

УДК 630*425:630*168

Е.В. Дороничева, А.А. Мартынюк

Дороничева Екатерина Владимировна родилась в 1963 г., окончила в 1987 г. Московский лесотехнический институт, научный сотрудник отдела экологии и охраны природы ФГУ ВНИИЛМ. Имеет 5 научных статей по вопросам влияния техногенных загрязнений на леса, нормирования кислотных выпадений.



Мартынюк Александр Александрович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Украинскую сельскохозяйственную академию, кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе ФГУ ВНИИЛМ. Имеет 75 печатных работ по нормированию техногенного воздействия на леса, внедрению экологических разработок и экологическому проектированию.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КИСЛОТНЫХ ОСАДКОВ НА БЕРЕЗОВЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Представлены результаты экспериментальных исследований по обоснованию предельно-допустимых кислотных нагрузок на листовенные экосистемы зоны хвойно-широколиственных лесов. В качестве критерия устойчивости экосистем выбраны лесные почвы как элемент, наиболее чувствительный к воздействию кислотных выпадений.

Ключевые слова: кислотные осадки, кислотные обработки, буферность лесных почв, березовые экосистемы.

В последние десятилетия среди экологических проблем выделяется загрязнение воздушного бассейна техногенными химическими веществами, часть которых (диоксид серы, оксиды азота и др.), трансформируясь в процессе самоочищения атмосферы, приводит к увеличению кислотных выпадений на подстилающую поверхность Земли. Из многочисленных научных публикаций видно, что кислотные выпадения не столь безобидны, они существенно нарушают жизнедеятельность лесов и вызывают их деградацию на значительных территориях. В связи с этим остаются актуальными исследования, направленные на оценку устойчивости лесных экосистем и определение уровня допустимых критических нагрузок кислотообразующих соединений.

Оценка и картографирование критических нагрузок в Европе, проводимые в рамках «Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния», в настоящее время достигли значительного прогресса. Предложено много методов нормирования кислотных выпадений для лесных экосистем, в частности с использованием математического моделирования [3, 7]. Целью наших исследований была экспериментальная оценка

кислотного воздействия на березовые экосистемы, составляющие значительную часть лесов России.

В качестве объекта исследований выбраны типичные березовые экосистемы Подмосковья. Программа работ предусматривала оценку биометрических изменений ассимиляционного аппарата березы повислой под влиянием обработок кислотными растворами в полевых условиях, а также проведение лабораторных экспериментов по изучению динамики буферной способности лесных почв к кислотному воздействию.

Влияние кислотных осадков на состояние, рост и развитие березы изучали в насаждениях Правдинского лесхоз-техникума Московской области. В течение вегетационного периода 3-4-летний самосев, прикрытый от естественных выпадений полиэтиленовыми тентами, обрабатывали водными кислотными растворами (на основе H_2SO_4) с постоянными в течение вегетационного периода значениями pH в следующих вариантах: 1,5; 2,5; 3,5; 4,5 ед., вода (5,8 ... 6,2 ед.). Разовая нагрузка была принята из расчета 10 л/м², что соответствовало среднему недельному количеству естественно выпадающих осадков (10 мм).

Состояние самосева березы характеризовали наличием некрозов листовой пластинки, повреждением побегов, а также их приростом. В каждом варианте выбирали 10 деревьев с одинаковыми первоначальными показателями, по которым в течение эксперимента оценивали реакцию березы на кислотное воздействие.

Полученные результаты показывают, что ассимиляционный аппарат березовых насаждений достаточно устойчив к воздействию кислотных выпадений. Пороговой величиной для повреждения листовой пластинки являются осадки с pH 1,5, при котором ожоги листовой пластинки наблюдались уже после двух обработок (табл. 1) в виде некроза тканей на краю листа, центральная же зона оставалась здоровой. Некрозы увеличивались с ростом обрабатываемой дозы, однако полного отмирания листьев не происходило. Наблюдения в течение всего вегетационного периода показали, что действие кислотных осадков с pH 1,5 привело к более раннему опадению листьев (начало – первая половина августа).

При обработке самосева березы кислотными растворами с pH от 2,5 до 4,5 не установлено видимых повреждений листовых пластинок в течение вегетационного периода. Небольшие ожоговые пятна наблюдались лишь в

Таблица 1

| Дата отбора | Объем обработки, мл | Площадь, мм ² | | Процент ожога |
|-------------|---------------------|--------------------------|-------|---------------|
| | | листовой пластинки | ожога | |
| 22.06 | 50 | 607 | 67 | 11,0 |
| 06.07 | 250 | 644 | 74 | 12,0 |
| 12.07 | 350 | 710 | 87 | 12,2 |
| 12.08 | 750 | 710 | 202 | 28,4 |
| 28.09 | 1300 | 1096 | 484 | 44,0 |

местах повреждения листьев тлей; в целом же лист оставался здоровым. Начало опадения листьев изменилось при обработке раствором с рН 2,5, оно отмечалось с середины августа. Но если учесть, что листопад у березы может продолжаться в течение двух месяцев, то отмеченный сдвиг можно считать несущественным.

Изучение линейного текущего прироста самосева (рис. 1) показало, что при обработке кислотными растворами с рН 1,5 ... 2,5 средний прирост осевого побега снижался на 12 ... 16 %. В вариантах рН от 3,5 до 4,5 видимых отклонений от нормы у самосева березы повислой не было; при обработках с рН 3,5 он даже увеличился на 14 %.

Наблюдения, проведенные весной следующего года, показали, что в вариантах с рН 1,5 и 2,5 наблюдалось отмирание почек практически на всех нижних ветках, т. е. в местах более раннего начала опадения листьев. Вместе с тем почки, которые оставались под прикрытием черешка листовой пластинки, не повреждались, хотя фазы их набухания и разворачивания наступили немного позже, чем в контроле. В вариантах с рН 3,5 ... 4,5 отмечалось лишь уменьшение размеров почек, хотя задержек в прохождении фаз развития не было. Побеги, образованные из таких почек, в своем росте и развитии практически не отставали от контроля.

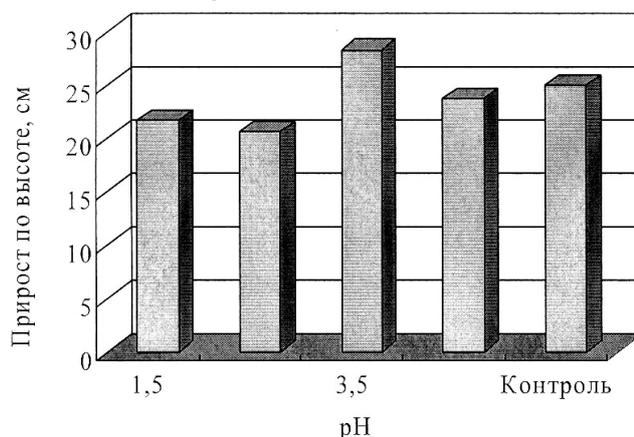


Рис. 1. Прирост березы по высоте в течение вегетационного периода под воздействием кислотных обработок с различным рН

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют, что береза повислая, несмотря на достаточно высокую чувствительность к различным химическим воздействиям, способна проявлять определенную устойчивость к кислотным осадкам с рН 3,5 ... 4,5. Визуально заметное повреждение ассимиляционных органов березы может быть вызвано устойчивыми кислотными дождями с рН 1,5 ... 2,5. Близкие данные приводит У.Х. Смит [5] для березы желтой, определяя пороговое значение кислотных осадков в рН 3,0 при периодическом воздействии в течение 11 нед.

Вторая часть эксперимента предусматривала искусственную обработку различных типов почв березовых экосистем зоны хвойно-широколиственных лесов, сформировавшихся в типичных климатических условиях на разных почвообразующих породах, под разными типами леса и отличающихся гранулометрическим и минералогическим составом, содержанием и составом органического вещества, другими свойствами. Практически все исследователи сходятся во мнении, что почва является наиболее уязвимым по отношению к кислотному воздействию звеном в лесной экосистеме. У.Х. Смит [5] говорит о возможном «ускорении процесса выветривания» почв, который сопровождается усиленным выносом из профиля калия, магния, кальция при осадках с рН 3 ... 4, для отдельных типов почв – с рН 4,0 ... 4,5. Важным отрицательным моментом является увеличение концентрации растворимого алюминия в почвенном профиле, токсичная роль которого для растений доказана. В.В. Чуенкова [6] пришла к выводу о снижении интенсивности подзолообразования под действием кислых осадков, обосновывая это повышением содержания подвижного железа в горизонте Е. Считается, что к закислению более восприимчивы бедные, а также лесные почвы. В целом сопротивляемость почв влиянию кислотных осадков контролируется их буферной способностью, т. е. возможностью противостоять изменению реакции почвенного раствора [3, 4].

Отобранные монолиты диаметром 13 см и высотой 16 ... 20 см (условно пахотный слой) помещали в пластмассовые сосуды и обрабатывали два раза в неделю растворами серной кислоты с рН 1,5; 2,5; 3,5; 4,5 и дистиллированной водой. Разовая порция раствора равнялась 50 мл, что в пересчете на обрабатываемую поверхность соответствовало средней недельной норме дождевых осадков региона. Об устойчивости лесных почв к кислотному воздействию судили по изменению рН растворов, фильтрующихся через почвенные монолиты.

В экспериментах по имитации воздействия кислых атмосферных осадков на почвы березняков установлено, что для всех исследуемых почв характерно нелинейное снижение рН растворов, фильтрующихся из верхних горизонтов почвенных монолитов. После первого снижения (три-четыре обработки) наблюдается некоторая стабилизация рН фильтрата на новом уровне, и более устойчивое снижение проявляется лишь после 30 обработок на суглинистых почвах и 10 – на супесчаных (рис. 2).

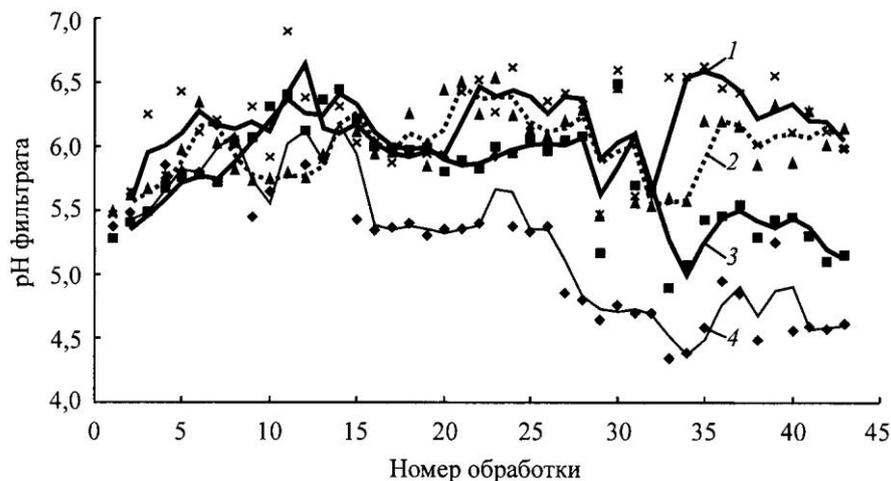


Рис. 2. Изменение pH фильтрата при искусственном кислотном воздействии на монолиты дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы: 1 – контроль; 2 – pH 4,5; 3 – pH 3,5; 4 – pH 2,5

Интенсивность снижения pH фильтрата зависит от механического состава почвы. Так, в супесчаной почве на первом этапе при обработке исходным раствором с pH 2,5 оно составляет в среднем 1,5 ед., на суглинистой 0,5 ед. Умеренно кислые осадки (pH 3,5 ... 4,5) снижают pH почвенных фильтрующихся растворов в среднем на 0,5 ... 1,0 ед.

Вторичное подкисление фильтрата в вариантах с pH 2,5 ... 3,5 наблюдается после 15 ... 20 обработок, когда запас мобилизуемых обменных оснований истощается и в действие, видимо, вступает алюминиевая буферная зона [3].

При обработке почв слабокислыми осадками с pH 4,5 снижение pH фильтрата, по сравнению с контролем, минимально и происходит сравнительно постепенно, без резких скачков.

Вместе с тем в нашем эксперименте вначале учитывался только максимальный режим нагрузок – воздействие кислотных осадков с постоянным pH. Однако в естественных условиях наблюдается достаточно разнообразная кислотность и интенсивность осадков [1], что может повлиять на эффект воздействия. Поэтому мы провели обработку монолитов из супесчаных почв по двум вариантам. Первый вариант предусматривал изменение pH осадков в процессе единовременной обработки, так как, по данным Ю.А. Израэль и др. [2], их кислотность может варьировать в процессе выпадения дождя. Во втором варианте обработку проводили растворами, кислотность и объемы которых соответствовали природным показателям, принятым по данным экспериментальных измерений.

В условиях обработки почвенных монолитов кислотными осадками с изменяющейся pH в процессе одноразовой обработки при среднем значении pH от 2,5 до 3,5 снижение кислотности фильтрата наблюдалось во всех

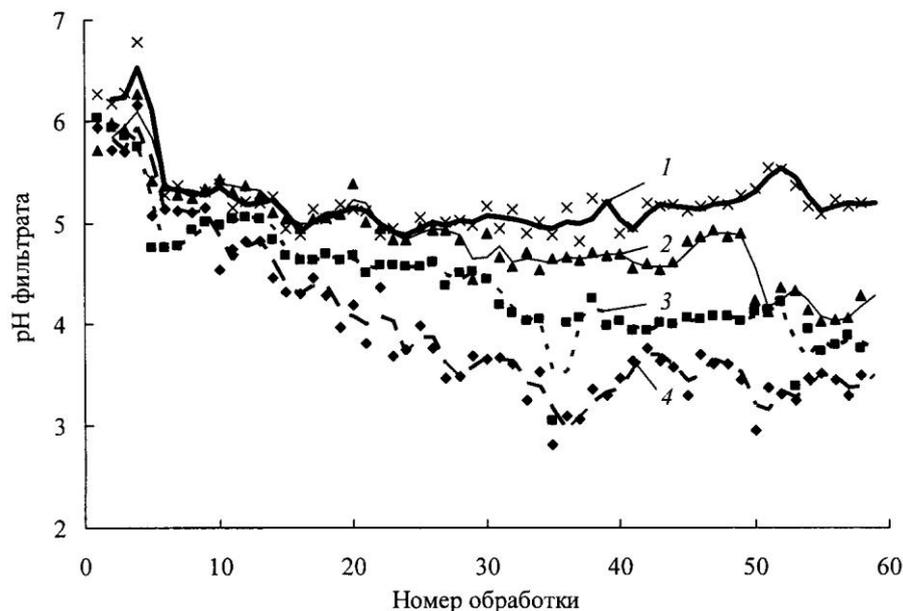


Рис. 3. Динамика pH фильтрата из супесчаных почв при обработке их растворами с изменяющимся pH (среднее значение pH постоянно, разовая обработка 50 мл): 1 – контроль; 2 – pH 4,5; 3 – pH 3,5; 4 – pH 2,5

вариантах практически сразу. В частности, при обработке сильно кислыми растворами с pH_{cp} 2,5 резкое устойчивое снижение pH фильтрата наблюдалось уже после шести обработок. Динамика кислотности фильтрата при обработке почв осадками с pH_{cp} 3,5 сходна с предыдущим вариантом и отличается только от контроля (рис. 3).

Для слабокислых обработок с pH_{cp} 4,5 снижение pH фильтрата из почвенных растворов достоверно не отличается от контроля, и только через 27 обработок наблюдается тенденция к повышению его кислотности на 0,5 ед. pH.

Следовательно, изменение pH осадков в течение продолжительного дождя не привело к существенному изменению результирующего отклика почвы на кислотное воздействие.

В экспериментах с искусственной имитацией естественных параметров осадков объемы одноразовой обработки колебались от 10 до 140 мл. Из общего количества обработок растворы с кислотностью до pH 3,5 использовались в количестве 20 мл, до pH 4,0 – 195 мл, до pH 4,5 – 300 мл, до pH 5,5 – 845 мл и pH > 5,5 – 519 мл. Средняя кислотность обработок в эксперименте составила pH 5,2.

Экспериментальные обработки почвенных монолитов кислотными осадками, имитирующие естественную динамику объема и кислотности, показали, что устойчивое изменение кислотности фильтратов до pH 0,4 наблюдается после 17 обработок (рис. 4) и соответствует 665 мл раствора.

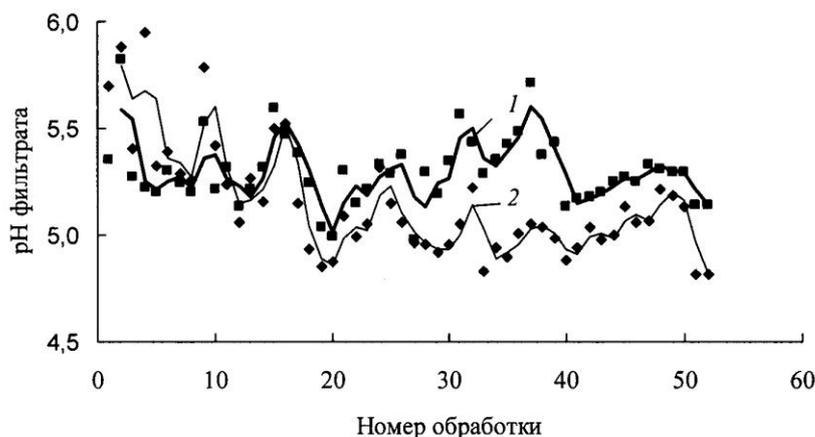


Рис. 4. Динамика pH фильтрата из супесчаных почв при обработке их растворами с естественным pH: 1 – контроль; 2 – естественный pH

Вопреки ожиданиям, почвенные монолиты оказались достаточно чувствительны даже к такому сравнительно невысокому кислотному воздействию. Это, скорее всего, можно объяснить тем, что в первой половине обработок кислотность раствора была наибольшей (pH 3,5 ... 4,0). Последующие обработки более щелочными растворами не позволили полностью нейтрализовать это воздействие. Возможны также искажения отклика почвы на воздействие из-за небольшого объема почвенных монолитов и оторванности их от естественной лесной среды.

Результаты проведенных экспериментов использованы нами для обоснования предельно допустимых кислотных нагрузок (ПДН) на лесные почвы и лиственные лесные экосистемы в целом. При этом лесные почвы выбраны в качестве критерия устойчивости экосистем как звено, наиболее чувствительное к кислотному воздействию.

За ПДН принята доза кислотных осадков, после которой перестает работать механизм буферности лесных почв и наблюдается необратимое снижение pH почвенного фильтрата по сравнению с контролем. Расчет проведен для осадков с pH 3,5, так как именно такая кислотность наиболее часто встречается в лесных экосистемах промышленных районов (табл. 2).

Полученные результаты свидетельствуют, что расчетные значения допустимой (критической) протонной нагрузки на почву изучаемых березовых экосистем центральной части России колеблются в пределах 0,4 ... 0,7, нагрузки по сере – 7 ... 11, азоту – 6 ... 10 кг/га в год.

Полученные нами значения ПДН соответствуют уровню, принятому в европейских странах. Так, рассчитанные по балансовым уравнениям критические уровни выпадения азота для лесов Европы колеблются в пределах 2 ... 20 кг/га [3]. Критические протонные нагрузки, полученные нами, совпадают со значениями, приводимыми другими авторами для кислых почв Канады (0,4 ... 1,0 кг/га). По данным [8], на территории Швеции

Таблица 2

| Тип (группа) типов леса, (тип почвы) | Расчетные предельно допустимые (критические) нагрузки, кг/га в год | | |
|--|--|------|-----|
| | H ⁺ | S | N |
| Широкотравный (дерново-подзолистая супесчаная) | 0,4 | 7,0 | 6,1 |
| Хвощово-широкотравный (дерново-подзолистая супесчаная) | 0,6 | 10,2 | 8,9 |
| Чернично-разнотравный (дерново-подзолистая легкосуглинистая) | 0,7 | 11,7 | 9,7 |
| Осоково-снытевый (дерново-подзолистая среднесуглинистая) | 0,7 | 10,5 | 9,1 |

критическая нагрузка по сере в зависимости от географической зональности колеблется от 3 до 5 кг/га.

Рекомендуется считать критической годовую нагрузку, которая по расчетам европейских экспертов составляет для почв северо-запада России 0,2 ... 1,0 кг/га протонов или 3 ... 15 кг/га азота; для европейской территории РФ и Сибири – 7 ... 25 кг/га азота в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ежемесячные данные по химическому составу атмосферных осадков за 1981–1985 гг. [Текст]. – Л.: Гидрометеиздат, 1989.
2. Израэль, Ю.А. Кислотные дожди [Текст] / Ю.А. Израэль [и др.]. – Л.: Гидрометеиздат, 1989.
3. Копцик, Г.Н. Принципы и методы оценки устойчивости почв к кислотным выпадениям [Текст] / Г.Н. Копцик, М.И. Макарова, В.В. Киселева. – М.: Изд-во МГУ, 1998.
4. Мотузова, Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг [Текст] / Г.В. Мотузова. – М.: Эдиториал УРСС, 1999.
5. Смит, У.Х. Лес и атмосфера. Взаимодействие между лесными экосистемами и примесями атмосферного воздуха [Текст] / У.Х. Смит. – М.: Прогресс, 1985.
6. Чуенкова, В.В. Трансформация форм соединений алюминия и железа в почвах модельных опытов под воздействием кислотных осадков [Текст] / В.В. Чуенкова. – М.: Вестн. МГУ. Сер. 17, Почвоведение. – 1991. – № 2. – С. 68–70.
7. Critical Loads for sulphur and nitrogen [Text] / Ed. J. Nilsson, R. Greenfelt. – UNECE, NCM, 1988. – 418 p.
8. Sverdrup, H. Critical loads for forest soils in the Nordic countries [Text] / H. Sverdrup [et al.] //Ambio. – 1992. – Vol. 21, N 5.

ВНИИЛМ

Поступила 22.07.04

E.V. Doronicheva, A.A. Martynyuk

Experimental Substantiation of Allowable Impact of Acid Fallouts on Birch Ecosystems

The results of experimental research related to substantiation of maximum permissible acid loads on deciduous ecosystems of the zone of coniferous- broad-leaved forests are provided. The forest soils are selected as the criteria of the ecosystem sustainability as the element being the most sensible to exposure of acid fallouts.
