

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

М. К. Хачатрян

Обогащение почвы тяжелыми металлами в результате загрязнения атмосферы

Растительные и животные организмы тесно связаны с окружающей средой, они черпают химические элементы из почвы (литосферы), водных растворов (гидросферы), атмосферы, а также из других живых организмов. Ч. Дарвин [4] еще в 1837 году говорил, что то что сегодня является „почвой“, завтра становится частью тела животного. Несомненно, что наличие в почве тех или иных химических элементов в увеличенных количествах должно сказываться на химическом составе растений и организмов животных (возможно и человека), так как химический состав живых организмов связан с химическим составом земной коры. Эта связь была наглядно показана крупным русским ученым, академиком В. И. Вернадским [1].

Работы ряда авторов [2, 3, 5] указывают на то, что возможно обогащение почвы мышьяком, ртутью, фтором из воздушных выбросов промышленных предприятий, но лишь немногочисленные авторы (Н. М. Томсон [6], Н. П. Красинский [7], И. Е. Рамм [8], А. Н. Львов [9], Е. Газельгоф [15]) и др. производили исследования почвы с целью характеристики ее состава в связи с загрязнением атмосферы.

В атмосферу современного крупного промышленного города ежедневно поступают десятки и сотни тонн различных вредных газов (сернистый и серный ангидриды, азотный и азотистый ангидриды, окись углерода, хлор, аммиак и т. п.) и пыль, содержащие различные химические элементы (свинец, мышьяк, медь, цинк, фтор, олово, селен и пр.).

Все эти загрязнения ветрами и воздушными течениями рассеиваются в атмосферном воздухе вокруг предприятия, часто на значительном расстоянии, причем твердые вещества в зависимости от удельного веса частиц и их размеров, метеорологических условий, сопротивления газовой среды и пр. постепенно оседают и накапливаются в почве, а зимой и в снегу.

Те твердые частицы, которые не оседают и долго остаются во взвешенном состоянии в воздухе, и газы под влиянием атмосферных осадков вымываются из воздуха, смываются с поверхностей (листьев, крыш и пр.) и попадают также в почву.

Поэтому изучение ряда вопросов, связанных с: а) характером и степенью загрязнения почвы выбросами промышленных предприятий через атмосферу; б) дальностью и закономерностью зонального загрязнения ее в зависимости от метеорологических условий; в) накоплением этих металлов и степенью проникновения их в нижележащие слои почвы (с целью выяснения возможности загрязнения подземных вод); г) возможностью воздействия таких почв на организмы, могут дать ценный научный материал.

Для выполнения поставленных перед собой задач в апреле 1950 г. мы взяли образцы почвы, а зимой пробы снега из района одного предприятия вторичной обработки цветных металлов и проводили соответствующие анализы.

Образцы почвы и снега были взяты нами по различным направлениям на расстоянии 500, 1000 и 2000 метров от предприятия. В некоторых направлениях взяты почвенные образцы и на расстоянии 250 метров.

В каждом месте было взято два образца почвы — с поверхности до 3 см и с глубины до 25 см. По четырем направлениям на расстоянии 500 м от предприятия взяты дополнительно образцы с глубины 0,75—1 м и 1,5—1,75 м с целью выяснения степени проникновения тяжелых металлов в нижележащие горизонты.

Контрольные образцы почвы брались с глубины до 25 см за городом — на расстоянии 30 км, севернее города.

В образцах определено количество свинца, меди и цинка, являющиеся составной и специфической частью воздушного выброса указанного предприятия. Было проведено всего 123 определения в образцах почвы и 108 в пробах снега. Анализ образцов на присутствие тяжелых металлов проведен по микрометоду, разработанному в Институте общей и коммунальной гигиены АМН СССР.

По результатам исследования снежного покрова были получены данные (таблица 1), которые не менее убедительны для выяснения закономерностей распространения выбросов от предприятия.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в снежном покрове по зонам (1949 - 50 гг.)

Расстояние от предприя- тия в м	С в и н е ц		М е д ь		Ц и н к	
	в мг. на 1 м ² в сут.	в проц.	в мг. на 1 м ² в сут.	в проц.	в мг. на 1 м ² в сут.	в проц.
500	1,487	100	4,648	100	17,024	100
1000	0,421	28,2	2,146	46,2	7,130	41,9
2000	0,114	7,7	0,673	14,5	2,629	16,5

Как видно из данных таблицы 1, во второй зоне (1000 м) величина снижения количества оседающих тяжелых металлов в процентах по отношению к концентрации, обнаруженной на расстоянии 500 м от

предприятия, достигает по свинцу 71,8 по меди — 43,8 и по цинку 58,1. В третьей зоне (2000 м) соответственно 92,3%, 85,5%, и 83,5%. Таким образом, данные показывают, что в атмосферном воздухе имеет место снижение концентрации тяжелых металлов по мере удаления от завода, причем последние уносятся ветром свыше 2 км.

Найденные количества тяжелых металлов в снежном покрове дают нам также ориентировочные данные, согласно которым почва вокруг завода может, и притом в значительной степени, загрязняться воздушными выбросами через атмосферный воздух.

Основная масса воздушных выбросов осаждается на расстоянии до 1 км от предприятия, причем степень загрязненности почвы (таблицы 2 и 3) закономерно снижается по мере удаления от источника выброса.

Таблица 2

Концентрация тяжелых металлов в поверхностном слое почвы (до 3 см) по четырем зонам и пяти румбам (в процентах)

Направление от предприятия	Ингредиенты	Расстояние от предприятия в м			
		250	500	1000	2000
Юго-восток	Свинец	0,062	0,075	0,004	0,005
	М е д ь	0,145	0,052	0,016	0,016
	Ц и н к	0,5	0,06	0,013	0,025
Ю г	Свинец	0,0075	0,0003	0,005	0,004
	М е д ь	0,032	0,012	0,002	0,018
	Ц и н к	0,015	0,04	0,025	0,005
З а п а д	Свинец	—	0,005	0,003	0,003
	М е д ь	—	0,03	0,016	0,012
	Ц и н к	—	0,032	0,04	0,028
С е в е р	Свинец	—	0,025	0,087	—
	М е д ь	—	0,035	0,135	—
	Ц и н к	—	0,602	0,6	—
Восток	Свинец	0,1	0,087	—	—
	М е д ь	0,028	0,02	—	—
	Ц и н к	0,62	0,25	—	—

При сопоставлении концентрации тяжелых металлов в почве по румбам и с частотой направления ветра, наблюдаемой в этом районе, выясняется, что их наибольшее количество наблюдается по направлению господствующих ветров. Так, например, по юго-восточному направлению, куда дуют частые для этого района северо-западные (11,8%) ветры в первой зоне найден свинец в поверхностном слое почвы (до 3 см) 0,062%, с глубины до 25 см — 0,1%; во

Таблица 3

Концентрация тяжелых металлов в почве на глубине до 25 см по
четырем зонам и пяти румбам (в процентах)

Направление от предприятия	Ингредиенты	Расстояние от предприятия в м			
		250	500	1000	2000
Юго-восток	Свинец	0,1	0,075	0,04	0,015
	М е д ь	0,12	0,02	0,011	0,014
	Ц и н к	0,75	0,125	0,03	0,02
Ю г	Свинец	0,0062	0,003	0,002	0,001
	М е д ь	0,014	0,026	0,02	0,016
	Ц и н к	0,075	0,05	0,03	0,02
З а п а д	Свинец	—	0,009	0,0075	0,002
	М е д ь	—	0,007	0,014	0,004
	Ц и н к	—	0,03	0,05	0,024
С е в е р	Свинец	—	0,025	0,02	—
	М е д ь	—	0,024	0,032	—
	Ц и н к	—	0,31	0,31	—
Восток	Свинец	0,015	0,02	—	—
	М е д ь	0,026	0,026	—	—
	Ц и н к	0,62	0,25	—	—

второй зоне как и в поверхностном слое, так и с глубины до 25 см найдено 0,075‰, в третьей зоне соответственно 0,004 и 0,04‰ и, наконец, в четвертой зоне — 0,005 и 0,015‰.

В южном направлении, куда дуют северные, менее частые ветры (8,8%) обнаружены тяжелые металлы в почве с глубины до 25 см значительно меньше, чем в юго-восточном направлении и несколько больше, чем в западном направлении, куда дуют сравнительно редкие восточные ветры (6,8‰). Например, по южному направлению найден свинец в почве от 15 до 25 раз, меди от 1 до 9 раз, цинка от 1 до 10 раз меньше, чем в направлении преобладающих юго-восточных ветров. Эти данные указывают на большое значение ветрового фактора в загрязнении почвы от воздушных выбросов промпредприятий.

Следует отметить, что в поверхностном слое почвы не всегда были найдены более высокие концентрации металлов, чем в слое глубиной до 25 см; затем некоторые наши данные неполностью согласуются с частотой направления ветра. Эти исключения, конечно, нужно объяснить случайными местными условиями. Как правило, средние величины показывают, что 1) поверхностный слой более богат тяжелыми металлами и 2) количество металлов в почве находится в прямой зависимости от частоты и направления ветров.

Среднее содержание свинца (0,04‰) в слое почвы глубиной до 25 см на расстоянии 250 м от предприятия больше по сравнению

с его количеством, найденным в незагрязненной почве — контрольной ($0,0004\%$) в 100 раз. На том же расстоянии среднее количество меди больше 26,5 раза, цинка — 110,2 раза по сравнению с контрольной. Таким образом, тяжелые металлы, оседая из атмосферного воздуха, накапливаются в поверхностном слое почвы в значительных количествах.

Несмотря на то, что на расстоянии 2000 м от завода найденные средние количества тяжелых металлов в почве значительно меньше по сравнению с их количеством в первой зоне (250 м), например, цинка меньше в 21 раз, свинца — 13,3 раза, меди — 5 раз, но все же они превышают от 5 до 7,5 раза их содержание в незагрязненной почве. Это свидетельствует о том, что почва обогащена и притом в значительной степени тяжелыми металлами на расстоянии более чем 2 км от предприятия, иначе говоря, с площадью более 1200 га находится под воздействием загрязненной атмосферы.

Опыт показывает, что различные растения не одинаково реагируют на повышенное содержание одного и того же химического элемента в почве. Например, есть растения, так называемые аккумуляторы элементов, которые не реагируют болезненно на высокие концентрации, т. е. накопившиеся элементы не токсичны для них и не нарушают их нормальную жизнедеятельность. Описаны и случаи смертельного отравления животных, которые питались растениями с высоким содержанием свинца, мышьяка, селена, молибдена и т. д. Не исключена, конечно, возможность отравления человека таким же путем.

Наоборот, многие растения сильно реагируют на повышенное содержание тех или иных элементов, изменение концентрации микроэлементов в самом растении приводит к нарушению тех, иногда очень важных процессов в организме, которые обусловлены данным элементом.

Найденные нами количества тяжелых металлов в почве вокруг изучаемого предприятия с площадью более 1200 га, нередко превышают те концентрации, которые согласно литературным данным, считаются уже вредными для нормального роста и развития растений. Так, например, в работе А. А. Хализева [10] указывается, что токсическое действие цинка для растений проявляется уже при его содержании в почве свыше $0,02\%$. Такие концентрации при наших исследованиях обнаружены даже на расстоянии 2000 м от предприятия, не говоря о том, что на близких расстояниях его количество доходит до $0,75\%$ (в соскобе до $1,5\%$).

По другим данным (Е. Газельгофф и др. [15]) медь в количестве $0,01\%$ в почве уже оказывает заметное влияние на растения, при $0,05\%$ — ясно заметное, при 1% — уже вредное влияние. Следовательно, обнаруженные нами концентрации меди, которые колеблются в пределах от $0,002$ до $0,145\%$, должны оказывать отрицательное влияние на растения.

Для проверки наших предположений было произведено обследо-

дование колхоза и молодого сада, расположенных в районе предприятия. Нам удалось установить, что развитие растений иногда угнетено, многие растения, в особенности огородные культуры, отстают в росте, а некоторые из них совершенно не растут на участках, близко расположенных к заводу (например, на колхозном участке, расположенном на расстоянии от 300 до 700 м от предприятия в направлении юга и юго-востока от него).

В этом колхозе, как и в садах, озелененных площадях и дворах района изучаемого нами предприятия применяется вообще много удобрений, в особенности органического, чтобы добиться более или менее нормального развития и урожайности растений. Это говорит также в пользу того, что причиной плохого произрастания растений является именно почва. Конечно, определенное значение имеет также действие на растения тяжелых металлов и серного ангидрида, через загрязненный атмосферный воздух. Следует ожидать, что их действие на фоне загрязненной почвы должно быть выражено сильнее.

В литературе имеются данные [11, 12], свидетельствующие о том, что в растениях, выросших на почвах, содержащих свинец в повышенном количестве, происходит его накопление, а у животных, питающихся такими растениями — изменения в химическом составе, патоморфологические изменения, ведущие иногда к серьезным последствиям и даже к гибели. Однако эти вопросы изучены весьма недостаточно.

Описаны случаи свинцового отравления среди рогатого скота, который кормили кормовой репой, выросшей на почве с содержанием 0,43% свинца, на расстоянии 1000 м от данного предприятия.

В районах добывания свинцовых руд наблюдается заболевание среди животных. Причина возникновения болезни связывается с высоким содержанием свинца в сене (А. Е. Ферсман [2], С. Дж. Уотсон и А. М. Смит [13]).

В нашей предыдущей работе [14] удалось доказать, что если животные питаются кормом, выращенном в районе указанного предприятия, т. е. на обогащенной тяжелыми металлами почве (при условии, что эти растения тщательно отмыты от осевшей на них пыли), то наблюдается накопление свинца в органах и тканях по сравнению с контрольной группой от 1,5 до 4 раз. Если животные питаются неотмытым кормом, то концентрация свинца у них увеличивается от 9 до 18 раз больше, чем у контрольных животных.

Обнаруженные высокие концентрации тяжелых металлов в почве района предприятия имеют значение также с точки зрения возможности воздействия и на состав вод, в частности подземных водных источников, и таким путем оказывать воздействие на организмы.

С этой целью на расстоянии 500 метров от предприятия по четырем направлениям дополнительно взяты образцы почвы с разных горизонтов, чтобы установить степень проникновения этих тяжелых элементов в нижележащие слои. Как показали результаты исследова-

Таблица 4

Количество тяжелых металлов в почве разных горизонтов на расстоянии 500 м от предприятия по четырем румбам (в процентах)

Направление от предприятия	Глубина в метрах			
	0—0,03	0—0,25	0,75—1,0	1,5—1,75
	Свинец			
Север	0,025	0,025	0	0,00004
Восток	0,037	0,02	0,001	0
Ю г	0,0008	0,003	0,0005	0
Запад	0,005	0,009	0,0005	0
	М е д ь			
Север	0,085	0,024	0,001	0,001
Восток	0,02	0,026	0,035	0
Ю г	0,012	0,026	0,0075	0
Запад	0,03	0,007	0	0
	Ц и н к			
Север	0,602	0,31	0	0,024
Восток	0,25	0,125	0,008	0
Ю г	0,04	0,05	0,01	0,016
Запад	0,032	0,03	0	0,003

ний (таблица 4), тяжелые металлы не выщелачиваются атмосферными осадками с поверхностных слоев почвы и не уносятся вместе с ними в нижележащие слои ее, в результате чего возможность обогащения вод этими металлами исключается.

В результате проведенных исследований представляется возможным сделать следующие выводы:

1. Почва вокруг предприятия вторичной обработки цветных металлов значительно обогащается тяжелыми металлами в результате загрязнения атмосферы его выбросами.

2. Основная масса воздушных выбросов осаждается на расстоянии до 1000 м от предприятия, причем степень обогащения почвы закономерно снижается по мере удаления от источника выброса.

3. Максимальное обогащение почвы тяжелыми металлами наблюдается по юго-восточному (частично по северному и восточному) направлению, затем по южному. Западное направление является наименее загрязненным. Эти данные согласуются с розой ветров этого района и указывают на большое значение ветрового фактора в обогащении почвы тяжелыми металлами из воздушных выбросов промпредприятий.

4. Тяжелые металлы накапливаются в поверхностном, толщиной 0,25 м слое почвы и не проникают в нижележащие горизонты.

5. Установленные концентрации тяжелых металлов в почве радиусом до 2000 м вокруг предприятия свидетельствуют о том, что территория с площадью более 1200 га (включая и площадь занимаемую заводскими постройками) находится под воздействием загрязненной атмосферы.

6. На указанной территории плохо выращиваются растения, в особенности огородные культуры, их нормальный рост и развитие значительно угнетаются, в результате чего понижается урожайность.

7. Употребление в корм животными растений, выращенных в районе указанного предприятия вызывает накопление свинца в органах и тканях сверх обычных норм, что не может быть безразличным для организма в целом.

8. Охрана почвы района предприятия от обогащения тяжелыми металлами должна сводиться к мероприятиям, которые необходимы для обеспечения чистоты атмосферы. С этой целью необходимо сооружение дополнительных пылеуловительных установок, которые с существующими фильтрами дадут возможность значительно снизить количество полиметаллической пыли, выбрасываемой предприятием в атмосферу.

Кафедра коммунальной гигиены Ереванского
государственного медицинского института

Поступило 18 V 1955 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В. И. Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры, Изд. "Время", 1922.
2. Ферсман А. Е. Геохимия, I и II. Гесхимтехиздат, 1934.
3. Сауков А. А. Геохимия ртути, АН СССР, 1946.
4. Дарвин Ч. Сочинения, т. 2, М.—Л. 1936.
5. Моисеев С. В. Фтор в питьевой воде и его санитарное значение, М. 1937.
6. Томсон Н. М. Загрязнение и самоочищение внешней среды, изд. АМН СССР, 1949.
7. Красинский Н. П. Озеленение промплощадок дымоустойчивым ассортиментом, М. 1937.
8. Рамм И. Е. XII Всес. съезд гигиенистов, эпидемиологов, микробиологов и инфекционистов, т. I, М., 1949.
9. Львов А. Н. Сборник трудов ВНИИКГ, вып. 3, М. 1939.
10. Хализов А. А. Химические стимулянты, Сельхозгиз, М. 1939.
11. Томсон Н. М. Гигиена и санитария, 10, 1948.
12. Виноградов А. П. Геохимия живого вещества, АН СССР, 1932.
13. Уотсон С. Дж. и Смит А. М. Британская хроника, т. II, 6, 1946.
14. Хачатрян М. К. Гигиена и санитария, I, 1955.
15. Haselhoff E. Grundzüge der Rauchschaden Kunde, Anleitung für Prüfung und Beurteilung der Einwirkung von Rauchabgängen auf Boden und Pflanze, Berlin, 1932.

Մ. Կ. Խաչատրյան

ՀՈՂԻ ՀԱՐՍՏԱՑՈՒՄԸ ԾԱՆՐ ՄԵՏԱՂՆԵՐՈՎ ՄՅՆՈԼՈՐՏԻ
ԿԵՂՏՈՏՄԱՆ ՀԵՏԵՎԱՆՔՈՎ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ժամանակակից արդյունաբերական խոշոր քաղաքների մթնոլորտային օդը կեղտոտվում է մեծ քանակությամբ փոշով և զանազան տեսակի ֆեռտիլիզերներով: Այդ կեղտոտությունները քամիների շնորհիվ տարածվում են մթնոլորտում իրենց արտանետման արդյուրից բավական հեռավորություն վրա, ժամանակի ընթացքում նստում են դեռևս մակերեսին և աչպիսով, հողը հարստացնում զանազան տեսակի քիմիական էլեմենտներով:

Գունավոր մետաղների երկրորդային մշակման ձեռնարկության շրջապատի հողը մթնոլորտի կեղտոտման հետևանքով 1200 հեկտարից ավելի տարածությամբ հարստանում է մի շարք ծանր մետաղներով (կադար, պղինձ, ցինկ): Դիտողությունները ցույց են տվել, որ քամիների վարզը մեծ դեր է խաղում հողի հարստացման մեջ, քանի որ մթնոլորտային կեղտոտությունների տարածումը հիմնականում կախված է հենց այդ գործոնից: Ծանր մետաղները կուտակվում են հողի մակերեսային շերտում և չեն թափանցում ավելի խորը: Այդ ձեռնարկության շրջապատի հողամասերում բուսականությունը վատ է աճում: Նրանց աճեցողությունը, զարգացումն քնկճվում են, որի հետևանքով և խիստ ընկնում է բերքատվությունը: Նշված ձեռնարկության շրջանում աճած բույսերը որպես կեր օգտագործելիս կենդանիների մոտ դիտվում է օրգաններում և հյուսվածքներում կապարի բաղադրության ավելացում, համեմատած սովորական նորմալ քանակությունների հետ: