

УДК 550.462

## Зимний фоновый сток примесей атмосферы на юго-востоке Западной Сибири

Ю.В. Ермолов, Н.Б. Смоленцев\*

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 8/2*

Поступила в редакцию 27.09.2019 г.

Показано, что снег с ледовой поверхности озер, расположенных внутри верховых болот, пригоден для мониторинга стока «дальнего» аэрозоля на земную поверхность. По многолетним сведениям о концентрациях твердых и растворенных примесей в таких пробах снега с Барабинской и Васюганской равнин проведена оценка фона зимнего поступления аэрозольного вещества на юго-восток Западной Сибири. Обнаружено, что за счет дальнего переноса на 1 м<sup>2</sup> поверхности здесь выпадает около 7 мг аэрозоля в сутки, в том числе в виде твердых частиц — 3,1 мг/м<sup>2</sup> в сутки. Зимний сток атмосферных примесей не превышает 10% от годового стока, поэтому существенно не влияет на скорость осадконакопления. В составе твердых примесей стабильно преобладает зольная часть, средняя зольность — 65%. Минерализация талых снеговых вод с поверхности болотных озер близка к глобальному фону минерализации атмосферных осадков.

*Ключевые слова:* снеговой покров, примеси снега, аэрозоль, фоновое поступление, юго-восток Западной Сибири; snow, sedimentation of air impurities, aerosol background, Western Siberia.

### Введение

Концентрация примесей в снеге и рассчитываемая на ее основе пылевая нагрузка — легко исследуемые и надежные показатели аэрозольного загрязнения окружающей среды [1–3]. В регионах с длительным периодом существования снежного покрова они успешно используются для оценки локального загрязнения воздуха, почв и водных объектов выбросами промышленности, энергетики и транспорта. Применяются они и для изучения фонового стока аэрозоля, поступающего на земную поверхность за счет дальнего и сверхдальнего атмосферного переноса. В этом случае исследования обычно ограничены ледовой поверхностью в полярных областях или на высокогорьях, где нет существенного поступления в снег местных грубодисперсных примесей техногенного, почвенно-эрозионного и биогенного происхождения.

Местные примеси — известная проблема при проведении наземных измерений поступления аэрозольных частиц для оценки их дальнего переноса [4]. На наш взгляд, именно вследствие этого в Западной Сибири (ЗС) даже на значительном удалении от источников техногенных выбросов концентрации примесей в снеге [5–7] и оценки зимней фоновой пылевой нагрузки существенно различаются [8–10]. Для минимизации количества местных примесей почвенного и растительного происхождения Е. Snider-Sopp с соавторами [11] осуществляли отбор проб

снега с ледовой поверхности водоемов. В ЗС для этого, по нашему мнению, лучше всего подходит снег с ледовой поверхности озер, находящихся внутри верховых болот. Эти, как правило, ультрапресные водоемы не контактируют с минеральными почвами, окружены сфагновыми торфяниками с олиготрофной низкорослой растительностью, поверхность которых не подвержена ветровой эрозии. Поэтому снег на ледовой поверхности таких озер изолирован от любых локальных источников загрязнения.

В настоящей работе представлены результаты определения концентраций твердых и растворенных примесей в пробах такого снега с Барабинской и Васюганской равнин. На основе этих данных предложена оценка зимней региональной фоновой аэрозольной нагрузки на юго-востоке ЗС.

### Объекты и методы исследований

Отбор проб снега проводился на четырех площадках на озерах, значительно (на сотни километров) удаленных от промышленных центров и друг от друга:

1) пробная площадка «Николаевка» (55,14907° с.ш., 79,04055° в.д.) в лесостепной зоне, в центральной части Барабинской равнины, в 240 км на запад от г. Новосибирска и в 350 км на восток от г. Омска, на озере внутри небольшого верхового болота Николаевский рям (диаметр ряма 1,5 км). Отбор проб снега здесь осуществлялся в течение шести лет с 2012 по 2018 г., за исключением 2013 г.;

2) пробная площадка «Орловка» (57,25272° с.ш., 76,37683° в.д.) на границе подтайги

\* Юрий Викторович Ермолов (ermolov.07@mail.ru); Николай Борисович Смоленцев (nick-sm@yandex.ru).

и южной тайги, в пределах Васюганской равнины, в 470 км на северо-запад от г. Новосибирска и в 310 км на северо-восток от г. Омска, на водоразделе в западной части Большого Васюганского болота. Отбор проб был выполнен дважды (в 2014 и 2016 г.);

3) пробная площадка «Плотниково» (56,84070° с.ш., 83,27940° в.д.) на южной окраине таежной зоны, в 190 км на север от г. Новосибирска и в 110 км на северо-запад от г. Томска, на озере в пределах восточной части Большого Васюганского болота. Отбор проб проводился трижды (в 2013, 2014 и 2016 г.);

4) пробная площадка «Кочки» (54,59109° с.ш., 80,31204° в.д.) в лесостепной зоне, в 160 км на юго-запад от г. Новосибирска и в 440 км на юго-восток от г. Омска, на озере внутри крупного займищного болота. Отбор пробы снега был выполнен в 2017 г.

Общее количество проб снега с четырех площадок – 12 шт.

Пробы снега весом не менее 10 кг отбирались в первой декаде марта с помощью цилиндрического пластикового пробоотборника (диаметр сечения 11 см), взвешивались и помещались в пластиковые емкости, предварительно отмытые бидистиллированной водой. Доставленные в лабораторию пробы растапливались при комнатной температуре, сразу после этого проводилось определение удельной электропроводности и рН снеговой воды. Затем образцы пропускались через предварительно взвешенные мембранные фильтры «Владипор» МФАС-Б-4 (средний диаметр пор 0,2 мкм). Фильтры с примесями высушивались до постоянного веса при температуре 60 °С, взвешивались, озолялись в предварительно взвешенных кварцевых тиглях при температуре 450 °С в течение часа и снова взвешивались. По массе твердых и прокаленных твердых примесей в пробах рассчитывались их концентрации в снеге (мг/кг).

Фильтраты талой воды проб снега делились на две части. Основная часть (10–15 л) упаривалась досуха при температуре 80–90 °С. В ней определялись массовые концентрации плотного и прокаленного плотного остатка согласно ПНД Ф 14.1:2:4.261-2010. Во второй части (50 мл фильтрата) исследовалось содержание главных ионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ). В работе использовалась система капиллярного электрофореза Agilent 7100 с бесконтактным кондуктометрическим детектором TraceDec, методика анализа [12] была доработана для наших объектов исследования. Растворы сравнения и фоновые электролиты готовились из деионизированной воды, для определения анионного состава использовались натриевые соли соответствующих анионов, для определения содержания катионов – хлориды соответствующих катионов.

Региональная фоновая зимняя аэрозольная нагрузка рассчитывалась на основе концентраций твердых и растворенных примесей в снеге по формуле

$$P_n = C \cdot \frac{M}{t}, \quad (1)$$

где  $P_n$  – аэрозольная нагрузка (мг/м<sup>2</sup> за сутки);  $C$  – средняя многолетняя концентрация примесей в снеге;  $M$  – запас влаги в снеге (мм или кг/м<sup>2</sup>);  $t$  – время от начала накопления снега до момента отбора проб (количество дней). За  $t$  был принят срок с 1 ноября по 5 марта (125 дней). Сведения о запасе влаги в снеге взяты из двух источников, поэтому аэрозольная нагрузка рассчитывалась в двух вариантах. В первом для расчета использовалась медиана запаса влаги (97 мм) по результатам собственных снегомерных наблюдений, проведенных в период с 2008 по 2011 г. ( $n = 112$ ). Во втором варианте использовали медиану запаса влаги в снеге (94 мм) по выборке ( $n = 209$ ) данных многолетних снегомерных наблюдений (2012–2018 гг., снегосьемки от 28 февраля, 5 и 10 марта) с 12 метеостанций региона (Татарск, Кыштовка, Северное, Колыванское, Бакчар, Барабинск, Убинское, Чулым, Коченево, Чаны, Кочки, Ордынское). Источник данных – ВНИИГМИ-МЦД (<http://aisori.meteo.ru/ClimateR>).

## Результаты и обсуждение

Анализ данных показал, что концентрации твердых и растворенных примесей в пробах снега с внутриболотных озер варьируются слабо (табл. 1). Их предельные значения в выборке различаются не более чем в 3 раза, а коэффициенты вариации не превышают 25%, что позволило нам предположить нормальное распределение выборочных значений и использовать критерии параметрической статистики (средние арифметические величины, их стандартные ошибки и доверительные интервалы).

### Твердые примеси снега

Концентрации твердых (нерастворимых) примесей изменяются в пределах от 2,1 до 5,8 мг/кг снега (табл. 1), в их составе преобладает минеральная (зольная) часть (59–76% от массы), что указывает на малое участие местного биогенного (болотного) материала. Доля зольной части очень устойчива (рис. 1), в среднем составляет ( $65 \pm 1$ )%, с коэффициентом вариации 6,6%. Учитывая обнаруженную пространственную и временную устойчивость этого параметра в условиях фона, представляется перспективным использовать его наряду с концентрацией примесей в снеге при оценке загрязнения.

Потеря массы твердой примеси после озоления приблизительно соответствует суммарному содержанию биогенных частиц и сажи, среднее значение этого параметра для нашей выборки составило 1,4 мг/кг снега. Как распределено это количество по компонентам различного происхождения, еще предстоит выяснить, но в фоновых условиях обычно преобладает биогенный материал, а содержание сажи не превышает 0,1 мг/кг снега [13, 14].

Существенных различий концентраций твердых примесей между площадками отбора проб нет, что не подтверждает сделанного ранее вывода [6]

Концентрации примесей (мг/кг) и pH талой воды в пробах снега с ледовой поверхности болотных озер Барабинской и Васюганской равнин

Площадка отбора проб	Год отбора пробы	Твердые примеси	Зольная часть твердых примесей	Растворенные примеси (плотный остаток)	Минеральная часть растворенных примесей	Примеси (твердые + растворимые)	Минеральные примеси (твердые + растворимые)	pH
«Орловка»	2014	3,5	2,3	—	—	—	—	4,8
	2016	2,1	1,6	7,0	1,6	9,0	3,2	4,6
«Плотниково»	2013	5,5	3,6	—	—	—	—	4,2
	2014	4,3	2,8	—	—	—	—	5,2
	2016	3,3	2,1	4,4	2,0	7,7	4,1	4,9
«Николаевка»	2012	5,8	3,8	—	—	—	—	4,2
	2014	4,3	2,8	—	—	—	—	4,8
	2015	4,0	2,6	4,0	2,1	8,0	4,7	3,9
	2016	2,9	2,0	—	—	—	—	4,8
	2017	3,7	2,2	4,2	2,2	8,0	4,3	5,1
	2018	4,5	2,9	4,0	1,6	8,5	4,5	4,9
«Кочки»	2017	4,7	2,8	5,6	3,0	10,2	5,8	5,5
$M \pm m$		$4,1 \pm 0,3$	$2,6 \pm 0,2$	$4,9 \pm 0,3$	$2,1 \pm 0,2$	$8,6 \pm 0,4$	$4,4 \pm 0,3$	$4,7 \pm 0,1$
$\sigma$		1,0	0,6	1,1	0,4	1,0	0,8	0,4
$L-U (\alpha = 0,05)$		3,5–4,6	2,3–3,0	4,0–5,7	1,7–2,4	7,9–9,3	3,8–5,0	4,5–5,0
$V, \%$		25	24	22	22	10	17	9

Примечание.  $M \pm m$  – средняя арифметическая  $\pm$  стандартная ошибка средних;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение;  $L, U, \alpha$  – граничные точки доверительного интервала средней арифметической и уровень значимости;  $V$  – коэффициент вариации.

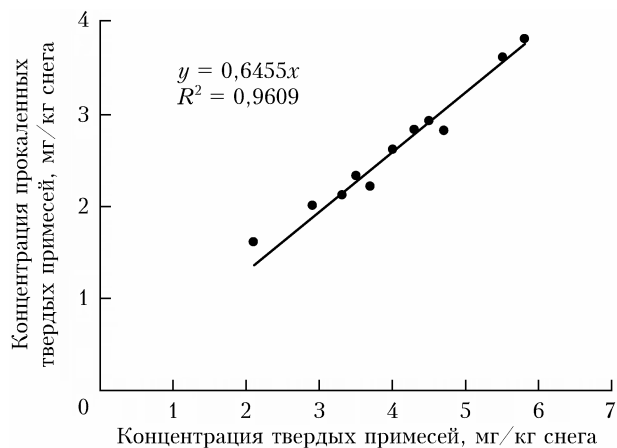


Рис. 1. Корреляция между концентрациями твердых и прокаленных твердых примесей в снеге с ледовой поверхности болотных озер (прямая – соответствующая регрессионная модель)

о сильном снижении фоновых концентраций твердых примесей в снежном покрове с юга на север, от лесостепи к южной тайге. Новые данные указывают на то, что главной причиной обнаруженного ранее широтного тренда были примеси местного происхождения, а поступление «дальнего» аэрозоля в пределах Барабинской и Васюганской равнин приблизительно одинаковое.

В межгодовой изменчивости концентраций между площадками отбора проб наблюдается согласованность: в 2014 г. концентрации везде были выше (в среднем в 1,5 раза), чем в 2016 г. (рис. 2, а).

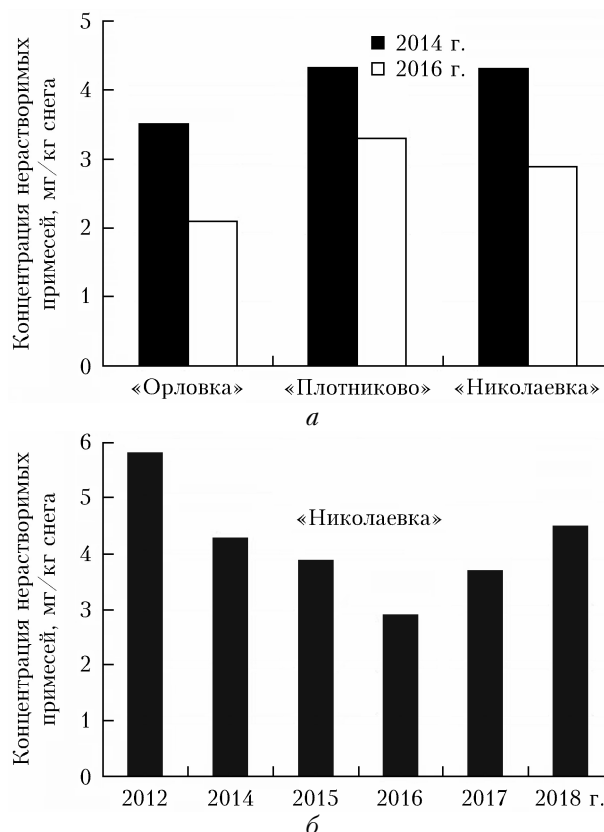


Рис. 2. Межгодовые различия концентраций нерастворимых примесей в пробах снега с разных площадок (а); межгодовая изменчивость концентраций на площадке «Николаевка» на ледовой поверхности болотных озер (б)

Данные по площадке «Николаевка» показали, что здесь в период с 2012 по 2018 г. концентрации твердых примесей в снеге различались не более чем в 2 раза (рис. 2, б). Эти различия в основном объясняются межгодовой изменчивостью запаса влаги в снежном покрове: в малоснежные зимы концентрация нерастворимых примесей в снеге была выше, чем в многоснежные (рис. 3). Не соответствующая упомянутой тенденции аномально низкая концентрация примесей была обнаружена в 2016 г., что заставляет усомниться в точности этой оценки.

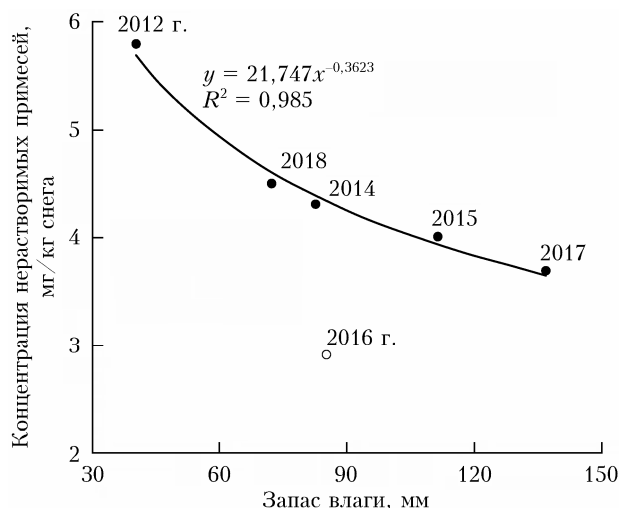


Рис. 3. Концентрации нерастворимых примесей в снеге с площадки «Николаевка» в зависимости от запаса влаги в снежном покрове (средний запас влаги по региону по данным 12 метеостанций)

В целом представленные выше факты свидетельствуют о том, что, при условии изоляции пунктов отбора проб снега от источников локального загрязнения, на юго-востоке Западной Сибири наблюдается пространственная и временная устойчивость концентраций твердых примесей в снежном покрове. Эта устойчивость указывает на преобладание в составе примесей аэрозоля, поступающего из дальних, общих для всего региона источников. А значит, отбор проб с площадок на ледовой поверхности внутриболотных озер позволяет вести мониторинг стока «дальнего» аэрозоля аналогично тому, как он осуществляется в полярных и высокогорных районах.

Средняя концентрация твердых примесей ( $(4,1 \pm 0,3)$  мг/кг снега), которую мы предлагаем в качестве регионального фона для юго-востока ЗС, оказалась близка к оценкам концентраций примесей в снежном покрове таежной и тундровой зон европейской территории России и ЗС: 3,3 мг/кг (средняя арифметическая) [13]; 3,4 мг/кг (средневзвешенная арифметическая) [15]; 4,0 мг/кг (медиана) [16]; 5,2 мг/кг (медиана) [7]; 6,6 мг/кг (средняя арифметическая) [17]. Однако это сходство нельзя принимать за свидетельство одинакового «фона» концентраций примесей в снеге от лесостепи до тундры. Опубликованные оценки, судя по высоким коэффициентам варьирования, рассчитаны по неоднород-

ным выборкам, в которых присутствуют пробы, существенно загрязненные местными примесями, поэтому эти оценки несколько завышены относительно реального фона. Мы полагаем, что с юга на север ЗС (от лесостепи к северной тайге) фон концентраций твердых примесей в снеге снижается в 2–3 раза. Об этом свидетельствуют следующие факты.

1. На юге ЗС концентрация зольной части твердых примесей в пробах снега с ледовой поверхности болотных озер ниже, чем в пробах с поверхности почв, но на севере ЗС этого не наблюдается, там встречаются значительно меньшие концентрации ( $< 1$  мг/кг) в напочвенных пробах снега (рис. 4).

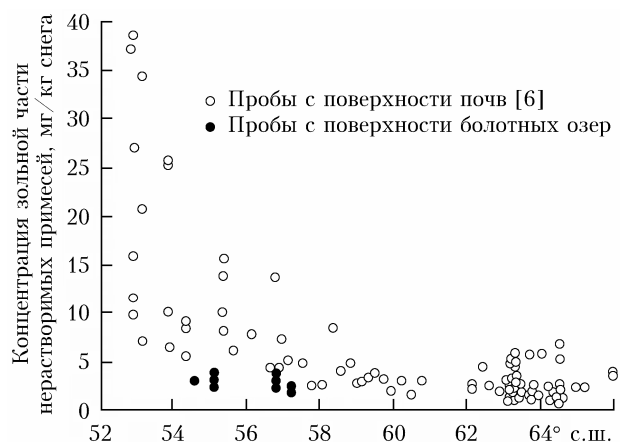


Рис. 4. Концентрации зольной части нерастворимых примесей в снеге Западной Сибири в зависимости от географической широты

2. На юге ЗС региональная фоновая концентрация твердых примесей в среднем в 3,2 раза больше, чем в Арктике (для сравнения использована средневзвешенная концентрация нерастворимых примесей — 1,3 мг/кг, рассчитанная по данным из работ В.П. Шевченко и Н.В. Горюновой [18, 19]). Различие по среднесуточной пылевой нагрузке, учитывая малое количество осадков в Арктике, должно быть еще больше.

3. С юга на север ЗС, по данным спутниковых наблюдений [20], уменьшается аэрозольное замутнение атмосферы; по данным самолетных измерений [21], снижается счетная концентрация твердого аэрозоля в нижних слоях атмосферы, а также, по данным геохимических исследований верховых торфяников [22], уменьшается скорость накопления твердых атмосферных осадков.

Рассчитанная нами по формуле (1) на основе собственных данных о запасах влаги в снежном покрове средняя многолетняя зимняя фоновая пылевая нагрузка в пределах Барабинской и Васюганской равнин составляет  $(3,18 \pm 0,23)$  мг/м<sup>2</sup> в сутки. Использование для расчета снегомерных данных метеостанций дает очень близкий результат —  $(3,08 \pm 0,17)$  мг/м<sup>2</sup> в сутки. Полученные величины совпадают с фоновой пылевой нагрузкой, показанной

В.В. Литая и А.В. Таловской, в пределах лесостепной части Омской обл. (3,1 мг/м<sup>2</sup> в сутки) [10], хотя другие оценки фона на юге ЗС [8, 9] превышают наше значение в 2–3 раза. По нашему мнению, последние завышены вследствие загрязнения снега местными примесями.

Судя по полученной нами величине фоновой пылевой нагрузки, сток твердых аэрозолей в зимний период почти не влияет на скорость современного эолового осадконакопления. За счет зимнего стока на земной поверхности ежегодно накапливается всего 0,00047 мм твердого осадка (расчет проведен исходя из условно принятой плотности сложения твердых примесей 1 кг/дм<sup>3</sup> и продолжительности зимнего периода 150 дней), что составляет только 3–5% от годового осадконакопления [22].

Поступление минеральной (зольной) части нерастворимых примесей из атмосферы, по нашим данным, – (2,02 ± 0,15) мг/м<sup>2</sup> в сутки, 300 мг/м<sup>2</sup> за зимний период или ~10% от годового стока твердого минерального аэрозольного вещества, оцененного по свойствам торфяных отложений Бакчарского болота [23].

### Растворенные примеси снега

Концентрации растворенных примесей (плотные остатки фильтрата снеговой воды) в исследованных пробах находятся в диапазоне 4–7 мг/кг при среднем значении 4,9 мг/кг (см. табл. 1). Это очень низкие величины, близкие к глобальному фону минерализации осадков (1–3 мг/л) [24]. Концентрации минеральной части растворенных примесей (прокаленные плотные остатки фильтрата) – 1,6–3,0 мг/кг снега – совпадают с глобальным фоном минерализации осадков, но необходимо учесть, что в прокаленном плотном остатке не сохраняются нитраты (при температуре прокаливания они разлагаются). Поэтому правильное оценивать минерализацию снеговых вод по сумме прокаленного плотного остатка и нитратов. Среднее значение этой суммы для нашей выборки составило 3,7 мг/кг снега. Оно хорошо согласуется со средней суммой концентраций

ионов (Cl<sup>-</sup> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> + Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup>) 3,3 мг/кг снега, определенных методом капиллярного электрофореза. Таким образом, фон минерализации снеговой воды на юго-востоке ЗС совсем незначительно превышает уровень глобального фона минерализации атмосферных осадков, а возможно – вообще не отличается от него (если предположить некоторое концентрирование растворенных примесей вследствие сублимации влаги из снега).

В растворенных примесях и в их анионной части преобладают нитраты, на них приходится ~30% от массовой концентрации растворенного вещества. Все остальные ионы минеральных солей в сумме составляют ~50%. Еще ~20%, вероятно, представлено органикой (оценено по потере при прокаливании плотного остатка за вычетом из нее нитратов). Среди катионов по количеству лидирует кальций, в среднем на его долю приходится 62% от общей концентрации катионов. Сумма главных катионов (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup>, мг-экв) существенно (в среднем в 2,2 раза) меньше суммы анионов (Cl<sup>-</sup> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Недостаток катионов компенсирован ионами водорода, на что указывают величины рН, существенно сниженные (в среднем на единицу) относительно «нормального» значения рН метеорных вод (5,6–5,8) [25]. При этом на фоне величин рН, характерных для снеговой воды из таежной зоны, наши данные выглядят вполне обычно, а значит, указанный дефицит оснований распространен весьма широко (табл. 2).

Принято считать, что рН < 5,6 свидетельствует о неблагоприятных для окружающей среды «кислотных» осадках, вызванных техногенным загрязнением атмосферы соединениями серы и азота. Вместе с тем вполне очевидно, что при минерализации на уровне глобального фона низкие значения рН (4–5 единиц) безопасны для биоты. Такие осадки обладают нулевой буферностью реакции среды, поэтому не способны вызвать подкисление почв, поверхностных и грунтовых вод.

По большинству исследованных показателей пробы снега с внутриболотных озер лесостепи и подтайги более схожи со снегом таежной зоны, чем

Таблица 2

Средние концентрации главных ионов (мг/кг) и водородный показатель в снеговой воде

Регион (природная зона)	Источник	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	рН
Юго-восток Западной Сибири (лесостепь и подтайга)	Настоящая работа	0,4	1,6	0,8	0,06	0,31	0,12	0,03	4,7
	[25]	1,7	2,0	2,0	0,70	1,60*	1,10	–	5,7
	[6]	–	–	–	–	0,90	0,25	0,23	–
Север Западной Сибири (тайга)	[7]	0,5	–	0,7	0,06	0,30	0,30	0,10	5,0
	[16]	1,4	1,3	1,0	–	–	–	–	–
	[26]	0,5	0,9	1,2	0,31	0,51*	0,44	–	4,6
Восточная Сибирь (тайга)	[27]	0,2	0,6	0,9	0,01	0,93	0,11	0,01	–
Северо-восток европейской территории России (тайга)	[28]	0,1–0,2	0,2–0,3	0,9–1,3	0,05–0,13	0,12–0,21	0,13–0,18	0,02–0,03	4,6–4,8
Канада (зона смешанных лесов)	[29]	0,1	1,8	0,7	< 0,05	0,18	0,07	0,02	4,5

\* Ca + Mg.

снегом с поверхности почв лесостепной зоны (см. табл. 2). Это говорит о почти повсеместном существенном загрязнении снежного покрова в лесостепной зоне примесями местного происхождения. За счет него в напочвенных пробах снега повышены относительно реального фона концентрации кальция, магния, натрия, калия, хлоридов и сульфатов, а реакция среды сдвинута в щелочную сторону.

Рассчитанное по формуле (1) среднее фоновое поступление растворенных примесей атмосферы на юго-востоке ЗС ( $(3,8 \pm 0,2)$  мг/м<sup>2</sup> в сутки) оказалось в 1,2 раза больше, чем среднее поступление твердых примесей. На отдельные ионы приходится (мг/м<sup>2</sup> в сутки): нитраты – 1,2; сульфаты – 0,6; хлориды – 0,30; кальций – 0,24, натрий – 0,09; калий – 0,05; магний – 0,02.

### Заключение

Отбор проб снега с ледовой поверхности озер, расположенных внутри водораздельных верховых болот, позволяет вести мониторинг стока «дальнего» аэрозоля аналогично тому, как он осуществляется в полярных и высокогорных районах.

В зимний период на территорию юго-востока Западной Сибири за счет «дальнего» атмосферного переноса в сутки поступает около 7 мг примесей на 1 м<sup>2</sup>. Эти примеси на 60–70% состоят из минерального (зольного) вещества, и более половины из них находится в растворимых формах.

Зимний сток твердого аэрозоля составляет не более 10% от годового стока, поэтому существенно не влияет на скорость современного осадконакопления.

На хорошо изолированных от локального загрязнения участках лесостепной зоны фон минерализации снеговой воды близок к глобальному фону минерализации атмосферных осадков, а pH находится на уровне 4,5–5 единиц, что соответствует фону pH снеговых вод в таежной зоне.

1. *Василенко В.Н., Назаров И.Н., Фридман Ш.Б.* Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеониздат, 1985. 182 с.
2. *Шевченко В.П.* Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
3. *Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трещилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш.* Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
4. *Osada K., Iida H., Kido M., Matsunaga K., Iwasaka Y.* Mineral dust layers in snow at Mount Tateyama, Central Japan: Formation processes and characteristics // *Tellus B*. 2004. V. 56, N 4. P. 382–392.
5. *Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В.* Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв. Томск: Изд-во Том. политех. ун-та, 2010. 264 с.
6. *Ермолов Ю.В., Махатков И.Д., Худяев С.А.* Фоновые концентрации химических элементов в снежном покрове центрального сектора Западной Сибири // *Оптика атмосфер. и океана*. 2014. Т. 27, № 9. С. 790–800.
7. *Shevchenko V.P., Pokrovsky O.S., Vorobyev S.N., Krickov I.V., Manasypov R.M., Politova N.V., Kopysov S.G., Dara O.M.* Impact of snow deposition on major and trace element concentrations and elementary fluxes in surface waters of Western Siberian Lowland across a 1700 km latitudinal gradient // *Hydrol. Earth Syst. Sci*. 2017. V. 21, N 11. P. 5725–5746.
8. *Шатилов А.Ю.* Вещественный состав и геохимическая характеристика пылевых атмосферных выпадений на территории Обского бассейна: автореф. дис. к.г.-м.н. Томск: Том. политех. ун-т, 2001. 23 с.
9. *Иванов А.О.* Эколого-геохимическое состояние приземного слоя атмосферного воздуха г. Томска и Обь-Томского междуречья в 2006 г. (по итогам снеговой съемки) // *Вестн. Том. гос. ун-та*. 2007. № 298. С. 194–197.
10. *Литау В.В., Таловская А.В., Лончакова А.Д., Третьякова М.И., Михайлова К.Ю.* Уровень пылевого загрязнения атмосферы г. Омска по данным снегогеохимической съемки // *Современные проблемы геохимии: материалы конф. молодых ученых*. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2013. С. 82–84.
11. *Snider-Conn E., Garbarino J.R., Hoffman G.L., Oelkers A.* Soluble trace elements and total mercury in Arctic Alaskan snow // *Arctic*. 1997. V. 50, N 3. P. 201–215.
12. *Mayrhofer K., Zemann A.J., Schnell E., Bonn G.K.* Capillary electrophoresis and contactless conductivity detection of ions in narrow inner diameter capillaries // *Anal. Chem*. 1999. V. 71, N 17. P. 3828–3833.
13. *Шевченко В.П., Калинина О.Ю., Коробов В.Б., Лещев А.В., Сапожников Ф.В., Яковлев А.Е.* Особенности распределения и вещественного состава рассеянного осадочного вещества в снежном покрове водосборного бассейна Белого моря в конце зимнего периода // *Научн. альманах*. 2015. № 12-2(14). С. 507–513.
14. *Виноградова А.А., Веремейчик А.О.* Модельные оценки содержания антропогенной сажи в атмосфере Российской Арктики // *Оптика атмосфер. и океана*. 2013. Т. 26, № 6. С. 443–451.
15. *Гентюков М.П.* Особенности формирования загрязнения снежного покрова: морозное конденсирование техногенных эмиссий (на примере районов нефтедобычи в Большеземельской тундре) // *Криосфера Земли*. 2007. Т. 11, № 4. С. 31–41.
16. *Московченко Д.В., Бабушкин А.Г.* Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа // *Криосфера Земли*. 2012. Т. 16, № 1. С. 71–81.
17. *Ермолов Ю.В., Махатков И.Д., Худяев С.А., Богуславский А.Е.* Фоновые значения некоторых геохимических параметров снега на территории Западной Сибири (от подтайги до лесотундры): сб. научн. трудов // *Биолог. ресурсы и природопользование*. 2008. Вып. 11. С. 288–297.
18. *Шевченко В.П., Лисицин А.П., Штайн Р. и др.* Распределение и состав нерастворимых частиц в снеге Арктики // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2007. № 75. С. 106–118.
19. *Горюнова Н.В., Шевченко В.П.* Новые данные о распределении и вещественном составе нано и микрочастиц в снеге Арктики // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2013. № 4. С. 71–78.
20. *Сакерин С.М., Андреев С.Ю., Бедарева Т.В., Кабанов Д.М., Поддубный В.А., Лужецкая А.П.* Пространственно-временная изменчивость аэрозольной оптической толщи атмосферы на территории Поволжья, Урала и Западной Сибири // *Оптика атмосфер. и океана*. 2012. Т. 25, № 11. С. 958–962.
21. *Белан Б.Д., Зуев В.Е., Панченко М.В.* Основные результаты самолетного зондирования аэрозоля в ИОА

- СО РАН (1981–1991 гг.) // Оптика атмосфер. и океана. 1995. Т. 8, № 1–2. С. 145–155.
22. *Сысо А.И.* Оценка скорости осадконакопления в Западной Сибири в голоцене (по данным изучения верхних торфяников) // Вестн. Том. гос. ун-та. Сер. Биологические науки (биология, почвоведение, лесоведение). 2003. С. 206–211.
  23. *Прейс Ю.И., Бобров В.А., Будашкина В.В., Гавшин В.М.* Оценка потоков минерального вещества по свойствам торфяных отложений Бакчарского болота (южная тайга Западной Сибири) // Изв. Том. политехн. ун-та. 2010. Т. 316, № 1. С. 43–47.
  24. *Свиствова П.Ф.* Антропогенные осадки: происхождение, состав и свойства // Эколог. химия. 2011. Т. 20, № 2. С. 105–113.
  25. *Аэрозоли Сибири* / отв. ред. К.П. Куценогий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 548 с.
  26. *Смоляков Б.С.* Проблема кислотных выпадений на севере Западной Сибири // Сибир. эколог. журн. 2000. № 1. С. 21–30.
  27. *Павлов В.Е., Хвостов И.В., Нецветова О.Г.* Ионный состав атмосферных осадков на юге Восточной Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 2013. Т. 26, № 6. С. 494–499.
  28. *Василевич М.И., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М.* Химический состав снежного покрова на территории таежной зоны Республики Коми // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, № 4. С. 494–506.
  29. *D'Caritat P., Hall G., Gislason S., Belsey W., Braun M., Goloubeva N.I., Olsen H.K., Scheie J.O., Vaive J.E.* Chemical composition of arctic snow: Concentration levels and regional distribution of major elements // Science of the Total Environment. 2005. V. 336, N 1–3. P. 183–199.

*Yu.V. Ermolov, N.B. Smolentsev.* **Winter background aerosol deposition in the south-eastern part of Western Siberia.**

We show that snow from the ice surface of lakes in oligotrophic bogs is suitable for monitoring the deposition of "long-distant" aerosol. Based on the concentration of impurities in snow samples from the plains of Baraba and Vasyugan, we estimated the background of winter deposition of aerosol substances in southeast of Western Siberia. It was found that the deposition of aerosol particles per day is about 7 mg/m<sup>2</sup>, including 3.1 mg/m<sup>2</sup> in the form of solid particles. Winter deposition of particulate matter does not exceed 10% of annual deposition; therefore, it has almost no effect on sedimentation. The mineral substance prevails in solid impurities of snow, the average ash content is 65%. The background mineralization of snow water from the ice surface of oligotrophic bog lakes in the southeast of Western Siberia is close to the global background of precipitation mineralization.