

Н.В. Башенхаева, Т.В. Ходжер

## Пространственное распределение органического углерода в снежном покрове Прибайкалья

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

Поступила в редакцию 3.08.2000 г.

Определены концентрации  $C_{\text{орг}}$  и сумма его накопления в снежном покрове Прибайкалья. Выявлены районы с высоким и низким его содержанием как в г. Иркутске, так и на исследованной территории. Установлено, что значительная часть  $C_{\text{орг}}$  поступает со взвешенным веществом.

### Введение

В настоящее время в атмосферных выпадениях определены различные органические соединения: аминокислоты, амины, полисахариды, органические кислоты, сложные эфиры, альдегиды, фенолы, углеводороды (нефтепродукты), полиароматические углеводороды (ПАУ) [1 – 7]. При этом содержание общего органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ ) в атмосферных осадках исследовано недостаточно. Однако такие работы необходимы, чтобы оценить его атмосферную составляющую в формировании и в балансе органического вещества природных вод. На этом основании изучение концентраций  $C_{\text{орг}}$  в снежном покрове районов с разным уровнем антропогенной нагрузки является весьма актуальным.

Первые данные по содержанию органического вещества в атмосферных осадках Прибайкалья были получены К.К. Вогинцевым в 1951–1952 гг. [8]. Им было показано, что величина перманганатной окисляемости (ПО) снежной воды изменялась от 1,80 до 2,52 мгО/л. Дальнейшими исследованиями (1976–1986 гг.) [5, 7] установлено, что среднесезонная величина ПО в снежном покрове по акватории оз. Байкал осталась в тех же пределах. Содержание  $C_{\text{орг}}$ , впервые определенное в снежной воде, колебалось от 1,0 до 13,6 мг/л, отношение ПО к  $C_{\text{орг}}$  – от 0,55 до 0,97.

Цель нашей работы состояла в определении концентраций  $C_{\text{орг}}$  и его пространственных изменений в снежном покрове районов Прибайкалья, в оценке суммарного накопления  $C_{\text{орг}}$  за зимний период и выделении районов с наименьшими значениями  $C_{\text{орг}}$ .

### Материалы и методы

Снег собирали зимой 1996–1999 гг. в центре г. Иркутска и его окрестностях. Отбор проб производили в период максимального снегонакопления (февраль – март) в местах, наиболее удаленных от источников загрязнения. Снег собирали по двум профилям: Баяндай – Иркутск – Слюдянка, Иркутск – Листвянка – вдоль автомагистралей на расстоянии 300–500 м от дороги, а также на территории Байкало-Ленского заповедника и на акватории Южного Байкала (рис. 1). Пробы собирали в полиэтиленовые мешки, измеряя площадь и толщину снежного покрова. Анализы проводились в нефилтрованной и филтрованной снеговой воде

общепринятыми в гидрохимии пресных вод методами [9]. В снежной воде кроме органического углерода определяли величину ПО. Всего проанализировано 120 проб. Погрешность анализа для ПО составила 8%, органического углерода – 5%, нижний предел обнаружения 0,1 мгО/л и 0,01 мг/л соответственно.

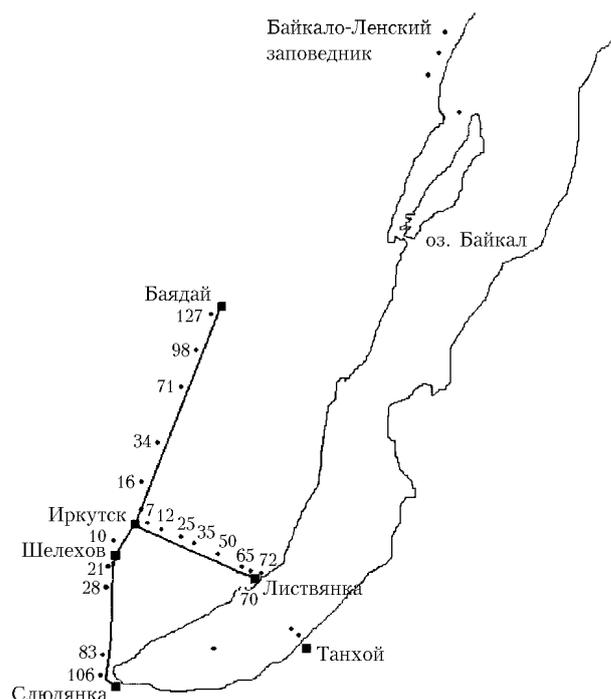


Рис. 1. Схема отбора проб снежного покрова на территории Прибайкалья (расстояние от г. Иркутска в км)

Расчет суммы накопления  $C_{\text{орг}}$  за зиму производился по формуле

$$Q = CV/S,$$

где  $Q$  – количество  $C_{\text{орг}}$  в снежном покрове, мг/м<sup>2</sup>;  $C$  – определенная концентрация  $C_{\text{орг}}$ , мг/л;  $V$  – объем всей отобранной пробы снега, л;  $S$  – площадь отобранной пробы, м<sup>2</sup>.

## Результаты и обсуждение

В г. Иркутске, в зависимости от расположения источников загрязнения, встречаются участки с разным содержанием органического вещества в снежном покрове (табл. 1). Низкие величины валового  $C_{орг}$  (нефильтрованные пробы) и ПО отмечены в снежном покрове удаленных от центра микрорайонов с централизованным отоплением (станции 5, 11, 13). В центре города (станции 1, 2, 3) и районах, где преобладает печное отопление, содержание органического вещества высокое. Основным источником поступления  $C_{орг}$  в снежный покров районов с печным отоплением являются твердые частицы (дым, сажа), образующиеся при неполном сгорании угля. Концентрация взвешенных частиц в снежном покрове этих районов выше по сравнению с содержанием в других районах города. Величина отношения  $C_{орг}/C_{ф}$  составляла 1,7–3,8. В центральной части города и в районах с централизованным отоплением, где поступление  $C_{орг}$  связано в основном с работой автотранспорта и промышленных предприятий, это отношение было ниже – 1,4–1,6.

Отношение кислорода ПО к органическому углероду в нефильтрованной снеговой воде изменяется от 1,3 до 1,9 (в среднем 1,6), в фильтрованной – от 0,5 до 1,2 (в среднем 0,8) (см. табл. 1). Из этого следует, что основное количество

стойкого органического вещества находится в твердой фазе.

Величина накопления валового  $C_{орг}$  в снежном покрове центральной части города изменялась в пределах 109 – 470 мг/м<sup>2</sup>, составляя в среднем 274 мг/м<sup>2</sup> (см. табл. 1). Для районов с печным отоплением она колебалась в пределах 169 – 415 мг/м<sup>2</sup>, а в удаленных от центра районах (станции 11, 13) отмечены самые низкие величины накопления  $C_{орг}$  – 106–77 мг/м<sup>2</sup>. В фильтрованных пробах величина накопления  $C_{орг}$  была на 26–74% ниже.

Исследования ПАУ в снежном покрове, проведенные в этот же период и на тех же профилях [6], показали, что распределение концентрации валового  $C_{орг}$  аналогично распределению концентрации ПАУ. Доля ПАУ в валовом  $C_{орг}$  в г. Иркутске составила около 0,2%. В районе г. Шелехов из-за высоких концентраций ПАУ она возросла до 1,4–2,9%, а в чистых районах колебалась в сотых долях процентов (0,03 – 0,08). Отношение ПО/ $C_{орг}$  в нефильтрованной снеговой воде больше 1, что свидетельствует о преобладании стойких органических веществ, одним из которых являются ПАУ. Несмотря на то что  $C_{орг}$  не входит в число нормируемых показателей загрязнения окружающей среды, тем не менее по его величине можно судить об уровне загрязнения как отдельно, так и в комплексе с другими показателями.

Таблица 1

Содержание органического вещества и уровень его накопления в снежном покрове г. Иркутска

Номер станции	Место отбора проб	ПО, мгО/л	$C_{орг}$ , мг/л	ПО/ $C_{орг}$	$G$ , мг/м <sup>2</sup>	ПО, мгО/л	$C_{орг}$ , мг/л	ПО/ $C_{орг}$	$G$ , мг/м <sup>2</sup>
		Нефильтрованные				Фильтрованные			
1	Парк Парижской коммуны	10,1	11,6	0,9	470	–	–	–	–
2	Сквер у моста через р. Ангара	16,6	15,7	1,0	385	–	–	–	–
3	Остров Юности	8,8	5,7	1,5	109	1,8	3,5	0,5	82
4	Центральный парк	5,3	4,1	1,3	130	–	–	–	–
5	Парк в Лисихе	2,2	3,0	1,3	117	–	–	–	–
6	Пос. им. Горького*	8,2	5,3	1,5	169	1,8	3,2	0,6	102
7	Боково*	7,3	4,5	1,6	138	2,7	2,4	1,0	64
8	Новоленино*	13,6	8,6	1,6	312	4,0	4,7	0,9	171
9	Радищево*	15,6	11,5	1,4	415	3,4	3,0	1,1	102
10	Радужный	12,8	8,4	1,5	254	3,8	5,0	0,8	182
11	Солнечный	4,9	3,7	1,3	106	1,9	2,7	0,7	104
12	Академгородок	7,7	4,8	1,6	135	2,2	2,9	0,8	54
13	Плотина ГЭС	1,6	2,8	0,6	77	–	–	–	–

\* Районы города, где преобладает печное отопление.

Таблица 2

Содержание органического вещества и уровень его накопления в снежном покрове разных районов России

Место отбора проб	ПО, мгО/л	$C_{орг}$ , мг/л	ПО/ $C_{орг}$	$G$ , мг/м <sup>2</sup>	Данные
Байкало-Ленский заповедник	0,5–1,0	0,8–2,5	0,5–1,3	14–28	Наши
Южный Байкал	1,0–1,4	1,5–2,6	0,5–0,7	43–82	«
г. Иркутск	1,6–16,6	2,8–15,7	0,6–1,6	77–470	«
п. Листвянка	1,1–3,8	2,0–3,1	6–1,2	218–249	«
г. Слюдянка	1,9	2,9	0,7	59	«
г. Шелехов	3,1–6,2	3,0–5,5	0,6–1,2	170–215	«
п. Баяндай	2,4	3,0	0,8	73	«
г. Ангарск	–	2,3–6,0	–	–	[9]
г. Усолье-Сибирское	–	2,3–4,8	–	–	[9]
Равнинные части Алтая	0,4–0,6	–	–	–	[11]
Центральный Кавказ	0,2–0,5	–	–	–	[12]

Интересны результаты сравнения концентрации валового  $C_{\text{орг}}$  в снеге гг. Иркутск и Шелехов с данными для гг. Ангарск и Усолье-Сибирское [7]. В снежном покрове г. Шелехов величины  $C_{\text{орг}}$  близки к данным, полученным для гг. Ангарск и Усолье-Сибирское (табл. 2). Из приведенной табл. 2 видно, что в снежном покрове г. Иркутска концентрации  $C_{\text{орг}}$  самые высокие. По этому показателю он выделяется как наиболее загрязненный город. Также известно, что гг. Иркутск, Ангарск, Шелехов, Усолье-Сибирское входят в список городов с высоким уровнем загрязнения атмосферы по другим показателям [10].

Рассматривая изменение содержания  $C_{\text{орг}}$  и величину ПО на профиле Слюдянка – Иркутск – Баяндай, отмечаем, что их концентрации по мере удаления от г. Иркутска уменьшаются (рис. 2). Максимальная величина накопления  $C_{\text{орг}}$  определена в снежном покрове вокруг гг. Иркутск и Шелехов. Далее на профиле концентрации  $C_{\text{орг}}$  и ПО отражают чередование районов с малым загрязнением и районов, имеющих повышенный уровень загрязнения, поступающего из локальных источников. Отношение  $\text{ПО}/C_{\text{орг}}$  колебалось от 0,5 до 1,6. Средние величины концентрации  $C_{\text{орг}}$  и ПО в снежном покрове, а также уровень накопления углерода на профиле от Слюдянки до Иркутска выше данных, полученных от Иркутска до Баяндай. Это объясняется тем, что на первом отрезке к выбросам промышленных объектов г. Иркутска добавляются выбросы г. Шелехова, имеющего крупные промышленные объекты. А на втором – небольшие населенные пункты, вклад которых в загрязнение атмосферы меньше.

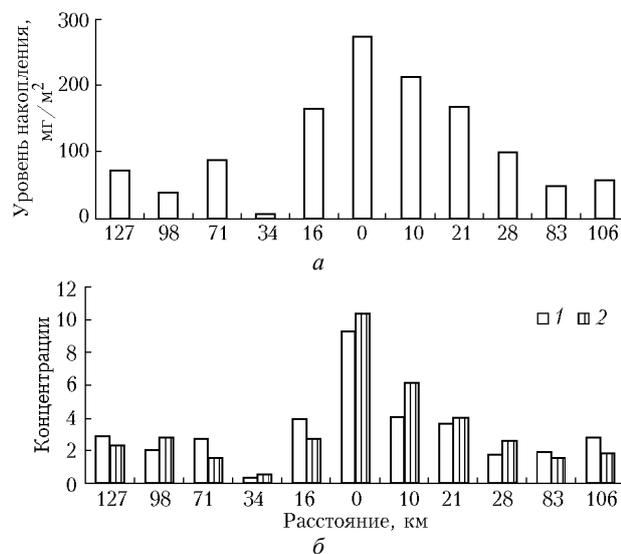


Рис. 2. Уровень накопления  $C_{\text{орг}}$  (а) и содержание (б)  $C_{\text{орг}}$ , мг/л, (1) и перманганатной окисляемости, мгО/л, (2) в точках профиля Баяндай – Иркутск – Слюдянка

Концентрации  $C_{\text{орг}}$  и ПО в снежном покрове вдоль автомагистрали Иркутск – Листвянка заметно уменьшаются от г. Иркутска по направлению к п. Листвянка (рис. 3). Локальное повышение отмечалось вблизи населенных пунктов, расположенных вдоль трассы. Качественный состав органического вещества снежного покрова по автомагистрали также неоднороден: отношение ПО к  $C_{\text{орг}}$  колебалось в пределах 0,8–1,6. Уровень накопления  $C_{\text{орг}}$  на профиле распределялся соответственно его концентрации. Однако в снежном покрове п. Листвянка, где содержание  $C_{\text{орг}}$

и величина ПО ниже, чем в снежном покрове г. Иркутска в 2–4 раза, большая сумма накопления  $C_{\text{орг}}$  объясняется большей величиной влагозапаса (см. рис. 3). В снежном покрове на астрономической станции Института солнечно-земной физики (2 км от п. Листвянка на высоте 700 м над у.м.) (см. рис. 1) концентрация  $C_{\text{орг}}$  и ПО близки к таковым для незагрязненных районов России [11], высокий уровень накопления  $C_{\text{орг}}$  (см. рис. 3) также связан с высокой величиной влагозапаса. Похожая картина распределения органического вещества наблюдалась и по акватории Южного Байкала. Содержание  $C_{\text{орг}}$  колебалось в пределах 1,5–2,6 мг/л, величина ПО – 1,0–1,4 мгО/л, отношение ПО к  $C_{\text{орг}}$  – в пределах 0,5–0,7. Уровень накопления органического углерода в снежном покрове составил 43–82 мг/м². Как видно из результатов, концентрация  $C_{\text{орг}}$  и ПО в снежной воде акватории Южного Байкала остаются в последние десятилетия [5, 7] стабильными.

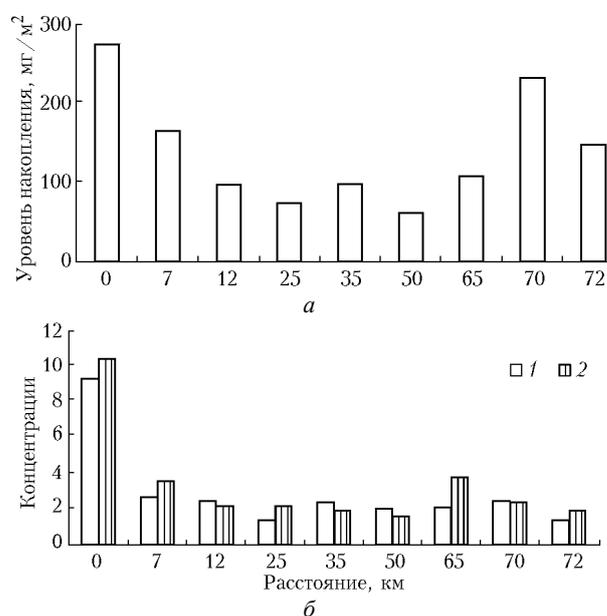


Рис. 3. Уровень накопления  $C_{\text{орг}}$  (а) и содержание (б)  $C_{\text{орг}}$ , мг/л (1) и перманганатной окисляемости, мгО/л (2) в точках профиля Иркутск – Листвянка

Исследования, проведенные на территории Байкало-Ленского заповедника, показали, что содержание органического вещества в снежном покрове здесь в 4–9 раз ниже данных, полученных в г. Иркутске (см. табл. 2). Определено, что содержание органического вещества в нефiltroванных пробах выше на 25% по сравнению с фильтрованными. На территории заповедника имеются участки с разными величинами накопления органического вещества в снеге, и, как правило, чем больше влагозапас, тем больше величина накопления органического вещества, но во всех случаях ниже таковой в г. Иркутске (см. табл. 2).

Для сравнения концентраций органического вещества в снежном покрове акватории Южного Байкала и территории Байкало-Ленского заповедника приводим данные, полученные для чистых районов Алтая и Центрального Кавказа (см. табл. 2). В равнинной части Алтая в период неуставленного снежного покрова, когда в атмосфере еще имелось немало почвенной пыли, ПО снежной воды изменялась от 3,5 до 2,8 мгО/л, а в лесу – от 2,6 до 0,6 мгО/л [11]. В феврале – марте, когда почвенная пыль резко уменьшилась, ПО

снежной воды заметно снизилась. В снежном покрове горных районов Центрального Кавказа ПО еще ниже (см. табл. 2).

Таким образом, величины ПО снежного покрова Байкало-Ленского заповедника близки значениям, полученным для снеговых вод Алтая в период устойчивого снежного покрова.

### Заключение

В снежном покрове г. Иркутска по распределению концентраций  $C_{\text{орг}}$  и сумме его накопления выделены загрязненные и чистые районы. Наибольшие значения характерны для центральной части города, а также для районов, где преобладает печное отопление.

По сравнению с другими городами области в снежном покрове г. Иркутска наблюдались самые высокие концентрации  $C_{\text{орг}}$ .

Наименьшие концентрации органического вещества и уровень его накопления в снежном покрове отмечены на территории Байкало-Ленского заповедника. Полученные данные близки значениям, найденным в чистых районах Алтая.

Результаты анализов нефилтрованной и фильтрованной снежной воды указывают на то, что значительная часть  $C_{\text{орг}}$  поступает со взвешенным веществом.

1. Семенов А.Д., Немцов Л.И., Кишкинова Т.С., Пашанова А.П. // ДАН СССР. 1967. Т. 173. № 5. С. 1185–1187.
2. Матвеев А.А., Баймакова О.И. // Гидрохимические материалы. 1968. Т. 44. С. 5–15.
3. Гончарова И.А., Страдомская А.Г., Хоменко А.Н. // Гидрохимические материалы. 1968. Т. 47. С. 120–142.
4. Матвеев А.А., Брызгалов В.А. // Гидрохимические материалы. 1969. Т. 49. С. 115–124.
5. Ходжер Т.В., Тарасова Е.Н., Андрухова В.Я. // Региональный мониторинг состояния озера Байкал. Л.: Гидрометеониздат, 1987. С. 71–78.
6. Королева Г.П., Горшков А.Г., Виноградова Т.П., Бутаков Е.В., Маринайте И.И., Ходжер Т.В. // Химия в интересах устойчивого развития. 1998. Т. 6. № 4. С. 327–337.
7. Тарасова Е.Н., Мещерякова А.И. Современное состояние гидрохимического режима озера Байкал. Новосибирск: Наука, 1992. 142 с.
8. Вотинцев К.К. // ДАН СССР. 1954. Т. 95. № 5. С. 979–981.
9. Алевкин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеониздат, 1973. 267 с.
10. Шеховцев А.А., Звонов В.И. // Метеорология и гидрология. 1993. № 1. С. 108–114.
11. Воронков П.П. Формирование химического состава атмосферных вод и его влияние на почвенные растворы и склоновые воды // Труды ГГИ. Л.: Гидрометеониздат, 1963. Вып. 102. С. 7–41.
12. Скопинцев Б.А., Бакулина А.Г., Мельникова Н.И. // Гидрохимические материалы. 1970. Т. 56. С. 3–10.

*N.V. Bashenkhaeva, T.V. Khodzher. Spatial distribution of organic carbon in snow cover of Baikal region.*

The concentration and total amount of  $C_{\text{орг}}$  in snow cover of Baikal region are determined. The region with the  $C_{\text{орг}}$  high and low concentrations both in Irkutsk and on the territory of study are identified. It is stated that a significant portion of  $C_{\text{орг}}$  includes a suspended matter.