НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
КРИОСФЕРА ЗЕМЛИ

Криосфера Земли, 2012, т. XVI, № 1, с. 71–81 http://www.izdatgeo.ru

ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КРИОЛИТОЗОНЫ

УДК 550.46 (571.53)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕГОВЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

Д.В. Московченко, А.Г. Бабушкин*

Институт проблем освоения Севера СО РАН, 625003, Тюмень, а/я 2774, Россия; land@ipdn.ru
** Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230, Россия; ab@tmnsc.ru*

Для оценки загрязнения атмосферы объектами нефтедобывающей отрасли проанализирован химический состав снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа. Снеговые воды отличаются малой минерализацией, имеют слабокислую или нейтральную реакцию и содержат незначительное количество твердых примесей. Содержание нитратного азота на участках нефтедобычи превышает фоновые показатели в 2,8–3 раза. Наибольшее влияние на содержание нефтяных углеводородов в снеговых водах оказывают факелы сжигания попутного газа, где концентрации возрастают вдвое. Техногенное влияние также проявляется в увеличении содержания ряда тяжелых металлов – никеля, хрома, цинка, ртути.

Западная Сибирь, снеговой покров, нефтедобыча, загрязнение, тяжелые металлы

PECULIARITIES OF FORMATION OF CHEMICAL COMPOSITION OF SNOW WATERS (ON EXAMPLE OF KHANTY-MANSI AUTONOMOUS DISTRICT)

D.V. Moskovchenko, A.G. Babushkin*

Institute of Northern Development, SB RAS, 625003, Tyumen, P/O box 2774, Russia; land@ipdn.ru
**Earth Cryosphere Institute, SB RAS, 625000, Tyumen, P/O box 1230, Russia; ab@tmnsc.ru*

Chemical composition of snow water has been analyzed to determine the level of atmospheric pollution caused by oil development on the example of Khanty-Mansi autonomous district. Snow waters have low salinity, have a slightly acidic or neutral reaction, and contain a small amount of solids. The content of nitrate nitrogen in the areas of oil production exceeds background rates by 2.8–3 times. An increase of petroleum hydrocarbons by 2 times has been found in the areas that are susceptible to flaring of associated gas. The technogenic influence of oil exploration is also evident in the increasing content of heavy metals – nickel, chromium, zinc, mercury.

West Siberia, snow cover, oil development, pollution, heavy metals

ВВЕДЕНИЕ

Обобщение данных о среднем составе атмосферных осадков на территории бассейна средней Оби свидетельствует, что в снеговых водах суммарное содержание ионов приблизительно вдвое превышает их содержание в дождевых водах [*Савичев, 2005*]. Способность снега к накоплению разнообразных веществ делает его одним из основных объектов при изучении загрязнения атмосферы. На территории Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО), где длительность периода с устойчивым снежным покровом составляет 180–200 дней [*Атлас..., 1971*], актуальность анализа химических показателей снеговых вод несомненна. Расположенные на территории округа многочисленные месторождения углеводородного сырья являются источниками поступления в атмосферу разнообразных загрязнителей – тяжелых металлов, окислов серы и азота, углеводородов [*Полищук, Токарева, 2000; Рапута и др., 2000а,б; Дорожукова, 2004*]. Согласно данным проектной документации, при бурении и испытании одной разведочной скважины за год в атмосферу выбрасывается 11,4 т диоксида азота, 9,6 т оксида углерода, 3,6 т диоксида серы, 4 т нефтепродуктов, 1,8 т оксида азота и ряд других веществ, в том числе веществ 1-го класса опасности – бенз(а)пирена, соединений свинца, формальдегида. Значительный вклад в загрязнение атмосферы вносят сжигание попутного нефтяного газа, воздействие автотранспорта, испарение из нефтяных разливов. Влияние загрязнения не ограничивается территорией нефтепромыслов, а распространяется на со-

© Д.В. Московченко, А.Г. Бабушкин, 2012

предельные участки. Исследование атмосферы г. Нижневартовска, удаленного от ближайших месторождений более чем на 10 км, свидетельствует о сильном загрязнении выбросами факелов сжигания попутного газа [*Антонович и др., 2000*].

Суммарная масса загрязняющих веществ, ежегодно поступающих в атмосферу ХМАО от стационарных источников, достигла приблизительно 2,2 млн т [*Природопользование... www.admhmao.ru*]. Ранее отмечалось, что рост выбросов загрязнителей достигает 30 % в год [*Информационный бюллетень, 2003*]. Интенсивное загрязнение атмосферного воздуха несет серьезную угрозу для биоты, приводит к трансформации структуры биоценозов [*Гашев и др., 1994; Соромотин, 2007*].

Помимо локальных источников влияние на уровень загрязнения атмосферы в округе оказывает также трансграничный перенос воздушных масс. Содержание тяжелых металлов в атмосфере фоновых районов существенно зависит от дальнего переноса загрязняющих веществ в составе мелкодисперсой фракции аэрозольных частиц [*Израэль, 1984*]. Соотношение между влиянием на загрязнение атмосферы Западной Сибири локальных источников и дальнего переноса из сопредельных промышленных регионов до настоящего времени мало изучено. Слабо исследованы особенности выпадения тяжелых металлов. Вследствие этого в обобщающих отчетах международной программы мониторинга в Арктике [*AMAP, 2005*] север Западной Сибири фактически остается "белым пятном".

В настоящее время законодательно утверждено положение, согласно которому недропользователи обязаны создавать системы регулярных наблюдений за состоянием компонентов природной среды (атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод). Площадная оценка атмосферного потока загрязняющих веществ проводится посредством снеговой съемки территорий лицензионных участков нефтедобычи [*Методические рекомендации..., 2004*]. Вместе с тем анализ экологической ситуации как на отдельных месторождениях, так и в регионе в целом осложняется из-за нехватки данных об основных свойствах объекта мониторинга. В настоящее время отсутствуют работы, комплексно характеризующие региональные геохимические свойства атмосферных осадков, поступающих в холодный период года. Для разрешения сложившейся проблемы авторами было проведено обобщение данных, накопленных в ходе мониторинговых работ в Ханты-Мансийском округе и изучены закономерности формирования химического состава с учетом природных и антропогенных факторов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ химического состава снеговых вод ХМАО проводится по данным, полученным в ходе выполнения программ мониторинга как на месторождениях углеводородов, так и на фоновых участках. Период наблюдений охватывает 2005–2008 гг., рассматриваемые месторождения представлены на рис. 1.

Отбор проб осуществлялся в соответствии с методиками проведения мониторинговых работ на месторождениях ХМАО [*Методические рекомендации..., 2004*], основанными на общепринятых принципах [*Василенко, 1985; ГОСТ 17.1.5.05-85, 1985*]. Химические анализы выполнены в аккредитованных химических лабораториях (Филиал ФГУ "ЦЛАТИ по УрФО" по ХМАО, лаборатория экологических исследований ТюмГУ, аналитический центр ЮГУ, аналитическая лаборатория ООО "Западно-Сибирская научно-исследовательская инженерно-экологическая академия"). Для определения содержания хлоридов и сульфатов использована ионная хроматография либо турбодиметрический метод. Концентрация тяжелых металлов (Ni, Cr, Cu) определялась методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, марганца (Mn) и железа (Fe) – фотометрическим или методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, концентрация нефтяных углеводородов (НУВ) – методом инфракрасной спектрофотометрии либо флюорометрическим методом на анализаторе жидкости "Флюорат-02". При анализе соединений азота использованы методы фотометрии, ионной хроматографии, потенциометрии с ионоселективным электродом. Величина pH определена потенциометрически, взвешенные вещества – гравиметрическим либо фотометрическим методом. Всего обработаны результаты более 2,5 тыс. определений. При анализе учитывались географическое положение точки опробования, тип промышленного объекта (разведочные скважины, добывающие кусты скважин, факелы сжигания некондиционных газовых смесей, площадки складирования снега с территории населенных пунктов, пригородные зоны) и расстояние от источника эмиссий. Для оценки направления движения ветра в рассматриваемый период использованы архивные данные наблюдений на метеостанциях Ханты-Мансийска и Нижневартовска [*Дневник... http://diary.gismeteo.ru*]. Статистическая обработка результатов анализов включала вычисление среднего значения (M), медианы (Me), пределов варьирования (min–max), квартилей (Q1–Q3). Для оценки интенсивности техногенеза использованы общепринятые показатели [*Геохимия..., 1990*]: коэффициент концентрации (K_c), равный отношению среднего содержания вещест-

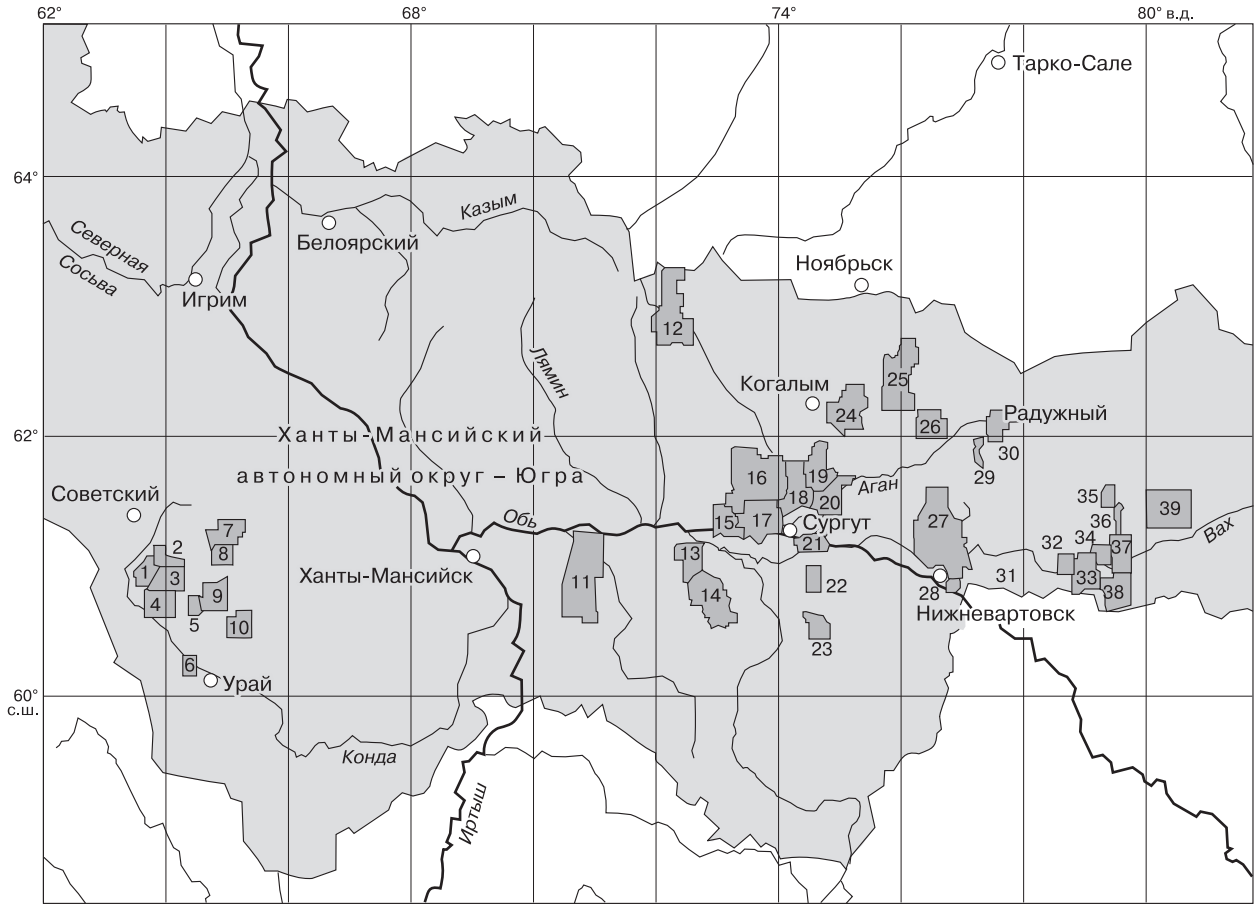

Рис. 1. Карта исследуемого района.

Месторождения: 1 – Тальниковое, 2 – Северо-Даниловское, 3 – Даниловское, 4 – Умытьинское, 5 – Славинское, 6 – Мулымьинское, 7 – Ловинское, 8 – Лазаревское, 9 – Убинское, 10 – Толумское, 11 – Приразломное, 12 – Тянское, 13 – Усть-Балыкское, 14 – Мамонтовское, 15 – Западно-Сургутское, 16 – Федоровское, 17 – Восточно-Сургутское, 18 – Родниковое, 19 – Кечимовское, 20 – Нивагальское, 21 – Покамасовское, 22 – Южно-Покамасовское, 23 – Киняминское, 24 – Ватьеганское, 25 – Повховское, 26 – Рославльское, 27 – Самотлорское, 28 – Нижневартовское, 29 – Ван-Еганское, 30 – Варьеганское, 31 – Пылинское, 32 – Аригольское, 33 – Вахское, 34 – Кошильское, 35 – Хохряковское, 36 – Пермяковское, 37 – Кирско-Коттынское, 38 – Люкпайское, 39 – Сабунское.

ва в исследуемом объекте к среднему фоновому содержанию, и суммарный показатель загрязнения $Z_c = \sum_{i=1}^{n} K_c - (n-1)$, где n – число определяемых компонентов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно данным метеонаблюдений, формирование снежного покрова в центральной части ХМАО в 2005–2008 гг. происходило в первую декаду ноября, период снеготаяния начинался с переходом температуры воздуха в положительный диапазон в последнюю декаду марта. В период устойчивого снежного покрова преобладали ветра южного, юго-западного и западного направлений.

Статистические показатели, обобщающие результаты исследования химического состава снеговых вод, приведены в табл. 1. Данные по участкам с различным типом техногенного воздействия представлены в табл. 2.

В тундровой и таежной зонах Сибири минерализация атмосферных осадков составляет 10–15 мг/л [*Селезнева, Дроздова, 1966; Корзун, 1989*]. На территории Тюменской области вне зон техногенного влияния минерализация снеговых вод изменяется от 10 до 30 мг/л [*Московченко, 1998; Дорожукова, 2004*]. Как свидетельствуют результаты проведенных исследований, на территории ХМАО минерализация снеговых вод в подавляющем большинстве случаев близка к фоновому уровню и не превышает 50 мг/л, т. е. воды являются ультрапресными. Единичные случаи возрастания ми-

Таблица 1. **Статистические показатели состава снеговых вод на территории ХМАО**

Показатель	pH	Сульфаты	Хлориды	Взвешенные вещества	Нитраты	Аммоний	НУВ	Фенолы	Fe	Mn	Cu	Ni	Zn	Cr	Hg
		мг/л						мкг/л							
Среднее значение (M)	5,4	1,5	3,4	11,7	1,3	0,34	0,12	1,2	110	10,4	4,7	4,7	37	7,0	0,036
Пределы варьирования (min–max)	3,3–9,2	<0,5–20,5	0,1–526	0,2–397	0,05–1,1	0,016–2,73	0,005–10,2	<0,5–27	5–5900	0,5–220	0,05–78	0,2–151	1–430	0,2–240	0,001–1,76
Квартили (Q1–Q3)	4,7–5,9	0,5–1,6	0,8–3,1	2,0–16,3	0,9–1,6	0,13–0,43	0,023–0,08	0,5–1,3	40–1000	5,0–10,5	1,4–4,0	1,0–5,0	10–27	1,0–10,0	0,005–0,03
Медиана (Me)	5,3	1,0	1,4	4,0	1,25	0,23	0,04	1,0	56	5,0	2,0	5,0	15,0	5,0	0,01
Число определяемых компонентов	1522	1653	1520	340	1474	1454	1663	1527	1613	1510	80	1432	1608	1417	1120

Таблица 2. **Концентрация химических компонентов в снеговых водах на участках с различным типом техногенного воздействия**

Участок техногенного воздействия	Показатель	pH	Сульфаты	Хлориды	Взвешенные вещества	N нитрат.	N аммон.	НУВ	Фенолы	Fe	Mn	Cu	Cr	Ni	Zn	Hg	Z_c
			мг/л						мкг/л								
Разведочные буровые	M	5,24	1,6	3,0	8,6	1,28	0,23	0,063	0,9	99	9,6	–	7,7	6,0	23	0,025	2,4
	n	91	94	92	9	89	111	59	57	123	86	–	87	87	87	41	
	K_c	0,9	1,0	1,4	1,0	2,8	1,0	1,3	0,6	1,5	1,5	–	4,5	4,5	1,8	3,5	
Добывающие скважины	M	5,21	1,8	1,9	9,3	1,34	0,27	0,049	0,9	103	9,7	8,4	8,1	4,5	22	0,018	2,9
	n	396	407	400	130	388	451	297	257	425	391	36	368	368	371	182	
	K_c	0,9	1,3	0,9	1,1	3,0	1,2	1,0	0,6	1,6	1,5	7,6	4,1	4,8	1,7	2,5	
Факелы сжигания попутного газа	M	5,4	1,7	5,4	9,1	1,24	0,26	0,095	1,6	110	10,5	–	6,4	4,1	52	0,03	2,5
	n	426	429	432	33	404	512	295	500	484	367	–	385	392	421	168	
	K_c	0,9	1,2	2,5	1,1	2,8	1,1	2,0	1,0	1,7	1,7	–	3,7	3,8	4,0	4,2	
Свалки снега селитебных территорий	M	6,9	3,6	3,4	220,2	0,55	1,1	1,0	4,6	1100	9,7	2,8	4,1	2,4	36	0,053	8,5
	n	27	27	27	11	24	26	29	18	127	23	8	15	23	23	4	
	K_c	1,1	2,4	1,5	26,2	1,2	4,8	20,8	3,0	17,2	1,5	2,5	2,2	2,4	2,8	7,4	
Фоновые участки	M	6,11	1,5	2,2	8,4	0,45	0,23	0,048	1,55	64	6,3	1,1	1,7	1,1	13	0,0072	1,0
	n	81	95	87	56	81	81	61	81	81	61	20	36	61	61	6	
	K_c	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Примечание. M – среднее значение, n – число проанализированных образцов, K_c – коэффициент концентрации, Z_c – суммарный показатель загрязнения.

нерализации до 52–122 мг/л были отмечены на полигонах складирования снега населенных пунктов, а также в районе факела сжигания попутного нефтяного газа Когалымского месторождения. Необходимо отметить, что общая минерализация не входит в число обязательных параметров при анализе состава снеговых вод на месторождениях ХМАО [*Методические рекомендации..., 2004*], поэтому число определений этого показателя невелико (n = 96) и не охватывает в достаточной степени всех природно-техногенных ситуаций. Не обязательно также определение гидрокарбонат-иона и главных катионов, что не позволяет классифицировать воды в соответствии с общепринятыми методиками по соотношению главных ионов. Ранее отмечалось [*Московченко, 1998*], что снеговые воды на территории Тюменской области, за исключением п-ова Ямал, относятся к гидрокарбонатному классу. Содержание хлорид-ионов, как правило, значительно меньше содержания гидрокарбонатов и составляет в таежной зоне от 17 до 30 %-экв. [*Дорожукова, 2004*].

Обязательным на месторождениях ХМАО является определение в пробах снеговых вод сульфатов и хлоридов, учитывая их значение для индикации процессов техногенеза. Техногенные эмиссии серы при сжигании угля, нефти, газа, движении транспорта являются одним из основных видов воздействия человека на ландшафт [*Перельман, 1999*]. Л.Е. Черняевой с соавт. [*1978*] было отмечено двукратное увеличение содержания сульфат-иона в атмосферных осадках на территории Урала при влиянии промышленных источников. Однако на территории ХМАО выпадение сульфатов, как показал проведенный анализ, значительно слабее, и вклад локальных техногенных источников невелик. Концентрация сульфат-иона в снеговых водах изменяется от 0 до 20,5 мг/л, однако в большинстве проб она не превышает 2 мг/л. Среднее значение (по данным более 1800 определений) составило 1,5 мг/л. Сопоставление с сопредельными регионами свидетельствует, что на территории ХМАО концентрация сульфат-иона в талых снеговых водах весьма низкая. Так, на юге Средней Сибири в результате опробования снежного покрова выявлена средняя концентрация SO_4^{2-} в снеговых водах 7,8 мг/л [*Покатилов, 1993*], в Томской области – 8,0 мг/л [*Савичев, 2005*]. Крайне низким содержанием сульфатов отличаются также осадки на территории п-ова Ямал [*Фотиев, 1999*]. В речных водах ХМАО среднее содержание SO_4^{2-} составляет 9 мг/л [*Бабушкин, 2007*], что значительно превышает концентрацию в снеговых водах. Этим объясняется существенное снижение содержания сульфатов в речных водах в период весеннего половодья.

Слабоповышенным (в 1,4 раза) содержанием сульфат-иона относительно фона характеризуются пригородные зоны. Формирование сернистых выпадений на урбанизированных территориях связано с эмиссиями диоксида серы, поступающими при сжигании твердого топлива. Влияние нефтегазодобычи на содержание сульфатов проявляется еще слабее. Несмотря на сведения о наличии окислов серы в выбросах факелов сжигания попутного газа [*Рапута и др., 2000б*] и поступлении их от объектов газового комплекса [*Быстрых и др., 2000*], обработанные материалы свидетельствуют о незначительном изменении содержания SO_4^{2-} в снеговых водах на территории месторождений. Воздействие факелов сжигания попутного газа приводит к возрастанию содержания сульфатов в 1,2 раза по сравнению с фоновыми участками, в районе кустов эксплуатационных скважин – в среднем в 1,3 раза (см. табл. 2). Отдельные случаи увеличения содержания SO_4^{2-} в снеге до уровня 10–15 мг/л были выявлены на Даниловском, Лазаревском, Ловинском месторождениях, расположенных в западной части ХМАО, и Варьеганском месторождении (центральная часть ХМАО).

Проведенные ранее исследования состава попутного нефтяного газа на месторождениях ХМАО имели целью анализ углеводородной составляющей [*Андрейкина, 2005*]. Количественное определение содержания сернистых соединений в нем практически не проводилось. Однако слабое увеличение содержания сульфатов в снеговых водах вокруг факелов сжигания попутного газа дает основание для вывода о малом содержании сернистых соединений. Это соответствует невысокому содержанию серы в добываемой на территории ХМАО нефти. По классификации технических свойств нефти [*ГОСТ Р 51858-2002, 2006*] нефть относится к классу “малосернистой” при массовой доле серы менее 0,6 %. В добываемой на территории округа нефти содержание серы меняется от 0,30 до 0,99 % [*Begak et al., 2001*] и в среднем составляет около 0,57 % [*Siberian Light... http://ru.wikipedia.org/wiki/Siberian_Light*].

Соотношение SO_4^{2-}/Cl^-, по данным проведенного анализа, составило в среднем 0,4 , в то время как в морской воде оно равно 0,14 [*Котляков, 1982*]. Для оценки степени трансформации атмосферных осадков используется коэффициент K, показывающий возрастание отношения SO_4^{2-}/Cl^- в снеговой воде к этому же эталонному отношению в морской воде. Обычно $K > 10$ характеризует достаточно сильную трансформацию состава вод и степень их сульфатизации [*Головина и др., 1998*]. На территории ХМАО коэффициент K = 2,9. Все это свидетельствует о слабом техногенном поступлении соединений серы.

Слабое влияние техногенных источников на содержание сульфат-иона в снеговых водах на месторождениях углеводородного сырья позволяет оценить природные территориальные закономерности выпадения соединений серы. Для этого из обследованных месторождений были выделены три группы, расположенные в западной части округа (Советский и Кондинский районы), в центральной (Сургутский район) и в восточной части (Нижневартовский район). Проведенный анализ показал, что западные районы ХМАО отличаются повышенным содержанием сульфат-иона по сравнению с восточной частью округа, в то время как распределение хлоридов имеет противоположную тенденцию (рис. 2). Исследование состава аэрозолей в Западной Сибири, выполненное в [*Шинкоренко, Смоляков, 2004*], показало, что рост концентрации главных ионов коррелирует с траекториями переноса воздушных масс с южных территорий. В рассматриваемый период на территории ХМАО преобладали ветра южного и юго-западного направлений. Таким образом, на формирование состава снега преобладающее влияние оказывал перенос воздушных масс из районов, подверженных воздействию промышленных объектов Урала и юга Тюменской области. Выполненный анализ подтверждает вывод об увеличении содержания соединений серы в воздухе на нефтегазовых месторождениях Тюменской области при ветрах юго-западного направления [*Panyta и др., 2000а*].

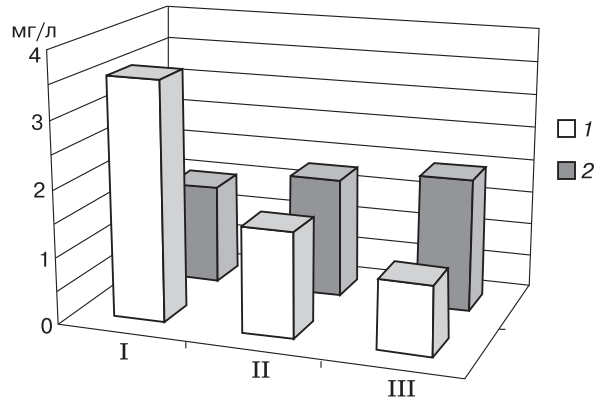

Рис. 2. Содержание ионов SO_4^{2-} и Cl^- в снеговых водах на территории ХМАО.

1 – SO_4^{2-}; *2* – Cl^-; I – месторождения в западной части округа (Даниловское, Лазаревское, Мулымьинское, Северо-Даниловское, Славинское, Тальниковое, Толумское, Убинское, Умытьинское); II – месторождения центральной части округа (Западно-Сургутское, Кечимовское, Мамонтовское, Нивагальское, Покамасовское, Родниковое, Федоровское, Усть-Балыкское, Южно-Покамасовское); III – месторождения восточной части округа (Аригольское, Вахское, Кирско-Коттынское, Люкпайское, Пермяковское, Сабунское, Хохряковское).

Концентрация ионов Cl^- в снеговых водах редко превышает 5 мг/л, среднее арифметическое значение составило 3,4 мг/л. Низкое абсолютное содержание хлоридов и величина SO_4^{2-}/Cl^- свидетельствуют о слабом влиянии морской составляющей на формирование химических особенностей атмосферы на территории ХМАО. Устойчивое воздействие акваторий на химический состав атмосферных осадков распространяется не далее 200–250 км в глубь континента [*Зверев, Рубейкин, 1973*], в то время как территория ХМАО удалена от побережья на 400 км и более. Причем в период исследований ветра северного и северо-западного направлений, переносящие морские воздушные массы, были довольно редки. В пределах ХМАО прослеживается возрастание содержания хлоридов с запада на восток (см. рис. 2). Из сопоставления полученных значений содержания хлоридов с результатами для сопредельных территорий следует, что для Сибири в целом характерно увеличение содержания хлоридов в снеговых водах в юго-восточном направлении. Если на территории ХМАО преобладают концентрации 0,8–3,1 мг/л (см. табл. 1), то в соседней Томской области, по обобщенным данным, среднее содержание ионов Cl в снеговых водах равно 3,2 мг/л [*Савичев, 2005*]. На юге Средней Сибири концентрация Cl еще выше и в среднем составляет 5,7 мг/л [*Покатилов, 1993*].

На участках разведочного бурения содержание хлоридов в снеге в 1,4 раза превышает уровень, типичный для фоновых условий, а на участках, подверженных воздействию факелов сжигания попутного газа, – в 2,5 раза (см. табл. 2). Однако случаи техногенного засоления с концентрацией хлоридов в снеговых водах более 50 мг/л единичны и составляют доли процента от общего числа проанализированных проб. Так, в феврале 2005 г. в пределах Варьеганского и Самотлорского месторождений зафиксированы значения 57 и 54 мг/л соответственно, в феврале 2006 г. на территории Рославльского месторождения концентрация составляла 67 мг/л. Хлориды относятся к наиболее подвижным компонентам миграционных техногенных потоков в районах нефтедобычи [*Солнцева, 1998*]. Техногенное засоление почв и поверхностных вод на нефтепромыслах связано с поступлением подземных вод нижнего гидрогеологического этажа, которые имеют хлоридно-натриевый состав и высокую минерализацию, равную 8000–21 000 мг/л [*Гидрогеология..., 1970*]. Источниками загрязнения минерализованными водами являются буровые площадки, кустовые насосные станции обводнения нефтяных пластов, центральные пункты сбора и подготовки нефти, газа и воды, водоводы [*Захаров и др., 1998*]. В случае поступления минерализованных вод в ланд-

шафт происходит смена кислого глеевого класса водной миграции на хлоридно-натриевый и гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый [*Солнцева, Садов, 1997*]. Вероятно, засоление снеговых вод связано с поступлением хлоридов в нижние горизонты снега, примыкающие к поверхности загрязненной почвы. Миграция химических веществ из почвы в снег осуществляется в период весеннего прогревания за счет испарительно-конденсационного процесса, причем растворимые вещества перемещаются по жидким пленкам, покрывающим дисперсные частицы субстрата и кристаллы льда снежной толщи [*Евсеева, Квасникова, 2006*].

Содержание твердых, нерастворимых частиц в снеге невелико из-за слабой запыленности атмосферы в зимний период и обычно изменяется от 2 до 16 мг/л. В пределах населенных пунктов количество взвесей в талой снеговой воде увеличивается на несколько порядков. Реакция среды снеговых вод изменяется в широких пределах – от кислой до щелочной, наиболее часто встречаются слабокислые воды (pH = 5,0–6,0). Формирование кислых снеговых вод зафиксировано вблизи факелов сжигания попутного газа. Так, формирование вод с pH = 3,3–3,4 было отмечено в марте 2006 г. в районе факельного хозяйства Первомайского месторождения и возле технологических установок отделения нефти и газа от пластовых вод на Вахском и Нижневартовском месторождениях, в марте 2008 г. подобные величины были отмечены в районе факельного хозяйства Повховского месторождения. Сдвиг в щелочной диапазон (pH = = 7,9–9,2) был зафиксирован в ряде проб, отобранных вблизи населенных пунктов и автодорог (автодорога Нижневартовск–Радужный в 2005 г., внутрипромысловая автодорога на Кошильском месторождении в 2007 г., полигоны складирования бытовых отходов в г. Лянтор и пос. Нижнесортымский). В пределах населенных пунктов и на полигонах складирования снега величина pH значительно выше, чем на фоновых участках, и составляет 6,4–9,2 (в среднем 6,9). Сдвиг реакции среды снеговых вод в щелочную сторону ранее был отмечен в Сургуте и Тюмени [*Московченко, 1998*]. Таким образом, изменение кислотности осадков происходит вблизи источников атмосферных эмиссий, причем влияние промышленных объектов на величину pH неоднозначно. Вблизи факельных установок, на которых сжигают попутный нефтяной газ и некондиционные газоконденсатные смеси, происходит подкисление снега вследствие эмиссий окислов азота и серы [*Panyta и др., 2000б; Токарева, 2006*]. Кроме того, возрастание выпадений крупных пылевых частиц на участках антропогенной активности приводит к подщелачиванию.

Важным индикаторным показателем техногенного воздействия является содержание в снеговых водах соединений азота. Содержание иона NO_3^- на фоновых участках в среднем составляет 0,45 мг/л. Это значительно больше, чем на месторождениях п-ова Ямал, где содержание нитратов в снеговых водах от 0,01 до 0,37 мг/л [*Ермилов, 2002*]. В осадках Уральского региона среднее содержание нитратов оценено в 0,7 мг/л [*Черняева, 1978*]. По уровню фоновой концентрации нитратов в атмосферных осадках территория ХМАО занимает промежуточное положение между северными малонаселенными регионами и южными, промышленно развитыми. На нефтепромыслах образование нитратов происходит при сжигании попутного нефтяного газа и взаимодействии образующихся оксидов азота с атмосферными осадками [*Panyta и др., 2000б*]. Концентрация NO_3^- в снеговых водах повышается на участках разведочного бурения и в районе размещения добывающих скважин, где в среднем составляет 1,28 и 1,24 мг/л соответственно (см. табл. 2). Максимальные концентрации нитратов достигают 3–7 мг/л и не имеют четкой пространственной и типологической приуроченности: они выявлены на месторождениях, различающихся по географическому положению, интенсивности техногенеза, типу техногенного воздействия.

В начале 1990-х гг. было выявлено, что концентрация ионов аммония в снеговых водах на территории Тюменской области варьирует в пределах 0,2–1,1 мг/л [*Московченко, 1998*]. Согласно результатам текущих мониторинговых работ, концентрация ионов аммония в снеговых водах ХМАО изменяется более существенно – от 0,02 до 2,7 мг/л. Наиболее типичны величины 0,1–0,4 мг/л. На нефтяных месторождениях содержание аммонийного азота близко к фоновому уровню, однако в населенных пунктах наблюдается значительное увеличение концентраций. Так, на полигонах складирования снега среднее содержание иона NH_4^+ превышает фоновые величины в 4,5 раза (см. табл. 2).

Сопоставление полученных значений с данными по сопредельным регионам затруднено из-за большого разброса оценок регионального фона, выполненных разными авторами. Так, для юга Средней Сибири среднее содержание аммоний-иона в снеге оценено в 0,098 мг/л [*Покатилов, 1993*], в Прибайкалье – 0,7–1,6 мг/л [*Нечаева, Макаров, 1996*], а в центре Восточноевропейской равнины (Верхнеокский бассейн) оно равно 1,33 мг/л [*Глазовский, 1978*].

Одной из наиболее актуальных экологических проблем ХМАО является нефтяное загрязнение. Ежегодно в округе происходит от 1,5 до 3,5 тыс. аварий на объектах добычи и транспортировки нефти [*Соромотин, 2007*]. Известно, что над месторождениями нефти формируются газовые ореолы рассеяния за счет вертикальной миграции

метана и тяжелых углеводородов, которые частично аккумулируются в снеге [*Алексеенко, 1989; Вышемирский, Конторович, 1997*]. Роль снегового покрова как объекта, депонирующего природные и техногенные потоки нефтяных углеводородов, очевидна. Так, изучение состава снега Песчаного нефтяного месторождения в процессе его эксплуатации выявило увеличение среднего содержания НУВ с 0,04 до 0,12 мг/л [*Гертер, 2008*]. Однако следует заметить, что в зимний период содержание НУВ в атмосфере нефтедобывающих территорий снижается за счет "выключения" такого мощного источника загрязнения, как испарение пролитых на рельеф местности нефти и нефтепродуктов [*Антонович и др., 2000*].

Выполненная нами обработка данных мониторинга свидетельствует, что на месторождениях ХМАО содержание НУВ в снеговых водах, как правило, составляет сотые доли миллиграмма на литр и не превышает ПДК для поверхностных вод. Пробы снега с аномально высокими концентрациями НУВ (>1 мг/л) в сумме составляют около 1 % от общего числа проанализированных (рис. 3). Аномально высокое содержание было зафиксировано на различных месторождениях (Самотлорское, Ван-Еганское, Ватлорское, Приразломное) и связано с техногенными разливами.

Наибольшее загрязнение нефтяными углеводородами выявлено в населенных пунктах, где концентрации выше фоновых показателей на один-два порядка и в среднем составляют 1,0 мг/л. Довольно существенное влияние оказывает сжигание нефтяного газа в факелах, которое вызывает двукратное возрастание концентрации НУВ по сравнению с фоновыми участками. Среднее содержание в снеге при воздействии разведочного бурения увеличивается незначительно (в 1,3 раза). На участках размещения эксплуатационных скважин загрязнение снега НУВ не характерно.

Железо, являясь весьма распространенным элементом в земной коре, поступает в атмосферные аэрозоли главным образом из природных источников – горных пород и почв. Тем не менее иногда железо рассматривают в качестве техногенного элемента. Например, при анализе загрязнения снежного покрова нефтяных месторождений Аляски железо отнесено к категории элементов, поступающих в снег при буровых работах [*Snyder-Conn et al., 1997*]. Данные о среднем содержании железа в снеговых водах таежной зоны Западной Сибири весьма разноречивы – от 40 мкг/л [*Макаренкова, 2007*] до 200–330 мкг/л [*Дорожукова, 2004*].

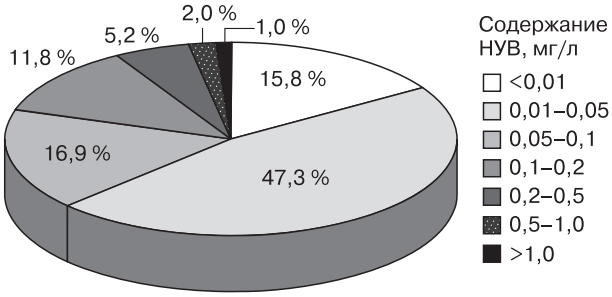

Рис. 3. Процентное распределение проб снеговых вод с различным содержанием нефтяных углеводородов.

По данным проведенного обобщения, среднее содержание железа в снеговых водах на территории ХМАО составляет 110 мкг/л. Фоновая концентрация (64 мг/л) меньше в 1,7 раза и соответствует уровню, типичному для Арктики, который, по данным Е. Снайдер-Конн с соавт. [*Snyder-Conn et al., 1997*], составляет 3–76 мкг/л. Влияние техногенных источников вызывает существенное увеличение содержания Fe в снеговых водах. Максимальные значения наблюдались на полигонах складирования снега, отобранного в пределах населенных пунктов, где концентрация железа превышает фоновые показатели в среднем в 17 раз (см. табл. 2), а абсолютные значения (600–5900 мкг/л) близки к содержанию железа в природных водах. На разных стадиях производственного цикла нефтедобычи содержание Fe в снеговых водах возрастает по сравнению с фоновыми показателями в 1,5–1,7 раза (см. табл. 2). Поступление железа в атмосферу при этом связано с повышенным содержанием пылевых частиц, в которых железо при подкислении переходит в растворимые формы [*Тентюков, 2005*].

Высокое индикаторное значение для оценки техногенеза имеет микроэлементный состав снеговых вод. Особый интерес представляет анализ элементов, которые считаются индикаторами сжигания жидкого топлива (Ni, Zn) и влияния буровых работ (Cr).

Никель является одним из индикаторов нефтяного загрязнения. Атмосферные аэрозоли, образующиеся при сжигании нефти, содержат повышенное количество этого элемента [*Nriagu, Pacyna, 1988*]. Фоновый уровень содержания Ni в атмосферных осадках оценивается в 0,1 мкг/л [*Перельман, 1999*]. Снеговые воды арктических ландшафтов содержат никель в количествах 0,027–0,10 мкг/л [*Mart, 1983*], 0,10–0,44 мкг/л [*Gorzelska, 1989*], 0,058 мкг/л [*Snyder-Conn et al., 1997*]. Однако на Урале содержание Ni в атмосферных осадках значительно выше и изменяется в диапазоне от 0,2 до 0,8 мкг/л [*Черняева, 1978*]. В приполярных районах Средней Сибири содержание никеля в снеговых водах составляет около 0,8 мкг/л [*Добровольский, 1983*], на месторождениях п-ова Ямал – 0,7 мкг/л [*Ермилов, 2002*], в Центральной Якутии – 1,5 мкг/л [*Макаров, 1985*].

Средняя концентрация Ni на фоновых участках ХМАО, согласно данным проведенного обоб-

щения, составила 1,1 мкг/л. Влияние локальных техногенных источников на нефтяных месторождениях приводит к возрастанию содержания Ni в атмосферных осадках. Максимальные концентрации характерны для снега в районе разведочных буровых и кустов эксплуатационных скважин, где фоновые показатели превышены соответственно в 4,5 и 4,8 раза (см. табл. 2). Существенно (в 3,8 раза) повышено содержание никеля вокруг факелов сжигания попутного газа. Спорадически отмечаются случаи превышения фоновых показателей в 10 раз и более. Так, в пределах Усть-Балыкского, Повховского, Ватьеганского месторождений в 2008 г. отмечены концентрации никеля, составляющие 22–36 мкг/л.

Цинк является одним из индикаторных элементов техногенеза и попадает в атмосферу с промышленными выбросами, при коррозии металлических частей инженерных сооружений [*Геохимия..., 1990*]. Отмечалось, что фоновая концентрация цинка в снеговых водах таежных ландшафтов Западной Сибири составляет 5–28 мкг/л [*Дорожукова, 2004*]. В пределах населенных пунктов Тюменской области концентрация цинка достигает 81 мкг/л [*Московченко, 1998*]. Проведенные исследования показали, что на территории ХМАО содержание Zn в снеговых водах изменяется в очень широком диапазоне – от 1 до 430 мкг/л, наиболее часто концентрация составляет 10–27 мкг/л (см. табл. 1). Средняя концентрация на фоновых участках равна 13 мкг/л, на участках техногенеза интенсивность выпадения этого элемента из атмосферы значительно выше, особенно в районе факелов сжигания попутного газа. Максимальное значение (430 мкг/л) было зафиксировано в 300 м от факела технологического пункта подготовки нефти на Ново-Покурском месторождении (юго-восточная часть ХМАО). В среднем содержание цинка на участках, подверженных влиянию факелов сжигания, составляет 52 мкг/л, что превышает фоновые параметры в 4 раза (см. табл. 2). Повышенные значения, достигающие 180–190 мг/л, были также зафиксированы возле дожимных насосных станций Тянского и Пылинского месторождений (Нижневартовский и Сургутский районы соответственно).

Хром в ряде работ рассматривается как индикатор поступления в окружающую среду буровых растворов [*Woodward et al., 1988; Snyder-Conn et al., 1997*]. Отмечалось превышение экологических нормативов этого элемента в нефтезагрязненных почвах [*Hussain, Gondal, 2008*]. Полученные в ходе мониторинговых работ результаты свидетельствуют, что содержание хрома в снеговых водах изменяется в очень широких пределах – от 0,2 до 240 мкг/л, наиболее типичным диапазоном является 1–10 мкг/л. Это соответствует данным С.Л. Дорожуковой [*2004*], согласно которым в различных природных зонах Тюменской области концентрация хрома в снеговых водах составляет 0,2–7,8 мкг/л. На нефтяных месторождениях наблюдается увеличение содержания хрома в 3,8–4,5 раза по сравнению с фоновыми показателями, причем наиболее сильно возрастает содержание Cr на участках разведочного бурения. Максимальные концентрации, превышающие 25 мкг/л, отмечены на различных месторождениях (Восточно-Покурское, Кечимовское, Киняминское, Самотлорское) и не имеют четкой пространственной приуроченности.

В последние десятилетия наблюдается рост содержания ртути в окружающей среде Арктики [*AMAP, 2005*]. Для ртути характерна значительная пространственная и сезонная динамика. В течение зимнего периода содержание Hg в снеге увеличивается от 0,001 до 0,06 мкг/л, в отдельных случаях до 0,18 мкг/л [*Lu et al., 2001*]. На Аляске отмечено увеличение содержания ртути в снеге от <0,01 мкг/л в январе до 0,095 мкг/л в мае [*Lindberg et al., 2002*]. Содержание ртути в снеговых водах полярных и приполярных районов значительно варьирует даже вне зоны антропогенных эмиссий. Так, фоновые показатели содержания этого элемента в снеговых водах оцениваются на уровне 0,0042 мкг/л [*Snyder-Conn et al., 1997*], 0,001–0,09 мкг/л [*Lindberg et al., 2002*], 0,025–0,16 мкг/л [*Lu et al., 2001*], 0,01–0,07 мкг/л [*Дорожукова, 2004*]. На территории ХМАО среднее содержание ртути, согласно проведенному обобщению, составляет 0,036 мкг/л, что в сравнении с приводимыми ранее фоновыми показателями близко к среднему уровню. Наблюдаются значительные различия между фоновыми участками (средняя концентрация 0,0072 мкг/л) и участками техногенеза. Так, в 3,5 раза увеличивается содержание Hg на участках разведочного бурения и в 4,2 раза возле факелов сжигания попутного газа (см. табл. 2). Наиболее сильно загрязнение ртутью выражено на полигонах складирования снега с территорий населенных пунктов, где содержание этого токсичного элемента превышает фоновый уровень в 7,4 раза.

Рассчитанные величины суммарного показателя загрязнения Z_c (см. табл. 2) в среднем изменяются от 2,4 (участки разведочного бурения) до 8,5 (участки складирования снега населенных пунктов). Таким образом, согласно шкале оценки аэрогенных очагов загрязнения [*Геохимия..., 1990*], на территории ХМАО преобладает низкий уровень загрязнения атмосферы.

ВЫВОДЫ

1. Осадки, поступающие в зимний период на территорию ХМАО, как на фоновых участках, так и на месторождениях углеводородного сырья характеризуются малой минерализацией (<50 мг/л), слабокислой либо нейтральной реакцией и содер-

жат незначительное количество твердых примесей (<20 мг/л).

2. Выпадение сульфат-иона зависит преимущественно от процессов межрегионального переноса, влияние локальных источников на месторождениях проявляется слабо. Максимальное содержание SO_4^{2-} зафиксировано в западных районах округа, приближенных к источникам техногенных эмиссий, расположенных на Урале и юге Тюменской области. На содержание хлоридов преобладающее воздействие оказывает терригенная составляющая, наблюдается увеличение концентрации хлоридов в юго-западном направлении. Техногенное засоление почв на нефтепромыслах вызывает спорадические случаи резкого возрастания концентрации хлоридов в снеговых водах.

3. Содержание нитратного азота в снеговых водах на участках нефтепромыслов превышает фоновые показатели в 2,8–3 раза, в то время как содержание аммонийного азота слабо зависит от техногенных факторов.

4. Наибольшее влияние на содержание нефтяных углеводородов в снеговых водах оказывают факелы сжигания попутного газа, где концентрации возрастают в 2 раза.

5. На участках нефтедобычи отчетливо выражен рост концентраций ряда тяжелых металлов. Элементами – индикаторами воздействия факелов сжигания попутного нефтяного газа являются цинк и ртуть, содержание которых увеличивается в среднем в 4 и 4,2 раза соответственно, на участках разведочного бурения возрастает в 4,5 раза содержание хрома и никеля. На территории населенных пунктов наиболее велико загрязнение ртутью и нефтепродуктами.

Литература

Алексеенко В.А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М., Высш. шк., 1989, 304 с.

Андрейкина Л.В. Состав, свойства и переработка попутных газов нефтяных месторождений Западной Сибири: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2005, 21 с.

Антонович В.В., Белан Б.Д., Вавер В.И. и др. Оценка качества воздуха нефтегазодобывающих районов // Исследования эколого-географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивости развития нефтегазовых регионов России: Теория, методы и практика. Нижневартовск, НГПИ, ХМРО РАЕН, ИОА СО РАН, 2000, с. 216–220.

Атлас Тюменской области. Вып. 1. М.; Тюмень, ГУГК, 1971, 216 с.

Бабушкин А.Г. Гидрохимический мониторинг поверхностных вод Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / А.Г. Бабушкин, Д.В. Московченко, С.В. Пикунов. Новосибирск, Наука, 2007, 152 с.

Быстрых В.В., Боев В.М., Зебзеев В.В. и др. Комплексная гигиеническая оценка накопления поллютантов атмосферного воздуха в депонирующих средах в зоне воздействия газового комплекса // Исследования эколого-географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивости развития нефтегазовых регионов России: Теория, методы и практика. Нижневартовск, НГПИ, ХМРО РАЕН, ИОА СО РАН, 2000, с. 259–262.

Василенко В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман. Л., Гидрометеоиздат, 1985, 181 с.

Вышемирский В.С., Конторович А.Э. Оценка масштабов истощения нефтяных залежей во времени // Геология нефти и газа, 1997, № 2, с. 4–8.

Гашев С.Н., Казанцева М.Н., Соромотин А.В., Рыбин А.В. Влияние факелов на биогеоценозы Среднего Приобья // Бюл. МОИП, 1994, т. 99, вып. 1, с. 3–7.

Геохимия окружающей среды / Сает Ю.М., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. М., Недра, 1990, 335 с.

Гертер О.В. Загрязнение снежного покрова территории нефтяного месторождения "Песчаное" // Геоэкологические проблемы Тюменского региона. Тюмень, Вектор Бук, 2008, вып. 3, с. 108–112.

Гидрогеология СССР. Т. 16. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области) / Ред. В.А. Нуднер. М., Недра, 1970, 368 с.

Глазовский Н.Ф. Химический состав снежного покрова некоторых районов Верхнеокского бассейна / Н.Ф. Глазовский, А.И. Злобина, В.П. Учватов. Пущино, НЦБИ АН СССР, 1978, 28 с.

Головина В.В., Еремина А.О., Головин Ю.Г., Щипко М.Л. Химический состав снега вблизи объектов топливно-энергетического комплекса // Вод. ресурсы, 1998, т. 25, № 1, с. 62–71.

ГОСТ 17.1.5.05-85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. М., Госстандарт СССР, 1985.

ГОСТ Р 51858-2002. Нефть. Общие технические условия. М., Госстандарт России, 2006.

Дневник погоды // GISMETEO. Прогноз погоды. (Электрон. ресурс). URL: http://diary.gismeteo.ru/3974 (дата обращ. 29.12.2010).

Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М., Мысль, 1983, 269 с.

Дорожукова С.Л. Эколого-геохимические особенности нефтегазодобывающих районов Тюменской области: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2004, 25 с.

Евсеева Н.С., Квасникова З.Н. Эколого-геохимические аспекты эрозии почв Томь-Яйского междуречья (Западная Сибирь) // География и природ. ресурсы, 2006, № 2, с. 52–57.

Ермилов О.М. Воздействие объектов газовой промышленности на северные экосистемы и экологическая стабильность геотехнических комплексов в криолитозоне / О.М. Ермилов, Г.И. Грива, В.И. Москвин. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2002, 147 с.

Захаров А.И., Гаркунов Г.А., Чижов Б.Е. Виды и масштабы воздействий нефтедобывающей промышленности на лесной фонд Ханты-Мансийского автономного округа // Леса и лесное хозяйство Западной Сибири. Тюмень, Изд-во Том. ун-та, 1998, вып. 6, с. 149–160.

Зверев В.П., Рубейкин В.З. Роль атмосферных осадков в круговороте химических элементов между атмосферой, литосферой и гидросферой // Изв. вузов. Геология и разведка, 1973, № 12, с. 54–60.

Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М., Гидрометеоиздат, 1984, 560 с.

Информационный бюллетень "О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа в 2002 году". Ханты-Мансийск, ГП Полиграфист, 2003, 125 с.

Корзун А.В. Геохимический анализ наземных и подземных льдов Арктики. М., МГУ, 1989, 193 с. Деп. в ВИНИТИ 03.04.86, № 333-В89.

Котляков В.М. Изотопная и геохимическая гляциология / В.М. Котляков, Ф.Г. Гордиенко. Л., Гидрометеоиздат, 1982, 282 с.

Макаренкова И.Ю. Экологическая оценка воздействия нефтегазовой деятельности на водные объекты Среднего Приобья: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ростов н/Д, 2007, 25 с.

Макаров В.Н. Геохимический атлас Якутска. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1985, 64 с.

Методические рекомендации по применению требований к исходной (фоновой) загрязненности компонентов природной среды, проектированию и ведению системы экологического мониторинга в границах лицензионных участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа. Ханты-Мансийск, ГП Полиграфист, 2004, 92 с.

Московченко Д.В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области. Новосибирск, Наука, 1998, 112 с.

Нечаева Е.Г., Макаров С.А. Снежный покров как объект регионального мониторинга среды обитания // География и природ. ресурсы, 1996, № 2, с. 43–48.

Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. М., Астрея-2000, 1999, 768 с.

Покатилов Ю.Г. Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы (экологические проблемы химии биосферы и здоровья населения). Новосибирск, Наука, 1993, 168 с.

Полищук Ю.М., Токарева О.С. Анализ воздействия загрязнений атмосферы на лесоболотные экосистемы в нефтедобывающих районах Сибири // Оптика атмосферы и океана, 2000, т. 13, № 10, с. 950–953.

Природопользование и охрана окружающей среды. Атмосферный воздух // Официальный веб-сайт органов государственной власти Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (электрон. ресурс). URL: www.admhmao.ru/socium/ (дата обращ. 29.12.2010).

Рапута В.Ф., Смоляков Б.С., Куценогий К.П. и др. Анализ временной динамики изменения состава атмосферного аэрозоля на севере Западной Сибири // Сиб. экол. журн., 2000а, № 1, с. 97–102.

Рапута В.Ф., Смоляков Б.С., Куценогий К.П. Оценка содержания сульфатов и нитратов в снегу окрестностей нефтегазового факела // Сиб. экол. журн., 2000б, № 1, с. 103–107.

Савичев О.Г. Условия формирования ионного стока в бассейне Средней Оби // Изв. Том. политехн. ун-та, 2005, т. 308, № 2, с. 54–58.

Селезнева Е.С., Дроздова В.М. О естественном фоне загрязнения атмосферы в составе осадков на территории СССР // Современные проблемы климатологии. Л., Гидрометеоиздат, 1966, с. 292–299.

Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М., Изд-во Моск. ун-та, 1998, 376 с.

Солнцева Н.П., Садов А.П. Влияние сточных вод на почвы в районе Уренгойского газоконденсатного месторождения (Западная Сибирь) // Почвоведение, 1997, № 3, с. 322–329.

Соромотин А.В. Техногенная трансформация природных экосистем таежной зоны в процессе нефтегазодобычи (на примере Тюменской области): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Тюмень, 2007, 47 с.

Тентюков М.П. Геохимический цикл железа в атмосфере над Ямалом и его влияние на содержание соединений железа в тундровых ландшафтах // Метеорология и гидрология, 2005, № 5, с. 37–43.

Токарева О.С. Оценка факельного сжигания попутного газа на нефтедобывающих предприятиях на природную среду таежной зоны Сибири: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2006, 22 с.

Фотиев С.М. Закономерности формирования ионно-солевого состава природных вод Ямала // Криосфера Земли, 1999, т. III, № 2, с. 40–65.

Черняева Л.Е. Химический состав атмосферных выпадений (Урал и Уральский район) / Л.Е. Черняева, А.М. Черняев, А.К. Могиленских. Л., Гидрометеоиздат, 1978, 178 с.

Шинкоренко М.П., Смоляков Б.С. Влияние метеорологической обстановки на ионный состав атмосферных аэрозолей и осадков в Западной Сибири // Химия в интересах устойчивого развития, 2004, т. 12, с. 651–660.

AMAP, 2005. AMAP Assessment 2002: Heavy Metals in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 265 p. (Электрон. ресурс). URL: www.amap.no (дата обращ. 29.12.2010).

Begak O.Yu., Syroezhko A.M. Identification of oil pollution sources by a set of modern instrumental methods // Rus. J. Appl. Chem., 2001, vol. 74, No. 5, p. 784–787.

Gorzelska K. Locally generated atmospheric tracemetal pollution in Canadian Arctic as reflected by chemistry of snowpack samples from the Mackenzie Delta region // Atmospheric Environ., 1989, vol. 23, No. 12, p. 2729–2737.

Hussain T., Gondal M.A. Monitoring and assessment of toxic metals in Gulf War oil spill contaminated soil using laser-induced breakdown spectroscopy // Environ. Monitoring and Assess., 2008, vol. 136, p. 391–399.

Lindberg S.E., Brooks S.B., Lin C.-J. et al. The dynamic oxidation of gaseous mercury in the Arctic troposphere at polar sunrise // Environ. Sci. and Technol., 2002, vol. 36, p. 1245–1257.

Lu J.Y., Schroeder W.H., Barrie L. et al. Magnification of atmospheric mercury deposition to polar regions in springtime: the link to tropospheric ozone depletion chemistry // Geophys. Res. Lett., 2001, vol. 28, p. 3219–3222.

Mart L. Seasonal variation of Cd, Pb, Cu and levels in snow from the Eastern Arctic ocean // Tellus, 1983, vol. 35B, p. 131–141.

Nriagu J.O., Pacyna J.M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace elements // Nature, 1988, vol. 333, p. 134–139.

Siberian Light // Википедия. Свободная энциклопедия (Электрон. ресурс). URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Siberian_Light (дата обращ. 02.12.2010).

Snyder-Conn E., Garbarino J.R., Hoffman G.D., Oelkerss A. Soluble trace elements and total mercury in arctic Alaskan snow // Arctic, 1997, vol. 50, No. 3, p. 201–215.

Woodward D.F., Snyder-Conn E., Riley R.G. et al. Drilling fluids and the Arctic tundra of Alaska. Assessing contamination of wetlands habitat and the toxycity to aquatic invertebrsates and fish // Arch. Environ. Contamin. and Toxicol., 1988, vol. 17, p. 683–697.

Поступила в редакцию
22 июня 2010 г.