

УДК 550.46

DOI: 10.15372/ChUR2019160

Влияние Горловского угольного месторождения (Новосибирская область) на состояние приземного слоя атмосферы

А. Ю. ДЕВЯТОВА^{1,2}, С. Б. БОРТНИКОВА¹, Д. А. СОКОЛОВ³, И. Н. ГОССЕН³, Н. А. СОКОЛОВА³

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН,
Новосибирск (Россия)

E-mail: DevyatovaAY@ipgg.sbras.ru

²Новосибирский государственный университет,
Новосибирск (Россия)

³Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,
Новосибирск (Россия)

(Поступила 29.07.19; после доработки 09.09.19)

Аннотация

Представлены результаты полевых исследований состава снегового покрова в районе отвалов и автотрассы Горловского угольного месторождения. Преобладающим элементом в техногенной пыли является углерод. Концентрации практически всех элементов в растворенной и взвешенных частях снегового покрова превышают фоновые значения. Миграционные способности элементов в пробах, отобранных вблизи отвала и автотрассы, схожи. Однако коэффициенты распределения элементов в пробах снега из района автомобильной дороги ниже, что свидетельствует об их переносе в более подвижных формах. Влияние Горловского угольного месторождения на приземный слой атмосферы распространяется более чем на 1000 м. При этом дорога, по которой транспортируется добываемый уголь, оказывает большее влияние на состояние атмосферы, чем отвал для складирования вскрышных и вмещающих пород. Показан экранирующий эффект лесных насаждений, расположенных вдоль автомобильной дороги.

Ключевые слова: геоэкология, угольные отвалы, загрязнение атмосферы, снеговой покров

ВВЕДЕНИЕ

При открытой разработке угольных месторождений происходит значительное загрязнение атмосферы пылегазовыми выбросами, как в рабочей зоне разреза, так и на прилегающей территории. Загрязнение атмосферы наносит существенный ущерб качеству окружающей среды, оказывает негативное влияние на здоровье персонала и населения, проживающего вблизи горнорудных месторождений [1].

Сегодня в России темпы добычи угля открытым способом увеличиваются с каждым го-

дом, соответственно, возрастают проблемы, связанные с влиянием отвалов на компоненты природной среды на окружающих и удаленных территориях. В этом плане не является исключением и Новосибирская область, на территории которой разрабатывается Горловский угольный бассейн [2].

Активная разработка месторождения влечет за собой ряд экологических проблем. Первая связана с интенсивным ростом площадей техногенных объектов и отчуждением под них естественных высокопродуктивных земель. Вторая определяется свойствами складированных в от-

валы отходов, отличающихся исключительной в ряду других углевмещающих пород специфической [3], которая проявляется в низкой скорости посттехногенного восстановления нарушенными территориями почвенно-экологических функций [4]. В то же время, формирование техногенных ландшафтов сопровождается загрязнением окружающей среды в регионах разработки угольных месторождений. Поэтому негативные последствия от повреждения природных объектов и проблемы восстановления нарушенных территорий обуславливают в целом актуальность фундаментальных исследований влияния человеческой деятельности на биосферу [5]. Во многом это связано с огромными масштабами отходов разработки угольных месторождений, разнообразным геохимическим составом углей, с наиболее опасными примесями в виде мышьяка, ртути [6, 7], а также широким спектром токсичных для среды элементов [8–10]. Наиболее значимое загрязнение атмосферы пылью от горнодобывающих предприятий происходит при формировании отвалов, транспортировании горной породы, а также от сжигания топлива в двигателях внутреннего сгорания горной техники. При этом в атмосферу с отработавшими газами поступают аэрозольные и газообразные компоненты. Из газообразных выбросов дизельных двигателей максимальную опасность представляют NO , NO_2 , CO и полициклические ароматические углеводороды [1].

Исследование снежного покрова – удобный и экономичный способ получения данных о длительном (месяц, сезон) поступлении загрязняющих веществ из атмосферы на подстилающую поверхность, поскольку снег представляет собой естественный накопитель в холодное время года [11].

Наиболее интенсивные исследования загрязнения снежного покрова проводились в течение последних 30–40 лет. Показано, что снег может служить индикатором атмосферного загрязнения пылью, макрокомпонентами, тяжелыми металлами, нефтяными полициклическими ароматическими углеводородами, белковыми соединениями и т. д. Снежный покров может быть использован для целей дистанционного зондирования параметров загрязнения местности, в том числе и из космоса [12].

Результаты изучения снегового покрова особенно представительны, поскольку исключают вариации (флуктуации направления ветра, непостоянство выбросов) и дают точную средневзвешенную величину загрязнения, усреднен-

ную естественным путем за продолжительный период времени, т. е. с момента снегостава до момента пробоотбора.

Цель работы – оценка загрязнения приземного слоя атмосферы в зоне влияния Горловского угольного месторождения (ГУМ) в зимний период. Настоящая работа продолжает цикл исследований по экологическому мониторингу окружающей среды в зоне сильного антропогенного воздействия [13–16].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объекты исследования

Горловское угольное месторождение входит в группу месторождений Горловского угольного бассейна, расположенного на правом берегу реки Обь в административных границах Новосибирской области в 100 км к югу от г. Новосибирска, на юге Искитимского района. Месторождения бассейна характеризуются повышенной угленасыщенностью. Угли бассейна представлены антрацитами и отличаются высоким качеством: малозольные, малосернистые, высокоуглеродистые, с низким удельным электросопротивлением, высокой механической прочностью и термической стойкостью. В соответствии с ГОСТ 25543–88 угли бассейна относятся к марке А (антрациты) или (в международной классификации) к Ultra High Grade (UHG). Угленосная толща мощностью 640–940 м содержит до 55 пластов и пропластков угля (мощность отдельных пластов от 10–14 до 26–41 м), вытянута полосой в северо-восточном направлении на 120 км при средней ширине 1.5–7.5 км. Прогнозные запасы до глубины 900 м оценены в 6.5 млрд т. [17].

Первые промышленные разработки месторождения были начаты в 1930 г. Свое название месторождение получило от с. Горлово, вблизи которого находились самые известные копи, где добывали высококачественный антрацит открытым способом. Уголь вывозили на предприятия горнодобывающего комплекса Южной Сибири.

В 1941–1945 гг. антрациты бассейна использовались для выплавки стали. С середины 1980-х годов они применялись как основное сырье в производстве электродов на Новосибирском электродном заводе, а с 2005 г. используются преимущественно в качестве заменителя кокса в доменном производстве; при пылеугольном вдувании; в производстве агломератов железной руды; железорудного окатыша; электродов. Разработ-

чик бассейна – Группа “Сибантрацит”. Уровень добычи угля на месторождении в 2017 г. составил 7.4 млн т.

Вскрышные и пустые породы ГУМ складываются рядом с разрезом. Старый отвал находится северо-западнее, новый – восточнее разреза. В настоящий момент активное складирование производится на новом “Нагорном” отвале. Также рядом с разрезом проходит техническая автотрасса с высокой степенью запыленности, по которой осуществляется транспортировка угля.

Методы исследования

Полевые исследования. Для проведения исследований использовалась методологическая база, включающая в себя пробоотбор и таяние снега, фильтрование и химико-аналитические исследования взвешенной и растворенной частей снегового покрова.

Отбор снеговых проб проводился в первых числах марта, чтобы более полно охарактеризовать период с момента формирования постоянного снежного покрова и до начала снеготаяния. Обследование проводилось маршрутным методом от подножия отвала вскрышных пород ГУМ, на удалении в 50, 100, 250, 500, 1000 м и непосредственно на отвале, высота которого достигает 40 м. Пробы отбирались в направлении преобладающих ветров для зимнего сезона приземного слоя атмосферы – северо-восточных (рис. 1, а). Для оценки влияния автомобильной дороги с наветренной стороны отбор проб проводился вблизи дороги, на удалении в 20, 40, 60, 100, 250, 500 и 1000 м (см. рис. 1, б). На участке автодороги,

отделенной лесополосой, обследование проводилось на удалении в 20, 50, 100 и 250 м. С подветренной юго-западной стороны пробы снега отбирались на расстоянии 50, 100, 250 и 500 м от дороги (см. рис. 1, б). Маршруты пробоотбора прокладывались перпендикулярно источнику загрязнения.

Отдельно была взята фоновая проба (фон) в удаленном от техногенного влияния районе, расположенном в ЮЗ направлении в 7.5 км от карьера и 2.5 км от автотрассы.

Все пробы отбирались двукратно снегомером весовым ВС-43 (Россия) с последующим определением плотности и запасов влаги в снежном покрове. При отборе проводились замеры мощности снежного покрова и GPS-привязка.

Лабораторные исследования. В лаборатории отобранный снег растапливали и фильтровали с помощью прибора вакуумного фильтрования ПВФ-47/6 НБ (ПП) (Россия). При фильтровании использовалась мембрана Владипор типа МФАС-ОС-1 (Россия) со средним размером пор 0.22 мкм. Мембрана по фактическим показателям соответствует требованиям ТУ 2265-011-43153636-2015 для МФАС-ОС-1.

Макро- и микроэлементный состав в отфильтрованной снеготалой воде анализировали методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС) на квадрупольном спектрометре iCAP 6500 Duo (ThermoScientific, США) в Институте неорганической химии СО РАН (Новосибирск). Относительное стандартное отклонение измерений не превышало 13 %. Интенсивность спектральных

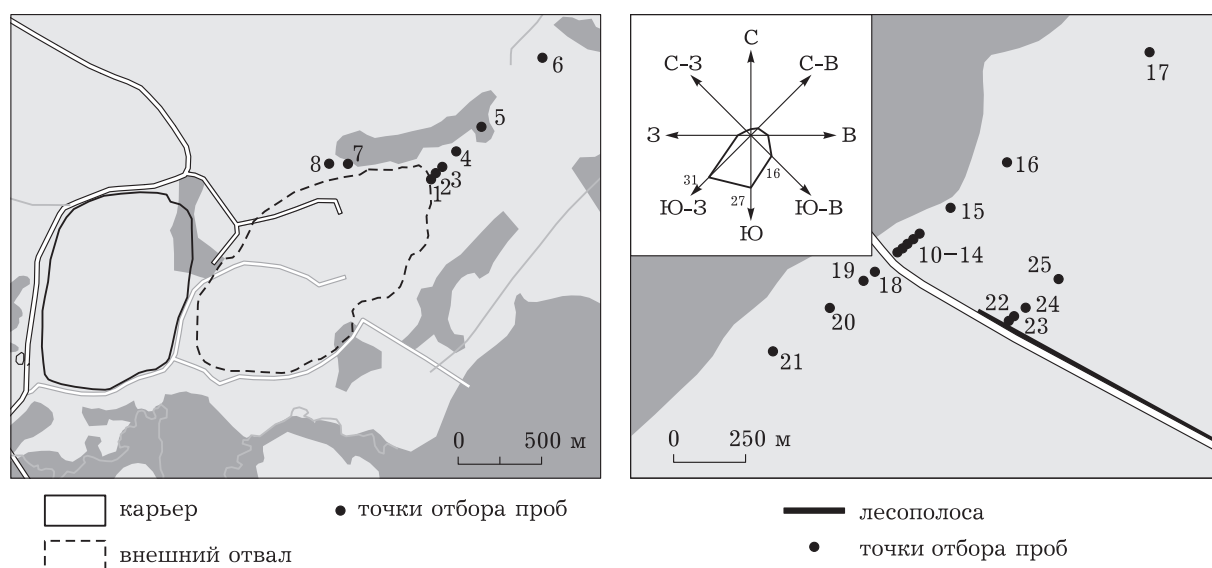


Рис. 1. Роза ветров и схема отбора проб снега: а – вблизи “Нагорного” отвала ГУМ, б – вблизи автотрассы [13].

линий при характеристических для каждого элемента длинах волн регистрировали фотоувеличительным устройством, измеряли и обрабатывали компьютерной системой в соответствии с ГОСТ Р 51309–99.

Взвешенную часть снегового покрова анализировали методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА-СИ) на станции элементного анализа ВЭПП-3 в Институте ядерной физики СО РАН (Новосибирск). Относительное стандартное отклонение в определении концентраций вышеназванных элементов составляло 10–15 %, нижние пределы обнаружения – до 0.1 м. д. Обработка эмиссионных спектров производилась с помощью программы AXIL. Для исследования пылевых частиц использовались стандартные образцы СГХМ-3, карбонатно-силикатные отложения № 3485-86, СГХМ-4, алюмосиликатные отложения № 3486-86, БИЛ-1, Байкальский ил № 272-7126-94, стандарт МАГАТЭ. Диапазон регистрируемой энергии возбуждения от 8 до 45 кэВ. При этом могут быть определены следующие химические элементы: К, Са, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Rd, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd.

СНН-анализ взвешенных частиц осуществлялся методом сухого сжигания с использованием анализатора 2400 Series II (Perkin Elmer, США) в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск). Точность определения <0.3 %.

Морфология и состав минеральных частиц исследовались с применением сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) MIRA 3 LMU

(Tescan, Чехия) в Институте геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пылевое загрязнение

Результаты проведенных исследований показали, что влияние ГУМ на прилегающие территории в зимний период проявляется преимущественно посредством переноса пылевых частиц. Так, содержание пыли в пробах снега, отобранных вблизи техногенных объектов, варьируется от 0.03 до 7.17 г/дм³. Минимальные значения этого показателя отмечены на фоновом участке (0.02 г/дм³), а максимальные – в точках, отобранных вблизи автотрассы.

Содержание пыли в снеговом покрове территорий, прилегающих к автотрассе, выше фоновых значений (более чем на два порядка) и вблизи отвала (на один порядок).

На прилегающих к автотрассе территориях ясно прослеживается зависимость снижения концентрации пыли в снеге по мере удаления от дороги (рис. 2). Максимальное количество взвешенных веществ (552.5 г/м²) обнаружено в точке, расположенной вблизи лесополосы. В точке, расположенной на том же расстоянии от дороги, но без экранирования лесополосой, зафиксировано в среднем вдвое меньше пыли, поскольку значительная ее часть переносится на более удаленные расстояния. При этом концентрация пыли в точке, удаленной от дороги в юго-западном направлении на 50 м, примерно в 4 раза меньше, чем на том же расстоянии в се-

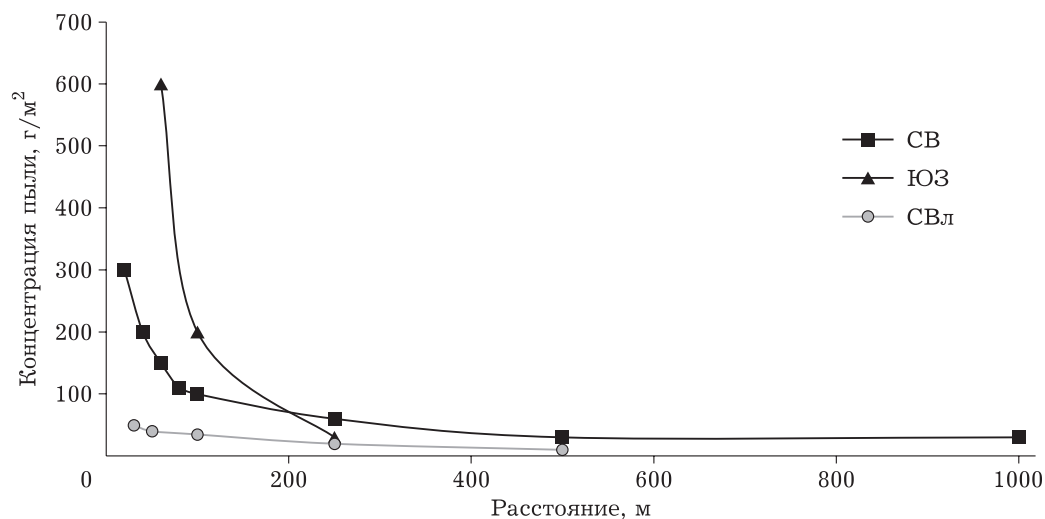


Рис. 2. Распределение взвешенных веществ в снежном покрове вблизи автотрассы. Направление: СВ – северо-восточное; ЮЗ – юго-западное, СВл – северо-восточное, экранированное лесополосой.

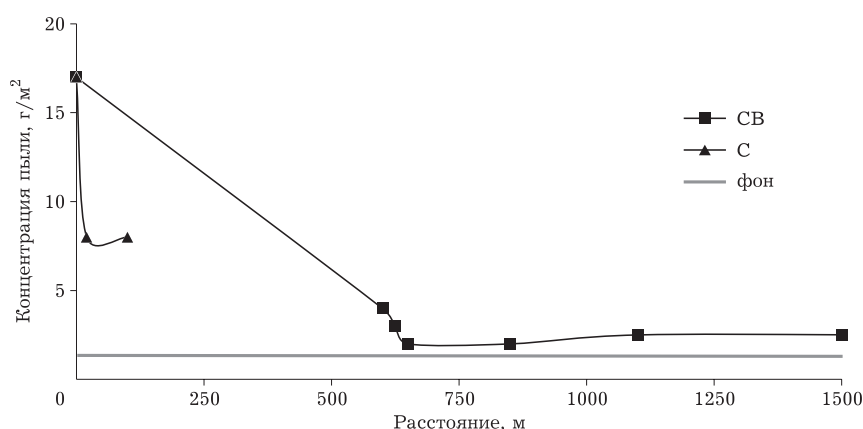


Рис. 3. Распределение взвешенных веществ в снежном покрове вблизи отвала. Направление: СВ – северо-восточное; С – северное.

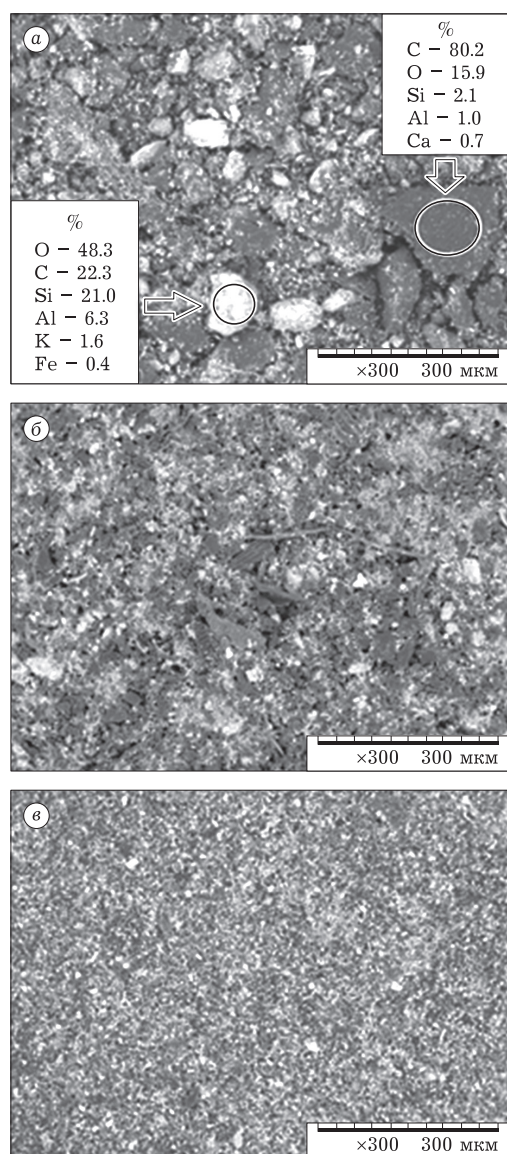


Рис. 4. Микрофотографии частиц пыли из проб снега, взятых: а – в 20 м от автотрассы в северо-восточном направлении (Т10); б – там же, но в 1000 м (Т17); в – на фоновом участке (Т26).

веро-восточной трансекте. Минимальное накопление пыли вблизи автодороги (3.8 г/м^2) отмечено с наветренной стороны на расстоянии 500 м и превышает фоновые значения почти в 3 раза.

В меньшей степени на прилегающие территории оказывает влияние процесс отсыпки отвала. Содержание пыли в снеге в расчете на единицу площади составляет здесь от 1.9 до 17.3 г/м^2 (рис. 3).

Оценка состава снеговой пыли, проведенная при помощи микроморфологических методов, позволила выявить дифференциацию их гранулометрического состава по мере удаления от источников загрязнения (рис. 4, 5). Отдельные включения (максимальных размеров до 300 мкм в диаметре) обнаружены во всех пробах, отобранных вблизи источников, вне зависимости от направления и наличия лесных насаждений. Наиболее мелкие частицы (до 30 мкм) отмечались в пробах снега, взятых с фоновых участков.

Снеговые пробы, отобранные на участках, прилегающих к дороге, отличаются значительным содержанием органических компонентов, преимущественно угля. Судя по элементному составу поверхности, минеральная часть пыли состоит из тонкодисперсных обломков углеродсодержащих вскрышных пород (см. рис. 4). Ее преобладание в составе пыли отмечается в пробах, взятых на участках и вблизи, и на удалении от отвала (см. рис. 5). Примечательно, что некоторое количество частиц угля было обнаружено также в пробах, взятых с фоновой участка.

Органогенные элементы в снегу

Содержание углерода во взвеси исследуемых проб снега колеблется от 34.8 до 64.1 % для

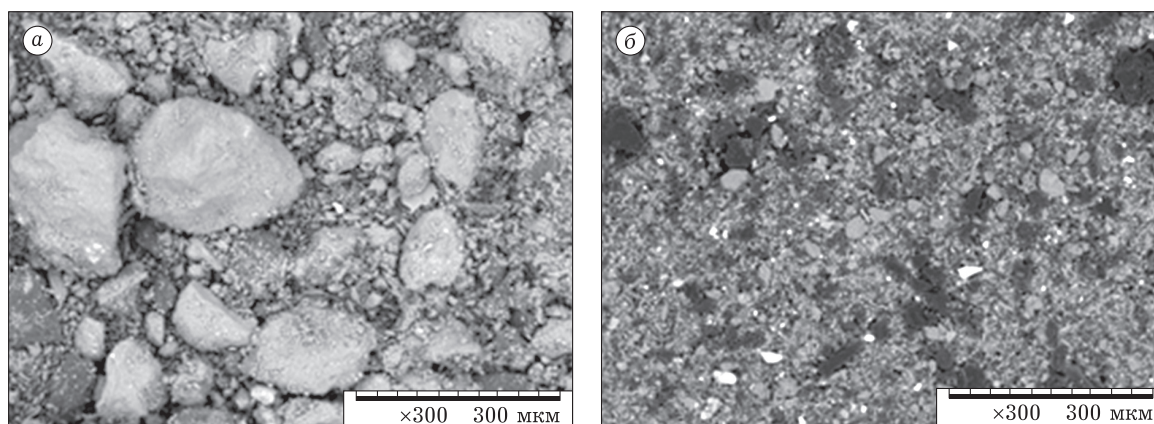


Рис. 5. Микрофотографии частиц пыли из проб снега, взятых: а – на границе участка отсыпки отвала (Т9); б – в 1500 м в северо-восточном направлении от границы отсыпки (Т6).

участков, расположенных вблизи автотрассы (рис. 6), и от 11.6 до 30.5 % – для площадок, прилегающих к отвалу (рис. 7). При этом содержание углерода в пробах фонового участка составляет 52.2 %, что свидетельствует о преобладании органических соединений в составе пыли. Изменения содержания углерода в снеге по мере удаления от автодороги на различных участках разнонаправлены. В северо-восточном направлении максимальное содержание органических веществ отмечается у края проезжей части автотрассы, незащищенной лесополосой, однако на расстоянии 100 м содержание углерода во взвеси резко падает. Противоположная тенденция отмечается на участках юго-западного направления или экранированных лесополосой. В целом для всех участков на расстоянии 400 м от автотрассы содержание углерода в пыли находится в пределах $(50 \pm 3) \%$.

Соотношения С/Н и С/Н по мере удаления от дороги снижаются во всех направлениях (см. рис. 7), что свидетельствует об уменьшении доли углистых частиц в органическом веществе снега.

Иная обстановка складывается на участках, находящихся в зоне влияния отвала. В этом случае, в силу высокой концентрации минеральных частиц в снеговой пыли, содержание углерода оказывается минимальным в точке, находящейся на границе зоны отсыпки отвала (см. рис. 7) и увеличивается по мере удаления от отвала.

Таким образом, за счет переноса угольной пыли с поверхности автомобильной дороги прилегающие территории в зимний период получают дополнительно 2–200 г углерода/м², а вблизи отвала – не более 2 г/м². При этом уже в 600 м от отвала содержание углерода не превышает фоновых значений.

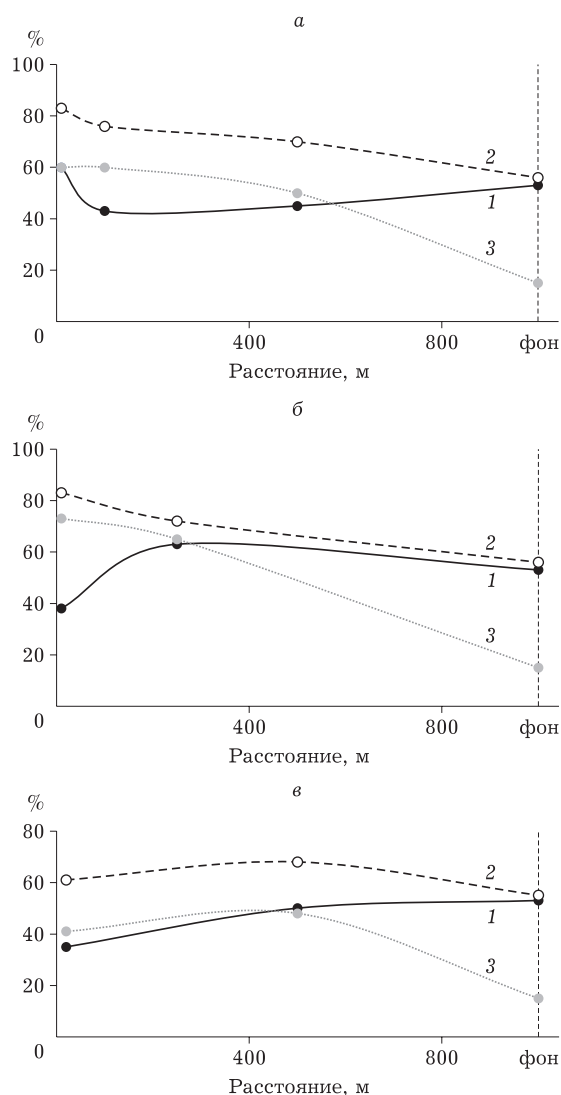


Рис. 6. Содержание углерода (1), соотношения С/Н (2) и С/Н (3) в пробах снега, взятых вблизи автотрассы: а – в северо-восточном направлении (Т10, Т14, Т16); б – в юго-западном направлении (Т18, Т21); в – в северо-восточном направлении, на участке с лесными насаждениями (Т22, Т25).

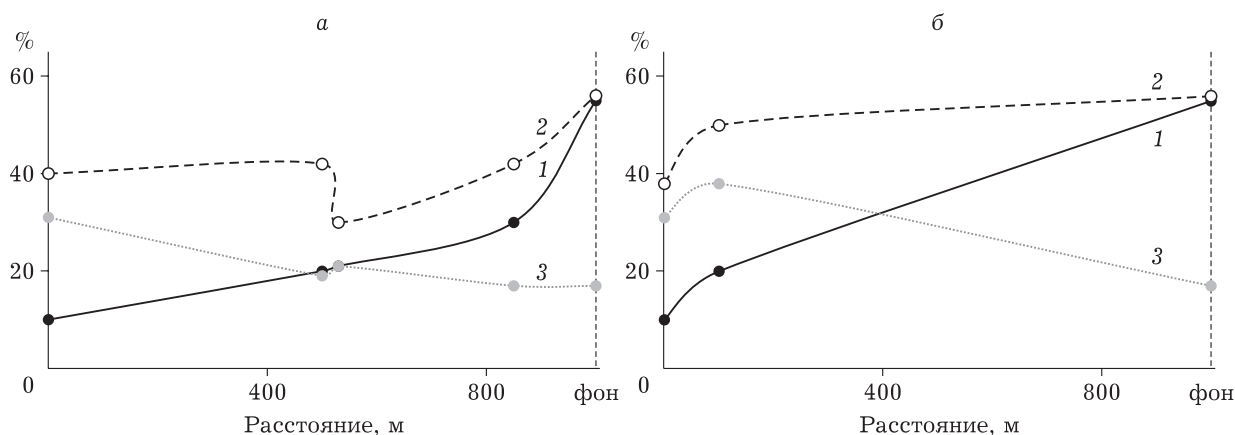


Рис. 7. Содержание углерода (1), соотношения C/N (2) и C/H (3) в пробах снега, взятых вблизи отвала: а – в северо-восточном направлении (Т9, Т1, Т2, Т4); б – в северном направлении (Т9, Т8).

Химический состав растворенной части снегового покрова

Химический состав растворенной части снегового покрова показывает долю компонентов, выбрасываемых и переносимых в виде газоаэрозольной фазы. Газоаэрозольная фаза – это дис-

ТАБЛИЦА 1

Содержание элементов в растворенной части снегового покрова, г/дм³

Элемент	Среднее	Минимальное	Максимальное
Ca	12.0	2.1	36.0
Na	4.2	0.15	23.0
K	0.77	0.14	2.4
Mg	0.54	0.047	2.2
Si	0.45	0.006	2.0
Fe	0.041	0.01	0.09
Sr	0.033	0.004	0.11
Al	0.026	0.005	0.07
Zn	0.022	0.002	0.065
Ba	0.022	0.008	0.049
Sb	0.008	0.008	0.008
Cu	0.006	0.004	0.008
Pb	0.004	0.004	0.004
Ni	0.0016	0.0005	0.004
Ti	0.0013	0.0008	0.003
Cr	0.0007	0.0004	0.0013
Li	0.0007	0.0002	0.0032
V	0.0006	0.0003	0.0009
Co	0.0004	0.0001	0.0012
Cd	0.0003	0.00018	0.0004

персная система, состоящая из газовой среды, в которой взвешены твердые или жидкие частицы размером 0.1–10 мкм.

По содержанию элементов в растворенной части снегового покрова можно выделить три группы. Первая группа – это макрокомпоненты с содержанием от 0.1 до 30 г/дм³, в нее входят щелочные металлы: Ca, Na, K, Mg (табл. 1). В нее входят самые распространенные катионы природных вод. Следует отметить, что Ca и Na преобладают в растворе с концентрациями от 1 до 30 мг/дм³, а содержание K и Mg колеблется в интервале 0.1–1 г/дм³. Вторая группа содержит микроэлементы в диапазоне концентраций от 0.01 до 0.1 г/дм³ (Ba, Zn, Al, Sr), третья (Cr, Li, V, Co, Cd) – от 0.01 до 0.0001 г/дм³ (см. табл. 1). Указанные микрокомпоненты менее распространены как в земной коре, так и в поверхностных водах.

Концентрации практически всех элементов, кроме Ba, Cr и Zn, превышают фоновые значения [13]. Причем в районе отвала превышение фоновых концентраций незначительно – до 1.5 раза (Ca, Na, K, Sr, Co). Напротив, в районе автотрассы наблюдаются существенные превышения фона, для некоторых элементов (Ca, Na, K, Al, Sr, Si, Mg) – в 5–10 раз. Также по мере удаления от автотрассы прослеживается закономерность распространения химических элементов в зависимости от направления ветра и присутствия лесополосы. В частности, для Ca (рис. 8) максимальные концентрации наблюдаются непосредственно вблизи дороги (первые 50 м), а затем резко снижаются уже к 100 м. На расстоянии 500 м от автотрассы содержания рассматриваемых элементов уже приближаются или совпадают с фоном.

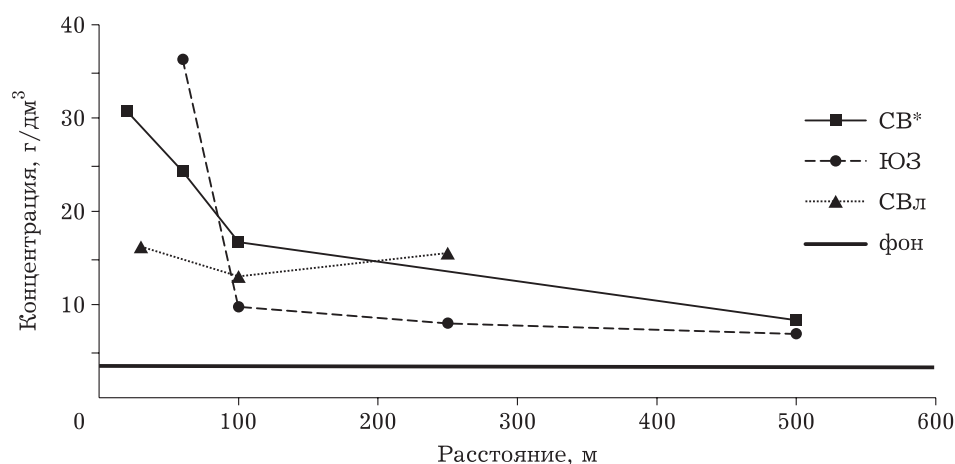


Рис. 8. Распределение Ca в растворенной части снегового покрова в зависимости от удаления от автотрассы. Направление: СВ – северо-восточное; ЮЗ – юго-западное, СВл – северо-восточное, экранированное лесополосой.

Следует отметить, что с подветренной стороны концентрации всех проанализированных элементов выше, чем с наветренной. Это подтверждает влияние розы ветров на распространение примесей. Результаты анализа проб, отобранных за лесополосой, показывают ее экранирующий эффект. Здесь содержание элементов в растворенной части снегового покрова заметно ниже, чем с подветренной стороны. Это свидетельствует о том, что лесополоса, создавая препятствие для передвижения воздуха, затрудняет перенос и распространение элементов в газо-аэрозольной фазе.

Химический состав взвешенной части снегового покрова

Химический состав взвешенной части снегового покрова показывает долю компонентов пыли, выбрасываемых и переносимых в основном виде. Это мелкие твердые частицы органического или минерального происхождения с размером 10–100 мкм.

Распределение химических элементов во взвешенной части снегового покрова позволяет выделить четыре группы элементов. Первая группа – макрокомпоненты с содержанием от 0.1 до 3.5 % (от 1000 до 35 000 мг/кг), в нее входят

ТАБЛИЦА 2

Содержание элементов во взвешенной части снегового покрова

Элемент	Содержание, %			Элемент	Содержание, мг/кг		
	Среднее	Минимальное	Максимальное		Среднее	Минимальное	Максимальное
Ca	1.678	0.17	3.6	Ga	8.3	4.05	17
Fe	1.134	0.66	2.3	As	7.6	3.8	21
K	0.597	0.46	1.1	Th	6.6	4.7	11
Ti	0.147	0.08	0.35	Mo	4.5	0.8	24
Mn	0.026	0.016	0.05	Cr	4.2	0.81	14
Zr	0.017	0.010	0.03	Te	3.1	2.3	3.7
Zn	0.016	0.003	0.069	Sn	3.0	1.5	5.2
Sr	0.013	0.011	0.015	U	2.0	0.9	4.0
Pb	0.009	0.001	0.054	Sb	1.7	0.29	5.9
Rb	0.005	0.003	0.007	Ag	0.90	0.14	3.6
V	0.003	0.001	0.009	Cd	0.58	0.16	1.0
Ni	0.002	0.001	0.004	Se	0.57	0.19	1.2
Cu	0.002	0.001	0.005	Ge	0.52	0.15	0.98

металлы Ca, Fe, K, Ti (табл. 2) – одни из самых распространенных элементов в земной коре. Элементы второй группы имеют концентрации порядка 0.001–0.1 % (от 10 до 1000 мг/кг) и представлены достаточно подвижными металлами: Mn, Zr, Zn, Sr, Pb, Rb, V, Ni, Cu. В третью группу включены не только металлы, но и аниогенные элементы (см. табл. 2) с концентрациями от 0.0001 до 0.004 % (от 1 до 40 мг/кг): Ga, As, Sb, Mo, Th, Te, Cr, Sn. Самые низкие концентрации у элементов четвертой группы – не более 0.0001 % (1 мг/кг и ниже), в нее входят примесные элементы углей (U, Ge, Se) и редкие металлы (Ag, Cd).

Для взвешенной части снегового покрова концентрации всех элементов, кроме Mo, превышают фоновые значения [13]. Следует отметить, что в растворенной части значительные превышения фона наблюдались в районе автотрассы, а во взвешенной части снеговых проб из этого района фон превышен ненамного, в среднем в 1.5–2 раза. Однако в районе отвала прослеживается повышенное содержание элементов второй, третьей и четвертой групп (с содержаниями от 1000 до 1 мг/кг) по сравнению как с фоном, так и с районом автотрассы. Таким образом, можно сделать вывод о существенном влиянии отвалов на близлежащие территории.

Закономерность распространения химических элементов по мере удаления от автотрассы во взвешенной части прослеживается не для всех элементов. На рис. 9 показано распределение Ca – макрокомпонента с максимальной концентрацией в исследуемых пробах. По мере удаления от дороги содержание Ca уменьшается до и ниже фоновых значений. С подветренной сторо-

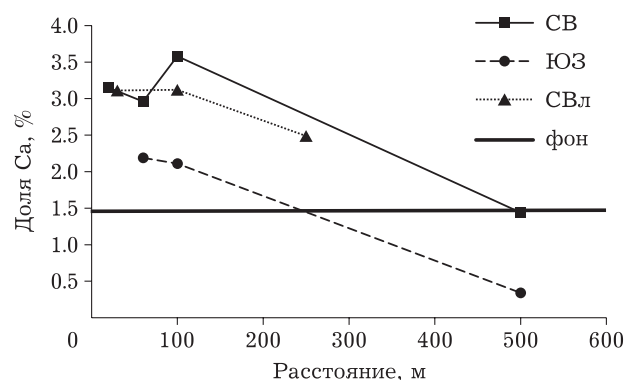


Рис. 9. Распределение Ca во взвешенной части снегового покрова в зависимости от удаления от автотрассы. Направление: СВ – северо-восточное; ЮЗ – юго-западное, СВл – северо-восточное экранированное лесополосой.

ны дороги концентрация Ca почти в 2 раза выше, чем с наветренной. Однако влияние лесополосы для пылевых частиц менее значительно, чем для газоаэрозольной фазы (см. рис. 9). Экранирующий эффект лесополосы присутствует, но не так выражено.

Миграционная способность элементов

Для оценки миграционной способности элементов в системе “растворенная часть снегового покрова – взвешенная часть снегового покрова” использованы коэффициенты распределения K_p : $K_p = \lg (Me_{ТВ}/Me_{В})$ где $Me_{ТВ}$ и $Me_{В}$ – концентрации элементов во взвешенной и растворенной частях снегового покрова соответственно. Чем ниже K_p , тем мобильнее элемент в системе [18]. Коэффициенты распределения рассчитаны для автотрассы и отвала. Можно выделить две группы элементов: подвижные ($K_p \leq 10$) и инертные ($K_p > 10$). Подвижные элементы – Ca, Cu, Cr, Sr, K, инертные – V, Fe, Ti. Для снеговых проб, отобранных вблизи автотрассы, K_p на 15–20 % ниже, чем в пробах, отобранных вблизи отвала. Таким образом, для снегового покрова вблизи автотрассы характерна более высокая миграционная способность элементов.

В целом миграционные способности элементов вблизи отвала и автотрассы схожи и хорошо согласуются с химическими свойствами элементов. Наиболее подвижными являются Ca и Cu, а инертными – V, Fe, Ti. Однако Cr, Zn и Pb в более подвижных формах зафиксированы вблизи отвала, нежели у автотрассы.

Полученные ряды подвижности элементов выглядят следующим образом:

Отвал: Ca > Cu > Cr > Zn > Pb > Sr > K > V > Fe > Ti

Автотрасса: Ca > Cu > Sr > Cr > K > Zn > Ni > V > Fe > Ti

Представленные результаты позволяют характеризовать геохимические обстановки формирования макро- и микрокомпонентного состава приземного слоя атмосферы и, как следствие, снегового покрова вблизи угольных отвалов. Наличие частиц углерода в воздухе ведет к перераспределению химических веществ в системе “взвесь – раствор”, и подвижность хорошо растворимых элементов (например, калия) снижается относительно других элементов, тогда как подвижность элементов с меньшими значениями растворимости (например, медь) повышается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние Горловского угольного месторождения на приземный слой атмосферы распространяется более чем на 1000 м с подветренной стороны дороги (северо-восточное направление) и 500 м с наветренной (юго-западное направление). При этом максимальное влияние оказывает автотрасса, по которой транспортируется добываемый уголь, минимальное – отвал для складирования вскрышных и вмещающих пород. Содержание пыли колеблется в пределах от 3.9 до 552.5 г/м² вблизи автотрассы и от 1.9 до 17.3 г/м² вблизи отвала.

Экранирующим эффектом обладают не только отвал пород, но и лесные насаждения, расположенные вдоль дорог, собирающие значительную часть пыли и препятствующие ее дальнейшему переносу. Содержание пыли и элементов в растворенной части снегового покрова заметно ниже в пробах, собранных за лесополосой, чем с подветренной стороны, не экранированной лесополосой.

Преобладающим элементом в техногенной пыли является углерод. Его содержание во взвеси исследуемых проб находится в диапазоне 34.8–64.1 и 11.6–30.5 % для участков, расположенных вблизи автотрассы и отвала соответственно. При этом значительная доля углерода во всех пробах приходится на углистые частицы.

В растворенной части снегового покрова содержание большинства элементов (кроме Ва, Ср и Zn) превышает фоновые значения. При этом в районе отвала превышения не велики – в 1.5 раза (Са, Na, К, Sr, Со), а в районе автотрассы для некоторых элементов (Са, Na, К, Al, Sr, Si, Mg) оно достигает 5–10 раз.

Для взвешенной части снегового покрова концентрации всех элементов (кроме Мо) превышают фоновые значения. Более высокие концентрации микроэлементов по сравнению с фоновом обнаружены в пробах, отобранных в районе отвала.

По мере удаления от автотрассы независимо от розы ветров содержание Са во взвешенной части уменьшается до фоновых значений, причем с подветренной стороны дороги оно почти в 2 раза выше, чем с наветренной. Влияние лесополосы для пылевых частиц оказывается менее значительным, чем для газо-аэрозольной фазы. Экранирующий эффект лесополосы присутствует, но не так выражено.

Миграционные способности элементов в пробах, отобранных вблизи отвала и автотрассы,

схожи. Однако коэффициенты распределения элементов в пробах снега из района автотрассы ниже, что свидетельствует о переносе элементов в более подвижных формах.

Работа выполнена в рамках базовых проектов ИПА СО РАН (№ АААА-А17-117030110077-4) и ИНГ СО РАН (№ 0331-2019-0031) и при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-04-00836 “Разработка теоретических основ технологий рационального размещения отходов и восстановления нарушенных территорий (на примере Горловского антрацитового месторождения)”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тимофеева С. С., Карпова И. А. Оценка экологической нагрузки на атмосферу при добыче бурых углей // Вестн. ИРГТУ. 2013. № 1 (72). С. 47–53.
- 2 Государственный доклад о состоянии окружающей среды в Новосибирской области, 2016. [Электронный ресурс] URL: http://dlh.nso.ru/sites/dlh.nso.ru/wodby_files/files/wiki/2018/06/doklad-2017-itogi_236_pechat.pdf (дата обращения 25.07.2019)
- 3 Авдеев А. П., Череповский В. Ф., Шаров Г. Н., Юзвицкий А. З. Угольная база России. Т. 2: Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири. М.: Геоинформцентр, 2003. 604 с.
- 4 Госсен И. Н., Кулижский С. П., Данилова Е. Б., Соколов Д. А. Бонитировочный подход к оценке почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов Сибири (на примере отвалов антрацитовых, каменно- и бурогольных месторождений) // Вестн. НГАУ. 2016. № 2 (39). С. 71–81.
- 5 Finkelman R., Orem W., Castranov V., Tatu C., Belkin H., Zheng B., Lerch H., Maharaj S., Bates A. Health impacts of coal and coal use: possible solutions // *Int. J. Coal Geology*. Vol. 50, No. 1–4. P. 425–443.
- 6 Yudovich Ya. E., Ketris M. P. Mercury in coal: a review, Part 1. *Geochemistry* // *Int. J. Coal Geology*. 2005. Vol. 62. P. 107–134.
- 7 Dai S. F., Ren D. Y., Chou C.-L., Finkelman R. B., Seredin V. V., Zhou Y. P. Geochemistry of trace elements in Chinese coals: A review of abundances, genetic types, impacts on human health, and industrial utilization. // *Int. J. Coal Geology*. 2012. Vol. 94. P. 3–21.
- 8 Spears D. A. and Zheng Y. Geochemistry and origin of elements in some UK coals. // *Int. J. Coal Geology*. 1999. Vol. 38. P. 161–179.
- 9 Ren D., Zhao F., Dai S., Zhang J., Luo K. *Geochemistry of Trace Elements in Coal*. Beijing: Science Press, 2006. 556 p.
- 10 Tang X., Huang W. Trace Elements in Chinese coals. Beijing: The Commercial Press, 2004. P. 6–11.
- 11 Рапута В. Ф., Коковкин В. В., Морозов С. В. Экспериментальное исследование и численный анализ процессов распространения загрязнения снегового покрова в окрестностях крупной автомагистрали // *Химия уст. разв.* 2010. Т. 18, № 1. С. 63–70.
- 12 Raputa V. F., Kokovkin V. V., Morozov S. V., Yaroslavtseva T. V. Organic carbon in the city territories of the south of west siberia // *Химия уст. разв.* 2016. Т. 24, № 4. С. 483–489.
- 13 Девятова А. Ю., Соколов Д. А., Госсен И. Н., Соколова Н. А. Оценка влияния Горловского антрацитового ме-

- сторождения (Новосибирская обл.) на состояние снежного покрова прилегающих территорий // Сб. матер. Всерос. науч. конф. "Почвы в биосфере", Новосибирск, 10–14 сентября 2018 г., С. 315–320.
- 14 Bortnikova S., Abrosimova N., Yurkevich N., Zvereva V., Devyatova A., Gaskova O., Saeva O., Korneeva T., Shuvaeva O., PalChik N., Chernukhin V., Reutsky A. Gas transfer of metals during the destruction of efflorescent sulfates from the Belovo plant sulfide slag, Russia // *Minerals*. 2019. Т. 9, № 6. С. 344–344.
- 15 Бортникова С. Б., Девятова А. Ю., Шевко Е. П., Гаськова О. Л., Еделев А. В., Огудов А. С. Перенос элементов в газоаэрозольной фазе из отвалов Комсомольского золотозавода (Новосибирская обл.) // *Химия уст. разв.* 2016. Т. 24, № 1. С. 11–22.
- 16 Рапута В. Ф., Леженин А. А., Ярославцева Т. В., Девятова А. Ю. Экспериментальные и численные исследования загрязнения снежного покрова г. Новосибирска в окрестностях тепловых электростанций // *Изв. Иркут. Гос. ун-та. Сер.: Науки о Земле*. 2015. Т. 12. С. 77–93.
- 17 Горная энциклопедия: в 5 т. / Гл. ред. Е. А. Козловский. М.: Сов. энцикл., 1984–1991.
- 18 Tessier A., Cardigan R., Dubreul B., Rapin F. Portioning of zinc between the water column and the oxic sediments in lakes // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1989. No. 3. P. 1511–1522.