

Влияние аэротехногенных выбросов магнезитового производства на химический состав снеговой воды и почвы в динамике

Н.А. Кузьмина, м.н.с., С.Л. Менщиков, д.с.-х.н., ФГБУН Ботанический сад УрО РАН

Для района исследования характерно влияние на природную среду выбросов ОАО «Комбинат «Магнезит» в г. Сатке. Так, поступление максимальных объёмов магнезитовой пыли в атмосферу в 1963 г. достигало 182,5–328,5 тыс. т в сутки. В 1978 г. на комбинате были установлены новые электрофильтры и выбросы пыли снизились до 70–90 т в сутки. С магнезитовой пылью в атмосферу попадают диоксид серы, оксид углерода, окислы азота, фенолы. После обжига природного магнезита образуется много каустической пыли, которая проходит повторный обжиг. Каустическая пыль даёт большое количество дымовых газов, оксид углерода, в ней присутствует значительно больше щелочей, фтора и серного ангидрида, окислов азотов, чем при обжиге природного магнезита.

На рисунке 1 видно, как изменялись объёмы выбросов с 1980 г. по 2013 г. Пиком для твёрдых выбросов стал 1995 г., газообразных выбросов с 2002 г. по 2011 г. было в 4 раза больше, чем в предыдущие годы [1].

Аэропромвыбросы длительно воздействуют на лесные насаждения, изменяя их как при непосредственном контакте – за счёт пыли и газов, так и опосредованно через почву.

Цель настоящего исследования – выяснить, происходит ли самоочищение почвы в динамике в условиях снижения выбросов магнезитовой пыли.

Материал и методы исследования. Исследование проведено на опытных участках (ОУ), заложенных в 1980–1988 гг. сотрудниками Уральской опытной станции, где произрастает сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), лиственница Сукачева (*Larix sukaczewii* DyL.) и берёза повислая (*Betula pendula* Roth.). В градиенте загрязнения на северо-востоке

от источника выбросов располагается ОУ-2 – сильное загрязнение (импактная зона), 1 км от комбината; на востоке – ОУ-5 – средний уровень загрязнения (буферная зона), 3 км от источника выбросов; ОУ-4 – слабый уровень загрязнения, 10 км от комбината. В качестве фоновых условий выбраны район п. Сулея – участок постоянной пробной площади (ППП-6К), 20 км к северо-западу от источника и район п. Сибирка – 25 км к югу от комбината (К1).

Почвенные образцы отбирали (ГОСТ 17.4.4.02.84) по слоям на ОУ, так как горизонты при посадке в 1980-х гг. были перемешаны плугом, а на ППП и в условном контроле (К1) – по горизонтам в разрезе на каждом участке. Границу подстилки с почвой устанавливали по структуре (наличию растительных остатков), плотности и цвету. Свежий опад не рассматривали. Измерения проводили в 15 разрезах на всех ОУ и в 5 прикопах на всех ППП. Образцы отбирали осенью, высушивали при комнатной температуре, затем размалывали, а измельчённую почву просеивали через сито с отверстиями диаметром 1 мм. В лабораторных условиях определяли рН водную (ГОСТ 26423–85) на ионметре рН-340. Металлы из почвы экстрагировали ацетатно-аммонийным буферным раствором. Концентрации определяли на атомно-адсорбционном спектрофотометре pov AA 300 (Analytik Jena, Германия). Для определения количества оседающей на почву пыли и показателя рН снеговой воды брали пробы снега в весенний период до начала снеготаяния. Образцы снега отбирали в пяти повторностях на ОУ, ППП и К1. В снеговой воде концентрации элементов измеряли на атомно-адсорбционном спектрофотометре.

Результаты исследования. Осадки являются эффективным фактором вымывания различных веществ из воздуха.

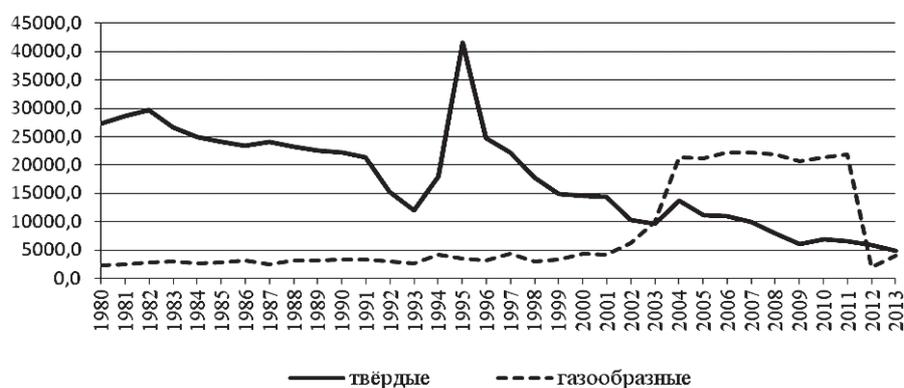


Рис.1 – Выбросы в атмосферу ОАО «Комбинат «Магнезит», тыс. т/га

Очень часто в последние годы снежный покров используется в качестве интегрального показателя загрязнённости атмосферы на территориях, где сохраняется устойчивый снежный покров в течение длительного периода зимы (6–8 мес.). Применяют нормативные документы для поверхностных вод (ГОСТ 12.1.007–76). Определение содержания ионов тяжёлых металлов и других загрязняющих веществ проводят в талой снеговой воде.

Результаты химического состава снеговой воды за 2002–2013 гг. показали, что количество взвешенных веществ в импактной зоне было почти в 30 раз выше, чем в фоновых условиях (рис. 2). Произошло резкое снижение выбросов, почти в 4 раза в 2009 г. Это было обусловлено значительным снижением – до 7,9% объёма производства продукции по сравнению с 2008 г. в связи со спадом производства в отраслях-потребителях и, как следствие, уменьшением спроса на огнеупорные материалы. При этом значения pH в 2009 г. на ОУ-2, ОУ-5 не снизились (рис. 3). Это объясняется тем, что показатель pH снеговой воды не зависит напрямую от количества пыли в воздухе.

Оседающая на снежный покров каустическая пыль имеет pH = 10–11, поэтому pH снеговой воды высокощелочная.

Анализ средних значений pH показал, что они были намного выше на расстоянии до 3 км в 1983, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 гг., до 10 км от источника выбросов на северо-востоке – в 2012–2013 гг. (рис. 3).

Результаты анализа фильтрата снеговой воды с 2009 по 2013 г. на содержание элементов свидетельствуют о накоплении большого количества

магния на расстоянии 1–3 км, а 2010 и 2013 гг. – до 10 км от комбината (табл. 1).

Количество элементов, концентрирующихся в течение зимнего периода в снежном покрове в 2010–2011 гг., в исследуемых зонах отличалось. По современным классификациям свинец, цинк, кадмий относятся к 1-му классу опасности; медь, никель, хром – ко 2-му классу; марганец – к 3-му классу опасности.

Исследования показали, что такие элементы, как железо, марганец, переходят в нерастворимые формы и становятся менее доступными для растений.

Анализ твёрдой фракции снеговой воды показал значения железа намного больше на ОУ-2 и ОУ-5 (разница с контролем К1 около 7 г/м²). Железо содержится в руде, подаваемой в печь на ОАО «Комбинат «Магнезит». Выбросы ЗАО «Саткинский чугуноплавильный завод» и производство высокоуглеродистого ферромарганца также могут обуславливать наличие железа и марганца в условном контроле (ППП-6К; К1). Кроме того, может оказывать влияние карьер Бакальского месторождения, пос. Рудничный, расположенный в 817 м над уровнем моря в 10 км от места отбора образцов.

М.А. Шумилова считает, что металлы техногенного происхождения сосредотачиваются в основном в поверхностном 5–6-сантиметровом слое [2]. Марганца на ОУ-2 – больше на 7 г/м² по сравнению с контролем, что свидетельствует о техногенном происхождении; хрома – на 5 г/м². Цинка за пять зимних месяцев выпало на ОУ-2 в 4,6 раза больше, свинца – в 8 раз, чем в контроле (табл.2).

Как следует из экспериментальных данных, содержание всех микроэлементов в растворённых

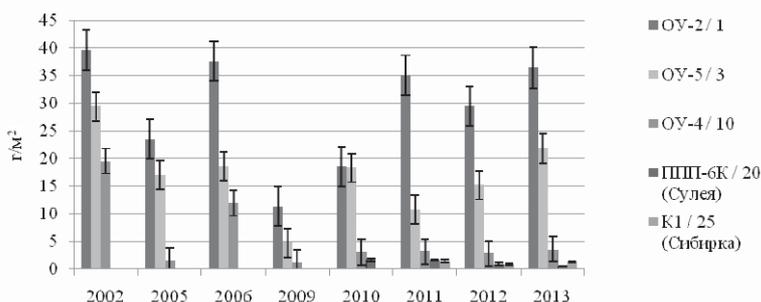


Рис. 2 – Динамика содержания взвешенных веществ в снеговой воде

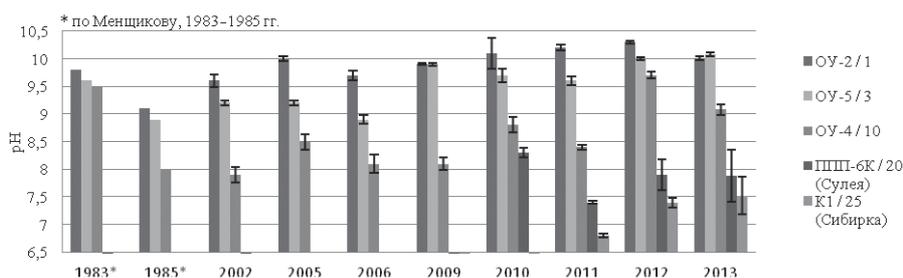


Рис. 3 – Динамика показателя pH фильтрата снеговой воды

1. Динамика содержания макроэлементов в фильтрате снеговой воды, мг/м² (X ± Sx)

Место отбора/км	рН	Макроэлемент в фильтрате			
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
2009 г.					
ОУ-2/1	10,0±0,02	225,4±4,08	3188,02±124,67	32,7±9,34	71,4±11,83
ОУ-5/3	9,9±0,03	62,4±6,50	1675,6±63,37	5,95±0,75	17,43±7,97
ОУ-4/10	8,1±0,11	46,5±9,70	225,5±41,11	4,8±1,05	42,7±5,36
2010 г.					
ОУ-2/1	10,14±0,07	184,80±12,24	7649,19±334,98	35,67±1,37	190,16±8,52
ОУ-5/3	9,77±0,16	92,24±15,33	7117,82±591,65	13,48±6,07	390,22±47,26
ОУ-4/10	8,79±0,14	9,99±1,77	3617,65±365,74	6,83±0,52	3,66±0,40
ППП-6К/20	8,29±0,08	63,12±4,62	1429,70±261,23	44,31±2,28	263,61±11,87
2011 г.					
ОУ-2/1	10,2±0,05	27,0±0,1	3277,3±81,6	27,7± 1,6	28,2±3,8
ОУ-5/3	9,6±0,07	54,3±1,8	5359,1±65,7	24,8±1,4	23,4±2,2
ППП-6К/20	7,4±0,03	12,6±0,4	373,2±38,3	21,5±1,3	42,5±2,0
К/1	6,7±0,03	90,0±9,5	117,5±3,6	48,5±4,7	231,9±17,1
2012 г.					
ОУ-2/1	10,26 ± 0,03	366,7±34,5	6065,2±256,1	219,0±25,3	176,0±19,7
ОУ-5/3	9,96 ± 0,02	269,9±12,5	4002,5±104,4	83,9±6,1	79,5±4,6
ОУ-4/10	9,69 ± 0,06	94,1±8,0	887,8±120,6	23,3±4,5	44,6±8,4
ППП-6К/20	7,94 ± 0,28	109,0±4,0	157,4±20,2	13,3±2,4	28,6±2,9
К/1	7,41 ± 0,09	84,0±9,1	194,6±7,6	22,6±3,6	31,0±1,3
2013 г.					
ОУ-2/1	10,01 ± 0,04	576,55±62,4	7202,99±1179,3	57,01±14,4	233,01±37,0
ОУ-5/3	10,08 ± 0,04	247,23±11,0	2975,03±37,3	47,77±11,7	324,86±30,6
ОУ-4/10	9,08 ± 0,10	39,85±5,4	1057,43±104,1	16,34±2,0	190,25±17,1
ППП-6К/20	7,88 ± 0,47	117,64±26,4	128,26±16,9	0,76±0,4	54,53±7,6
К/1	7,52 ± 0,34	162,29±17,1	208,15±24,5	4,79±1,4	91,74±14,8

2. Содержание тяжёлых металлов в фильтрате снеговой воды, мг/м² (X ± Sx)

Элемент	ПДК, мг/л	№ ОУ или ППП / расстояние в км			
		ОУ-2 / 1	ОУ-5 / 3	ППП-6К / 20	ППП – 7К / 25
Fe	0,1	2,41±0,56	4,53±2,21	2,20±0,36	2,27±0,72
Mn	0,01	0,21±0,07	0,77±0,52	0,92±0,04	0,90±0,17
Cr	0,003	нет свед.	нет свед.	нет свед.	нет свед.
Zn	0,01	0,34±0,08	2,16±1,72	0,84±0,29	0,80±0,21
Pb	0,006	н/о	н/о	н/о	н/о
Cu	0,001	0,27±0,07	0,67±0,45	0,22±0,04	0,20±0,05
Ni	0,003	0,12±0,02	0,09±0,006	0,048±0,005	0,04±0,015
Cd	0,001	0,0002±0,0002	н/о	0,0013±0,0008	0,0011±0,0004
Co	0,01	0,46±0,09	0,307±0,057	0,022±0,016	0,13±0,05

формах превышает величины предельно допустимых концентраций (ПДК) для поверхностных вод [3] по всем исследуемым зонам.

Содержащиеся в дымовых газах пары щелочей, фтора и серного ангидрида адсорбируются и концентрируются в больших количествах на самих дисперсных частицах каустической пыли вследствие

их большой удельной поверхности. Экспериментальными данными было установлено, что атмосферные выбросы оказывают существенное воздействие на химические свойства почв, об этом свидетельствуют полученные высокие показатели рН-почвы на всех ОУ и ПП по сравнению с условными контрольными значениями, а также химический состав почвы.

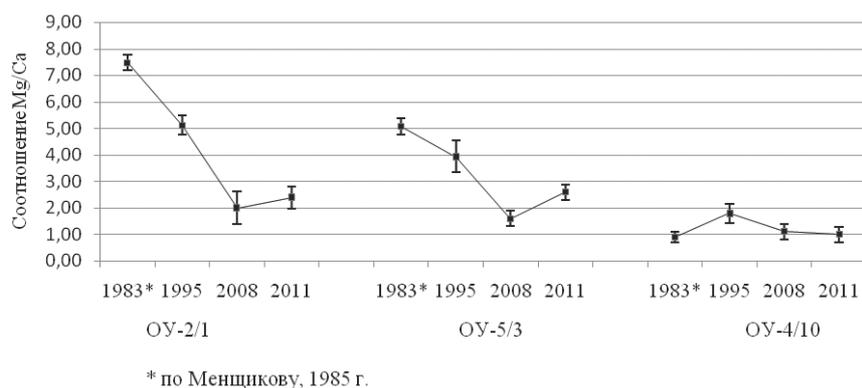


Рис. 4 – Динамика соотношения обменных катионов Mg²⁺ к Ca²⁺ в районе магnezитового запыления

Результаты анализов показали (рис. 4), что естественное соотношение между элементами в почвенном поглощающем комплексе нарушено – в 1983 г. доминировал обменный магний в зоне запыления, в условном контроле вне запыления – кальций. В 2008–2011 гг. соотношение обменных катионов существенно изменилось в сторону увеличения обменного кальция на фоне высокого содержания магния и высокой кислотности почвы.

Существует две точки зрения на реакцию растений на повышенное содержание магния в почве. 1. Ионы магния карбонатов оказывают такое же отрицательное воздействие на рост и развитие растений, как и ионы легкорастворимых солей [4, 5]. Нарушается нормальное поступление жизненно необходимых питательных веществ в результате воздействия ионов магния на клетки растения, а также происходит недостаток в растительном организме некоторых элементов. Следствием этого является слаборазвитая корневая система на таких почвах. Отмечено снижение на один класс бонитета насаждений, произрастающих на почвах, содержащих большое количество обменного магния [6].

2. Опосредованное и косвенное воздействие на растения. Избыток кальция и магния и соотношение между ними мало влияют на рост сосны, но оказывают косвенное влияние, сдвигая pH в щелочную сторону. При pH выше 8 соединения железа находятся в нерастворимой форме гидроксидов и растения не могут их использовать [7]. В труднорастворимых соединениях при высоком показателе pH находятся также фосфор, кобальт, марганец и некоторые другие элементы [8]. Содержание обменного магния в 36% от ёмкости обмена резко усиливает токсические явления на фоне сильной солонцеватости, вызванной натрием [9]. В связи с этим почва приобретает свойства солонцеватости, становится вязкой, бесструктурной. Известно, что обменный магний является одним из основных катионов и его доступность напрямую зависит от катионно-обменной ёмкости почвы и влияния конкурирующих катионов Ca²⁺, K⁺, Na⁺, NH₄⁺, Fe²⁺, Al³⁺. Одновременно происходит

повышение концентрации магния в питательной среде, снижается поступление конкурирующих катионов в растение, в первую очередь калия и кальция.

Выводы. 1. Более чем 100-летний период функционирования Саткинского ОАО «Комбинат «Магнезит» породил множество экологических проблем. Одна из главных – аэротехногенное загрязнение прилегающих лесных экосистемы. В радиусе 1–3 км древостой полностью погибли.

2. Химические анализы снеговой воды показали значительное повышение взвешенных веществ (пыли) в очаге загрязнения.

3. Показатели pH снеговой воды во все годы наблюдений составляли 8,0–10,0.

4. Анализ снеговой воды показал содержание железа, хрома и марганца на расстоянии до 3 км от источника выше от 60 до 90% в сравнении с условным контролем (К1). Содержание цинка в 1 км от источника в 4,6 раза больше, свинца – в 8 раз, меди и никеля в 2 раза, кадмия – в 86 раз больше по сравнению с контролем. Содержание калия и натрия в фильтрате снеговой воды превышено на расстоянии 1 км в 3–8 раза по сравнению с контролем.

5. Обменный магний в почве доминирует в зоне запыления, в то время как в условном контроле вне запыления – кальций. По результатам проведённых исследований выявлено, что в условиях снижений выбросов за последние 20 лет произошло частичное самоочищение почвы – снижается содержание обменного магния по отношению к кальцию.

Литература

1. Комплексные доклады 2003–2012 гг. [Электронный ресурс]. URL: <http://mineco174.ru/media/kompleksnye-doklady/>.
2. Шумилова М.А. Распределение соединений марганца как поллютанта урбанотерриторий на примере городов УР / М.А. Шумилова, О.В. Садидулина, М.Г. Лебедева, В.Г. Петров // Вестник Удмуртского университета. Серия: Физика и химия. 2013. № 4. С. 33–38.
3. ГОСТ 12.1.007–76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. М.: Изд-во стандартов, 1976.
4. Гедройц К.К. Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение // Статьи и материалы по опытам на Долгопрудном опытном поле НИУ за 1930–1933 гг. М. – Л.: Сельхозгид, 1935. 343 с.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

5. Саидов Д.К. Влияние карбонатно-магниевого засоления почв на анатомо-морфологические и физиологические особенности хлопчатника и кукурузы: автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук. Ташкент, 1960. 25 с.
6. Ржанникова Г.К. Особенности почвообразования на магниезальных породах Урала // Лесные почвы южной тайги Урала и Зауралья. Труды Института экологии растений и животных УНЦ АН СССР. Свердловск, 1972. № 25. С. 119–129.
7. Возбудская А.Е. Химия почвы. М.: Высшая школа, 1964. 398 с.
8. Похлёбкина Л.П., Игнатов В.Г. Влияние реакции среды на подвижность фосфатов в почве при известковании // Почвоведение. 1983. № 1. С. 30–36.
9. Орловский Н.В. Исследование почв Сибири и Казахстана. Новосибирск: Наука, 1979. 327 с.