

- ных вод суши на сети Росгидромета. — СПб.: Росгидромет, 1992. — 67 с.
9. ГОСТ 17.1.5.05-85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. — М.: МПК Изд-во стандартов, 2000. — 11 с.
 10. ГОСТ 17-1.5.01-80. Охрана природы. Гидросферы. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязнение. — М.: Изд-во стандартов, 1984. — 5 с.
 11. ГОСТ 17.4.3.01-83. Почвы. Основные требования к отбору проб. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. — 3 с.
 12. ГОСТ 17644-83. Торф. Методы отбора проб из залежи и обработки их для лабораторных испытаний. — М.: Изд-во стандартов, 1983. — 6 с.
 13. Классификация и диагностика почв СССР. — М.: Колос, 1977. — 223 с.
 14. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. — СПб: Изд-во «Анатолия», 2000. — 250 с.
 15. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. — М.: Изд-во МГУ, 1993. — 207 с.
 16. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. — М.: Изд-во МГУ, 1998. — 376 с.
 17. Шварцев С.Л., Рассказов Н.М., Сидоренко Т.Н., Здвижков М.А. Геохимия природных вод района большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / Сб. статей под ред. М.В. Кабанова. — Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2002. — С. 139–149.
 18. Берлин Ю.М., Верховская З.И., Егоров А.В. Нормальные алканы и изопреноидные углеводороды в донных осадках Карского моря // Океанология. — 1999. — № 2. — С. 228–232.
 19. Савичев О.Г., Базанов В.А. Химический состав донных отложений реки Васюган и ее притоков // Известия Томского политехнического университета. — 2006. — Т. 308. — № 3. — С. 37–41.

Поступила 14.02.2008 г.

УДК 624.131:551.3

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТАЛОЙ ВОДЕ ЛЕДНИКА БОЛЬШОЙ АКТРУ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Л.П. Рихванов, Ю.В. Робертус*, А.В. Таловская, Р.В. Любимов**, А.Ю. Шатилов

Томский политехнический университет

*Алтайский региональный институт экологии, г. Горно-Алтайск

**Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

E-mail: rikhvanov@tpu.ru

Обсуждается проблема изменения геохимического состава природной среды Западной Сибири за последние десятилетия по результатам изучения стратифицированных образований ледника Большой Актру (Горный Алтай). Установлено, что в толще ледника зафиксирована динамика изменения химического состава атмосферы за последние 50 лет. Наблюдается устойчивое поступление значительных количеств микроэлементов, особенно это, характерно для V, Be, Ta, Gr и Sb. Выделяются этапы максимума и минимума поступлений элементов. Судя по спектру химических компонентов, основным источником их поступления являются промышленные предприятия Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан (г. Усть-Каменогорск и др.)

Ключевые слова:

Геохимия, ледники, техногенез, талая вода, Горный Алтай.

В настоящее время неуклонно растет интерес к изучению химического состава атмосферных выпадений на ледниковые покровы, так как они являются своеобразной летописью состава атмосферного воздуха и его загрязнения. Во многих отечественных и зарубежных научных работах приводятся данные по изучению химического состава выпадений в арктических и антарктических районах.

Многими исследователями выполнялось изучение содержания ряда микро- и макроэлементов (Na, Mg, K, Ca, Cl, Ti, Pb и др.) в ледниковом покрове Антарктики.

Например, исследования ледниковых отложений, характеризующих последние несколько тысяч лет [1, 2] и последние 100 лет [3, 4], показали, что Na, Mg, K, Ca, Fe, Al, Mn, Cl и Ti поступают в атмо-

сферу не только с поверхности океана, но и за счет выветривания земной коры.

Анализ проб с Антарктики, характеризующих доиндустриальный период развития (73000 лет до н.э.), показал, что поступление Pb, Cd, In и Te, пыли и соли происходило в результате пассивной дегазации вулканов в глобальном масштабе [5].

В работе [6] показано на примере изучения отложений ледника в Гренландии, характеризующих древний период (с 8250 до 149 100 лет до н.э.), что изменение содержания Pb, Cu, Zn и Cd зависело от изменения климата и преобладания источника загрязнения.

Проводилось изучение большого спектра микроэлементов, содержащихся в атмосферных аэрозолях над Антарктидой, Антарктикой и над Север-

ной Атлантикой, особенно начиная с индустриального периода. Так, например, в работах [7–9] по изучению ледников Антарктиды и Северной Атлантики показано, что такие элементы как Na, K, Mg, Ca и Sr, поступают в атмосферу из океана; Sc, Mn, Fe, Co, Al и, возможно, Cr, – за счет выветривания земной коры. Ряд элементов (V, Zn, Cu, Cd, Sb, Pb, Se) имеют природное происхождение.

Определение химического состава образцов снежного покрова Восточной Антарктиды за периоды формирования 1884–1970 гг. и распределение различных элементов между отфильтрованными микрочастицами и водой в образцах расплавленного льда [10] показало, что коэффициенты обогащения Mn, Co и Sc подтверждают представление о том, что указанные элементы, включая железо, поступают в атмосферу при выветривании пород земной коры.

Исследования проб снежного покрова Южного полюса, отобранных за 50 лет (1928–1977 гг.), показали, что содержание Na, Mg, K, Ca, Fe, Al, Mn, Cd, Cu, Zn и Ag отличаются незначительно [11]. Исключение составляет свинец, содержание которого увеличилось в 4 раза приблизительно после 1960 г. Boutron (1982) [11] объясняет это тем, что с 1957 г. в районе исследования размещалась станция Amundsen Scott, которая, возможно, и внесла определенный вклад в загрязнение проб свинцом. В работах [1, 2] отмечено, что в пробах с Южного полюса после 1940 г. содержание свинца увеличилось, что связано с глобальным загрязнением атмосферы свинцом в южном полушарии.

Изучение ледников Сибири носит в основном гляциологический характер [12–14 и др.] и, как правило, не отражают изменения геохимического состава атмосферы. Изучение уровня накопления тяжелых металлов в ледниках Алтая носят не систематический характер, как по временному ряду наблюдений, так и по количеству изучаемых элементов. Известные нам геохимические данные характеризуют изменение изотопного состава O, C, H [15]. Так, в работе P. Zuzaan и D. Shagijamba [15] отмечается, что изменение содержания радиоактивного водорода (H^3), исследовавшегося в ледниковых отложениях Монгольского Алтая с 1968 по 1991 гг., носит такой же характер как и в ледниковых образованиях Австрии, что отражает общий глобальный характер его изменения. При этом отмечаются пиковые аномальные концентрации H^3 , приходящиеся на временной интервал 1969, 1972, 1976, 1981 и 1989 гг., что, по-видимому, отражает поступление H^3 от ядерных взрывов, произведенных Китаем на полигоне Лобнор.

Цель настоящей работы заключается в выявлении, на примере одного из крупнейших ледников Горного Алтая (ледник Большой Актру), основных источников поступления и тенденций изменения микроэлементного состава атмосферных выпадений в регионе за последние 65 лет (1939–2004 гг.).

Следует особо подчеркнуть, что в исследуемом районе отсутствуют крупные промышленные производства и источники выбросов, а сам объект изучения находится в водораздельной части Северо-Чуйского хребта на высоте порядка 3000 м.

Все работы по организации и выполнения исследований выполнены силами сотрудников кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета, сотрудников Томского государственного университета (Ю.К. Нарожный) и работников спасательной службы Республики Алтай (В.И. Якубовский).

Опробование проводилось в августе 2005 г. Пробы отбирались послойно на северо-восточной стенке ледника. Каждый слой соответствовал определенному периоду накопления (1939–2004 гг.), который определялся Ю.К. Нарожным. Пробы с возрастом образования старше 1970 г. (т. е. с 1939 по 1969 гг.) отбирались, исходя из среднегодовой мощности накопления в соответствии с ГОСТом [16].

Всего было отобрано 55 проб, характеризующих непрерывный разрез. Опробование снега предполагает раздельный анализ снеготалой воды и твердого осадка. Таяние снега проводилось при комнатной температуре. Объем каждой пробы составлял 3 л.

Все пробы снеговой воды были проанализированы на содержание урана лазерно-люминесцентным методом в ЦАЛ «Березовгеология» (г. Новосибирск) и 63 химических элементов в научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета (г. Томск). Все использованные для анализа методики имеют государственную аттестацию, а лаборатории являются аккредитованными. Погрешность определения не превышала 20 % по большинству анализируемых элементов.

Распределение изученных химических элементов в талой воде ледника Актру в период 1939–2004 гг. характеризуется значительной неравномерностью. Вариабельность их содержания (V), в основном, более 100 %, а превышения среднего над фоном (K) составляют 5 и более раз (табл. 1).

Максимальные концентрации большинства элементов не превышают 10 (33 %) и 100 (56 %) фонов, в то время как содержание цинка, вольфрама и лантаноидов достигает 200–400 фонов, железа – 1480, а серебра – 43800 фонов.

Среднее содержание изученных элементов в талой воде ледника Актру, как правило, ниже, чем в атмосферных осадках, выпадающих на европейской территории России и других стран [17], что свидетельствует об относительной чистоте атмосферных выпадений в южной части Горного Алтая. Исключение составляют рубидий, железо, лантан, мышьяк марганец, цинк и барий (табл. 1). Следует иметь в виду, что уровень присутствия химических элементов в талой воде определяется, главным образом, их исходными концентрациями в пылеаэро-

золях и осадках, а также степенью их растворимости в водной среде, что в свою очередь зависит от форм нахождения элементов в твердофазном состоянии (окислы, сульфиды, хлориды и др.).

Таблица 1. Содержание некоторых элементов в атмосферных осадках и талой воде ледника Актру, мкг/дм³

Элементы	Среднее в осадках ЕТР и других стран [17]	Содержание в воде Актру			V, %	K _c , ед.	Отношение, ед.	
		Фон	$\bar{X}$	max			max/осадки	1X/осадки
Магний	500*	80	509	5815	213	6,3	11,6	1,0
Кальций	2200*	300	1649	19897	227	5,5	9,0	0,7
Железо	140	7	674	10370	272	96,3	74,1	4,8
Марганец	25	2	34,8	161,4	113	17,4	6,4	1,4
Хром	10	0,25	2,28	6,62	84	9,1	0,7	0,2
Ванадий	14*	0,1	0,97	4,80	125	9,7	0,3	<0,1
Кобальт	0,9	0,1	0,55	3,09	119	5,5	3,4	0,16
Никель	25	0,2	1,45	5,93	79	75,2	0,2	<0,1
Цинк	60	2	66,5	372,4	130	33,2	6,2	1,1
Медь	11	0,5	3,77	52,3	192	7,5	4,8	0,3
Свинец	3	0,15	1,37	10,6	127	9,1	3,5	0,5
Барий	11	1,5	11,8	81,7	148	7,9	7,4	1,1
Стронций	12	1,5	8,95	89,7	200	6,0	7,5	0,7
Кадмий	0,19	0,03	0,001	0,25	63	3,3	1,3	0,5
Рубидий	0,15	0,15	1,05	3,19	78	7,0	21,3	7,0
Мышьяк	0,04	0,2	2,12	20,7	152	10,6	32,4	3,3
Сурьма	0,41	0,02	0,38	1,03	63	19,0	2,5	0,9
Скандий	0,78	0,1	0,59	1,93	82	5,9	2,5	0,8
Селен	0,64	0,15	0,56	5,2	78	3,7	8,1	0,9
Цирконий	0,7	0,005	0,02	0,21	155	4,0	0,3	<0,1
Лантан	0,007	0,002	0,03	0,45	225	16,0	64,0	4,6
Йод	1*	0,08	0,36	2,35	102	4,5	2,4	0,4
Ртуть	0,03	0,0015	0,006	0,021	66	4,0	0,7	<0,1
Торий	0,17	0,002	0,01	0,074	123	5,0	0,4	<0,1
Уран	0,55	0,002	0,01	0,154	240	5,0	0,3	<0,1

Примечание: $\bar{X}$ – среднее содержание, V – вариация содержания, %, K_c – превышение среднего над фоном. Выделены элементы с повышенным уровнем присутствия в воде ледника Актру, ЕТР – Европейская территория России, * – другие страны. При составлении таблицы использованы только те элементы, по которым были данные по [17]

Для распределения концентраций элементов в талой воде в период 1939–2004 гг. установлены следующие пять типов поведения (тренды 1-го порядка): преимущественно прогрессивный, нейтральный (стабильный) с переходом в прогрессивный (основной тип), нейтральный с переходом в регрессивный (табл. 2).

Первый из этих трендов распределения присущ V и Be и, в меньшей степени, Se и Вг. В частности, для содержания ванадия характерен отчетливо выраженный рост в 25 раз за последние 45 лет (рис. 1), не находящий удовлетворительного объяснения, кроме предположения об его поступлении от выбросов с титаномагниевого комбината в г. Усть-Каменогорске, либо за счет сжигания попутного газа при разработке месторождений высокосернистых тяжелых сортов нефти.

Стабильное поведение с заметным ростом концентраций в последние 35–24 лет присуще характерно для всех макроэлементов (Si, Ca, Na, K, Fe и др.) и большинства изученных микроэлементов (табл. 2), что позволяет предположить их породное (почвенное) происхождение и поступление с тонкой пылевой фракцией глобальных трансграничных переносов с территории Казахстана и Степного Алтая (возможно при пыльных бурях).

Отличной от вышеотмеченного особенностью распределения таких халькофильных элементов, как Cu, Zn, Pb, Cd и тесно связанного с ними Ba является наличие регрессивной направленности поведения. На начальном этапе изученного периода эта линия поведения имела место для группы микроэлементов Tl, Bi, Au, Re, Ga, Hg.

Таблица 2. Основные типы трендов химических элементов в талой воде ледника Актру в 1939–2004 гг.

Тренды 1-го порядка	Химические элементы
Преимущественно прогрессивный	V, Se, Br
Нейтральный с переходом в прогрессивный	Si, Ca, Na, K, Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Sr, Li, Rb, Be, B, Th, W, Ta, Sc, Cs, I, As, Sb, Ge, La, Nb, Sn, Mo, Ag
Нейтральный с переходом в регрессивный	Cu, Cd
Регрессивный с переходом в нейтральный	Zn, Pb, Ba
Регрессивный с переходом в прогрессивный	Tl, Bi, Au, Re, Ga, Hg

Нетрудно заметить, что три последних тренда распределения объединяют ассоциацию главных и второстепенных элементов полиметаллических руд, перерабатываемых на предприятиях цветной металлургии Восточного Казахстана и Алтайского края (гг. Усть-Каменогорск, Лениногорск, пос. Белоусовка, Горняк и др.), находящихся в 250...400 км западнее и северо-западнее ледника Актру. Цикличность их поступления может быть обусловлена многими факторами: изменение масштабов, технологий добычи и переработки сырья, экономическими факторами, особенно в 90-е годы XX столетия.

Наличие различных ассоциаций в изученном комплексе химических элементов подтверждается данными корреляционного анализа. Установлено, что большинство литофильных и сидерофильных, в меньшей степени, халькофильных элементов имеют тесные положительные корреляционные связи, типичные для их породобразующих комплексов. В частности, для них установлено более трети значимых от общего числа связей при $P=0,95$ и более четверти значимых связей с вероятностью 99 % (табл. 3).

Обособленную группу образует вышеотмеченная ассоциация таких металлов, как Zn, Cu, Cd, Ag, Hg, и др. Характерно, что ее элементы имеют прямые значимые корреляционные связи только между собой, а с остальными элементами их связи, в основном, отрицательные и незначимые. Так, доля отрицательных связей от их общего числа для цин-

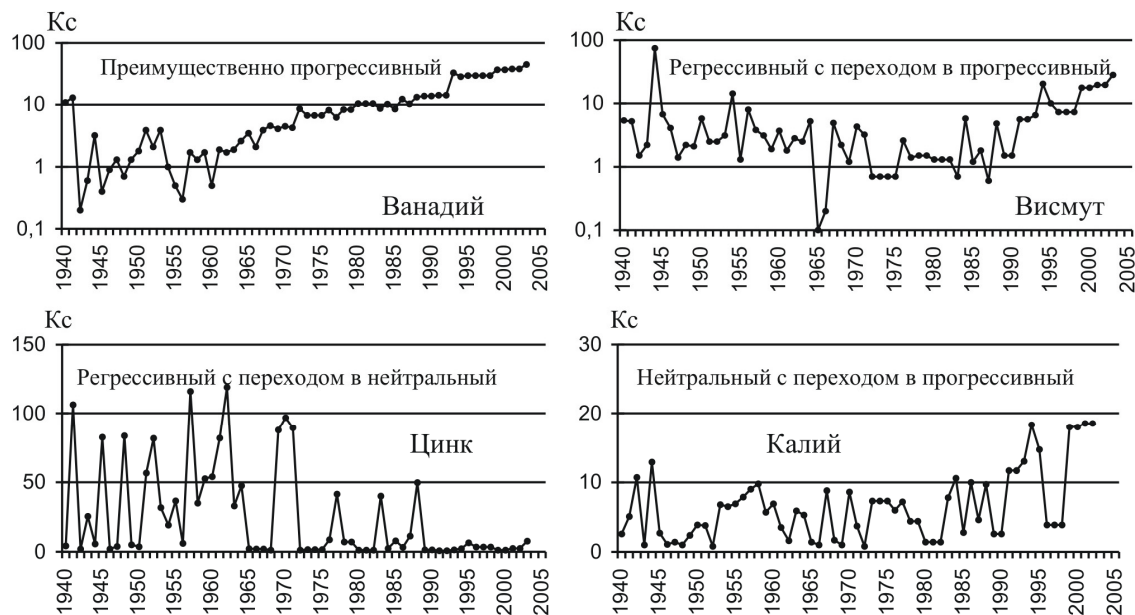


Рис. 1. Динамика содержания элементов в талой воде ледника Актру

ка и серебра составляет 81 %, для меди и бария – 71 %, кадмия – 67 %, урана – 50 %, бериллия – 40 %, для свинца, теллура, золота, сурьмы, таллия, ртути и брома – 30...35 %.

Эта черта распределения главных и второстепенных элементов полиметаллических руд также указывает на их преобладающее раздельное с «породными» пылеаэрозолями поступление на территорию Горного Алтая.

Таблица 3. Характер корреляционных связей между элементами в талой воде ледника Актру

Элементы	% значимых связей		Элементы	% значимых связей		Элементы	% значимых связей	
	P=0,95	P=0,99		P=0,95	P=0,99		P=0,95	P=0,99
Sc	71	62	Fe	56	52	Cr	33	27
Rb	71	52	K	56	52	Ca	21	15
Li	69	62	Ge	56	50	Sr	21	15
Ta	67	65	Zr	54	50	Mg	19	15
Re	67	58	As	54	48	Tl	19	6
W	67	50	Nb	48	35	Na	15	12
Si	65	56	Ti	46	35	Ba	10	8
Th	62	56	V	46	33	Hg	10	4
Mo	62	46	Al	44	38	Zn	8	6
Mn	60	54	Y	44	33	U	8	4
Co	60	48	La	44	33	Cu	6	6
Cs	58	56	Sn	42	27	Cd	6	4
Bi	58	54	Pb	35	27	Ag	4	2
Ni	58	50	Se	33	31	Be	0	0

Примечание: P – вероятность

Примечательно, что уровни присутствия элементов этой ассоциации в талой воде ледника Актру заметно выше (до одного порядка), чем основной части изученных элементов. По нашему мнению, эта особенность объясняется как аномально повышенными концентрациями «раскрытых» руд-

ных элементов в атмосферных выбросах предприятий цветной металлургии, так и постоянством функционирования последних.

Следует отметить необычное «обособленное» распределение в талой воде такого типично литофильного элемента, как бериллий. Он не имеет значимых прямых связей ни с одним из изученных химических элементов, доля его отрицательных взаимосвязей достигает 40 %, а его корреляционные связи с основными элементами полиметаллических руд – медью и цинком имеют достоверный отрицательный характер (–0,41 и –0,37 соответственно).

Причина подобного поведения бериллия, на наш взгляд, также заключается в его «самостоятельном» поступлении в изученный регион, источником которого предположительно являлось предприятие по его производству, расположенное в г. Усть-Каменогорске. Для этого элемента характерна отчетливая динамика поступления за весь наблюдаемый период.

Таким образом, наличие вышеотмеченных различных по особенностям распределения ассоциаций химических элементов в леднике Актру позволяет считать, что их основными источниками служили крупные производства – загрязнители окружающей среды в Восточном Казахстане, а также подверженные ветровой эрозии территории среднеазиатских республик и юга Западной Сибири. Поставщиками пылеаэрозолей на юг Горного Алтая предположительно являются их глобальные и региональные трансграничные переносы, а основными механизмами поступления на поверхность ледника – атмосферные осадки и сухие выпадения [18].

Свидетельствами существования региональных трансграничных переносов экотоксикантов в район ледника Актру являются тенденции поведения

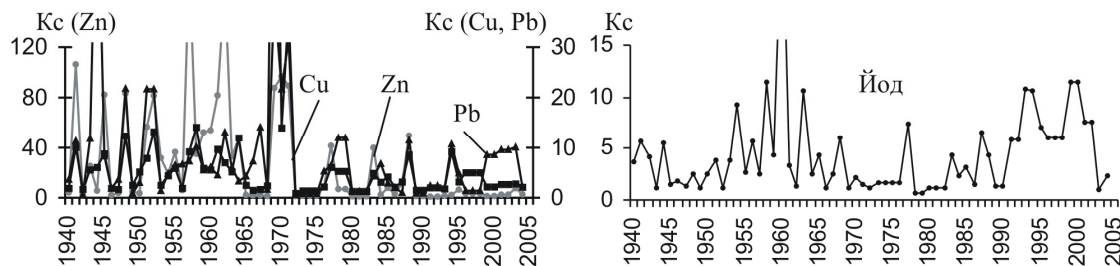


Рис. 2. Периоды повышенного поступления некоторых тяжелых металлов (слева) от предприятий цветной металлургии (1940–1972 гг.) и йода (справа), возможно отражающего поступление от ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне (1953–1962 гг.) и его последующего перераспределения или других источников (1993–2003 гг.)

в изученный период главных элементов полиметаллических руд, добываемых и перерабатываемых на предприятиях Восточного Казахстана. Так, в 1940–1972 гг. в ледниковой воде были проявлены максимальные концентрации меди, цинка и свинца, бария, кадмия и др. После ввода более эффективных очистных сооружений на металлургических предприятиях, а с конца 80-х годов – спада производства, масштабы поступления этих элементов в атмосферу заметно снизились (рис. 2).

Другим фактором региональных трансграничных переносов поллютантов на территорию Горного Алтая, в том числе техногенных радионуклидов, явились радиоактивные следы испытаний ядерных устройств на Семипалатинском полигоне (СИП) и, в меньшей степени, на полигоне Лобнор. В частности, основной период наземных и воздушных ядерных взрывов (1953–1962 гг.) отчетливо проявился в талой воде ледника Актру заметно повышенными (до 30 фонов) концентрациями йода – одного из продуктов деления радиоактивных материалов (рис. 2).

Как выше было отмечено, в последние два-три десятилетия наблюдается заметное увеличение уровня присутствия в ледниковой воде подавляющего большинства изученных химических элементов. Несмотря на разные временные интервалы этого увеличения, его величина варьируется в узких пределах, что указывает на совместное поступление элементов из глобальных выпадений. Следует отметить аналогичную тенденцию с более низкими темпами прироста в этот период концентраций элементов в твердом остатке проб ледника Актру [19].

С целью выяснения возможности поступления с трансграничными переносами выбросов казахстанских предприятий цветной металлургии в зимний период 2006–2007 гг. было проведено опробования снегового покрова по трем региональным профилям в западной части Горного Алтая, в т. ч. непосредственно на границе России и Казахстана.

Полученные данные по химическому составу снеговой воды выявили наличие «языкообразных» мегаореолов аномально пониженных (пример – pH, концентрация аммоний-иона) и повышенных (сульфат-ион, нитрит-ион и пр.) значений показателей, совокупность которых указывает на существенно кислотный характер осадков в пределах этой территории. Ориентировка ореолов и их от-

крытость на юго-запад в направлении г. Усть-Каменогорска свидетельствуют о вероятном поступлении на территорию Горного Алтая осадков, загрязненных кислотными выбросами металлургических предприятий этого промышленного центра.

В выбросах содержится большой спектр химических элементов перерабатываемых руд.

Проводились исследования и по изучению содержания пестицидов в снеготалой воде ледника Актру. По этим данным, не было выявлено влияние сельскохозяйственных предприятий на загрязнение атмосферы пестицидами.

Сравнительный анализ изменения содержания в талой воде железа и вольфрама показывает не только полную идентичность их поведения, но и отчетливо проявленную цикличность в распределении. Последняя выражается в закономерном возрастании в десятки-сотни раз содержания этих и других элементов в периоды минимальной солнечной активности (рис. 3).

Дополнительная особенность распределения многих элементов, особенно лантаноидов и редкоземельных элементов (РЗЭ), заключается в проявленности на фоне их 10–12-летних циклов 3-х второстепенных разнонаправленных трендов продолжительностью 3–4 года, предположительно соответствующих различным фазам солнечной активности.

Из литературы [20 и др.] известно, что в эти периоды значительно возрастает активность процессов энерго- и массообмена в оболочках Земли, в том числе в ее атмосфере. В это время на выпадение атмосферных аэрозолей могут оказывать дополнительное влияние космические лучи, максимальная активность которых проявляется в минимуме солнечной активности [20].

Под влиянием космических лучей усиливается ионизация тропосферы, электромагнитные процессы в ней достигают максимума, что и приводит к увеличению аэрозолеобразования. По-видимому, эти процессы происходят при активном участии ферро- и парамагнитных элементов и их соединений, что косвенным образом подтверждается необычно высоким уровнем флуктуации железа в талой воде ледника Актру.

Наличие подобного влияния, возможно, подтверждается нашими данными по достоверности

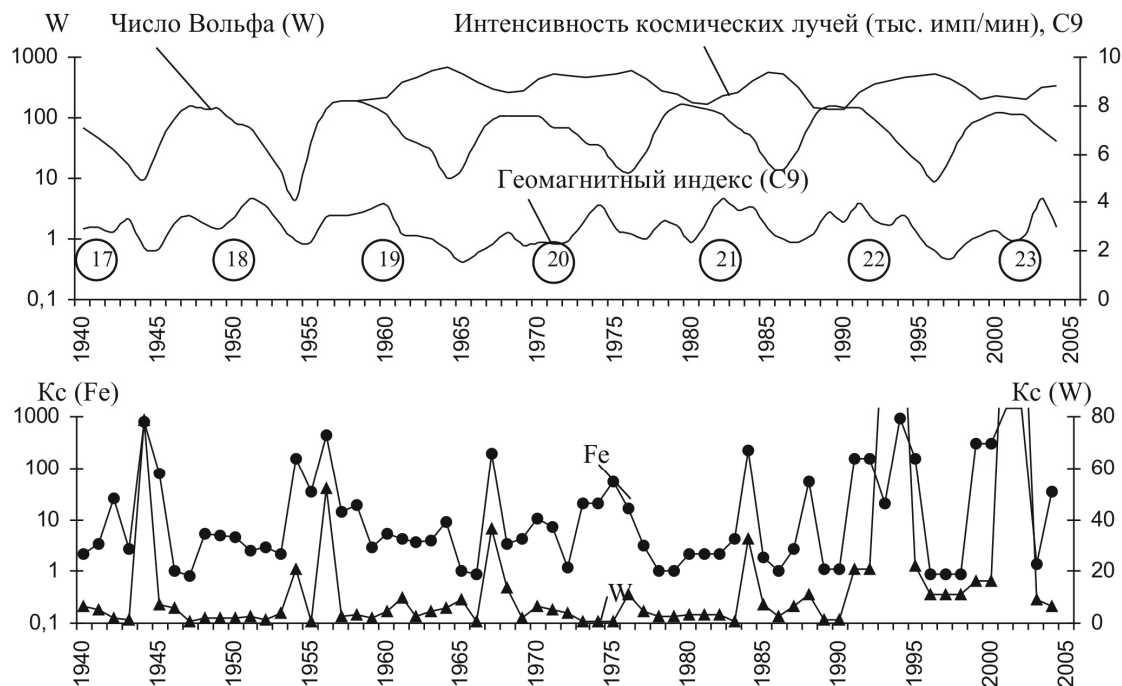


Рис. 3. Связь распределения микроэлементов в талой воде с гелиофизическими показателями

прямых корреляционных связей между содержанием ряда изученных макро- и микроэлементов (Na, Mg, Al, Ca, Ti, Cr, Sr и др.) и интенсивностью космического излучения в изученный период (рис. 3).

В заключение краткой характеристики особенностей распределения химических элементов в талой воде ледника Актру отметим существование ряда ясно выраженных возрастных рубежей радикального изменения тенденций их поведения. В частности, на рубеже 1944–1945 гг. происходит смена характера распределения 51 % изученных элементов, в 1954 г. – 33 % элементов, в 1972 г. – 41 %, в 1983–1984 гг. – 43 %, 1993 г. – 30 % элементов.

Поскольку временные интервалы между этими рубежами составляют в среднем 9–11 лет, можно, в качестве рабочей гипотезы, предполагать, что они также обусловлены циклами солнечной активности.

Вышеотмеченное anomalно прогрессирующее в последние десятилетия (22 и 23 солнечных цикла) увеличение уровня присутствия в ледниковой воде большинства изученных химических элементов могут находить удовлетворительное объяснение, с точки зрения А.Н. Дмитриева [20] о «сломе климатической машины» на новейшем этапе развития Земли.

Выводы

1. Ледник Актру, как и вся зона современного оледенения Горного Алтая, находится под влияни-

ем интенсивных трансграничных глобальных и региональных переносов пылеаэрозолей с территории Средней Азии, Казахстана и юга Западной Сибири.

2. Химические элементы поступает в ледниковые образования с атмосферными осадками и при сухих выпадениях из радиоактивных следов, при пыльных бурях, промышленных выбросах и пр.
3. Основная часть поллютантов в фильтрате и талой воде ледника Актру представлена неорганической пылью, тяжелыми металлами, реже техногенными радионуклидами.
4. Уровни присутствия и особенности распределения поллютантов в талой воде ледника Актру указывают на разные источники, исходные концентрации и периоды их поступления.
5. Масштабы привноса техногенной ассоциации элементов, в частности, тяжелых металлов значительно превосходят их поступление с природными пылеаэрозольными выбросами.
6. В распределении многих химических элементов проявлен периодический характер, возможно, сопряженный с циклами солнечной активности. В последние два-три десятилетия эта закономерность, по-видимому, нарушена и наблюдается anomalное увеличение пылеаэрозольных выпадений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Murozumi M., Chow T.J., Patterson C.C. Chemical concentrations of pollutant lead aerosols, terrestrial dusts and sea salts in Greenland and Antarctic snow strata // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1969. – V. 33. – P. 1247–1294.
2. Ng M., Patterson C.C. Natural concentrations of lead in ancient Arctic and Antarctic ice // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1981. – V. 45. – P. 2109–2121.
3. Boutron C., Lorius C. Trace metals in Antarctic snows since 1914 // *Nature Lond.* – 1979. – V. 277. – P. 551–554.
4. Boutron C. Respective influence of global pollution and volcanic eruptions on past variations of the trace metals content of Antarctic snows since 1880s // *J. Geophys. Res.* – 1980. – V. 85. – P. 7427–7432.
5. Matsumoto A., Hinkley T.K. Trace metal suites in Antarctic pre-industrial ice are consistent with emissions from quiescent degassing of volcanoes worldwide // *Earth and Planetary Science Letters.* – 2001. – V. 186. – P. 33–43.
6. Hong S. Changes in natural lead, copper, zinc and cadmium concentrations in central Greenland ice from 8250 to 149.100 years ago: their association with climatic and resultant variations of dominant source contributions // *Earth and Planetary Science Letters.* – 1996. – V. 143. – P. 233–244.
7. Zoller W. H., Gladney E.S., Duce R.A. Atmospheric concentration and sources of trace metals at the South Pole // *Science.* – 1974. – V. 183. – P. 193–200.
8. Duce R.A., Hoffman G.L., Zoller W.H. Atmospheric trace metals at remote northern and southern hemisphere sites: pollution and natural? // *Science.* – 1975. – V. 187. – P. 59–61.
9. Rahn K.A. The chemical composition of the atmospheric aerosol // Technical report. – Kingston: University of Rhode Island, 1976. – 43 p.
10. Виленский В.Д., Миклишанский А.З. Химический состав снежного покрова Восточной Антарктиды // *Геохимия.* – 1976. – № 11. – С. 1683–1690.
11. Boutron C. Atmospheric trace metals in the snow layers deposited at the South Pole from 1928 to 1977 // *Atmospheric environment.* – 1982. – V. 16. – № 10. – P. 2451–2459.
12. Тронов М.В. Современное оледенения Алтая. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1948. – 320 с.
13. Ревякин В.С., Галахов В.П., Голешихин В.П. Горноледниковые бассейны Алтая. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1979. – 302 с.
14. Aizen V.B. Stable-isotope series and precipitation origin from firn-core and snow samples, Altai glaciers, Siberia // *J. of Glaciology.* – 2005. – V. 175. – № 51. – P. 545–564.
15. Zuzaan P., Shagijamba D. Results of radiation level study in some territory of Mongolia // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. II Междунар. конфер. – Томск, 2004. – С. 763–765.
16. ГОСТ 17.1.5.05-85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков.
17. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник в 6 томах / Под ред. Э.К. Буренкова. – М.: Экология. – 1994. – Т. 1; 1997. – Т. 6.
18. Лаврухин Е.Ю. Способ организации экологического мониторинга и контроля трансграничного переноса поллютантов с помощью Интернет-технологий // Наш общий дом: Матер. Междунар. конфер. – Барнаул, 2000. – С. 42–44.
19. Рихванов Л.П., Робертус Ю.В., Таловская А.В., Шатилов А.Ю. Предварительные данные о геохимических особенностях ледниковых образований (на примере ледника Большой Актру в Горном Алтае) // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Матер. IV Междунар. научн.-практ. конфер. – Семипалатинск, 2006. – Т. 1. – С. 388–395.
20. Дмитриев А.Н. Природные электромагнитные процессы на Земле. – Горно-Алтайск: РИО «Универ-Принт», 1995. – 80 с.

Поступила 27.12.2007 г.

Возвращена на доработку 20.01.2008 г.

Поступила повторно 14.05.2008 г.