



УДК 546.49:551.578.4:504.064.36

Мониторинг ртути из снежного покрова вблизи предприятий химической промышленности

В. А. Скворцов (dekanat@geogr.isu.ru)

К. В. Чудненко (chud@igc.irk.ru)

Аннотация. Впервые смоделированы термодинамические условия поведения ртути и субмикроскопических (10^{-4} мм и менее) твердых кристаллических частиц аэрозолей из снежного покрова при взаимодействии их с окружающей средой вблизи городов Усолье-Сибирское и Ангарск Иркутской области, где преобладают профильные предприятия химической промышленности, которые выбрасывают загрязняющие вещества способствующие развитию определенных заболеваний.

Ключевые слова: ртуть, твердые частицы аэрозолей, мониторинг, снежный покров, предприятия химической промышленности.

Введение

Атмосферный аэрозоль, содержащий ртуть, образуется в результате выбросов в процессе технологических операций на промышленных предприятиях. Осаждаясь, он скапливается в снежном покрове, активно взаимодействует с окружающей средой и нарушает установившееся ранее экологическое равновесие. А изменение равновесия на участках интенсивного взаимодействия приводит к развитию и осложнению у населения заболеваний иммунного характера, нередко приводящих к генетическим мутациям и передающимся наследственным путем. Особую опасность в составе аэрозоля представляют твердые невидимые дисперсные частицы и ртуть, которые способны проникать в организм человека и оказывать вредное действие по совершенно иным законам, чем крупные частицы или химические элементы растворимые в воде. Благодаря своим малым размерам они могут преодолевать биологические барьеры и попадать через кожные покровы внутрь клеток.

Физико-химические условия поведения этих частиц и ртути до настоящего времени практически не рассматривались. Главная причина заключалась в выделении твердых кристаллических частиц из снегохимических проб и их последующей диагностики. После того как эти вопросы были решены [5], удалось приступить к изучению условий их поведения при взаимодействии с окружающей средой. Для этой цели были выбраны соответствующие объекты, взяты анализы снегохимических проб и сформированы физико-химические (термодинамические) модели, отражающие поведение твердых частиц аэрозолей и ртути в окружающей среде после таяния снега в весенний период, в который происходит максимальное загрязнение

почв и вод минеральными и химическими соединениями, когда после разрушения твердых кристаллических фаз аэрозолей образуются новые химические соединения.

Объекты исследования

Для исследования были выбраны города Иркутской области с наличием предприятий химической промышленности Усолье-Сибирское и Ангарск, которые по уровню загрязнения атмосферного воздуха относятся к числу наиболее загрязненных в России. Обусловлено это тем, что города находятся в зоне с неблагоприятным показателем рассеивающей способности атмосферы и характеризуются невысокой совокупностью свойств к самоочищению. Именно последнее непосредственно связано с геоморфологическими особенностями местности: неширокой почти прямой долиной р. Ангары, окаймленной с юга и юго-запада ступенчатыми окраинными хребтами и господствующим северо-западным и юго-восточным направлением ветра, а также наличием туманов, обусловленных высокой повторяемостью приземных и приподнятых инверсий [13].

На территории г. Усолье-Сибирское основным источником выбросов являются предприятия Акционерного общества Усольский химпром. В пределах его сосредоточены производства для получения кристаллической соды и хлора методом ртутного электролиза, поливинилхлоридной смолы, кремнийорганических соединений, эмалей, каучука, карбида кальция и этиловой жидкости. Согласно статотчетности только в 2007 г. от стационарных источников химической промышленности в атмосферу поступило 15,3 тыс. т загрязняющих веществ, из них твердых 2,1 тыс. т, жидких и газообразных 13,2 тыс. т. Из специфических загрязняющих веществ в атмосферный воздух выброшено: 900,1 т дихлорэтана; 421,3 т метана; 540,03 т бензола; 200,4 т толуола; 105,85 т стирола; 47,66 т аммиака; 0,34 т ртути [3]. Состояние иммунной системы у жителей г. Усолье-Сибирское [2] характеризуется наличием лейкоцитоза, гипериммуноглобулинемии, свидетельствующие о напряжении, активации гуморального иммунитета. Подобное состояние еще усугубляется выраженным снижением в крови абсолютного и процентного количества фагоцитирующих нейтрофилов.

На территории г. Ангарска наибольшее воздействие на окружающую среду создают предприятия, входящие в Акционерное общество «Ангарская нефтехимическая компания». Предприятия этой компании осуществляют переработку нефти, угля, производство катализаторов, а также метанола, аммиака, мочевины, азотной кислоты, бутиловых спиртов и др. продуктов. Определенную долю в загрязнение окружающей среды города вносит завод по производству белково-витаминных концентратов. Валовый выброс этих предприятий в общей сумме загрязнений города достигает 80 %. Исследования, проведенные В. П. Прусаковым с соавторами [9 и др.], свидетельствуют об увеличении заболеваемости населения г. Ангарск хроническими болезнями органов дыхания (бронхиальной астмой, хроническим бронхитом, фарингитом), в развитии которых преобладают или играют существенную роль аллергические реакции организма.

В рассматриваемых нами городах на расстоянии до 20 км в твердом осадке снежного покрова за зимний период скапливается большое количество карбонатов (кальцита – CaCO_3 и доломита – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), присутствует ртуть и другие металлы. Содержание техногенного кальцита в твердофазных частицах аэрозоля вблизи химического комбината в г. Усолье-Сибирское в десятки раз превышает фоновое значение, а в г. Ангарске в 2–3 раза. Это приводит к возникновению отмеченных выше заболеваний, обострению и длительности их протекания. Изучение поведения ртути и твердых частиц аэрозолей в окружающей среде требует привлечения современных методов исследования, среди которых одними из наиболее доступных и эффективных являются построения компьютерных физико-химических моделей.

Методы исследования

Исходя из того что снежный покров является наиболее информативным при оценке техногенного загрязнения атмосферы, обладает сорбционной способностью и накапливает за зимний период значительную часть продуктов, поступающих от различных источников, детальное изучение его состава и послужило основой создания физико-химических моделей. Анализ твердой и растворимой фаз снежного покрова, выпаренного сухого остатка дают возможность установить не только ореолы распространения повышенных концентраций, но и выявить источники их поступления, позволяющие прогнозировать влияние техногенных процессов на окружающую среду. Оптимальный состав снега для физико-химической модели устанавливается по конкретным пробам, в зависимости от интенсивности загрязнения, весом не менее 5 кг, отобранным у земной поверхности со специальных площадок, с целью исключения влияния почвенного покрова, по описанной ранее методике [5]. Состав твердых кристаллических частиц аэрозолей в снежном покрове определяется в выпаренном сухом осадке с помощью рентгеновского количественного фазового анализа на установке *Дрон-2*. Исходные базовые составы снега, твердых кристаллических частиц в выпаренном осадке, атмосферы и воды приведены в табл. 1.

По результатам анализов снежного покрова, твердой фазы снега, воздуха и воды физико-химическая модель может быть описана следующими независимыми компонентами $\text{Ca-Mg-K-Na-S-C-Cl-F-N-Hg-Si-Al-Fe-H-O}$, комбинации сочетаний которых отражают состав зависимых компонентов. В соответствии с этим водная фаза содержит 183 компонента (катионы, анионы, молекулы), газовая – 13 и твердая – 57 компонентов. В состав твердой фазы включены минералы, определенные в составе выпаренного сухого остатка и те которые теоретически могут быть встречены в почвах сформированных на юрских и кембрийских отложениях, сложенных песчаниками, алевролитами, углистыми и глинистыми сланцами, доломитами, известняками, кремнисто-карбонатными отложениями с пропластками каменной соли и ангидрита, а в последствии частично переформированных и деградируемых.

Таблица 1

Исходные составы снега, твердого осадка, воздуха и воды

Снег		Твердый осадок		
Компоненты	Содержание, мг/л	Минералы	Химические формулы	Содержание, %
Ca ²⁺	33,1	Кальцит	CaCO ₃	4
Mg ²⁺	1,7	Доломит	CaMg(CO ₃) ₂	28
K ⁺	1,7	Кварц	SiO ₂	24
Na ⁺	1,5	Плагиоклаз:		
SO ₄ ²⁻	16,0	Альбит	NaAlSi ₃ O ₈	15
HCO ₃ ⁻	9,2	Анортит	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	6
CO ₃ ²⁻	33,9	Калиевый полевой шпат	KAlSi ₃ O ₈	17
Cl ⁻	3,5	Амфибол:		
F ⁻	1,2	Тремолит	Ca ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	1,1
NO ₃ ⁻	3,0	Актинолит	Ca ₂ Fe ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	1,2
Hg ²⁺ , мкг/м ²	0,2 [2]	Мусковит (гидрослюда)	KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	1,7
pH	9,15	Каолинит	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	1
		Гематит	Fe ₂ O ₃	1
		Магнетит	Fe ₃ O ₄	1
		Ртуть, мкг/м ²	Hg	40,6 [2]
Воздух, %	O – 20,95; N – 78,16; C – 0,016; Ar ~ 0,9 (не учитывается)			
Вода, %	O – 89; H – 11			

Физико-химическое моделирование проводилось по программе «Селектор» [12]. Рассчитывались модели при температуре от 2 до 5 °С, давлении 1 бар в условиях частичного равновесия. Выбранные температуры отражают начало и окончание таяние снега в весенний период в течении которого и проходят наиболее активные геохимические процессы взаимодействия твердого осадка с окружающей средой.

Результаты исследования

Физико-химическое моделирование тающего снега, содержащего в своем составе твердые частицы и ртуть, проведенное при температуре 2 и 5 °С и давлении 1 бар, позволило рассмотреть возможные варианты миграции соединений ртути на глубину при ее взаимодействии с окружающей средой (табл. 2).

Таблица 2

Результаты физико-химического моделирования взаимодействия снеговой воды, твердого осадка из снежного покрова с окружающей средой при $T = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 1\text{ бар}$

Глубина, м	pH	Eh	Геолог. разрез	Фазы, %		Состав твердой фазы по горизонтам	Газы, %				Компоненты в растворе, мг/кг. H ₂ O													
				Р-р	Газ		Тв.	CO ₂	N ₂	O ₂	H ₂ O	Hg ²⁺	HgCl ⁺	HgCl ₂ ⁰	HgCl ₃ ⁻	HgCl ₄ ²⁻	HgOH ⁺	HgF ⁻	HgO ⁰	Hg ²⁺				
0	0,7	1,1		16,4	83,5	-	0,06	77,5	21,9	0,4	2,8·10 ⁻¹¹	1,6·10 ⁻⁷	3,3·10 ⁻⁴	9,3·10 ⁻⁸	1,9·10 ⁻¹⁰	-	-	-	-	-	-	-	-	
1,6	1,1	1,1		17,2	81,9	0,8	0,09	77,9	21,5	0,4	1,6·10 ⁻⁶	4,3·10 ⁻³	5,6	1,0·10 ⁻³	1,9·10 ⁻⁶	4,7·10 ⁻⁹	4,5·10 ⁻¹³	1,4·10 ⁻¹⁰	-	-	-	-	-	
2,4	1,0	1,0		18,2	78,9	2,8	0,17	78,5	20,8	0,4	0,76	4,9	11,0	1,5·10 ⁻⁶	1,5·10 ⁻¹²	2,0·10 ⁻²	2,4·10 ⁻⁴	3,3·10 ⁻³	-	-	-	-	-	5,6·10 ⁻¹³
3,0	1,0	1,0		17,4	72,9	9,6	0,42	79,6	20,5	0,4	20,9	18,0	3,6	2,4·10 ⁻⁸	-	2,4	3,1·10 ⁻³	1,0	-	-	-	-	-	8,5·10 ⁻⁹
5,5	0,9	0,9		16,3	57,5	26,1	0,50	80,1	19,0	0,4	1,5·10 ⁻⁴	0,3	12,7	2,8·10 ⁻⁷	-	7,3·10 ⁻²	6,2·10 ⁻⁹	4,9	-	-	-	-	-	8,0·10 ⁻¹²
6,6	0,8	0,8		11,1	34,1	54,7	-	83,2	16,5	0,3	6,6·10 ⁻⁷	1,3·10 ⁻²	3,3	1,6·10 ⁻⁷	-	5,03·10 ⁻³	1,9·10 ⁻¹¹	3,3	-	-	-	-	-	-
7,6	0,8	0,8		6,6	13,7	79,6	-	91,3	8,6	0,07	3,3·10 ⁻⁹	2,0·10 ⁻⁸	1,5·10 ⁻³	2,3·10 ⁻¹¹	-	1,5·10 ⁻⁴	-	2,4	-	-	-	-	-	-
11,4	0,6	0,6		2,8	4,5	92,6	-	99,6	0,3	-	1,4·10 ⁻¹⁰	4,1·10 ⁻⁵	4,1·10 ⁻⁹	-	-	1,2·10 ⁻⁷	-	2,0	-	-	-	-	-	-
12,5	0,5	0,5		0,8	1,5	97,5	-	99,9	0,01	-	-	-	-	-	-	6,9·10 ⁻¹⁰	-	2,0	-	-	-	-	-	-



Принятые сокращения: Кв – кварц, Ил – иллит, Мнгт – монтмориллонит, Ка – кальцит, До-долломит, Глд – гейландит, Се – селадонит, Кпш – калиевый полевой шпат, Ал – альбит, Ан – анортит, Вр – вайрацит, Ге – гематит, НгО – порошковая ртуть

В начальный период, когда частицы твердого осадка еще не начали взаимодействовать со снеговой водой и почвой в равновесии отмечаются фазы газа (83,5 %) и раствора (16,4 %). Из газов преобладает азот (77,5 %) и кислород (21,9 %), что создает ультракислую среду (pH 0,7 и Eh 1,1) в которой из ртутных комплексов в растворе будет выделяться только HgCl_2^0 (0,0003 мг/кг H_2O).

Сразу после соприкосновения твердых частиц осадка с почвенным слоем, представленным в интервале 0–5 м преимущественно супесью, часть кремнекислоты из раствора переходит в твердую фазу и в почве в данном интервале появляется новообразованный кварц (0,8 %), который оказывается устойчивым в равновесии с газом (78,9 %) и раствором (18,2 %). Кислотность-щелочность раствора в этом случае приближается к 1,6–1,7 и создает среду благоприятную для образования галогенидных комплексов ртути. Концентрации их заметно возрастают: HgCl^+ (0,0041 мг/кг H_2O), HgCl_2^0 (5,6 мг/кг H_2O), HgCl_3^0 (0,0001 мг/кг H_2O).

При дальнейшем взаимодействии кристаллических частиц твердого осадка со снежной водой и воздухом происходит перераспределение из водной фазы в твердую Fe, Si, K и Al, что приводит при pH 2,4 к возможности образования в ассоциации с кварцем вторичных гидрослюдистых минералов (в частности железистой разновидности иллита). Кроме возрастания содержания галогенидных комплексов HgCl_2^0 (11 мг/кг H_2O), HgCl^+ (4,9 мг/кг H_2O), отмечаются повышенные содержания Hg^{2+} (0,76 мг/кг H_2O) и других соединений HgOH^+ (0,02 мг/кг H_2O), HgO^0 (0,003 мг/кг H_2O), HgF^+ (0,0002 мг/кг H_2O). При сопоставлении изменения pH с глубиной данная ситуация сохраняется до 7–8 м.

На глубине близкой к 10 м в зоне контакта глинистых сланцев и песчаников, когда количество твердой фазы возрастает до 9,6 % и pH приближается к 3, в равновесии с кварцем и железистым иллитом появляются минералы группы каолинита – монтмориллонита, среди которых преобладают алюминиевые и калиевые разновидности, в меньшем количестве присутствует железистая разновидность монтмориллонита. Из ртутных соединений в растворе увеличиваются Hg^{2+} (20,9 мг/кг H_2O), HgCl^+ (18 мг/кг H_2O), HgOH^+ (2,4 мг/кг H_2O), HgF^+ (0,003 мг/кг H_2O), HgO^0 (1 мг/кг H_2O), и убывает HgCl_2^0 (3,6 мг/кг H_2O).

Когда взаимодействие твердого осадка снега с талой водой за счет инфильтрации продолжается и дальше на глубину по глинистым сланцам, соотношение между фазами меняется. Количество раствора составляет 16,3 %, газа 57,5 % и твердой фазы 26,1 %. В этом случае величина pH будет равняться 5,5, а Eh 0,8. За счет перераспределения кальция и магния из раствора и углекислоты из газа вместе с кварцем и разновидностями минералов группы иллита появляется кальцит и доломит. А резкое снижение концентрации большинства ртутных комплексов в растворе (исключение

составляют HgCl_2^0 (12,7 мг/кг H_2O), и HgO^0 (4,9 мг/кг H_2O) приводит к образованию на глубине 17–18 м в твердой фазе порошковой ртути (HgO).

Ниже глинистых сланцев в скважинах на глубинах 21–24 м отмечается водоносный горизонт, представленный трещиноватыми песчаниками, сланцами и алевролитами. Пробы воды взятые в скважинах фиксируют величину рН от 6,5 до 7,6.

В кровле водоносного пласта, при движении остатков снеговой воды и растворенных твердых частиц по песчаникам и сланцам (когда соотношение между фазами: раствор 11,1 %, газ 34,1 % и твердая 54,7 %) в результате взаимодействия образуется устойчивая ассоциация кварца, иллита (алюминиевого и железистого), кальцита, гейландита (появляющегося за счет высокой активности кальция) и селадонита. В твердой фазе по-прежнему присутствует порошковая ртуть, а в газах по сравнению с выше-залегающим горизонтом, отсутствует CO_2 . Рассматривая поведение ртутных компонентов в растворе, следует заметить, что содержание их заметно снижается. Это объясняется тем, что при взаимодействии раствора с водоносным горизонтом в результате инфильтрации происходит резкое разбавление просачивающихся растворов и часть компонентов из них уходит в водоносный пласт и загрязняет его.

В подошве водоносного пласта на глубине 25 м в песчаниках, за счет увеличения активности К и Na и повышения рН до 8,1, появляются новообразованные полевые шпаты (калиевый полевой шпат и альбит). Количество твердой фазы в системе достигает 79,6 %, газовой 13,7 % и раствора 6,6 %. Углекислота в газах здесь отсутствует полностью, а количество азота возрастает до 91,3 %. Из ртутных комплексов в твердой фазе отмечается порошковая ртуть (HgO), в жидкой HgO^0 (2,4 мг/кг H_2O), HgOH^+ (0,0001 мг/кг H_2O) и HgCl_2^0 (0,001 мг/кг H_2O).

Ниже водоносного горизонта песчаников на глубине 35 м находится водоупор, представленный алевролитами с прослоями песчаников. Количество твердого осадка, прореагировавшего с почвой и породами составляет 92,6 %, газа 4,5 % и раствора 2,8 %. При рН 11,1 в ассоциации образуются: кварц, железистый иллит, кальцит, селадонит, полевые шпаты, водный цеолит – вайрацит и порошковая ртуть. Газовая фаза на 49,6 % представлена азотом. Из ртутных минералов в остаточном растворе фиксируется HgO^0 (2 мг/кг H_2O) и в незначительных количествах присутствуют HgOH^+ , HgCl_2^0 и HgCl^+ .

И завершается физико-химическая модель, имитирующая процесс термодинамического взаимодействия снеговой воды, содержащей твердые частицы, с почвой и породами при рН 13,5 на глубине 42–43 м, в песчаниках на известковом цементе с прослоями глинистых сланцев. Количество твердой фазы в системе на заключительном этапе составляет 97,5 %, газовой 1,5 % и раствора 0,8 %. Твердая фаза заканчивается образованием в юрских песчаниках устойчивой ассоциации: кварц, железистый иллит, кальцит, селадонит, калиевый полевой шпат, альбит-анортит, вайрацит,

гематит. Данная новообразованная ассоциация полностью отвечает исходному составу переработанного твердого осадка снегохимической пробы.

Обсуждение полученных результатов

Проблемы ртутного загрязнения природных и искусственных водоемов, способы его предотвращения и ликвидации нашли свое отражение в публикациях Международной конференции [8] и в отдельных статьях и монографиях [1; 4; 6; 7; 10; 11]. Детальное изучение этих материалов показало, что поведение ртути из твердого осадка снегохимических проб на глубину от предприятий химической промышленности исследователями не рассматривались.

Как показывают результаты нашего моделирования в снеговой воде, находящейся в контакте с верхним горизонтом почвенного слоя, при pH 0,7 в количестве от 0,0003 мг/кг H₂O и ниже отмечаются только галогенидные комплексы ртути (HgCl₂⁰, HgCl⁺, HgCl₄²⁻).

Далее до глубины 5 м идет просачивание тающего снега через почву и супесь переслаивающую с песком. В это время происходит изменение pH раствора до 1,6, в результате чего в нижезалегающих глинистых сланцах появляется новообразованный кварц, а в просачивающемся снеговом растворе на несколько порядков увеличиваются концентрации отмеченных выше галогенидных комплексов ртути, особенно это характерно для нейтрального комплекса HgCl₂⁰ (5,6 мг/кг H₂O). В достаточно малых количествах на уровне 0,000 000 004 мг/кг H₂O и ниже зафиксированы гидрат окиси, окись и фторид ртути.

На глубине 7 м, когда просачивающийся снеговой раствор проходит через глинистые окварцованные сланцы при pH 2,4, в сланцах появляется железистый иллит, развивается процесс вторичной гидрослюдизации, а в растворе с увеличением концентраций всех предыдущих компонентов активизируются ионы двухвалентной ртути, содержание которых достигает 0,76 мг/кг H₂O.

При дальнейшем развитии событий на глубине около 10 м, на контакте с глинистыми сланцами, вскрывается горизонт песчаников, на выветрелой поверхности которых при pH 3 развиваются каолинит и монтмориллонит. В равновесии с ними в растворе преобладает ионный комплекс ртути Hg²⁺ (20,9 мг/кг H₂O), в меньшей степени из галогенидных присутствует HgCl⁺, а из кислородосодержащих – HgOH⁺ и HgO⁰.

К глубине 17 м за счет увеличения активности Ca, Mg, CO₂, в песчано-сланцевой толще пород начинается карбонатизация, которая приводит к образованию минералов кальцита и доломита. В растворе при pH 5,5 содержания большинства ртутных комплексов (за исключением нейтральных HgCl₂⁰ и HgO⁰) резко сокращаются. Это является главной причиной выпадения в твердую фазу желтого порошка ртути (0,001 %).

Далее при проникновении просачивающегося раствора до водоносного горизонта, появляющегося на глубине 21 м, в составе глинистых сланцев происходит перераспределение Са и Mg и из состава газов уходит CO_2 . В результате этого в сланцах на границе с водоносными песчаниками при рН 6,6 вместе с кварцем, иллитом, кальцитом и порошковой ртутью отмечаются гейландит (из цеолитов) и К-Mg-Fe селадонит. Доломит, который ранее находился в этой ассоциации, отсутствует. Количество ртутных комплексов в растворе резко сокращается.

Ниже водоносного горизонта в песчаниках, в результате увеличения щелочности, развивается вначале процесс калишпатизации, затем альбитизации, что сразу приводит к появлению в предыдущей ассоциации калиевого полевого шпата и альбита. Содержание ртути в твердой фазе возрастает (до 0,004 %), а в растворе соответственно сокращается. Эта закономерность отмечается до глубины 35 м. Количество просачивающегося раствора заметно уменьшается до 2,8 %, газа до 4,5 %, твердая фаза остается на уровне 92,6 %. В результате в растворе при рН 11,1 отмечается только нейтральный комплекс HgO^0 (2 мг/кг H_2O). Концентрации остальных комплексов сохраняются на уровне 0,0 000 001 мг/кг H_2O и ниже. Из минералов в твердой фазе за счет увеличения активности Са повышается основность плагиоклаза и появляется анортит, среди цеолитов происходит смена гейландита на вайрацит.

На глубине около 42 м количество просачивающегося раствора снижается до 0,8 % и моделируемый процесс инфильтрации талой снеговой воды при рН 13,5 в зоне аэрации практически заканчивается. Здесь к минералам твердой фазы добавляется гематит, в жидкой фазе остается фактически только HgO^0 .

Заключение

Проведенные нами исследования показывают, что поступившие в атмосферу выбросы от промышленных предприятий и частично от природных объектов (массивов выветрелых горных пород) собираются аэрозолями, вымываются атмосферными осадками и включаются в круговорот в почве, породах, воде.

Тающий снег вместе с содержащимися в нем твердыми частицами аэрозолей (включаясь в круговорот) на разных стадиях начинает активно взаимодействовать с почвой, горными породами, водоносным горизонтом. Все стадии сопровождаются определенными изменениями.

Как показывают наши данные и результаты других исследователей [11], в дерновых лесных почвах, развивающихся на продуктах выветривания бескарбонатных юрских песчаников под сосновыми или смешанными разнотравными лесами, состоящими из дернового горизонта и поочередно сменяющихся литогенных супесчаных слоев вниз по почвенному профилю наблюдается увеличение рН.

В песчано-глинистых отложениях при взаимодействии с инфильтрующим раствором происходят метасоматические изменения, сопровож-

дающиеся появлением новообразных вторичных минералов. От поверхности на глубину в песчано-глинистых породах отмечаются проявления следующих процессов: окварцевания, гидрослюдизации, каолинизации, карбонатизации, калишпатизации и альбитизации.

В верхних горизонтах геологического разреза, где в породах отмечается окварцевание, вся ртуть находится в растворе и ее повышенные концентрации до рН 1,6 и Eh 1,1 связаны непосредственно с галогенидными комплексами, но с глубиной в растворе при рН от 2,4 и выше и Eh равном 1 баланс ртути между галогенидными комплексами (которые количественно преобладают), свободной ртутью, окисью и гидратом изменяется.

В средней части геологического разреза в породах отмечается карбонатизация и в растворе при рН 5,5 и Eh 0,9 происходит перераспределение ртути. Это связано с тем, что основное ее количество переходит в твердую фазу (HgO), а в растворе в относительно повышенных количествах она отмечается только в нейтральных комплексах (HgCl_2^0 и HgO^0).

Далее вниз по разрезу при возрастании щелочности происходит увеличение содержания ртути в твердой фазе и уменьшение ее (до полного исчезновения) в жидкой фазе.

Физико-химическое моделирование показало, что в кислой среде, пока ртуть находится в растворе в виде легкорастворимых солей, она представляет наибольшую опасность для загрязнения почв, растений, воды и только после перехода ее в твердую фазу при рН 5,5 до водоносного горизонта и дальнейшем увеличении щелочности с глубиной, эта опасность значительно снижается. Так что физико-химическое моделирование позволяет оценить границы распространения ртутных комплексов на глубину и контролировать экологическую ситуацию.

Список литературы

1. Антропогенная компонента и баланс ртути в экосистеме Братского водохранилища / П. В. Коваль [и др.] // Докл. РАН. – 2003. – Т. 382, № 2. – С. 225–227.
2. Бодиенкова Г. М. Иммунореактивность населения и качество окружающей среды Прибайкалья / Г. М. Бодиенкова, Л. И. Колесникова, С. С. Тимофеева. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2006. – 222 с.
3. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 2007 году / сост.: Е. В. Кучменко, Т. А. Макарова. – Иркутск : Облмашинформ, 2008. – 360 с.
4. Королева Г. П. Мониторинговые исследования снегового покрова в Прибайкалье // Химия в интересах устойчивого развития. – 2003. – № 6. – С. 96–100.
5. Кристаллические фазы аэрозолей в природно-технических системах Прибайкалья / В. П. Рогова [и др.] // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер.: Науки о Земле. – 2009. – Т. 2, № 2. – С. 167–180.
6. Материалы 3-его научно-методического семинара «Проблемы управлением качеством воды в бассейне р. Ангары» / П. В. Коваль [и др.]. – М. : Моск. обществ. науч. фонд, 2000. – С. 96–110.

7. Павлов А. А. Физико-химическая обстановка миграции и отложения ртути и сопутствующих элементов при низких температурах // Вопросы металлогении ртути. – М. : Наука, 1968. – С. 53–72.

8. Проблемы ртутного загрязнения природных и искусственных водоемов, способы его предотвращения и ликвидации : тез. докл. Междун. конф. (13–16 сентября 2000 г.) / отв. ред. П. В. Коваль, М. И. Кузьмин. – Иркутск : Изд-во Ин-та геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, 2000. – 115 с.

9. Прусаков В. М. Комплексный эпидемиолого-гигиенический анализ состояния здоровья населения г. Ангарск в связи с загрязнением атмосферного воздуха / В. М. Прусаков, З. Л. Вержбицкая, С. Д. Григорян // Современные проблемы и методологические подходы к изучению влияния факторов производственной и окружающей среды на здоровье человека : тез. докл. республ. конф. – Ангарск, 1993. – С. 100.

10. Руш Е. А. Комплексная геоэкологическая оценка воздействия импактного источника ртутного загрязнения на объекты окружающей среды / Е. А. Руш, А. Ю. Давиденко. – Иркутск : Изд-во Иркут. гос. техн. ун-та, 2004. – 111 с.

11. Седых Е. С. Ртуть в почвах Усольского промышленного района (Верхнее Приангарье) / Е. С. Седых, Р. Х. Зарипов // Сиб. экол. журн. – 2002. – № 1. – С. 21–28.

12. Чудненко К. В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения / К. В. Чудненко ; отв. ред. В. Н. Шарапов. – Новосибирск : Гео, 2010. – 287 с.

13. Экогеохимия городов Восточной Сибири / И. С. Ломоносов [и др.] – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 1993. – 108 с.

Mercury monitoring from snow cover near chemical industry factories

V. A. Skvortsov, K. V. Chudnenko

Abstract. The thermodynamic conditions of the solid aerosol particles and mercury from snow cover performance have been modeled from the first time. The modeling has been conducted near the towns of Usolye–Sibirskoe, Angarsk which are the centers of chemical industry of Irkutsk region. As a result of this work we have come to the conclusion that mercury and solid aerosol particles scattering in the environment contribute to the further numerous human illness progress.

Key words: mercury, solid aerosol particles, monitoring, snow cover, chemical industry factories, Irkutsk region.

Скворцов Валерий Александрович
доктор геолого-минералогических наук
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
профессор
тел. (3952) 52-10-89, 38-33-03

Чудненко Константин Вадимович
доктор геолого-минералогических наук
Институт геохимии им.
А. П. Виноградова СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского 1-а
зав. лабораторией физико-химического
моделирования
тел. (3952) 42-70-79