

**Б.С. Смоляков, К.П. Куценогий, Л.П. Осипова, В.Ф. Рапута, Л.А. Павлюк,
С.Н. Филимонова**

Проблема кислотных выпадений на севере Западной Сибири: региональный и локальный аспекты

*Институт неорганической химии СО РАН,
Институт химической кинетики и горения СО РАН,
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск*

Поступила в редакцию 9.02.2000 г.

Приводятся данные по ионному составу атмосферных аэрозолей, снеговых выпадений и поверхностных вод, а также по содержанию и химическим формам тяжелых металлов в речных и озерных водах на территории Пуровского и Красноселькупского районов Ямало-Ненецкого автономного округа, полученные в 1997 – 1999 гг. Показано, что на региональном уровне природно-климатические факторы способствуют проявлениям проблемы кислотных выпадений. На локальном уровне их действие может быть ослаблено при росте вклада процессов взаимодействия снеготалых вод с подстилающей поверхностью.

Кислотные выпадения (КВ) – одна из глобальных экологических проблем, обусловленная ростом техногенных выбросов газообразных кислотообразующих веществ, способных переноситься с воздушными массами на дальние расстояния. Негативные последствия КВ, помимо прямого воздействия на леса, почвы, водоемы, проявляются в нарушении биогеохимических циклов элементов в местных экосистемах, в частности в повышенной миграции ряда токсичных металлов Ме [1–4]. Таким образом, проблема кислотных выпадений является комплексной, включающей характеристику источников и процессов формирования ионного состава атмосферных аэрозолей (АА), мокрых выпадений (СВ) и поверхностных вод (ПВ), а также валового содержания и состояния Ме в водоемах. Она стала предметом обширных исследований в ряде регионов мира, включая север Европейской части России [5, 6], но, к сожалению, фактически не изучена для севера Сибири.

Целью данной работы было комплексное изучение ионного состава АА, СВ и ПВ, а также содержания Cu, Cd, Pb и Hg в ПВ в тундровой и лесотундровой зонах на севере Западной Сибири (Пуровский и Красноселькупский районы Ямало-Ненецкого автономного округа). Наблюдения выполнялись в разные сезоны 1997 – 1999 гг.

Отличительными климато-географическими особенностями региона, имеющими важное значение для рассматриваемой проблемы, являются длительный период изоляции наземной поверхности снежным покровом (до 8 мес) и равнинный рельеф местности. Это определяет сезонную неоднородность формирования аэрозолей эрозийного происхождения. С теми же особенностями связано наличие большого числа мелководных озер, заполняемых в период половодья снеготальными водами. Эти природные факторы, одинаковые для Пуровского и Красноселькупского районов, можно характеризовать как региональные. На локальном уровне отличия проявляются во влиянии почвенных и грунтовых вод на состав ПВ; они обусловлены неоднородностью ландшафтно-геохимических условий [7]. В целом такое влияние минимально для

водоемов Пуровского района (бассейн р. Пур) из-за близкого расположения слоя вечной мерзлоты и более существенно для водоемов Красноселькупского района (бассейн р. Таз), где имеются «теплые», редко замерзающие озера.

Методика выполнения работы

Суточный отбор проб АА выполняли на фильтры АФА-ХА в сериях непрерывных наблюдений продолжительностью до 30 сут в Пуровском районе в точках 1 (вблизи п. Самбург), 2 (вблизи п. Тарко-Сале) и 3 (п. Красноселькуп) в разные сезоны года. В водной вытяжке определяли pH, концентрацию ионов $[\text{NH}_4^+]$, $[\text{Na}^+]$, $[\text{K}^+]$, $[\text{F}^- + \text{HCOO}^-]$, $[\text{Cl}^-]$, $[\text{NO}_3^-]$, $[\text{SO}_4^{2-}]$ (метод ионной хроматографии), $[\text{HCO}_3^-]$ и $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$ (кондуктометрическое титрование) [8]. Результаты анализа АА относили к содержанию ионов в 1 м^3 воздуха.

Отбор проб СВ производили в конце зимнего сезона 1997–1999 гг. в разных точках Пуровского и Красноселькупского районов. Ионный состав СВ определяли теми же методами после фильтрования снеготалой воды.

Пробы ПВ отбирали в зимний и летний периоды в р. Пур и Таз, а также в разных по глубине озерах. Анализ ионного состава отфильтрованных (0,45 мкм) проб осуществляли теми же методами с той разницей, что отдельно определяли общую Alk и карбонатную $\text{Alk}_{\text{карб}}$ щелочность; их разность относили к гумусовой щелочности $\text{Alk}_{\text{гум}}$. В фильтрате и на фильтрах анализировали валовую концентрацию растворенных и взвешенных форм Hg, Cd, Cu и Pb атомно-абсорбционным методом.

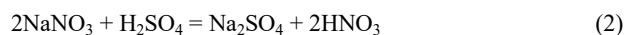
Региональные факторы формирования ионного состава АА

Средние концентрации ионов в водорастворимой фракции АА (в нг-экв/ м^3 воздуха) и их суммарная массовая концентрация Σ (в мкг/ м^3) для точек наблюдений 1–3

представлены в табл. 1. Суммарная концентрация ионов в АА мало зависит от сезона и места наблюдений. При этом надо отметить, что в зимний период доля водорастворимой фракции в общей массе аэрозольных частиц достигает 47%, тогда как летом она падает до 3,7%. Значительный рост массовой концентрации аэрозоля в период открытой наземной поверхности (не изолированной снежным покровом), видимо, определяется поступлением в атмосферу малорастворимых продуктов ветровой эрозии.

Основным анионом в составе АА является сульфат. Соотношение эквивалентов $[NH_4^+]/[SO_4^{2-}]$ во всех случаях ниже 0,5. Этот факт указывает на то, что для эффективной нейтрализации сульфата и других анионов необходимо наличие в составе водорастворимой фракции АА значимого количества литофильных катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), которые не имеют летучих форм и должны быть вынесены с наземной поверхности или поступить с «морским» аэрозолем.

Соотношение эквивалентов $[Na^+]/[Cl^-] \gg 1$ во всех наблюдениях. Из этого можно заключить, что лишь часть ионов натрия поступает в АА из «морского» источника, а другая – из эрозионного. Однако при избыточной кислотности аэрозольных частиц в результате реакций



может происходить их обеднение хлоридами и нитратами за счет летучести HCl и HNO_3 . Поэтому из малой величины

концентрации хлоридов в составе аэрозоля нельзя считать несущественным вклад «морского» источника формирования АА в исследуемом регионе.

Действие разных источников формирования ионного состава АА можно выявить при статистическом (факторном) анализе изменчивости концентраций разных ионов в каждой серии наблюдений. Эти данные представлены в табл. 2. В ряде ситуаций отдельной группой выделяется комбинация (NH_4^+ , SO_4^{2-} , H^+), отражающая действие кислотного фактора; в некоторых сериях эта комбинация дополняется литофильными катионами – продуктами нейтрализации избыточной кислотности солей кальция, магния, натрия, калия. В восьми из 12 серий «морской» источник (комбинация Na^+ , Cl^-) выделяется как самостоятельный или в сочетании с другими ионами; в остальных сериях взаимная корреляция натрия и хлорида нарушается, видимо, за счет более полной реализации реакций типа (1), (2). О том, что основным источником натрия в АА являются не продукты почвенной эрозии, свидетельствует и отсутствие корреляции между ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$) и Na^+ в большинстве серий наблюдений. В целом газофазные процессы формирования ионного состава водорастворимой фракции АА, определяющие их избыточную кислотность, играют ведущую роль. Менее значимый в количественном отношении вклад морского и почвенно-эрозионного источников оказывается недостаточным для полной нейтрализации продуктов газофазных реакций.

Таблица 1

Средние концентрации ионов и их массовая концентрация в водорастворимой фракции атмосферного аэрозоля в точках 1 – 3

Точка, период	NH_4^+	$Ca^{2+} + Mg^{2+}$	Na^+	K^+	H^+	HCO_3^-	$F^- + HCOO^-$	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Σ
1, 10–11/97	15,4	9,1	13,9	2,0	8,7	3,0	1,1	5,2	3,6	34,7	3,1
1, 4–5/98	14,1	11,9	12,1	3,6	8,1	6,4	4,3	2,3	1,4	39,9	3,5
1, 7/98	18,0	10,2	7,3	3,9	7,9	3,5	2,5	2,0	0,8	49,0	3,6
1, 9–10/98	5,1	8,3	11,6	1,2	9,6	4,6	3,1	4,3	1,2	25,1	2,3
2, 12/97	14,8	11,8	7,5	3,3	13,3	0	1,1	0,8	4,2	37,2	2,9
2, 5–6/98	16,8	25,5	8,4	2,3	0,1	18,2	1,6	2,5	1,8	30,3	3,8
2, 7–8/98	9,0	24,7	6,0	2,4	0,1	19,7	2,4	2,4	2,0	25,3	3,5
2, 9–10/98	12,6	11,3	12,5	2,1	2,7	10,1	3,5	3,5	2,1	28,8	3,1
2, 1/99	24,1	12,5	7,6	4,1	0,1	10,4	2,9	3,3	1,9	46,2	4,1
2, 4/99	27,6	15,4	16,1	4,8	0,1	13,2	1,6	3,6	5,0	60	5,0
3, 5/99	39,7	13,6	9,0	1,4	12,0	9,8	3,8	2,9	1,3	68,6	5,4
3, 7/99	13,1	11,9	4,7	2,1	4,7	11,7	2,8	1,5	0,9	23,3	2,6

Таблица 2

Данные факторного анализа изменчивости концентрации иона в АА

Точка, период	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
1, 11/97	$NH_4^+, H^+, SO_4^{2-}, F^- + HCOO^-$	$Ca^{2+} + Mg^{2+}, Na^+, Cl^-, NO_3^-$	K^+
1, 4–5/98	$Ca^{2+} + Mg^{2+}, Na^+, NO_3^-$	NH_4^+, H^+, SO_4^{2-}	K^+, Cl^-, F^-
1, 7/98	$NH_4^+, H^+, SO_4^{2-}, Ca^{2+} + Mg^{2+}, Na^+$	$K^+, NO_3^-, F^- + HCOO^-$	–
1, 9–10/98	H^+, HCO_3^-, SO_4^{2-}	Na^+, Cl^-	NH_4^+
2, 12/97	$Ca^{2+} + Mg^{2+}, Na^+, NO_3^-, F^-$	NH_4^+, K^+, SO_4^{2-}	H^+, Cl^-
2, 5–6/98	$Ca^{2+} + Mg^{2+}, H^+, HCO_3^-$	NH_4^+, SO_4^{2-}	Na^+, Cl^-
2, 7–8/98	NH_4^+, K^+, SO_4^{2-}	Na^+, HCO_3^-	Cl^-, F^-
2, 9–10/98	Na^+, Cl^-, NO_3^-	NH_4^+, H^+, SO_4^{2-}	$Ca^{2+} + Mg^{2+}, HCO_3^-$
2, 1/99	$NH_4^+, Ca^{2+} + Mg^{2+}, HCO_3^-, SO_4^{2-}, NO_3^-$	K^+	Na^+, Cl^-
2, 4/99	Na^+, Cl^-, HCO_3^-	K^+, SO_4^{2-}	F^-, NO_3^-
3, 5/99	NH_4^+, SO_4^{2-}	Na^+, Cl^-	HCO_3^-, NO_3^-
3, 7/99	$NH_4^+, SO_4^{2-}, Ca^{2+} + Mg^{2+}, K^+$	Na^+, Cl^-, NO_3^-	H^+, HCO_3^-

Следует отметить, что во временной динамике концентраций сульфатов и нитратов в АА выделяются периоды их роста и снижения в зависимости от направления ветра. Средние значения массовой концентрации сульфатов (1,2 – 2,9 мкг/м³) и нитратов (0,05 – 0,31 мкг/м³) во всех сериях наблюдений соответствуют интервалу, характерному для геохимически чистых регионов (0,5 – 5 и 0,05 – 4 мкг/м³ соответственно) [2]. Повышение содержания сульфатов в составе АА в 5 – 7 раз, коррелирующее с ростом концентрации Cu, Ni, Pb и некоторых других Me, отмечалось в периоды поступления воздушных масс из района Норильска [9]. Из этого можно сделать вывод, что в районе наблюдений проявляется эффект дальнего атмосферного переноса кислотообразующих компонент в совокупности с металлами, усугубляющий действие местных природных и техногенных источников.

Ионный состав снежных выпадений и поверхностных вод

Средние значения pH, концентрации ионов (в мкг-экв/л) и их суммарной массовой концентрации Σ (в мг/л) для СВ (15–17 проб в каждой серии) и ПВ (по 6–12 проб в зимний и летний периоды), отобранных на территории Пуровского и Красноселькупского районов в 1997–1999 гг., приведены в табл. 3. Относительно АА в составе катионов СВ выросла доля литофильных катионов. В составе анионов сульфат не играет доминирующей роли за счет существенного повышения вклада хлорида и нитрата. В отличие от АА (см. табл. 1) в СВ соотношения $[Na^+]/[Cl^-]$, $[Ca^{2+} + Mg^{2+}]/[SO_4^{2-}]$, $[NH_4^+ + K^+]/[NO_3^-]$ близки к 1, т.е. ионный состав аэрозолей и снежных осадков существенно отличается.

Эти общие закономерности сохраняются и для отдельных проб СВ, отобранных в разных точках, хотя количество накопленного снега и концентрации ионов варьировались. Непостоянство этих параметров, очевидно, обусловлено различиями условий ландшафта и возможным влиянием локальных источников загрязнения снежного покрова. Стоит отметить отличие среднего состава проб СВ на территории Пуровского района, отобранных в разные года. При меньшей минерализации снежных выпадений в зимнем сезоне 1997/98 г. проявился дефицит литофильных катионов, и это привело к повышенной кислотности СВ. В зимний период 1998/99 г. средняя концентрация основных

кислотообразующих анионов (сульфата и нитрата) почти не изменилась, однако прирост концентрации катионов Na^+ , K^+ , $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ определил возрастание pH до уровня «нормы» (расчетное значение pH для равновесия воды с атмосферным воздухом при фоновом содержании CO_2 , SO_2 и NH_3 равно 5,8 [10]). Минерализация, pH и концентрации отдельных ионов в СВ на территории Пуровского и Красноселькупского районов в сезоне 1998/99 г. были близкими, как и запас накопленного снега (216 и 187 кг/м² соответственно). Это свидетельствует о действии одних и тех же факторов формирования ионного состава атмосферных аэрозолей и осадков во всем регионе наблюдений.

Ионный состав ПВ, как свидетельствуют данные табл. 3, отличается от состава снеготалых вод. Стехиометрические отношения ионов, как и данные корреляционного анализа, приведенные в табл. 4, указывают на причину этого отличия. Повышение роли $[HCO_3^-]$, $[Ca^{2+} + Mg^{2+}]$, $[Na^+]$ и тесная корреляция в ПВ между ними, не проявляющаяся для СВ, обусловлены процессами выщелачивания карбонатных солей. Другим процессом формирования состава ПВ, как видно из отсутствия корреляции между $Alk_{гум}$ и приведенными выше ионами, является образование гумусовых веществ – продуктов биотических процессов. Доля гумусовой щелочности достигает в отдельных водоемах Пуровского района 55% суммы эквивалентов анионов.

Эффективность этих процессов трансформации состава снеготалых вод в водоемах Пуровского района относительно невелика: величина Σ для ПВ в летний период, после заполнения водоемов снеготалыми водами, всего в 3 раза выше, а pH ненамного выше, чем для снега. В зимний период величина Σ растет, тем не менее минерализация воды остается низкой. Минерализация ПВ в Красноселькупском районе существенно выше, главным образом за счет HCO_3^- , $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, Na^+ , т.е. ионов, выщелачиваемых из почв и подстилающих пород. Кардинальная перестройка состава ПВ относительно СВ приводит к росту pH (среднее значение 7,03) и буферной емкости к воздействию КВ. Таким образом, именно локальные отличия в эффективности процессов взаимодействия близких по составу атмосферных осадков с наземной поверхностью определяют вариации ионного состава и кислотности поверхностных вод.

Таблица 3

Ионный состав снежных выпадений и поверхностных вод в районе наблюдений

Характеристика	Σ	pH	NH_4^+	$Ca^{2+} + Mg^{2+}$	Na^+	K^+	H^+	$Alk_{гум}$	HCO_3^-	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
Пуровский район													
СВ*	4,6	4,73	8,3	25	19	8	43	–	18	3	15	14	25
СВ**	9,3	5,67	6,6	44	79	24	4	–	20	25	48	17	26
ПВ, лето	15	5,44	2	127	57	7	4	46	135	5	10	5	10
ПВ, зима	40	6,16	77	539	102	42	0,7	228	437	2	19	1,6	14
Красноселькупский район													
СВ*	8,0	5,66	15,4	37	50	20	3	–	22	28	37	17	21
ПВ, зима	244	7,03	7,9	3050	490	75	0	410	2940	10	39	1	21

* 1997/98 г.

**1998/99 г.

Коэффициенты парных корреляций для ионов в СВ и ПВ

Снежные выпадения (N = 29)

Характеристика	Σ	pH	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Σ	1								
pH	0,54	1							
Ca ²⁺ + Mg ²⁺	0,37	0,02	1						
Na ⁺	0,77	0,57	0,04	1					
K ⁺	0,67	0,69	-0,21	0,82	1				
HCO ₃ ⁻	0,60	0,84	0,14	0,64	0,76	1			
Cl ⁻	-0,10	0,38	0,07	0,77	0,63	0,39	1		
NO ₃ ⁻	0,22	0,12	-0,36	0,13	0,18	-0,02	0,23	1	
SO ₄ ²⁻	0,27	-0,44	0,50	-0,04	-0,26	-0,48	0,03	-0,08	1

Поверхностные воды (N = 18)

Характеристика	Σ	pH	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Alk _{гум}	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Σ	1									
pH	0,59	1								
Ca ²⁺ + Mg ²⁺	0,96	0,57	1							
Na ⁺	0,85	0,57	0,90	1						
K ⁺	0,88	0,46	0,92	0,80	1					
Alk _{гум}	0,73	0,59	0,79	0,68	0,84	1				
HCO ₃ ⁻	0,95	0,58	0,98	0,92	0,86	0,69	1			
Cl ⁻	-0,20	-0,20	-0,12	0,07	-0,08	-0,02	-0,15	1		
NO ₃ ⁻	-0,03	0,23	-0,02	0,00	-0,08	-0,13	-0,02	0,15	1	
SO ₄ ²⁻	0,03	0,10	0,03	0,10	0,13	0,05	-0,01	0,56	0,49	1

Содержание и формы металлов в речных и озерных водах

Средние данные по валовому содержанию (сумма растворенных и взвешенных форм) некоторых металлов в ПВ Пуровского и Красноселькупского районов приведены в табл. 5. Для сравнения здесь же приведены данные [11] для вод р. Оби (среднее течение). Сопоставление показывает, что в исследованных водоемах, не испытывающих интенсивной техногенной нагрузки, концентрация металлов выше, чем в водах Оби, принимающих загрязненные стоки промышленных центров. Это свидетельствует о повышенной водной миграции металлов в ПВ на севере Западной Сибири, недостаточной эффективности процессов их депонирования в донных отложениях. Как отмечалось выше, дополнительным источником поступления Me в местные водоемы могут быть атмосферные выпадения за счет дальнего атмосферного переноса АА, в частности из района Норильска.

Таблица 5

Средние значения концентрации металлов (мкг/л) в ПВ Пуровского и Красноселькупского районов и в р. Обь (среднее течение)

Водоемы	Cu	Cd	Pb	Hg
Пуровского района (N = 11)	6,6	0,18	4,0	0,40
Красноселькупского района (N = 6)	4,2	0,33	5,3	0,26
Средняя Обь [11]	2,3	0,24	0,8	0,02

Вне зависимости от источника поступления Me в речные и озерные системы уровень их содержания в

объеме воды зависит от внутриводоемных процессов трансформации химических форм металлов в конкретных физико-химических условиях. Так, в [6] было показано, что эпизодическое повышение валовой концентрации Me в водоемах Кольского полуострова происходит в периоды весеннего паводка, при временном снижении pH воды за счет поступления снеготалых вод. При этом увеличивается доля наиболее токсичных форм металлов, акваионов Me²⁺, что авторы связывают не только с эффектом их закисления, но и с низким содержанием растворенных органических веществ (РОВ).

Для исследованных в данной работе водоемов характерны пониженное значение pH и повышенное содержание РОВ (косвенным показателем которых является Alk_{гум}) не только в период паводка, но и в зимних и летних пробах (см. табл. 3). Нами было выполнено экспериментальное определение параметров связывания меди, свинца и кадмия с РОВ для разных водоемов на территории Пуровского района и химико-термодинамическое моделирование состояния этих Me [12]. Усредненные данные моделирования представлены в табл. 6 в виде долевого распределения форм при разных значениях pH. Здесь же приведены аналогичные данные (они выделены курсивом) для типичного пресного водоема на юге Западной Сибири – Новосибирского водохранилища, для среднего значения pH = 8,0. Эти данные показывают существенное отличие в распределении меди и свинца по химическим формам в маломинерализованных слабокислых ПВ на севере Западной Сибири от более минерализованных и слабощелочных водоемов на юге Западной Сибири. В первых доминирующими формами являются акваионы Me²⁺ и комплексы MeL с РОВ, тогда как для вторых значимую роль играют неорганические гидроксо- и карбонатные

комплексы. В меньшей степени такое отличие проявляется для кадмия. Важно отметить, что доля наиболее токсичных форм Me_{aq}^{2+} значительно возрастает, а доля менее токсичных форм $MeCO_3^0$ и $Me(OH)_2^0$ уменьшается при снижении pH. Это

означает, что с такими особенностями распределения химических форм металлов в водоемах на севере Западной Сибири связана не только повышенная валовая концентрация металлов, но и степень их опасности для водных организмов.

Таблица 6

Долевое распределение (%) основных форм меди, свинца и кадмия в озерной воде при разных pH

Характеристика	Cu				Pb				Cd			
	5,0	6,0	7,0	8,0	5,0	6,0	7,0	8,0	5,0	6,0	7,0	8,0
pH	5,0	6,0	7,0	8,0	5,0	6,0	7,0	8,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Me^{2+}	33,9	14,2	4,7	0,9	38,5	16,7	5,6	1,4	81,3	58,4	31,3	52,3
$MeOH^+$	0	0,2	0,7	1,3	0	0,2	0,6	1,5	0	0	0,3	4,8
$Me(OH)_2^0$	0	0	1,4	26,0	0	0	0	0,7	0	0	0,1	0,01
$MeCO_3^0$	0	0,4	3,8	29,0	0	0,9	7,7	79,8	0	0	0	7,0
MeL	66,1	85,2	89,4	42,8	61,5	82,2	86,1	16,5	18,7	41,5	68,3	36,0

Выводы

Природно-климатические условия на севере Западной Сибири определяют низкий уровень содержания основных ионов в составе АА, характерный для геохимически чистых регионов. Роль почвенно-эрозийных источников в формировании ионного состава аэрозолей ослаблена. Следствием этого является дефицит литофильных катионов, способных нейтрализовать избыточную кислотность продуктов газофазных реакций формирования АА. Помимо природных факторов, для региона проявляется влияние удаленных техногенных источников (в частности, Норильского комбината) сульфатов и ряда металлов в составе аэрозольных частиц.

Ионный состав снеговых выпадений отличается от состава АА, однако дефицит литофильных катионов в СВ сохраняется и снеготалые воды имеют слабокислую реакцию. При доминирующей роли снегового питания в формировании состава поверхностных вод они характеризуются малой минерализацией, повышенной кислотностью и пониженной буферной емкостью. Это влечет за собой повышенный общий уровень и увеличение доли токсичных форм металлов в водоемах. На локальном уровне действие этих неблагоприятных факторов зависит от вклада процессов взаимодействия снеготалых вод с подстилающей поверхностью и внутриводоемных биотических процессов в формировании химического состава ПВ. Увеличение роли этих процессов приводит к росту минерализации и буферной емкости, повышению pH и к снижению доли наиболее токсичных форм металлов в озерных и речных водах. С этих позиций

экологическая обстановка для водоемов на территории Пуровского района оказывается более неблагоприятной, чем в Красноселькупском районе Ямало-Ненецкого автономного округа.

Работа выполнена в рамках Интеграционного проекта № 27 СО РАН.

1. *Acidic Precipitations. Formation and Impact on Terrestrial Ecosystems* / Ed. by C.J. Brandt. VDI-Kommission, Dusseldorf, 1987.
2. Израэль Ю.А., Назаров Н.М., Прессман А.Я., Ровинский Ф.Я., Рябошапка А.Г. Кислотные дожди. Л.: Гидрометеоиздат, 1989.
3. Кислотные выпадения. Долговременные тенденции: Пер. с англ. / Под ред. Ф.Я. Ровинского, В.И. Егорова. Л.: Гидрометеоиздат, 1990.
4. Зайков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л. Кислотные дожди и окружающая среда. М.: Химия, 1991.
5. Моисеенко Т.И. // Водные ресурсы. 1998. Т. 25. № 1. С. 16–23.
6. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Родюшкин И.В. // Водные ресурсы. 1998. Т. 25. № 2. С. 231–243.
7. Карпов Л.К., Сорокина Е.П., Дмитриева Н.Л. // II Межд. совещ. «Геохимия биосферы»: Тезисы докл. Новороссийск, 1999. С. 71–73.
8. Смоляков Б.С., Павлюк Л.А., Немировский А.М., Куценогий К.П., Макаров В.И. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 6. С. 773–779.
9. Рапута В.Ф., Смирнова А.И., Куценогий К.П., Смоляков Б.С., Ярославцева Т.В. // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13. № 6. С. 656–659.
10. Бримблкомб П. Состав и химия атмосферы. М.: Мир, 1988.
11. Шварцев С.С., Савичев О.Г., Вертман Г.Г. и др. // Водные ресурсы. 1996. Т. 23. № 6. С. 723–728.
12. Смоляков Б.С., Белеванцев В.И., Рыжих А.П., Бадмаева Ж.О., Жигула М.В., Бобко А.А. // Химия в интересах устойчивого развития. 1999. Т. 7. № 5. С. 575–584.

B.S. Smolyakov, K.P. Koutsenogii, L.P. Osipova, V.F. Raputa, L.A. Pavluik, S.N. Filimonova. Acid deposition at north of Western Siberia: regional and local aspects.

Data on ion composition of atmospheric aerosol, snow depositions and surface waters as well on the content and speciation of heavy metals in the river and lake waters of Purovsk and Krasnosel'kup regions of Yamalo-Nenetsk Okrug, obtained in 1997–1999 years, are presented. It is shown that natural-climatic factors are favourable for acid deposition in regional scale. An enhancement of snowmelting waters interaction with underlying surface can result in weakening of its action at local level.