковый	июль 1962	34,0
Талицкое лесничество:	июль 1960	
а) зола хвои сосны		598,0
б) зола мелких сучьев		528,0
в) зола крупных сучьев		305,0

Нитратный азот в наших дерново-подзолистых почвах под пологом леса, как правило, отсутствовал. Однако при сжигании порубочных остатков большими кучами в золе всегда обнаруживались нитраты. Установлено, что зола порубочных остатков, помимо известных зольных элементов (Si, Ca, Mg, K, P, Mn и пр.) и ряда микроэлементов (Zn, Ni, Co, Cu, B, Li), содержит в значительном количестве (иногда более 2000 мг/кг) минеральный азот, главным образом в форме окислов (табл. 3).

Содержание окисных соединений азота в золе в таком большом количестве, безусловно, не имеет ничего общего с образованием нитратов биологическим путем (на давних палах и гарях). Из приведенной таблицы 3 видно, что больше всего нитратов обнаруживалось в золе свежих огнищ при сжигании порубочных остатков осенью и ранней весной (март). Опыты показали, что наибольшее содержание нитратов находится в золе хвои (табл. 3). При этом решающее значение для появления и концентрации нитратов в золе имеют: видовой состав, количество сжигаемых остатков и режим горения.

Прокаливание такой золы в муфеле (при 600°) до постоянного веса приводило к полному удалению всех соединений азота. Это дает нам право сказать, что зола порубочных остатков является продуктом неполного термического распада азотосодержащих органических соединений. Причиной же неполного распада, очевидно, является неоднородность температур и недостаток кислорода внутри плотнолежащих куч порубочных остатков. Максимальная температура в зоне горения редко превышает 900° (Н. Н. Казанский, 1931; Н. П. Курбатский, 1962), а внутри куч она значительно ниже (600—300°), т. е. явно недостаточна для полного разложения азотнокислых соединений.

Нитратный азот, поступая с золой в почву, довольно быстро распространяется по почвенному профилю, и большая часть его к концу первого вегетационного сезона уносится грунтовыми водами. Но с весны следующего года на огнищах вновь отмечается резкое увеличение NO_3 в почве (рис. 1). Надо полагать, что появление нитратного азота на огнищах на второй год после сжигания порубочных остатков связано уже с биологическими процессами, на что указывает появление в почве нитрифицирующих бактерий, отсутствующих в первый год (Г. С. Хренова).

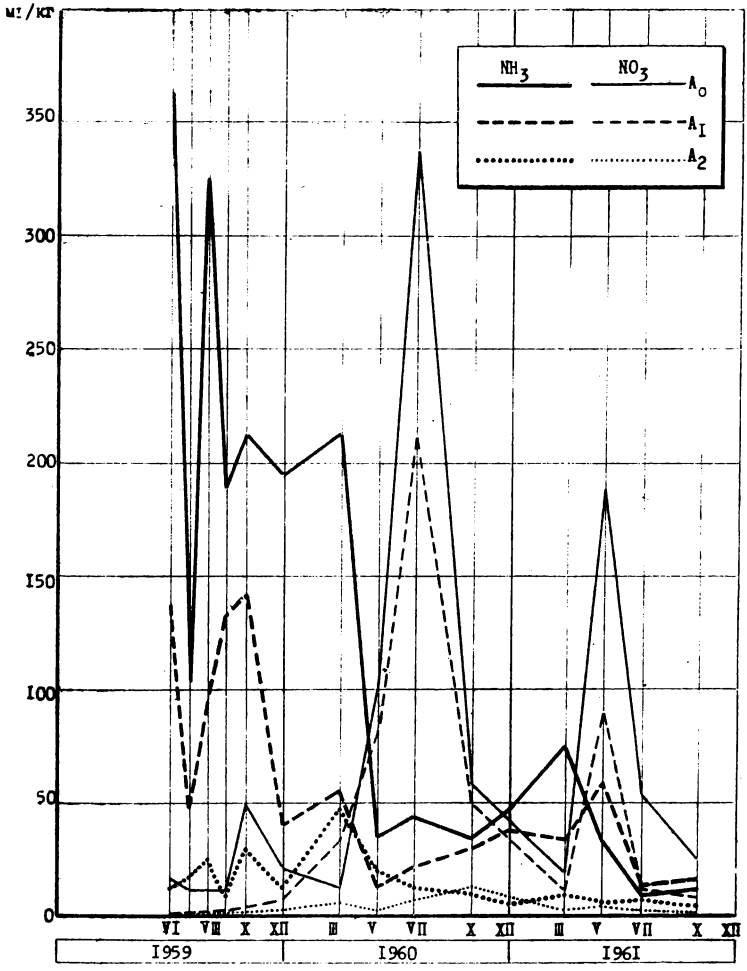

Рис. 1.

Изменение содержания аммиака и нитратов в почве опытных огнищ сосняка черничникового.

На слабо обожженных участках после легких палов нитраты в обожженном слое почвы (A_0) отсутствовали и накопление их шло очень медленно. Первое появление NO_3 в почве палов отмечено через 2—3 месяца и не в слое обуглив-

шейся подстилки, а в горизонте A_1 и A_2. Появление нитратов в обожженной почве спустя некоторое время после обжига, иногда только через год (слабый пал), безусловно, следует относить за счет деятельности микроорганизмов-нитрификаторов, получивших возможность энергично развиваться благодаря изменившимся условиям среды. Максимальное накопление нитратов в почве палов наблюдалось только на второй и третий год после обжига почвы, но при этом происходило резкое падение содержания аммиака в почве (табл. 4).

Таблица 4

Изменение содержания различных форм азота в почве, в зависимости от степени обжига

Дата наблюдения	Горизонт	А. Слабый пал		Б. Сильный пал	
		Содержание минерального азота (мг/кг)			
		NH_3	NO_3	NH_3	NO_3
1 декада июля 1959 г.	A_0	212,0	нет	233,0	нет
	A_1	122	нет	212,0	31
	A_2	35	нет	28,0	58
1 декада июля 1960 г.	A_0	267	48	40	354
	A_1	111	34	21	129
	A_2	31	30	13	28

Из литературы известно (Л. М. Бурлакова, Л. И. Вигоров, М. В. Курликова и др.), что усиление окислительных процессов (нитрификации) в почве приводит к ослаблению процесса аммонификации (восстановительного), то есть происходит качественное изменение характера биохимических процессов. Но аммиак при этом не удаляется из почвы, а в процессе биохимических превращений переходит в другую форму. Только этим можно объяснить убыль аммиака и увеличение NO_3 после обжига почвы. Однако общее содержание азота в обожженной почве не убывает, а даже увеличивается. Так, запас подвижного азота в минеральном слое почвы (A_1+A_2) на двухлетнем огнище в сосняке черничниковом составлял 90 кг/га, а под пологом леса—40, в сосняке травяно-зеленомошниковом на огнище—60, а под пологом леса — 33 кг/га (июль, 1960). С возрастом огнищ содержание подвижного азота в почве падает, особенно в сосняке травяно-зеленомошниковом. Но даже на третий год содержание азота

на огнищах в сосняке черничниковом выше, чем в почве вырубки или леса (рис. 2).

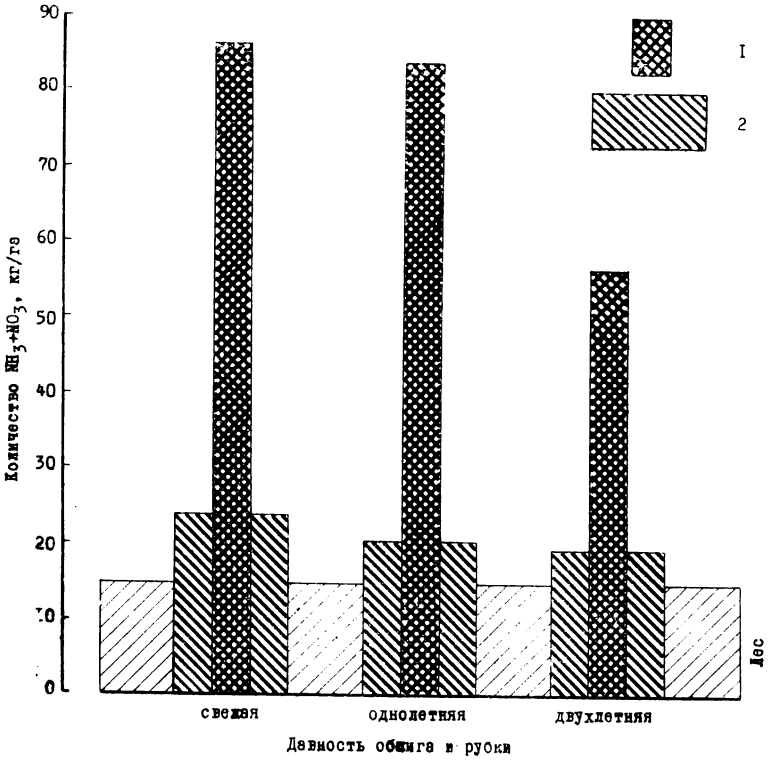

Рис. 2.

Влияние обжига и рубки на содержание подвижного азота в минеральном слое почвы огнищ и вырубок сосняка черничникового (октябрь 1960 г.): 1—огнище, 2—вырубка.

3. Влияние огневой очистки лесосек на биологическую активность почв

В связи с изучением влияния высоких температур на некоторые биохимические процессы лесных дерново-подзолистых почв, для оценки интенсивности этих процессов в качестве одного из показателей, характеризующих степень разложе-

ния органического вещества, мы учитывали количество выделившейся из почвы CO_2, или так называемую «биологическую активность» почвы.

Определение CO_2 проводилось в полевых условиях по методу Б. И. Макарова (1957) в течение двух вегетационных сезонов (1958—1959 гг.) на тех участках, где проводились вышеописанные исследования. Одновременно определялась температура и влажность почв.

Наибольшее количество CO_2 выделилось почвой под сосняками травяно-зеленомошниковыми, характеризующейся более высоким содержанием гумуса и общим плодородием, по сравнению с почвами под сосняками черничниковыми.

Различия внутри типов леса по вариантам опытов выразились в том, что в условиях сосняка травяно-зеленомошникового количество выделившейся CO_2 (по сумме наблюдений за вегетационный период) убывает от огнища к вырубке с минимумом в лесу: на огнище 3620 мг/м^{2}час, на вырубке 2664, в лесу 2348. В сосняке же черничниковом наибольшее количество CO_2 отмечено на вырубке—2782, затем под пологом леса—2472 и, наконец, на огнище—2096 мг/м^{2}час. Опыты показали, что влияние высоких температур, связанных с сжиганием порубочных остатков в крупных кучах, проявилось по-разному, в зависимости от свойств почв, от содержания в них гумуса и от степени обжига.

При сжигании порубочных остатков в мелких кучах (первое наблюдение проведено на второй день после сжигания) минимальное количество CO_2 выделилось также на огнищах.

Несмотря на то, что микроорганизмы в верхнем обожженном слое подстилки отсутствовали (т. е. в момент определения CO_2 биологический фактор был временно исключен) из почвы выделилось значительное количество углекислоты (210 мг/м^{2}час). Это показывает, что при известных условиях образование CO_2, как и аммиака, представляет чисто химический процесс и служит показателем химического окисления органического вещества, а не только показателем биологической активности почвы, что вполне согласуется со взглядами других исследователей (П. А. Костычев, М. М. Хлустикова-Дикусар, В. Н. Мина, Б. Н. Макаров, И. А. Турлюн).

Содержание CO_2 в почве, так же как подвижных азотистых соединений, весьма динамично и зависит как от состояния почвы, так и от гидротермических условий. Максимум

выделения CO_2 совпадал с самым теплым периодом года (июль, август).

Касаясь вопроса о связи выделения CO_2 с другими факторами, можно отметить, что сезонные изменения в основном совпадают только с изменениями температуры почвы, а именно: с повышением ее усиливается интенсивность выделения CO_2. Другие связи очень непостоянны или имеют обратную зависимость (например, с микроорганизмами). Исходя из этого, величину выделения CO_2 почвами мы считаем результативным показателем, зависящим от ряда факторов: гидротермических, физико-химических и биологических (В. П. Фирсова, З. Н. Арефьева, 1960). Несмотря на это нельзя не отметить, что по количеству выделившейся CO_2 можно объективно судить о плодородии и о всех изменениях в жизни почвы (вырубка леса, огневая очистка лесосек, лесные пожары и прочее), характеризующих интенсивность процесса разложения органического вещества.

4. Влияние низких температур на содержание и накопление азота в почве

В связи с проведением годичных наблюдений за динамикой азота, в диссертации затронут также интересный и мало изученный вопрос о влиянии низких температур по азотный режим дерново-подзолистых почв.

В литературе почти нет данных о действии холода на химические свойства почв. Сложилось мнение, что зимой физико-химические процессы в почвах затухают и действие мороза не отражается на их свойствах.

Наблюдения показали, что содержание аммиачного азота в зимних условиях значительно возрастает по сравнению с осенью. Это явление (табл. 5) прослеживается во всех вариантах опыта, независимо от типа леса, но особенно резко выражено под пологом леса. Промораживание почв в лабораторных условиях дало аналогичное увеличение аммиака, что вполне согласуется с литературными данными (Б. Д. Оношко, А. В. Кузнецова). Причина этого явления полностью не выяснена. Предполагается, что разложение органического вещества может происходить довольно интенсивно и при температуре ниже 0° (П. А. Костычев). Некоторые микробиологи указывают даже на увеличение численности микроорганизмов в мерзлых почвах (Е. Н. Мишустин, П. Х. Рахно).

Нами отмечено, что на участках, подвергшихся обжигу,

повышение содержания аммиака в мерзлой почве выражено слабее. Это явление, очевидно, связано с тем, что основная масса азотистых соединений органического вещества почвы под действием высоких температур резко изменила свою структуру. В результате большая часть их перешла в легкогидролизуемые и в другие формы азота. Поэтому понижение температуры незначительно сказалось на повышении обменного аммония в мерзлой обожженной почве.

Таблица 5

Содержание аммиачного азота (мг/кг) в дерново-подзолистой почве в различных экологических условиях в зимнее время

Варианты опыта	Горизонт	1959		1960			1961		1962
		октябрь	декабрь	март	октябрь	декабрь	март	октябрь	март
Сосняк черничниковый									
Полог леса	$A_0 A_1$	63,66	489,3	207,2	74,45	143,7	122,0	40,4	194,0
	A_1	17,56	36,9	130,1	7,4	32,7	35,0	16,8	25,0
	A_2	9,3	—	30,6	10,1	17,6	22,0	14,5	10,0
Вырубка 1959 года	$A_0 A_1$	28,9	179,8	269,0	66,1	101,3	112,0	60,0	143,0
	A_1	17,6	32,0	134,3	10,9	26,2	41,4	14,9	17,3
	A_2	13,0	—	29,8	9,9	17,3	16,3	13,0	8,05
Огнище 1959 года (опытное)	$A_0 A_1$	213,0	193,0	213,0	30,2	37,5	69,2	11,0	36,0
	A_1	136,7	38,4	59,1	28,66	36,0	30,5	14,5	21,5
	A_2	31,0	17,0	39,0	15,94	13,7	12,3	14,3	10,4
Сосняк травяно-зеленомошниковый									
Полог леса (кв. 55)	A_{01}	16,27	76,5	121,0	71,0	202,3	233,3	49,5	87,3
	A_1	9,65	13,2	58,7	10,5	31,8	32,8	37,0	13,7
	A_2	11,4	18,7	18,2	7,9	12,5	18,6	19,6	10,4
Гарь 1959 года	A_{01}	67,5	222,5	380,5	44,17	139,6	не определялось	44,1	80,0
	A_1	35,3	149,2	227,8	15,0	42,6		23,8	21,3
	A_2	6,25	22,4	36,0	10,5	15,1		15,7	12,0

Кроме того, нами отмечено, что в зимнее время существенно повышается содержание гумуса в почве (З. Н. Арефьева, 1963).

Существует мнение (А. А. Шмук, А. Н. Лебедянцева), что накопившиеся за лето нитраты зимой совершенно исчеза-

ют из почвы. Наши исследования показали (З. Н. Арефьева, Б. П. Колесников, 1964), что накопившиеся и сохранившиеся к осени нитраты зимой не только не исчезают, но наблюдается даже увеличение их количества, очевидно, за счет миграции с пленочной водой из нижних горизонтов в верхние и концентрации их в верхних горизонтах почвы. На повышение содержания воднорастворимых веществ сухого и прокаленного остатков указывает в своей работе В. П. Фирсова (1964). Аналогичные данные ранее были приведены И. А. Тютюновым, З. А. Нерсесовой и др. И. А. Тютюнов особую роль в этих изменениях придает действию тонких водных пленок, не замерзающих при низких температурах.

В увеличении содержания аммиака, нитратов, гумуса и других подвижных веществ в мерзлой почве, помимо физико-химических процессов, по-видимому, не исключена роль и биологического фактора.

ВЫВОДЫ

1. Под пологом леса в дерново-подзолистых почвах Зауралья преобладает процесс аммонификации. Наибольшее содержание аммиака обнаружено в дерново-сильноподзолистой малогумусной почве (под сосняками черничниковыми).

2. Максимальное количество аммиака наблюдалось в лесной подстилке, наименьшее — в самом бедном органическим веществом подзолистом горизонте A_2. Процессы аммонификации в подстилке и почве наиболее активно идут в середине лета; в отдельные годы в зависимости от гидротермических условий наблюдался сдвиг максимумов на сентябрь (1958), иногда на май и июнь.

3. Вырубка леса вызывает существенные изменения в биохимической и биологической активности почв, на что указывает появление в почве нитратов, отсутствующих под пологом леса, увеличение содержания аммиачного азота и повышение общей биохимической активности (CO_2).

4. Действие высоких температур—лесные пожары, огневая очистка лесосек, палы—на легкие дерново-подзолистые почвы (из-под «свежих» типов леса) вносит еще более существенные изменения в свойства почв, чем рубка леса. При огневой очистке лесосек и лесных палах полного выгорания подстилки, как правило, не происходит. Теряется лишь часть органического вещества, а с ним и азота, содержащегося в подстилке (от 30 до 50%). Полное выгорание лесной подстилки в сосняках Припышминских боров наблюдалось

только при сжигании порубочных остатков в крупных кучах или при очень сильных лесных пожарах. Но при этом резко увеличивалось содержание подвижного азота (аммиачного и легкогидролизуемого) в прогретом гумусовом горизонте.

5. Увеличение содержания NH_3 в почве в момент действия высокой температуры происходит без участия микроорганизмов, то есть идет за счет усиления окислительных реакций.

6. Потери органического азота в подстилке обожженных почв быстро компенсируются за счет химического, а затем и биологического накопления минерального азота. Поэтому содержание общего азота в обожженных почвах (в слое 0—20 см) спустя некоторое время (2—3 месяца) становится выше, чем в необожженных.

7. При сжигании древесных остатков, в золе всегда обнаруживается значительное количество минерального азота, преимущественно в форме нитратов.

8. Количество нитратного азота в золе порубочных остатков зависит от фракционного состава порубочных остатков, их количества, влажности и температуры горения, сезона сжигания, а также экологических условий (тип леса и почвы) и географического положения.

9. Первоначальное появление нитратов в золе порубочных остатков мы считаем результатом физико-химических реакций и поэтому золу рассматриваем, как продукт неполного термического распада азотсодержащих соединений органического вещества хвои и древесины.

10. Действие высоких температур на почву значительно повышает минерализацию органического вещества и поступление зольных элементов, что приводит к изменению характера биохимических процессов в почве. В результате этого восстановительные процессы (аммонификация) затухают, а окислительные (нитрификация) усиливаются. Поэтому содержание аммиака в обожженных почвах на второй год после действия температур падает, а содержание нитратов возрастает. Нитрификация становится господствующим биохимическим процессом в легких дерново-подзолистых почвах в сосновых лесах в течение 3—4 лет после воздействия огня при слабом обжиге (палы, гари) и 2—3 лет при сильном термическом воздействии (огнища).

11. Лучшие показатели роста сеянцев на гарях и огнищах по сравнению с необожженными почвами в Припышминских борах (С. Н. Санников, 1960, 1961) указывают на то,

что элементы питания становятся доступными и положительно используются сеянцами сосны. Все это в данных и, вероятно, аналогичных условиях позволяет считать огонь активным почвенномелиорирующим средством, с помощью которого можно существенно повышать естественное плодородие лесной почвы.

12. Под действием огневой очистки лесосек (в первый год) значительно повышается продуцирование CO_2 почвой, особенно в тех ее разновидностях, где выше содержание гумуса (сосняк травяно-зеленомошниковый). Количество выделившейся из почвы углекислоты, как и NH_3, в определенных условиях, является показателем, характеризующим интенсивность разложения органического вещества почвы и подстилки без участия микроорганизмов. Вместе с тем этот показатель объективно отражает плодородие и общую биологическую активность («дыхание») почвы.

13. Содержание минерального азота и CO_2 в обожженных почвах (огнища, гари), лишенных высшей растительности, подвержено сезонным колебаниям, так же как под пологом леса и на вырубке. Следовательно, решающая роль в сезонных изменениях химизма почв принадлежит климатическим явлениям.

14. Учитывая частую повторяемость лесных пожаров на Урале и вообще в таежной зоне, мы полагаем, что лесные пожары можно считать одним из древнейших природных факторов, оказывающих существенное влияние на ход почвообразовательного процесса. По характеру действия на растительность и почву огневые очистки лесосек аналогичны лесным пожарам. Поэтому мы вправе распространять выводы, полученные на примере изучения влияния огневой очистки и искусственных палов на все виды воздействия огня на почву.

15. Существующие утверждения о том, что в мерзлых почвах физико-химические процессы затухают, а накопившиеся к осени нитраты в зимний период исчезают из почвы, не соответствует действительности. Исследования показали, что нитраты, вмытые осенними осадками в глубь почвенного профиля, зимой обнаруживались в верхнем слое почвы, в горизонтах A_0 и A_1.

Установлено, что в мерзлой почве резко повышается содержание обменного аммония и гумуса (в зимний период), особенно под пологом леса.

16. Учитывая изменчивость физико-химических свойств почв от географических условий, типов леса и других фак-

торов, необходимо дальнейшее глубокое изучение действия огня на динамику азота и других питательных веществ в конкретных лесорастительных условиях различных природно-географических районов. Познание физико-химических изменений в почвах позволит использовать огонь (обжиг) как управляемое лесоводом средство активной мелиорации лесных почв и повышения их продуктивности.

СПИСОК

статей, опубликованных по материалам диссертации

1. Арефьева З. Н. Влияние огня на некоторые биохимические процессы в лесных почвах. Тр. ин-та биологии УФАН СССР, вып. 36, Свердловск, 1963, стр. 29—39.

2. Арефьева З. Н., Колесников Б. П. Динамика аммиачного и нитратного азота в лесных почвах Зауралья при высоких и низких температурах. Почвоведение, 1964, № 3, стр. 30—45.

3. Фирсова В. П., Арефьева З. Н. Сезонные изменения выделения CO_2 дерново-подзолистой почвой в зависимости от различных факторов. Сб. «Почвы Южного Урала и Поволжья». АН СССР, Башкирский филиал, Ин-т биологии, вып. 4, Уфа, 1960, стр. 157—165.

4. Арефьева З. Н. Процессы нитрификации на легких дерново-подзолистых почвах под влиянием огневой очистки лесосек и лесных пожаров в Припышминских борах. Сб. материалов III совещания почвоведов Поволжья и Южного Урала, Куйбышев (в печати).

5. Арефьева З. Н. Изменения в азотном режиме дерново-подзолистых почв под влиянием лесохозяйственных мероприятий (в печати).

НС 18103 8/II-65 г. Заказ № 750

г. Свердловск, Челюскинцев, 11. Цех № 3 объединения «Полиграфист»