

Оценка влияния метеорологических и орографических условий на аэрозольное загрязнение снежного покрова на юге Томского региона

Б.Д. Белан¹, В.С. Бучельников², В.Ф. Лысова³, Д.В. Симоненков¹,
А.В. Таловская², М.П. Тентюков^{1,3}, Е.Г. Язиков^{2*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

³Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
167005, г. Сыктывкар, ул. Петрозаводская, 12

Поступила в редакцию 22.01.2018 г.

Анализируется динамика послышной изменчивости аэрозольного загрязнения снежного покрова в циркуляционных условиях в зимний период на площадке обсерватории «Фоновая» (Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск) в низовьях р. Томи. Охарактеризован химический состав снежного покрова в пункте наблюдений. Установлено, что в элементном составе аэрозольного вещества, аккумулированного в снежной толще, устойчиво проявляется типоморфная ассоциация элементов-индикаторов, связанных с угледобычей. Геохимически обосновывается вывод о сезонном воздействии на аэрозольное поле обсерватории «Фоновая» предприятий угледобывающего комплекса, находящихся к югу от исследуемой территории. Показано, что выявление удаленных источников аэрозольного загрязнения снежного покрова целесообразно строить на основе морфометрического анализа рельефа территории и ретроспективной оценки временной изменчивости показателей, отражающих влияние метеорологических факторов (соотношения дисперсных фракций приземного аэрозоля, ветрового режима, интенсивности снегопадов), и в контексте особенностей послышного распределения в снежной толще индикаторных групп типоморфных элементов, характеризующих конкретные типы предприятий.

Ключевые слова: ветровой режим, орографические условия, расчлененность рельефа, аэрозольное загрязнение снега, типоморфные микроэлементы, угольные предприятия; wind regime, orographic conditions, relief subdivision, aerosol snow contamination, typomorphic microelements, coal enterprises.

Введение

В настоящее время в большинстве снеговедческих работ снежный покров рассматривается как депонирующая среда, в которой накапливаются и сохраняются вещества, поступающие на поверхность из приземной атмосферы [1–7]. Это обусловлено тем, что развитие производственной деятельности сопровождается появлением новых, неприродных источников тонкодисперсного минерального вещества, которые по активности воздействия на атмосферу сопоставимы с природными. Главным их отличием является постоянный рост интенсивности, сопровождающийся увеличением пыле-аэрозольной массы [8],

объем которой за последние 100 лет в тропосфере возрос почти в 2 раза [9]. При этом, по современным оценкам, доля антропогенных аэрозолей составляет более 10%, а в пределах крупных промышленных агломераций может увеличиваться до 45%. Это может определенным образом влиять на снежный покров. Цель работы – выявить особенности аэрозольного загрязнения снежного покрова в фоновом районе Томь-Обского междуречья на широте г. Томска, 60 км западнее его, в условиях зимнего ветрообразования. Данные исследования продолжают серию оригинальных исследований приземного аэрозоля на экспериментальной площадке обсерватории «Фоновая» [10].

* Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru); Виктор Сергеевич Бучельников (victor.buchelnicov@yandex.ru); Валентина Федоровна Лысова (valentina271162@rambler.ru); Денис Валентинович Симоненков (simon@iao.ru); Анна Валерьевна Таловская (talovskaj@yandex.ru); Михаил Пантелеймонович Тентюков (tentukov@yandex.ru); Егор Григорьевич Язиков (yazikov@tpu.ru).

Материалы и методика исследований

Измерения счетной концентрации частиц аэрозольным спектрометром производились по 15 каналам дисперсности от 0,3 до >20 мкм ежедневно

в течение 10 мин с предварительной продувкой 3 мин. Концентрация приземного аэрозоля измерялась в воздушном потоке, который изокинетично отбирался из аэродинамической воздухозаборной трубы на высоте 4 м. Расход воздушного потока в спектрометре составлял 1,2 л/мин.

Для выявления особенностей распределения аэрозольного загрязнения в снежной толще и вертикальной изменчивости в ней интегральных физико-химических показателей геохимической активности снега (плотности снега и водородного показателя) на снегомерной площадке в обсерватории «Фоновая» был выполнен послыйный отбор проб снега с постоянным шагом опробования, равным 2 см. Пробоотбор осуществляли с помощью специального снегоотборника с прямоугольным сечением конструкции Тентюкова [11]. Результаты опробования и стратиграфическое строение снежной толщи приведены на рис. 1.

Подготовка проб к анализу в день отбора заключалась в их взвешивании на электронных весах и расчете плотности снега (ρ). После снег растапливали при комнатной температуре. В снеговой воде значения водородного показателя определяли потенциометрически. Анализ макро- и микрокомпонентов в снеговой воде проводили атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой (ICP EОС). Все анализы осуществлялись в ООО «Химико-аналитический центр «Плазма»» (г. Томск) по аттестованным методикам с использованием стандартных образцов сравнения и контролировались параллельными определениями элементов.

Анализ распределения аэрозольного вещества в снежном покрове. Для выявления особенностей его послыйного распределения проанализированные элементы были сведены в пять групп типоморфных элементов, каждая из которых образует устойчивую ассоциацию, тесно связанную с техногенными эмиссиями конкретного производства, что позволяет рассматривать ее в качестве индикаторной при выявлении промышленного загрязнения природных депонирующих систем (почвенного, растительного и снежного покровов) [12]. Микроэлементный состав этих групп следующий: 1 – Ba, Na, Si, эти элементы характеризуют нефтедобывающий комплекс; 2 – Y, Zr, Sr, Th, Al, P, V, La данная группа связана с угледобывающим комплексом; 3 – U, Co, Fe, Ca, отмеченная ассоциация отражает влияние горнодобывающей отрасли; 4 – Zn, U, Cs, указанные типоморфные элементы выступают как элементы-индикаторы атмосферных эмиссий предприятий ядерно-топливного цикла; 5 – Na, Ba, Sb, La, U, данная типоморфная ассоциация знаменует собой влияние топливно-энергетического комплекса. Принимается, что совпадение даже небольших пиков элементов одной типоморфной ассоциации может являться отражением реальных процессов в снежной толще, а не ошибкой анализа. На рис. 1 все эти группы показаны по блокам от III до VII соответственно.

Особенности распределения типоморфных элементов в снежном профиле оценивали графически. Ввиду резкого различия содержания элементов в пробе их невозможно изобразить в одном масштабе на

одном графике. Поэтому сравнивали ход кривых вертикальной изменчивости содержания элементов в снежном профиле. Пики на кривых распределения указывают на зоны аккумуляции. Правильность интерпретации коррелирует с совпадением пиков элементов, входящих в одну группу типоморфных элементов. Интерпретацию результатов, характеризующих послыйное распределение типоморфных ассоциаций элементов, осуществляли с учетом стратиграфии снежного покрова. При описании структуры последнего учитывались наличие ветровых уплотнений в снежной толще, следов оттепелей, сублимационных преобразований снежных зерен при перекристаллизации.

Исследования вертикальной расчлененности рельефа юга Томского региона проводились с использованием топографической карты масштаба 1:500 000 с сечением рельефа 50 м (основные горизонталы) и 25 м (дополнительные). Территория была разделена на квадраты с длиной стороны 10 км. Таким образом, площадь квадрата на местности, в которую была включена территория обсерватории «Фоновая», составила 100 км². В каждом квадрате определялись значения максимальной и минимальной абсолютных высотных отметок. Амплитуда абсолютных высот вычислялась как разность между наибольшей и наименьшей абсолютными отметками в пределах квадрата. Значения амплитуд относились к центрам квадратов, между которыми методом интерполяции проводились изолинии. В результате выполненных исследований была составлена карта вертикальной расчлененности рельефа (рис. 2).

На карте проведены изолинии со значениями амплитуд абсолютных высот 20, 40, 60, 80, 100 и 120 м. Считается, что полученная таким образом вершинная поверхность адекватно отражает поверхность неотектонического рельефа [13, 14].

Результаты и их обсуждение

Стратиграфический анализ снежного покрова выполнен на основе разреза, заложенного на открытом участке в обсерватории «Фоновая» (Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск). Он показал следующие особенности строения снежного покрова. Снежная толща представлена тремя основными горизонтами (см. рис. 1, 1). Верхний состоит из слоев мелкозернистого снега. При этом плотность свежеснежного снега составила 0,08, тогда как под ним она возрастает до 0,17 ÷ 0,19 г/см³. Средний образован среднезернистым снегом. Для горизонта характерно наличие инфильтрационного уплотненного слоя снега (0,33 г/см³). Он появился во время декабрьской оттепели. Интервал колебания плотности снежных слоев, расположенных выше и ниже слоя оттепели, составляет 0,21–0,28 г/см³. Следует заметить, что в среднем горизонте морозно-сухой рассычатый снег с глубины 35 см в лотке стал смерзаться в пластину, что, очевидно, связано с ростом увлажнения снежных зерен. Нижний горизонт сложен слоями крупнозернистого разрыхленного снега. В его основании находится глубинная

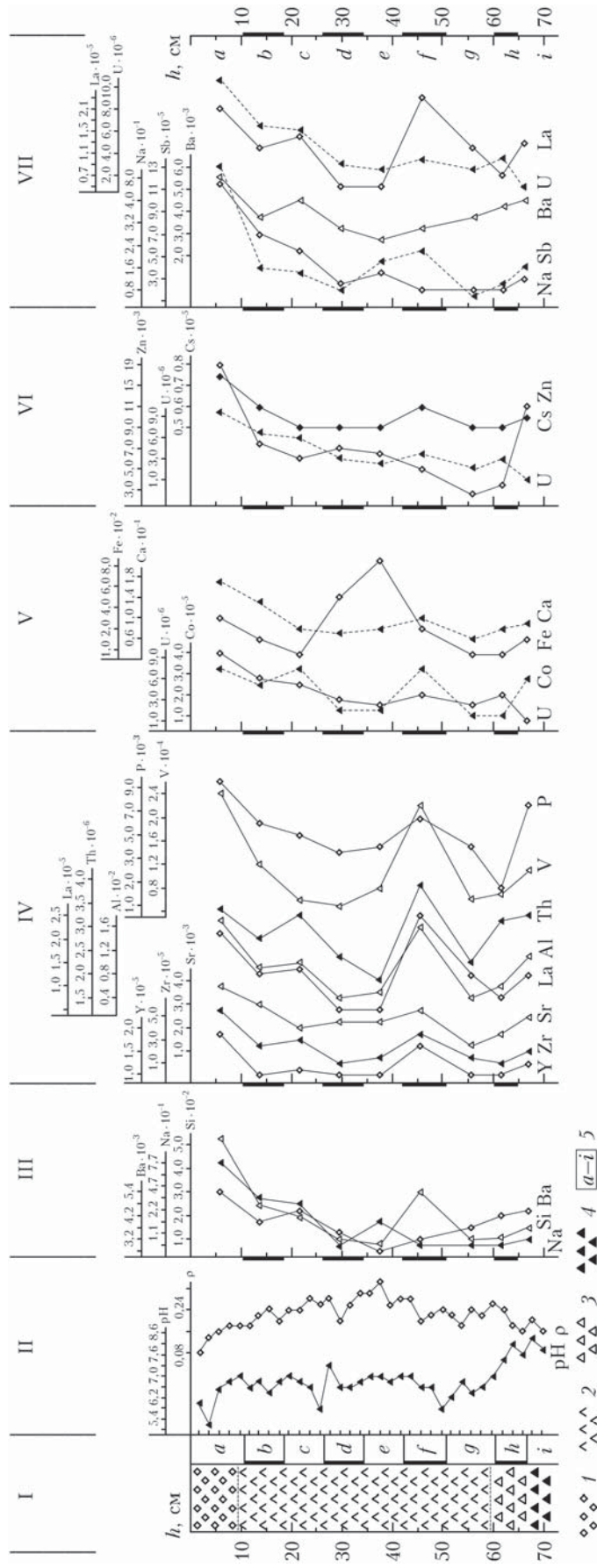


Рис. 1. Особенности распределения типоморфных элементов в снежном покрове на экспериментальной площадке обсерватории «Фоновая»: I – стратиграфический разрез снежного покрова, II – послонная изменчивость в снежной толще водородного показателя (рН) и плотности снега (ρ), шаг опробования 2 см. Особенности аккумуляции типоморфных элементов в снежной толще, характеризующие: III – нефтегазодобывающий, IV – угледобывающий, V – горнодобывающий, VI – ядерно-топливный, VII – теплоэнергетический комплексы предприятий; 1 – мелко-, 2 – средне-, 3 – крупнокристаллический снег, 4 – глубинная изморозь; 5 – интервалы опробования снежных горизонтов при выявлении геохимических аномалий типоморфных элементов

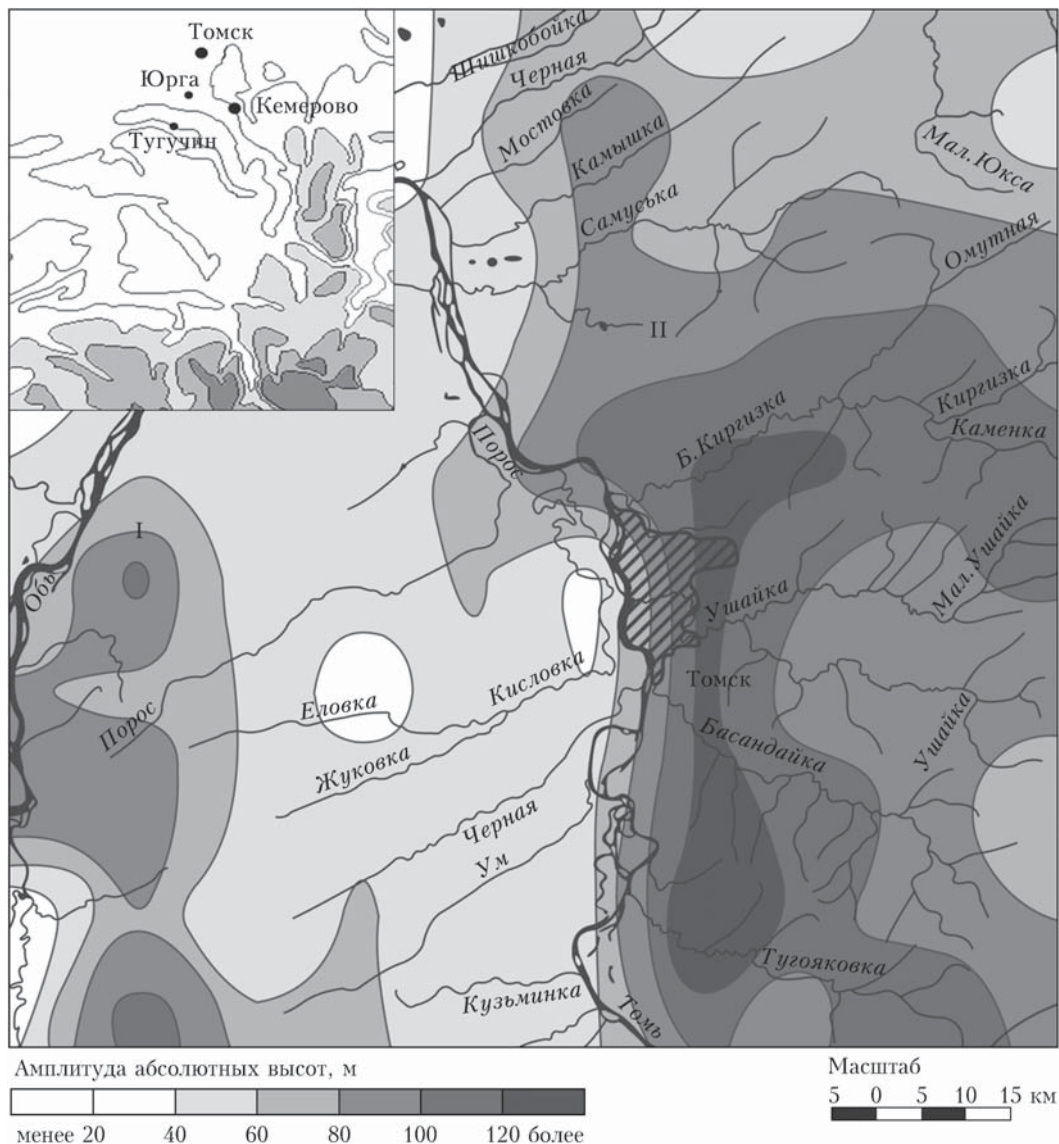


Рис. 2. Карта вертикальной расчлененности рельефа юга Томского региона: изолинии проведены со значениями амплитуд абсолютных высот 20, 40, 60, 80, 100 и 120 м. Субмеридиональные орографические зоны: I – Киреевская и II – Томская. На врезке показано пространственное расположение населенных пунктов относительно орографических элементов (долины рр. Томи и Иня) (на врезке – экспликация рельефа юга Западной Сибири, выполненная по физико-географической карте России в масштабе 1 : 20 000 000)

изморозь. Средние размеры гранных кристаллов изморози 3÷5 мм.

Такая динамика изменчивости плотности снежных слоев дает основание полагать, что развитие снежного профиля шло по первому типу [15, 16], согласно которому диагенез снега проходит все стадии перекристаллизации – от свежевыпавшего снега до глубинного инея. Ход кривой послойной плотности снега (см. рис. 1, II) с глубиной замедляется. Это возможно, если начало снеговоста сопровождалось снегопадами малой интенсивности. Данное обстоятельство по схеме Тушинского [15] благоприятствует сублимационному росту кристаллов и разрыхлению, тогда как в условиях высокой интенсивности и частоты снегопадов развитие снежной толщи идет по пути уплотнения.

С учетом вышесказанного была выполнена оценка влияния интенсивности снегопадов (рис. 3, а) на стратиграфию снежной толщи. Как видно из рисунка, в начале зимы снегопады были малоинтенсивны, но уже в середине зимы их активность возрастает и держится сравнительно долгое время. Затем к концу зимы интенсивность снегопадов сильно уменьшается. Такой режим снегопадов привел к тому, что верхняя и нижняя части снежной толщи развивались по типу разрыхления, а средняя часть все больше уплотнялась, что связано с невысокой порозностью снежных слоев. Последнее препятствует сублимационному росту кристаллов.

Следовательно, режим снегопадов может определенным образом влиять на стратиграфию и характер текстурных изменений снежной толщи при ее

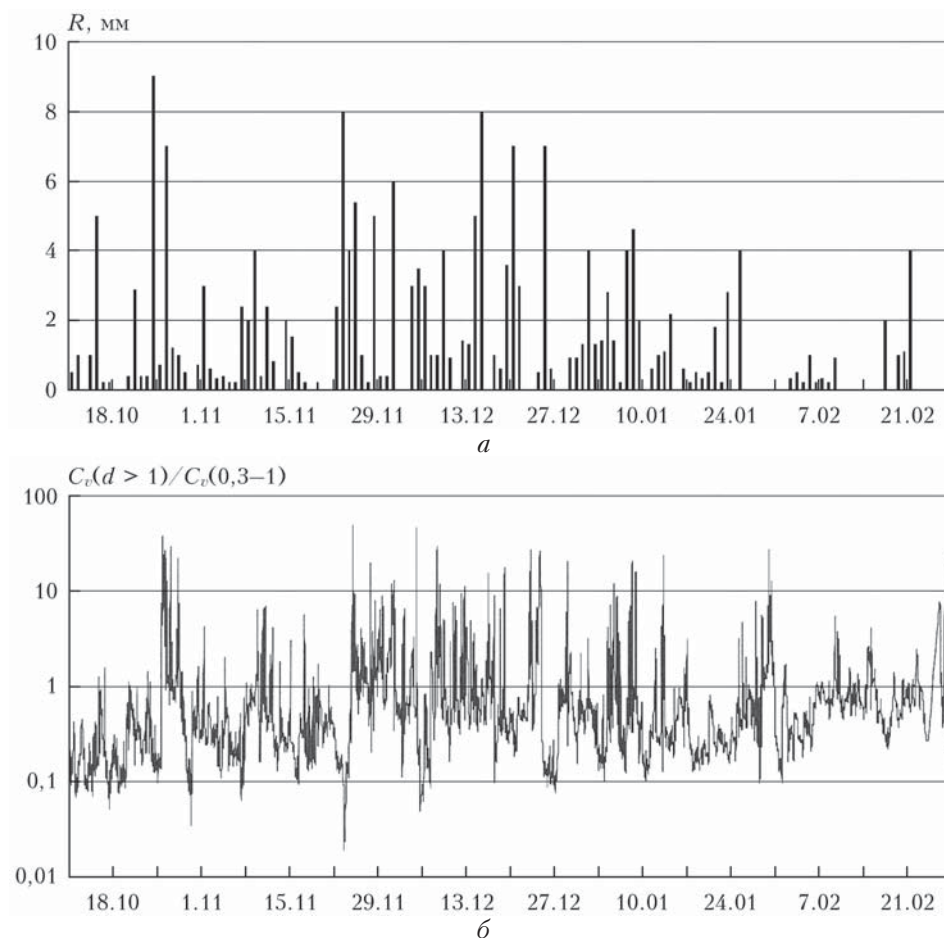


Рис. 3. Динамика изменчивости интенсивности снегопадов, выраженной в жидком количестве выпавших осадков (R) осенью—зимой 2016–2017 гг., по данным метеостанции Кожевниково (a) и соотношения объемных концентраций грубодисперсной и субмикронной фракций в приземном аэрозоле по данным измерений аэрозольного спектрометра Grimm 1.108 в обсерватории «Фоновая» за тот же период (b)

нарастании и, как следствие, контролировать активность процессов криохимического преобразования аэрозольного вещества, аккумулированного в снежной толще: при уплотнении снега концентрация вещества в снежном слое повышается, что ведет к росту химического взаимодействия растворимых соединений как между собой, так и с субохлажденной снеговой влагой. Процесс сопровождается формированием устойчивого сигнала геохимической аномалии в снежной толще (см. рис. 1). Механизм образования поверхностного загрязнения снежного покрова связан со снегопадами, а в период между ними — с сухими выпадениями. Между тем анализ вертикального распределения химических элементов показал, что к моменту наблюдений на поверхности снежного покрова существовала устойчивая геохимическая аномалия, образование которой на ключевом участке происходило в период минимального выпадения осадков (после 24.01.2017 г.).

Измерения концентрации приземного аэрозоля показали, что в приземном аэрозоле незначительно, но доминирует объем грубодисперсных частиц над субмикронными. Данный результат основывается на измерениях счетной концентрации приземного

аэрозоля. Для расчета диапазоны измеренной счетной концентрации объединены по размерам частиц в две фракции: 0,3–1 мкм и крупнее 1 мкм. Затем по результатам измерений счетных концентраций произведена оценка объемов, занимаемых каждой фракцией в единице объема воздуха, путем пересчета измеренных счетных концентраций по формуле [17]:

$$C_v = \pi/6 \sum (N_i d_i^3),$$

где N_i — счетная концентрация в каждом суммируемом измерительном диапазоне, дм^{-3} ; d_i — средний (геометрический) диаметр каждого диапазона измерения [$d_i - d_{i+1}$] (для оценки верхней границы последнего измеряемого и суммируемого диапазона принято допущение $d_{15+1} = 25$ мкм); C_v — объемная концентрация аэрозольных частиц просуммированных диапазонов, $\text{мкм}^3/\text{дм}^3$.

На рис. 3, б приведено соотношение объемов, занимаемых частицами грубодисперсной (размером больше 1 мкм) и субмикронной ($0,3 < d < 1$ мкм) фракциями в одном объеме воздуха, рассчитанные для обсерватории «Фоновый» за период наблюдений.

Из рис. 3, б видно, что в период с 24.01 по 21.02.2017 г. в соотношении субмикронной и грубодисперсной фракций в приземном аэрозоле доля последнего немного выше. Данное обстоятельство нарушает устоявшееся представление о том, что после выпадения осадков в аэрозольной среде уменьшается доля грубодисперсной фракции относительно субмикронной. Предполагается, что такая изменчивость дисперсности аэрозольного поля на площадке обсерватории «Фоновая» связана с зимним ветрообразованием.

Особенности ветрового режима в приземном слое воздуха. Анализ ветрового режима в приземном слое воздуха важен при оценке условий накопления вредных примесей в снежном покрове. При этом повторяемость разных направлений ветра в приземном слое оказывает определенное влияние на качественные и количественные параметры загрязнения снежного покрова. Для обсерватории «Фоновая» сравнение динамики изменчивости направления ветра на высотах 10 и 40 м показало, что за весь период снегонакопления в ветровом профиле до высоты 40 м южная составляющая оставалась главной (рис. 4, а). Однако следует заметить: расчеты роз ветров для разных высот показали, что южная доминанта, устойчивая на 10 и 40 м, на высотах 500 и 1500 м кардинально меняется — с высоты 500 м усилилась западная составляющая, совсем исчезла восточная (рис. 4, а).

В связи с этим предполагается, что устойчивость ветров южных направлений в приземном слое

в определенной мере обусловлена взаимным влиянием снежного покрова и орографическими условиями. Так, морфометрический анализ рельефа показал, что в пределах исследуемой территории максимальная высотная отметка находится на крайнем юго-востоке, в верховье рр. Крутая и Катат, и превышает 270 м, а минимальная — приурочена к долине р. Оби (66 м). Наибольшими амплитудами высот характеризуется участок, протягивающийся узкой полосой к востоку от г. Томска от нижнего течения р. Б. Киргизки до нижнего течения р. Тугояковки (от 122 до 149 м). Значительные амплитуды абсолютных высот имеют небольшие участки в юго-западной части изучаемой территории: участок, расположенный к западу от населенного пункта Березоречка (более 110 м), участок на правом берегу Оби восточнее населенного пункта Оськино (104 м), а также участок между населенными пунктами Киреевск (5 км южнее обсерватории «Фоновая») и Молчаново (102 м).

В целом по наибольшим амплитудам колебаний высотных отметок (по степени расчлененности рельефа) на исследованной территории выделяются две орографические зоны: Киреевская и Томская (см. рис. 2). Для этих зон характерна относительно высокая степень расчлененности рельефа. Склоны каждой из зон простираются преимущественно в меридиональном направлении, образуя своеобразный орографический канал, совпадающий по своему направлению с долиной р. Томи, по которой стекают с заснеженных склонов выхолаженные и плотные

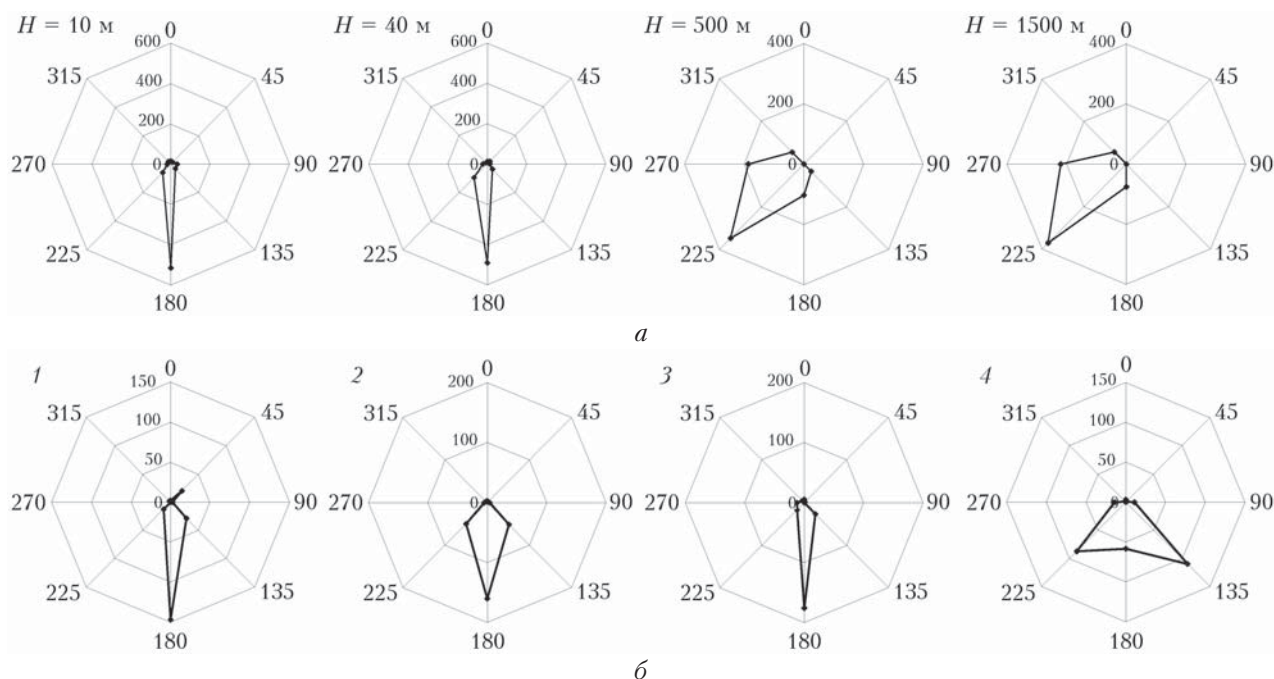


Рис. 4. Характеристика ветрового режима: а — розы ветров и направление переноса воздуха на разных высотах, характеризующие высотный ветровой профиль, измеренный в обсерватории «Фоновая» (10 и 40 м) в период с 23.01 по 21.02.2017 г. или снятый с карт обратных траекторий, приходящих в этот район на высотах 500 и 1500 м в тот же период; б — динамика изменчивости ветрового режима с 23.01 по 21.02.2017 г. для Томска (1), Юрги (2), Кемерово (3), попадающих в зону субмеридионального орографического канала, совпадающего с долиной р. Томи и простирающегося между горными склонами Кузнецкого Алатау. В качестве контроля выбран пункт Тогучин (4), лежащий в речной долине, которая совпадает с орографическим каналом субширотного простиранья, расположенного между горными отрогами Салаирского Кряжа

массы воздуха вниз по уклону местности. Это приводит к тому, что практически во весь период снегонакопления в приземном слое воздуха устойчиво преобладают ветры южных румбов. Иначе говоря, зимой, с установлением снежного покрова, они во многом обуславливают доминирование южных ветров в приземном слое воздуха трех населенных пунктов (гг. Томск, Юрга, Кемерово), расположенных на разном удалении от обсерватории «Фоновая». По своему положению все они оказываются в зоне влияния упомянутого ранее приземного субмеридионального орографического воздушного потока. Четвертый населенный пункт — г. Тогучин — выбран для контроля, он расположен в субширотном орографическом канале, совпадающем с долиной р. Иня (Салаирский Кряж). Их пространственное расположение показано на врезке рис. 2.

Для указанных населенных пунктов розы ветров построены по данным гидрометеорологического сайта (<http://www.pogodaiklimat.ru/>) (см. рис. 4, б). Как следует из рисунка, в ветровом режиме для первых трех населенных пунктов субмеридиональное направление орографического канала определяет доминирование южного направления. Вместе с тем для Тогучина в ветровом режиме в равной мере представлены два направления, отражающие субширотное простиранье орографического канала — юго-восточное и юго-западное.

Сравнение модели среднеклиматических линий тока поля скорости на 1000 гПа (рис. 5), построенной на основе данных реанализа NCEP/NCAR, со статистическими результатами приборных измерений направлений ветра на высоте 10 м показало их расхождение (см. рис. 4, б).

Особенно четко это проявляется для г. Тогучина. Очевидно, что использование результатов моделирования ветрового режима при оценке регионального переноса аэрозольного загрязнения для точек наблюдения, разнесенных на сотни километров и различающихся по амплитуде абсолютных высот в рельефе на сотни метров, требует корректировки с учетом орографических условий территории.

Оценка динамики водородного показателя в снеговой воде. В снежной толще рН варьирует в диапазоне от 5,2 до 8,4 (см. рис. 1, II). В верхней части профиля интервал колебаний рН мелкокристаллического снега лежит в интервале кислотности атмосферы (5,2–6,6), но затем с глубиной рН несколько увеличивается и в толще среднекристаллического снега выдерживается относительно постоянно в интервале 6,4–6,9. С глубины 58 см рН резко возрастает с 6,3, достигая максимального значения (рН = 8,4) в слое глубинного инея. Такой ход кривой распределения водородного показателя свидетельствует о растворении накопившейся в снежном покрове карбонатной пыли.

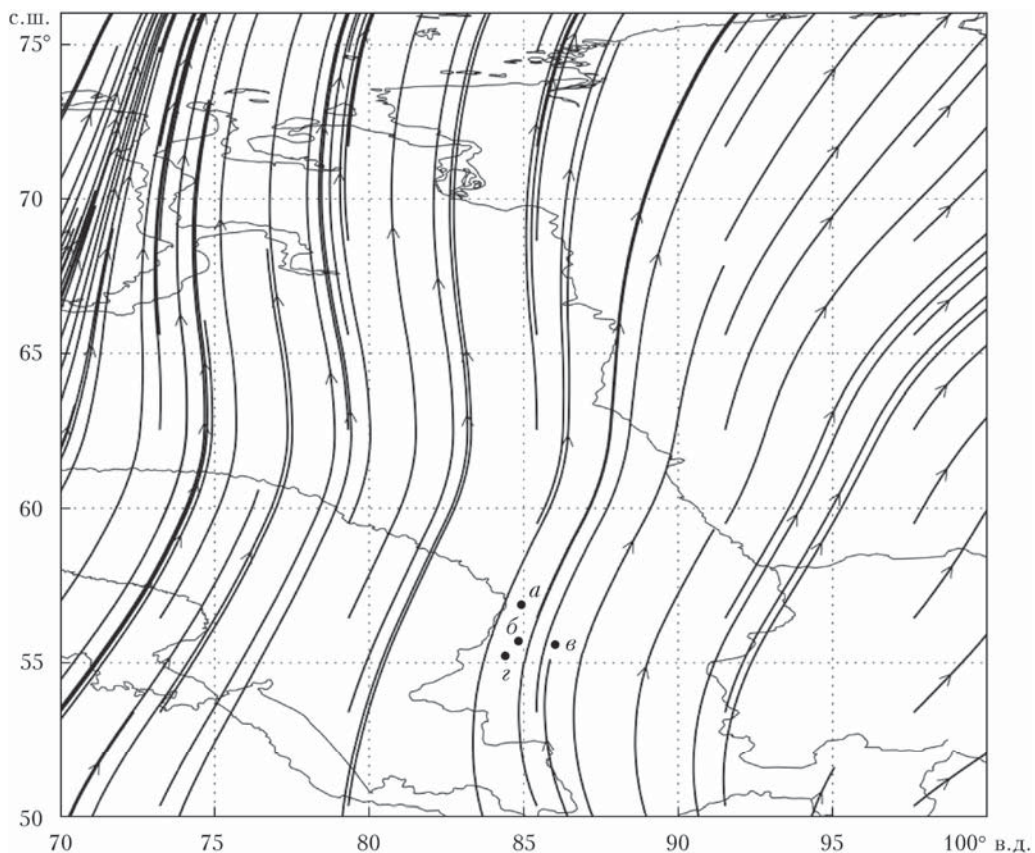


Рис. 5. Модель полей ветрового режима в приземном слое воздуха по среднеклиматическим линиям тока поля скорости, приведенным к уровню 1000 гПа в период с 23.01 по 21.02.2017 г. для Томска (а), Юрги (б), Кемерово (в), Тогучина (z)

Анализ распределения типоморфных элементов в снежной толще. На рис. 1, III–VII показано профильное распределение типоморфных элементов-индикаторов, связанных с конкретными типами производства. При сравнении кривых распределения элементов-индикаторов будем считать, что если ход всех кривых в пределах одной группы синхронный, то это означает, что действует один источник, если нет – разные. Как мы видим, первому критерию соответствует только группа элементов, характеризующая загрязнение снежного покрова, связанное с предприятиями угольной промышленности (см. рис. 1, IV). Учитывая исключительное доминирование ветров южных румбов, можно предположить, что это угольные предприятия Кузбасса. Для остальных групп типоморфных элементов столь очевидной связи не обнаружено.

Влияние снежного покрова на осаждение типоморфных элементов из транзитного переноса техногенных эмиссий. Анализ особенностей послышной аккумуляции типоморфных элементов в снежной толще показал, что возможными источниками аэрозольного вещества являются угольные и энергетические предприятия Кузбасса. Считается, что каждое энергетическое предприятие представляет собой непрерывный точечный источник тепла, с которым связано нагревание значительного объема воздуха вокруг устья трубы по сравнению с его естественной температурой в окружающей среде. В этом объеме возникает термическая стратификация, обеспечивающая вынос тепла и выбросы продуктов сгорания топлива на значительную высоту. Можно предположить, что остывание техногенных эмиссий будет происходить в приземном слое атмосферы. В этом же интервале турбулентное перемешивание и разбавление выбросов загрязняющих веществ окружающим воздухом атмосферы могут быть значительными. С удалением от источника выброса турбулентное перемешивание загрязняющего вещества и его рассеяние будут происходить уже в определенном объеме атмосферы. Предполагается, что при этом сохраняется относительная устойчивость ассоциаций типоморфных элементов. Дальнейшее их участие в аэрозольном загрязнении снежного покрова связано с физическими свойствами снега. В частности, из-за того, что температура поверхности снега обычно ниже температуры приснежного слоя воздуха, в условиях высокой относительной влажности воздуха испарение снега часто сменяется конденсацией¹ водяных паров на заснеженную поверхность [18].

Снежный покров, таким образом, оказывает иссушающее влияние на приземный воздух, вбирая в себя избыток влаги из приземного слоя воздуха. При прохождении циклонов данный механизм вызывает устойчивый массоперенос избытка водяных паров и аэрозольного вещества из приземного слоя воздуха по направлению к снежному покрову. Процесс

¹ Дюфур и Форель (Dufour, Forel, 1871) сравнивают заснеженные горы по их воздействию на влагу окружающего воздуха с громадными губками, пропитанными серной кислотой (цит. по [Рихтер, 1948], С. 17).

сопровождается формированием аэротехногенной геохимической аномалии на поверхности снега. С нарастанием снежной толщи подобные аномалии сохраняются в ней до снеготаяния.

Заключение

Исследованы особенности динамики послышной изменчивости аэрозольного загрязнения снежного покрова от удаленных источников в условиях зимнего ветрообразования на экспериментальной площадке обсерватории «Фоновая» в Томь-Обском междуречье 60 км западнее г. Томска. Установлено, что в элементном составе аэрозольного вещества, аккумулярованного в снежной толще, устойчиво проявляется типоморфная ассоциация элементов-индикаторов, связанных с предприятиями угледобывающего комплекса, находящимися к югу от исследуемой территории. Показано, что выявление удаленных источников аэрозольного загрязнения снежного покрова следует осуществлять на основе морфометрического анализа рельефа и ретроспективной оценки временной изменчивости метеорологических факторов (соотношения дисперсных фракций приземного аэрозоля, ветрового режима, интенсивности снегопадов) в контексте особенностей послышного распределения в снежной толще индикаторных групп типоморфных элементов, характеризующих конкретные типы предприятий.

По результатам послышного геохимического опробования снежной толщи рекомендовано считать, что характерным признаком загрязнения снежного покрова от удаленных техногенных источников является согласованный ход кривых распределения типоморфных элементов, относящихся к одной индикаторной группе. Отличиями геохимических аномалий типоморфных элементов от случайных флуктуаций природного геохимического фона служат: во-первых – содержание типоморфных элементов в ассоциациях-индикаторах выше регионального фона, во-вторых – высокая степень корреляции элементов в парагенных ассоциациях типоморфных элементов, сохраняющаяся и в условиях, когда их содержания ниже фона.

Авторы благодарят за обсуждение и конструктивные замечания О.Ю. Антохину, а также начальника отдела управлением стационарами ИОА СО РАН В.В. Антоновича за помощь в организации научно-исследовательской площадки в обсерватории «Фоновая» и проведении наблюдений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-45-700184р_а) и BP Exploration Operating Company Limited (2016 г.).

1. Скрипальщиков Л.Н., Харук В.И., Яхимович А.П., Лопатин А.П., Грешилова Н.В., Страшников А.В. Зонирование техногенных воздействий по ореолам загрязнения снегового покрова // Сиб. эколог. журн. 2002. № 1. С. 95–100.
2. Локощенко М.А. Снежный покров и его современные изменения в Москве // Метеорол. и гидрол. 2005. № 6. С. 71–82.

3. Павлов В.Е., Морозов С.В., Ратуша В.Ф., Коковкин В.В., Хвостов И.В. Исследование аэрозольных выпадений полиароматических углеводородов в сфере влияния г. Барнаула // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2011. Т. 19, № 3. С. 287–294.
4. Yunker M.B., Macdonald R.W. Petroleum biomarker sources in suspended particulate matter and sediments from the Fraser River Basin and Strait of Georgia, Canada // *Org. Geochem.* 2003. V. 34. P. 1525–1541.
5. Meyera T., Wania F. Organic contaminant amplification during snowmelt // *Water Res.* 2008. V. 42, N 8–9. P. 1847–1865.
6. AMAP Assessment 2009: Human Health in the Arctic. Oslo, Norway. 2009. 254 p.
7. Rempillo O., Seguin A.M., Norman A.-L., Scarratt M., Michaud S., Chang R., Sjostedt S., Abbatt J., Else B., Papakyriakou T., Sharma S., Grasby S., Lefvasseur M. Dimethyl sulfide air-sea fluxes and biogenic sulfur as a source of new aerosols in the Arctic fall // *J. Geophys. Res.* 2011. V. 116. P. D00S04. DOI: 10.1029/2011JD016336.
8. Ивлев Л.С. Аэрозольное воздействие на климатические процессы // *Оптика атмосф. и океана*. 2011. Т. 24, № 5. С. 392–410.
9. Mahowald N.M., Kloster S., Engelstaedter S., Moore J.K., Mukhopadhyay S., McConnell J.R., Albani S., Doney S.C., Bhattacharya A., Curran M.A.J., Flanner M.G., Hoffman F.M., Lawrence D.M., Lindsay K., Mayewski P.A., Neff J., Rothenberg D., Thomas E., Thornton P.E., Zender C.S. Observed 20th century desert dust variability: Impact on climate and biogeochemistry // *Atmos. Chem. Phys.* 2010. N 10. P. 10875–10893. DOI: 10.5194/acp-10-10875-2010.
10. Белан Б.Д., Симоненков Д.В., Таловская А.В., Тентюков М.П., Фофанов А.В., Язиков Е.Г. Сравнительная оценка геохимической активности атмосферы по соотношению составов разных фракций приземного аэрозоля в обсерватории «Фофановая» осенью 2016 г. // *Оптика атмосф. и океана*. 2017. Т. 30, № 10. С. 871–877. DOI: 10.15372/AOO2017009; Belan B.D., Simonenkov D.V., Talovskaya A.V., Tentyukov M.P., Fofanov A.V., Yazikov E.G. Comparative estimation of geochemical activity of the atmosphere according to the ratio of compositions of different near-ground aerosol fractions at the “Fonovaya” observatory in autumn 2016 // *Atmos. Ocean. Opt.* 2018. V. 31, N 1. P. 36–42.
11. *Снегоотборник* Тентюкова: Пат. 2411487. Россия, МПК G 01 N 1/04. Тентюков М.П.; Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН. № 2009131266/05; Заявл. 17.08.2009; Оpubл. 10.02.2011. Бюл. № 4.
12. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Томск: Том. политехн. ун-т, 2006. 47 с.
13. Спиридонов А.И. Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1975. 175 с.
14. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. 230 с.
15. Тушинский Г.К. Эволюция снежной толщи // *Вопросы географии*. Сб. 24. М.: Географгиз, 1951. С. 350–380.
16. Щербаков М.П. Роль метеорологических факторов в развитии снежной толщи // *Изв. АН СССР. Сер. География*. М.: Наука, 1964. № 2. С. 115–120.
17. Seinfeld J.H., Pandis S.N. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. New York: John Wiley & Sons, 1998. 1327 p.
18. Рихтер Г.Д. Роль снежного покрова в физико-географическом процессе // *Тр. Ин-та географии АН СССР*. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. Вып. 40. 171 с.

B.D. Belan, V.S. Buchelnikov, V.F. Lysova, D.V. Simonenkov, A.V. Talovskaya, M.P. Tentyukov, E.G. Yazikov. Estimation of the influence of meteorological and orographic conditions on the aerosol contamination of snow cover in south of Tomsk region.

Dynamics of layer-by-layer variability of aerosol contamination of snow cover in circulating conditions in winter period at the experimental site of the “Fonovaya” observatory (Institute of Atmospheric Optics of SB RAS) in the Tom-Ob interfluvial 60 km west of Tomsk is analyzed. The chemical composition of the snow cover at the point of observation is characterized. It is established that in the elemental composition of the aerosol substance accumulated in the snow layer, a typomorphic association of indicator elements associated with coal mining is steadily manifested. The conclusion about the seasonal impact on the aerosol field of the “Fonovaya” observatory of enterprises of the coal-mining complex located to the south of the investigated territory is geochemically substantiated. It has been shown that the detection of remote sources of aerosol contamination of the snow cover is expedient to base on the morphometric analysis of the terrain and a retrospective estimate of the temporal variability of the indicators reflecting the effect of meteorological factors (dispersion ratio of surface aerosol, wind regime, snowfall intensity) and in context of the analysis of the features of the layered distribution of indicator groups of typomorphic elements, characterizing specific types of enterprises, in the snow layer.