

УДК 504.054

УСТОЙЧИВОСТЬ ЮЖНО-ТАЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ КИСЛОТНЫХ ОСАДКОВ

Филаретова А.Н., Кречетов П.П., Королева Т.В., Дианова Т.М.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, e-mail: allan32@yandex.ru*

В работе представлена оценка устойчивости экосистем северо-восточной части Московской области к воздействию кислотных осадков, проведенная на основе концепции критических нагрузок, показывающая существенное различие уровней устойчивости экосистем изучаемой территории. С целью верификации расчетных данных проведено лабораторное моделирование воздействия кислотных выпадений на химические свойства почв. Концентрации подаваемых растворов были рассчитаны исходя из количества кислоты, которое может разово выпасть на поверхность земли при утилизации твердотопливных ракет – основного потенциального источника кислотных выпадений на исследуемой территории. Полученные результаты подтверждают достоверность изменений химических свойств почв в результате превышения критических нагрузок. При этом наблюдаются зависимость интенсивности этих изменений от величины критической нагрузки экосистем и тенденции, свидетельствующие об обратимости негативных последствий.

Ключевые слова: кислотные выпадения, критические нагрузки, устойчивость экосистем, буферные зоны почв, экспериментальное моделирование, показатели почвенной кислотности

SUSTAINABILITY OF SOUTH TAIGA ECOSYSTEMS OF A NORTH-EAST PART OF THE MOSCOW REGION TO ACID RAIN IMPACT

Filaretova A.N., Krechetov P.P., Koroleva T.V., Dianova T.M.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, e-mail: allan32@yandex.ru

The studied area is located in the north-eastern part of Moscow region. Assessment of the ecosystem's sustainability to acid rain impact based on the concept of critical loads is shown. It displays a significant difference in levels of this stability. Moreover, the results of laboratory modeling of acid depositions' influence on soil chemical properties are discussed in the article. Concentrations of fed solutions were calculated from the amount of acid, which may fall to the earth surface in one time as a result of disposal of solid-fuel rockets. Because it is a major potential source of acid deposition in the study area. The obtained results confirm the reliability of changes of soil chemical properties due to exceedance of critical loads. At the same time dependence of the intensity of these changes on the critical loads of ecosystems and trends, indicating a reversibility of adverse effects, are observed.

Keywords: acid deposition, critical loads, sustainability of ecosystem, acid-base buffer zones of soil, experimental modeling, indicators of soil acidity

Кислотные осадки являются одним из основных источников нарушения функционирования наземных экосистем в районах с интенсивной техногенной нагрузкой. Источником подкисления атмосферных осадков являются присутствующие в выбросах продукты сгорания промышленных предприятий оксиды азота и серы. При истечении срока годности или вследствие сокращения вооружений проводится уничтожение твердотопливных ракет методом сжигания. При этом образуется облако продуктов сгорания, в составе которого в большом количестве присутствует хлористый водород, также приводящий к подкислению осадков [7]. Одно из таких предприятий, на котором проводится утилизация твердотопливных ракет, располагается в северо-восточной части Московской области.

Устойчивость экосистем к воздействию кислых осадков можно оценить с помощью концепции критических нагрузок, под которыми понимают максимальное количество осаждающихся из атмосферы кислотных

компонентов, не вызывающее химических изменений, приводящих к долговременным негативным воздействиям на структуру и функционирование экосистемы [3]. Ниже этого порога существенного вредного воздействия не происходит. Почва представляет собой важнейший геохимический барьер на пути миграции загрязняющих веществ и, как компонент биогеоценоза, во многом определяет устойчивость экосистем к подкислению. Характер и степень проявления негативных последствий воздействия кислотных выпадений определяются, прежде всего, особенностями функционирования и емкостью буферных систем в разных почвах. Самой крупной буферной кислотно-основной системой в почвах является почвенно-поглощающий комплекс, свойства которого определяются содержанием органического вещества и составом глинистых минералов [2]. Интегральным показателем изменения физико-химических свойств почвы под влиянием кислотных осадков может считаться снижение значений pH почв. Кроме того, кислотные осадки вызывают

увеличение обменной и гидролитической форм кислотности.

Материалы и методы исследования

Исследуемая территория располагается на границе Пушкинского, Сергиево-Посадского и Щелковского районов Московской области и представляет собой полого-холмистую моренную равнину в комплексе с водно-ледниковыми и зандровыми равнинами. Почвообразующими породами являются днепровская и московская морена, а также водно-ледниковые отложения разного возраста, покровные и аллювиальные суглинки. Климат умеренно-континентальный, характеризуется теплым летом, умеренно-холодной зимой с устойчивым снежным покровом, большой изменчивостью погодных условий от года к году. Значительная часть территории занята сельскохозяйственными угодьями. Естественная растительность представлена в основном мелколиственно-еловыми и мелколиственно-сосновыми лесами, образовавшимися на месте коренных широколиственно-еловых лесов. Основными почвами исследуемой территории являются дерново-подзолистые почвы разной степени оглеенности и эродированности. Широко распространены дерново-подзолистые окультуренные почвы, испытавшие длительное хозяйственное воздействие. Кроме того, в зависимости от характера рельефа, условий увлажнения и растительного покрова развиваются дерново-глеевые, дерновые, болотно-подзолистые, торфяные, торфянистые и аллювиальные почвы.

Наиболее распространенным методом определения величин критических нагрузок кислотных выпадений является балансный, в основе которого лежит оценка возможного изменения баланса элементов под воздействием кислотного прессинга [3]. При этом подходе скорости выветривания почвенных минералов, выноса продуктов выветривания за пределы почвенного профиля и поглощения элементов растениями принимаются постоянными в пределах верхней (0,5 м) части почвенного профиля и характеризуются среднегодовыми величинами [3]. Ключевым параметром при расчете критических нагрузок на экосистемы является скорость выветривания почвенных минералов, поэтому чем более устойчивы слагающие почву минералы, тем меньше способность почвы пополнять запас обменных оснований в ППК и ниже критические кислотные нагрузки на экосистемы. По литературным данным [4] скорость выветривания в почвах таежной зоны составляет 0,15–0,80 кмольН⁺/га в год.

Расчет критических нагрузок экосистем исследуемой территории был проведен по значениям скорости выветривания минералов, величины поглощения оснований растениями и потери кислотнейтрализующей способности, содержащимся в [1, 2]. Поглощение катионов травянистой растительностью принято равным нулю вследствие ежегодного отмирания практически всей биомассы и, как следствие, восполнения потери катионов. Для пахотных почв вследствие внесения извести характерна более высокая кислотнейтрализующая способность, чем для их естественных аналогов, поэтому скорость выветривания минералов была приравнена к скорости выветривания в дерново-карбонатных выщелоченных почвах.

Для построения карты критических кислотных нагрузок на экосистемы исследуемой территории

были использованы топографическая карта масштаба 1:100 000, карты четвертичных отложений (масштаб 1:50 000), карта растительности Московской области (масштаб 1:200 000), почвенная карта Московской области (масштаб 1:300 000) и ландшафтная карта Подмосковья (масштаб 1:100 000). После их оцифровки в программе ArcGIS 9.3 были выделены контуры экосистем с разными критическими нагрузками.

С целью верификации данных, полученных по балансовой модели, был проведен модельный лабораторный эксперимент, для которого выбраны гумусовые горизонты основных типов почв исследуемой территории. Природные дерново-подзолистые почвы, использованные для эксперимента, характеризуются кислой реакцией среды (рН = 3,5–4,5), значением обменной кислотности в пределах 3–5 ммоль(+)/100 г и гидролитической кислотностью от 13 до 22 ммоль(+)/100 г. Пахотные почвы отличаются более высокими значениями рН (около 6), низким содержанием обменных водорода и алюминия и малой гидролитической кислотностью (в 3–4 раза ниже природных). Образцы почвы были высушены до воздушно-сухого состояния, просеяны через сито 3 мм, после чего были набиты в колонки из инертного материала до плотности 1 г/см³. Мощность почвы в колонке составляла 10 см.

Концентрации растворов, подаваемых на колонки при экспериментальном моделировании влияния кислотных выпадений на почвы, были рассчитаны, исходя из количества кислоты, разово выпадающего на поверхность при утилизации твердотопливных ракет [7] и максимально возможного на изучаемой территории суточного количества осадков – 27,2 мм. Для эксперимента выбраны концентрации, соответствующие выпадениям 7,5, 3 и 0,5 г HCl/м² – максимальному на границе СЗЗ предприятия, критической нагрузке наиболее распространенных экосистем и минимальной критической нагрузке экосистем на изучаемой территории. Таким образом, концентрации подаваемых растворов составили 0,0005 М, 0,003 М и 0,008 М. Контроль изменений производился по колонкам, через которые был пропущен такой же объем дистиллированной воды.

Изменения химических свойств почв оценивались по истечении трехдневного и трехнедельного периода. Эксперимент ставился в двукратной повторности. По окончании эксперимента почвенная колонка делилась на две части по глубине: 0–5 и 5–10 см; после чего в образцах почв определялись показатели почвенной кислотности (рН, обменная кислотность, гидролитическая кислотность), содержание ионов хлора и обменных кальция и магния.

Результаты исследования и их обсуждения

Расчеты, проведенные по балансовой модели показывают, что минимальные критические нагрузки на экосистемы в районе предприятия по утилизации твердотопливных ракет составляют 11 ммоль Н⁺/м²/год и характерны для сосняков на подзолах, а максимальные – для пахотных почв (145 ммоль Н⁺/м²/год) (табл. 1). Поскольку основным кислотным поллютантом на исследуемой территории является соляная кислота, критические нагрузки на экоси-

стемы были пересчитаны на хлористый водород. По величине критической нагрузки соляной кислоты все экосистемы зоны вли-

яния предприятия по утилизации твердотопливных ракет можно объединить в 8 групп (рисунк).

Таблица 1

Критические нагрузки кислотности на экосистемы исследуемой территории

	Критическая нагрузка				(ммоль Н [±] /м ² /год) (г НСl/м ² /год)
	Лесные экосистемы				Травянистые экосистемы
	с преобладанием сосны	сосново-еловые	с преобладанием ели	с преобладанием березы	
Подзолы	11 0,407	14 0,498	16 0,589	19 0,699	35 1,265
Болотные низинные	18 0,668	21 0,759	23 0,850	26 0,960	42 1,526
Дерново-сильнопodzолистые	19 0,684	21 0,776	24 0,867	27 0,976	42 1,542
Дерново-подзолистые смытые	32 1,150	34 1,241	37 1,332	40 1,442	55 2,008
Аллювиальные ненасыщенные, смытые и намывные почвы оврагов и балок	44 1,606	47 1,697	49 1,789	52 1,898	68 2,464
Дерново-слабо- и среднеpodзолистые	44 1,615	47 1,706	49 1,798	52 1,907	68 2,473
Дерново-подзолистые глееватые и глеевые	69 2,514	71 2,605	74 2,696	77 2,806	92 3,372
Болотно-подзолистые	94 3,413	96 3,504	99 3,595	102 3,705	117 4,271
Дерново-глеевые	107 3,915	110 4,006	112 4,097	115 4,207	131 4,772
Дерновые остаточные карбонатные	121 4,417	124 4,508	126 4,599	129 4,709	145 5,274
Освоенные почвы					145 5,274

Вследствие широкого распространения на исследуемой территории дерново-подзолистых оглеенных почв, наибольшую площадь (около 345 км²) занимают экосистемы с критическими нагрузками 2,5–3 г НСl/м²/год. Зональные лесные экосистемы на дерново-подзолистых почвах менее распространены (занимают около 270 км²) из-за высокой эродированности территории. Наибольшему экологическому риску подвержены экосистемы с минимальными критическими нагрузками (< 0,5 г НСl/м²/год), представляющие собой подзолы под сосновыми и сосново-еловыми лесами и распространенные примерно на 3,5% исследуемой территории.

Проведенная верификация результатов расчета критических нагрузок в условиях лабораторного моделирования выявила различия в устойчивости почв ландшафтов исследуемой территории к воздействию кислотных растворов.

Наблюдается тенденция к усилению кислотных свойств почв под влиянием модельных кислотных осадков, что соответствует литературным данным [4, 5, 6, 8]. Значения

pH всех исследованных почв снижаются при воздействии кислотных растворов, степень уменьшения pH возрастает при повышении кислотности воздействующих растворов.

Следует отметить, что эти изменения касаются в основном верхней части почвенной колонки, в нижней части подкисление носит незначительный характер. Кроме того, в верхней части почвенной колонки при максимальной нагрузке (7,5 г НСl/м²) происходит смена буферных кислотно-основных зон, что свидетельствует о смене источника катионов на менее доступный и, тем самым, о замедлении скорости нейтрализации (табл. 2) [6]. Подзолы, обладающие наименьшей критической кислотной нагрузкой, характеризуются сменой буферной кислотно-основной зоны даже под влиянием более низкой нагрузки – 3 г НСl/м². В целом снижение pH под воздействием кислотных растворов в гумусовых горизонтах пахотных почв происходит сильнее, чем в естественных почвах, и составляет в верхней части при максимальной нагрузке 1–1,5 и 0,5–1 единиц pH соответственно.











УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

0 2 4 8 12 км

Критические нагрузки на экосистемы

г HCl / м² / год

-  менее 0,5
-  0,5 - 1
-  1 - 1,5
-  1,5 - 2
-  2 - 2,5
-  2,5 - 3
-  3 - 4
-  4 - 5,5

-  стэнд по утилизации РДТТ
-  СЗЗ предприятия
-  реки
-  озера
-  селитебные территории
-  железные дороги
-  главные автомобильные дороги

Критические нагрузки соляной кислоты на экосистемы исследуемой территории

Подкисление почв проявляется как в снижении рН, так и в росте обменной и гидролитической кислотности. В динамике обменного алюминия, обеспечивающего большую часть обменной кислотности, прослеживается увеличение содержания при повышении нагрузки в естественных почвах и снижение

в пахотных почвах. Это, вероятно, связано с высокими значениями рН в освоенных почвах, обуславливающими выпадение вытесненного с обменных позиций алюминия в осадок в виде гидроксидов. Изменения обменной кислотности в пахотных почвах слабее выражены, чем в естественных, и не

превышают 0,5 ммоль Н⁺/100 г, в то время как в природных почвах при максимальных нагрузках они могут достигать по алюми-

нию 3 и более ммоль Н⁺/100 г. В динамике обменного водорода в целом отсутствуют существенные изменения.

Таблица 2

Изменение буферных кислотно-основных зон почв при разной кислотной нагрузке *

Почва	Продолжительность эксперимента	Кислотная нагрузка, г НСl/м ²			
		0	0,5	3	7,5
П ^л с	3 дня	А/А	А/А	А/А	Ж/А
	3 недели	А/А	А/А	А/А	А/А
По сп	3 дня	КО/КО	КО/КО	А/КО	А/КО
	3 недели	КО/КО	КО/КО	КО/КО	А/КО
аП ^л сс	3 дня	С/С	С/С	С/С	КО/С
	3 недели	К/К	К/К	С/К	С/К
аП ^л тс	3 дня	С/С	С/С	С/С	КО/С
	3 недели	К/К	К/К	С/К	С/К

Примечание. * В числителе указана буферная кислотно-основная зона для верхней части почвенной колонки, в знаменателе – для нижней. Буферные зоны: Ж – железистая, А – алюминиевая, КО – катионно-обменная, С – силикатная, К – карбонатная.

Анализ полученных данных показывает, что основные изменения химических свойств почв происходят в верхних 5 см, в нижней части колонки изменения часто не так сильны. Это может объясняться тем, что большая часть подаваемых растворов задерживается в верхней части почвенной колонки, что подтверждается сравнением данных по содержанию ионов хлора (маркера передвижения почвенных растворов) в верхней и нижней частях колонок. Увеличение их содержания при повышении нагрузки проявляется в верхней части почвенной колонки намного интенсивнее, чем в нижней.

Кроме того, следует отметить, что во всех проанализированных образцах в трехдневный срок почвы по всем показателям являются более кислыми, чем в трехнедельном варианте эксперимента, и одновременно содержат больше обменных кальция и магния. Этот факт может свидетельствовать о способности почв к самовосстановлению после воздействия кислотных осадков.

Выводы

Критические нагрузки хлористого водорода на экосистемы исследуемой территории варьируют от 11 до 145 ммоль Н⁺/м²/год. Минимальные критические нагрузки характерны для сосняков на подзолах (занимают около 3,5% территории), а максимальные – для пахотных почв (до 25% площади). Вследствие широкого распространения на исследуемой территории дерново-подзолистых оглеенных почв, наибольшую площадь занимают экосистемы с относительно

высокими критическими нагрузками – 69–77 ммоль Н⁺/м²/год (2,5–3 г НСl/м²/год).

Полученные в результате модельного лабораторного эксперимента данные подтвердили достоверные изменения показателей почвенной кислотности при превышении критических нагрузок загрязняющего вещества. При этом для освоенных почв характерно менее интенсивное подкисление, чем для природных аналогов. Изменения свойств почв наблюдаются преимущественно в верхних 5 см почв.

После прекращения кислотной нагрузки происходит постепенное снижение кислотности почв и повышение содержания обменных кальция и магния, что свидетельствует об обратимости выявленных негативных последствий за счет разрушения минеральных компонентов почв в результате протонирования ППК.

Научные исследования проведены при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (соглашение № 8673).

Список литературы

1. Биогеохимия / В. Н. Башкин, Н. С. Касимов – М.: Научный мир, 2004. – 648 с.
2. Кислотные осадки и лесные почвы / В. В. Никонова, Г. Н. Копчик – Апатиты: Кол. науч. центр РАН, 1999. – 320 с.
3. Копчик Г. Н., Макаров М. И., Киселева В. В. Принципы и методы оценки устойчивости почв к кислотным выпадениям. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. – 95 с.
4. Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв / Д. С. Орлов, В. Д. Василевская – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 272 с.
5. Соколова Т. А., Дронова Т. Я. Изменение свойств почв под влиянием кислотных выпадений. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. – 64 с.

6. Взаимодействие лесных суглинистых подзолистых почв с модельными кислыми осадками и кислотно-основная буферность подзолистых почв / Т.А. Соколова, Т.Я. Дронова, И.И. Толпешта, С.Е. Иванова. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 208 с.

7. Филаретова А.Н. Анализ потенциального экологического риска при прожиге РДТТ в южно-таежной зоне // Обеспечение экологической безопасности ракетно-космической деятельности: материалы Международной научно-практической конференции, 18 мая 2011 г. – М.: Географический ф-т МГУ, 2011. – С. 131–136.

8. Шамрикова Е.В., Соколова Т.А., Забоева И.В. Кислотно-основная буферность подзолистых и болотно-подзолистых почв Северо-востока европейской части России. – Екатеринбург, УрО РАН, 2005 – 136 с.

References

1. *Biogeoхимия* [Biogeochemistry]. Moscow, Nauchnyj mir, 2004. 648 p.

2. *Kislotnye osadki i lesnye pochvy* [Acidic deposition and forest soils]. Apatity, 1999. 320 p.

3. Корсик G.N., Makarov M.I., Kiseleva V.V. *Principy i metody ocenki ustojchivosti pochv k kislotnym выпадениям* [Principles and methods for assessing the sustainability of soils to acid deposition]. Moscow, Publ. MSU, 1998. 95 p.

4. *Pochvenno-jekologicheskij monitoring i ohrana pochv* [Soil and environmental monitoring and protection of soils]. Moscow, Publ. MSU, 1994. 272 p.

5. Sokolova T.A., Dronova T.Ja. *Izmenenie svojstv pochv pod vlijaniem kislotnyh выпадений* [Changing the soils proper-

ties under the influence of acid deposition] Moscow, Publ. MSU, 1993. 64 p.

6. Sokolova T.A., Dronova T.Ja., Tolpeshta I.I., Ivanova S.E. *Vzaimodejstvie lesnyh suglinistyh podzolistyh pochv s model'nymi kishymi osadkami i kislotno-osnovnaja bufernost' podzolistyh pochv* [Interaction of forest loamy podzolic soils with model acidic precipitation and acid-base buffering capacity of podzolic soils] Moscow, Publ. MSU, 2001. 208 p.

7. Filaretova A.N. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Obespechenie jekologicheskoj bezopasnosti raketno-kosmicheskoy dejatel'nosti»* [Materials of the International theoretical and practical conference «Ensuring environmental safety of rocket-space activity»]. Moscow, 2011, pp. 131–136.

8. Shamrikova E.V., Sokolova T.A., Zaboeva I.V. *Kislotno-osnovnaja bufernost' podzolistyh i bolotno-podzolistyh pochv Severo-vostoka evropejskoj chasti Rossii* [Acid-base buffering capacity of podzolic and bog-podzolic soils of the North-East of European Russia]. Ekaterinburg, UrO RAN, 2005. 136 p.

Рецензенты:

Новаковский Б.А., д.г.н., профессор кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва;

Снакин В.В., д.б.н., профессор, заведующий сектором музейно-методической работы Музея землеведения МГУ, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 26.10.2012.