

УДК 553.31(470.22+470.23)

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СТРОНЦИЯ ТВЕРДЫХ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

© 2018 г. С.Б. Фелицын, Е.С. Богомолов

ФГБУН Институт геологии и геохронологии докембрия РАН,
наб. Макарова, д. 2, Санкт-Петербург, 199034 Россия. E-mail: felitsynsergey@gmail.com

Поступила в редакцию 22.03.2017 г.

После исправления 07.07.2017 г.

Изотопный состав стронция фракции менее 5 мкм городской пыли в г. Санкт-Петербург характеризуется величиной отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ от 0.7157 до 0.7295 и определяется соотношением глинистых минералов, калиевых полевых шпатов и плагиоклазов. Наблюдаемое преобладание микроклина над плагиоклазами в составе минеральной компоненты тонкодисперсных взвешенных частиц атмосферного воздуха Санкт-Петербурга связано с различной устойчивостью перечисленных минералов под воздействием закисленных атмосферных осадков.

Ключевые слова: городская пыль (фракция менее 5 мкм), отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, минеральный состав, взвешенные частицы, воздушный бассейн.

Частицы глинистой и алевритовой размерностей алюмосиликатного состава составляют около 50% объема твердых взвешенных частиц в атмосфере [16, 9]. Главный источник минералов – ветровая эрозия почвенного покрова и пород верхней континентальной коры [13]. Антропогенная компонента представлена продуктами сгорания углеводородов, фрагментами дорожного покрытия, металлами и их водорастворимыми солями. Одна из проблем, возникающих в процессе изучения твердых взвешенных частиц атмосферного воздуха, – оценка соотношения локальной и региональной компонент пыли. Согласно результатам изучения перенесенных на сотни километров пылевых частиц [6, 4], их минеральный состав позволяет идентифицировать источник пыли на основе наличия или отсутствия некоторых глинистых минералов.

При изучении состава городской пыли особое внимание уделяется тонким фракциям твердых взвешенных частиц, поскольку частицы с аэродинамическим диаметром менее 5 мкм оказывают негативное воздействие на здоровье человека, проникая в дыхательные органы. Получение данных о минеральном составе подобных частиц (например, с использованием рентгеновских методов) связано с определенными сложностями по причине поликомпонентного состава пыли и применяемыми способами пробоотбора (накопление частиц на фильтрах при прокачке

воздуха). Представляется целесообразным применение изотопно-геохимического подхода, в частности – изучение изотопного состава стронция тонких фракций пылевых частиц для оценки минерального состава данных фракций. Величина отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ различна в породообразующих алюмосиликатных минералах по причине разной величины отношения Rb/Sr в них вследствие кристаллохимического контроля [7]. Проведенные ранее исследования изотопного состава твердых взвешенных частиц атмосферного воздуха показали возможность использования данных по изотопным систематикам (включая изотопную систему стронция) для выявления источника пылевых частиц [11].

В Санкт-Петербурге существует система мониторинга состояния воздушного бассейна, включающая оснащенные единообразным оборудованием станции, стандартные процедуры пробоотбора, пробоподготовки, анализа и представления данных по содержанию взвешенных частиц на основе разработанных нормативных документов. Полученный в процессе мониторинга пылевой материал может быть использован для изучения минерального, элементного и изотопного состава пылевых частиц с возможностью сравнительного анализа результатов.

В настоящей работе приведены данные по изотопному составу стронция валовых проб фракции

менее 5 мкм городской пыли Санкт-Петербурга за период 2014–2015 гг. Цель работы – выявление факторов, определяющих изотопный состав стронция тонкодисперсных твердых взвешенных частиц атмосферного воздуха.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы пыли (фракция с аэродинамическим диаметром менее 5 мкм, далее – PM5) получены от геологического унитарного предприятия «Специализированная фирма «Минерал», осуществляющего мониторинг состояния воздушного бассейна г. Санкт-Петербург. С этой целью в городе действует автоматизированная система мониторинга атмосферного воздуха (АСМ АВ). Отбор пылевых частиц фракции PM5 производился с использованием оборудования «Comde-Derenda GmbH» на кварцевых фильтрах МК 360 Quartz microfibre (Sweden) на высоте 2.5–3.0 м от поверхности в разных районах города. Местоположение стационарных постов АСМ АВ в Санкт-Петербурге и другая информация, связанная с мониторингом состояния воздушного бассейна, имеется на сайте <http://www.infoeco.ru/index.php?id=53>. С учетом погрешности при взвешивании и аналитических определениях, минимальный вес накопленных на фильтре частиц должен был быть не менее 2 мг. По данным многолетних наблюдений, при содержании в атмосферном воздухе Санкт-Петербурга фракции PM5 от 5 до 50 мкг/м³, длительность пробоотбора для химического анализа пылевых частиц должна составлять не менее 7 суток при стандартной скорости прокачки на оборудовании «Comde-Derenda GmbH» 2.3 м³/час.

Изученные в настоящей работе образцы пыли фракции PM5 отобраны в августе–сентябре 2014 и 2015 гг., вес образцов – от 2.7 до 6.8 мг. Согласно требованиям методических рекомендаций по обеспечению качества измерений при осуществлении мониторинга атмосферного воздуха техническими средствами автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга, разработанным и принятым в качестве стандарта предприятия фирмой «Минерал» в 2010 г., объем фракции PM5 в полученных пробах пыли должен составлять не менее 50% от общего объема пылевых частиц, накопленных на фильтрах.

Для определения изотопного состава стронция фильтры с содержащимися на них частицами истирались в агатовой ступке до получения мелкодисперсной субстанции. После этого

с применением центрифугирования из раствора выделялись чистые субстанции образцов, которые в дальнейшем подвергались разложению в смеси азотной и плавиковой кислот. По достижении полного разложения производилось выделение стронция для изотопного анализа путем катионообменной хроматографии на смоле марки AG50W-X8. Изотопный анализ Sr проводился на мультиколлекторном масс-спектрометре TRITON в статическом режиме. Коррекция на изотопное фракционирование стронция производилась при помощи нормализации измеренных значений по отношению $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 8.37521$. Нормализованные отношения приводились к значению $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.71025$ в международном изотопном стандарте NBS-987. Уровень холостого опыта составил 30 пкг для Sr.

Определение минерального состава частиц крупнее 3 мкм осуществлялось при помощи растрового электронного микроскопа JSM-6510LA с энергодисперсионным спектрометром JED-2200(JEOL). Содержание микроэлементов определено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на установке Agilent 7500c (USA) и методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на установке IRIS Intrepid Thermo. Работы по определению элементного и минерального состава фракции PM5 проводились в соответствии с методическими рекомендациями по определению состава мелкодисперсных взвешенных частиц атмосферного воздуха, разработанным и принятым в качестве стандарта предприятия ГУП Специализированная фирма «Минерал» в 2012 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изотопный состав стронция фракции PM5 городской пыли, накопленной на фильтрах стационарных станций АСМ АВ, расположенных в районах Санкт-Петербурга с различной антропогенной нагрузкой (промышленные зоны, селитебные территории, вблизи дорог с интенсивным автомобильным движением, садово-парковые участки в пригородных районах), характеризуется значениями отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ от 0.7157 до 0.7295, среднее содержание стронция составляет 217 мкг/г (таблица).

По данным определения элементного состава фракции PM5 пылевых частиц более чем в 120 отдельных пробах, полученных на станциях сети АСМ АВ в Санкт-Петербурге за время наблюдений с 2008 по 2015 г., среднее содержание кальция во фракции PM5 составляет 1.1% вес., Sr – 230 мкг/г,

Изотопный состав стронция фракции менее 5 мкм частиц городской пыли Санкт-Петербурга

№ стационарного поста отбора пылевых частиц	Sr, мкг/г	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma$
Ст. 1 (2014 г.)	256.4	0.723136±68
Ст. 1 (2015 г.)	338.1	0.715775±59
Ст. 2	273.6	0.716902±65
Ст. 3	208.3	0.724599±66
Ст. 4	222.3	0.725753±76
Ст. 5	177.4	0.729527±84
Ст. 7	285.7	0.726514±75
Ст. 8 (2014 г.)	254.1	0.718707±55
Ст. 8 (2015 г.)	243.8	0.727319±69
Ст. 9	244.2	0.726051±68
Ст. 11	153.8	0.724833±56
Ст. 14	140.8	0.727303±88
Ст. 15	192.3	0.726646±84
Ст. 17	181.8	0.727250±77
Ст. 18	322.6	0.717282±98
Ст. 19	204.1	0.727149±79
Ст. 20	188.6	0.726181±99

Rb — 85 мкг/г, отношение Ca/Sr = 50, Rb/Sr = 0.37. Среднее содержание Al во фракции PM5 за период наблюдений составляет 9.1% вес., Ti — 0.25% вес.

На основании результатов микронзондового анализа установлено практически полное отсутствие в изученных образцах карбонатных минералов и биотита размером менее 5 мкм. Минеральные частицы фракции PM5 представлены глинистыми минералами, микроклином, плагиоклазом (альбит и олигоклаз) и незначительным количеством кварца, содержание которого не превосходит 5% об. Содержание минеральной компоненты во фракции PM5 городской пыли Санкт-Петербурга (данные за период 2008–2015 гг.) изменяется от 50 до 70% об. Остальная часть представлена частицами техногенного происхождения — органическими полимерами, продуктами сгорания углеводородов (включая сажу),

частицами оксидов железа, сульфатами цинка и фрагментами сплавов на основе железа и меди.

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СТРОНЦИЯ ФРАКЦИИ PM5

Отношение Ca/Sr во фракции PM5 ниже, чем приводимые оценки для современной верхней континентальной коры (Ca = 3.0% вес., Sr = 350 мкг/г, Ca/Sr = 85) согласно [15]. При этом величина отношения Rb/Sr для верхней континентальной коры (0.32) меньше, чем во фракции PM5 городской пыли Санкт-Петербурга (0.37).

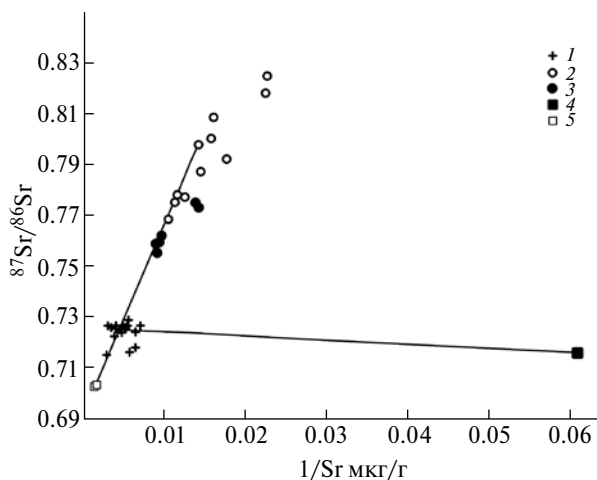
Наблюдаемый дефицит кальция во фракции PM5 по сравнению с модельным составом верхней континентальной коры объясняется кислотным характером атмосферных осадков в мегаполисах, включая Санкт-Петербург. По материалам многолетнего мониторинга химического состава атмосферных осадков в Санкт-Петербурге, наиболее часто выпадают осадки с pH от 5.1 до 5.7, минимальное значение составляет 4.3 [1]. В такой среде время пребывания карбоната кальция в составе тонкодисперсных взвешенных частиц атмосферного воздуха значительно меньше такового для алюмосиликатных минералов. Понижение кислотности при хранении проб дождевой воды является следствием растворения карбонатных частиц [1] и свидетельствует о нестабильности карбонатных минералов тонких фракций атмосферной пыли при взаимодействии с закисленными атмосферными осадками.

Данные растровой электронной микроскопии и содержание главных элементов во фракции PM5 указывают на незначительное количество частиц кварца размером менее 5 мкм в городской пыли. Частицы размером до 50 мкм сохраняют угловатую форму при эоловой транспортировке, что объясняется входением твердых частиц размерностью менее 40–50 мкм в состав взвешенной компоненты [12]. В той же работе отмечается крайне малое количество кварцевых частиц во фракции менее 40 мкм по результатам экспериментов и наблюдениями над природными объектами (лессы, пустынные и дюнные пески), обусловленное особенностями ветровой абляции частиц кварца. Различия минерального состава природных и антропогенных источников минеральных частиц представляются незначительными по причине того, что в качестве сырья чаще всего используются природные материалы местного происхождения. Например, при изготовлении строительных кирпичей в Санкт-Петербурге сырьем являются кембрийские глины из карьеров

вблизи города. Облицовочный материал архитектурных сооружений также преимущественно местного происхождения (крупнозернистый темно-розовый микроклиновый гранит-рапакиви Питерлакского месторождения Выборгского массива Карельского перешейка, мелкозернистые серые граниты сердобольской группы, ордовикские карбонатные туфы).

Оценка среднего отношения Rb/Sr во фракции PM5 составляет 0.37 (~ 120 определений), тогда как для биотитов из облицовочного материала архитектурных сооружений Санкт-Петербурга отношение Rb/Sr составляет от 30 до 100, величина $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ — от 1.39 до 4.34 [3]. По данным той же работы, для микроклинов из гранитоидов облицовки городских зданий среднее значение отношения Rb/Sr составляет 35. С учетом приведенных значений и данных растровой электронной микроскопии, при моделировании минерального состава фракции PM5 не использованы минеральные фазы с высокими значениями Rb/Sr и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (биотиты), а также осадочные карбонаты с низкими значениями отношений Rb/Sr и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. В качестве конечных членов рассматривались наиболее распространенные алюмосиликаты (калиевые полевые шпаты и плагиоклазы) из гранитоидов Карельского перешейка, а также глинистые минералы и валовые пробы аргиллитов венда и кембрия северо-запада Восточно-Европейской платформы.

На рисунке показано положение в осях $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ — $1/\text{Sr}$ фигуративных точек состава фракции PM5 и возможных локальных и региональных источников минерального материала в них. Точки, соответствующие образцам фракции PM5, занимают на диаграмме достаточно компактное поле по сравнению с глинистыми минералами. По причине низкого содержания Sr в глинистых минералах, дисперсия значений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и содержания Sr в глинистых минералах не оказывает влияния на состав фракции PM5. Наилучшее соответствие с фактическими данными показала 2-х компонентная модель смешения, в рамках которой 1-й конечный член соответствует микроклинам гранитоидов Карельского перешейка, 2-й член представлен смесью 75% вес. глинистых минералов и 25% вес. кислых плагиоклазов. Полученный на основе принятой модели смешения средний состав фракции PM5 содержит ~ 40% вес. калиевого полевого шпата (микроклин), ~ 45% вес. глинистых минералов и ~ 15% вес. кислых плагиоклазов. Приведенные оценки минерального состава фракции PM5 являются типичными для 80% изученных проб. Для проб



Изотопный состав стронция твердых взвешенных частиц (фракция менее 5 мкм) атмосферного воздуха Санкт-Петербурга

Диаграмма состава фракции PM5, глинистых пород и полевых шпатов в осях $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ — $1/\text{Sr}$. Показаны линии, согласующиеся с моделью смешения конечных членов (кислые плагиоклазы, глинистые минералы, микроклин). Условные обозначения: 1 — фракция менее 5 мкм городской пыли Санкт-Петербурга; 2 — глинистые минералы (иллит-сметит и хлорит) размером менее 0.6 мкм из верхневендских и нижнекембрийских отложений северо-запада Восточно-Европейской платформы по данным [10]; 3 — глинистые породы верхнего венда и нижнего кембрия центральной части Московской синеклизы по данным [8]; 4 — микроклин из архитектурных сооружений Санкт-Петербурга по данным [2]; 5 — альбит и олигоклиз из архитектурных сооружений Санкт-Петербурга по данным [2].

с содержанием Sr более 240 мкг/г и величиной отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ менее 0.725, доля микроклина может уменьшаться до 10–15% вес., содержание глинистых минералов остается практически неизменным, увеличивается доля плагиоклаза.

На основании вышеизложенного правомерен вывод о несоответствии минерального (и элементного) состава тонких фракций твердых взвешенных частиц городского атмосферного воздуха и потенциальных источников алюмосиликатных минералов в них. Минеральный и элементный состав тонкодисперсных взвешенных частиц атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге не соответствует модельному минеральному составу современной верхней континентальной коры, для которой численные оценки содержания плагиоклаза составляют от 31 до 39% об., кварца — от 20 до 24% об., калиевого полевого шпата — от 9 до 13% об. [14]. Как видно из приведенных данных, во фракции PM5 соотношение между содержанием кварца, калиевого полевого шпата и плагиоклазов резко отличается от такового в верхней

континентальной коре. Преобладание калиевых полевых шпатов над плагиоклазами встречается в К-гранитоидах, обнажения подобных пород находятся на расстоянии ~ 100 км северо-западнее Санкт-Петербурга. С учетом преобладания западных и юго-западных ветров в регионе, данные гранитоиды не могут рассматриваться в качестве источника минеральной компоненты фракции PM5 городской пыли Санкт-Петербурга.

Причина преобладания калиевых полевых шпатов над плагиоклазами в составе тонкодисперсных твердых взвешенных частиц атмосферного воздуха Санкт-Петербурга — различная скорость растворения перечисленных минералов: в лабораторных экспериментах скорость растворения микроклина при pH = 5 почти в 2 раза ниже по сравнению с альбитом и олигоклагом [5]. Локальная и региональная компоненты городской пыли характеризуются различным временем пребывания твердых частиц во взвешенном состоянии, поэтому правомерно предположить более высокое содержание карбонатных минералов и плагиоклаза (менее устойчивых в закисленной среде атмосферного бассейна Санкт-Петербурга по сравнению с калиевыми полевыми шпатами) в локальной компоненте. Различная устойчивость калиевых полевых шпатов и плагиоклазов при кислотном выветривании и значительная разница величины Rb/Sr в них позволяет предположить преобладание плагиоклазов над калиевыми полевыми шпатами в образцах фракции PM5 городской пыли Санкт-Петербурга только для проб с преобладанием локальных источников, величина $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в таких образцах составляет менее 0.720. Возможное наличие карбонатных минералов в составе пылевых частиц с преобладанием локальных источников также приводит к уменьшению отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в пробах пыли, поскольку карбонатные минералы имеют более низкие величины $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ по сравнению с алюмосиликатами [7].

В результате проведенных ранее масс-спектрометрических исследований во фракции PM5 городской пыли Санкт-Петербурга был обнаружен техногенный изотоп ^{90}Sr , среднее содержание которого в августе 2010 г. составляло 0.48 нг/г на основе 135 единичных измерений [3]. В том же году содержание ^{90}Sr в краевой зоне (~ 300 мкм) кристаллов микроклина из архитектурных сооружений Санкт-Петербурга составляло 1.3–2.2 нг/г, в краевой зоне кристаллов плагиоклазов (An = 10–30 и 50–70%) — 0.07–0.12 нг/г [2]. Накопление изотопа ^{90}Sr в породообразующих минералах

облицовки городских зданий авторы связывают с ионно-обменными реакциями при контакте атмосферных осадков с минералами пород, использованных при строительстве.

Содержание ^{90}Sr в образцах городской пыли (фракция PM5) в 2015 г. составляет по данным настоящей работы 0.75 нг/г (среднее по 37 определениям). При рассчитанном модельном минеральном составе фракции PM5, 95% вес. изотопа ^{90}Sr содержится в составе микроклина и полевых шпатов из материалов архитектурных сооружений Санкт-Петербурга, попавших в состав взвешенных твердых частиц атмосферного воздуха в результате выветривания. Активность, связанная с ^{90}Sr в составе минеральных частиц городской пыли в Санкт-Петербурге составляет ~80 Бк/кг фракции PM5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изотопный состав стронция тонкодисперсных твердых взвешенных частиц атмосферного воздуха Санкт-Петербурга характеризуется величиной отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ от 0.7157 до 0.7295 и отражает особенности минерального состава фракции менее 5 мкм, а именно — преобладание калиевых полевых шпатов и глинистых минералов над плагиоклазами и практически полное отсутствие карбонатов кальция и биотита. Применение модели смешения на основе изотопного состава стронция позволило получить количественные оценки содержания главных минеральных фаз в тонких фракциях городской пыли Санкт-Петербурга. В большинстве изученных образцов фракции PM5 около 80% вес. минеральной компоненты представлено калиевым полевым шпатом и глинистыми минералами, содержание кислых плагиоклазов составляет менее 20% вес. На основе распределения концентраций ^{90}Sr в тонких фракциях пыли, минералах из пород городской облицовки и рассчитанного минерального состава фракции PM5 в 2015 г. предполагается присутствие преобладающей части ^{90}Sr в составе алюмосиликатной компоненты тонкодисперсных твердых взвешенных частиц атмосферного воздуха Санкт-Петербурга.

2. Изотопный состав стронция фракции менее 5 мкм городской пыли Санкт-Петербурга определяется устойчивостью тонкодисперсных минеральных фаз в условиях кислотного выветривания. Соотношение между калиевым полевым шпатом и плагиоклагом (An 10–30%) во фракции PM5 отражает длительность пребывания соответствующих минеральных частиц в атмосферном

воздухе и поэтому может рассматриваться в качестве оценки вклада локальных и региональных источников минеральных частиц городской пыли Санкт-Петербурга. Величина отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в частицах фракции PM5 менее 0.720 и концентрация стронция более 200 мкг/г указывает на преобладание локальной компоненты, обогащенной плагиоклазами. Увеличение содержания глинистых минералов и калиевых полевых шпатов во фракции PM5 приводит к более высоким отношениям $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и может свидетельствовать о преобладании частиц дальнего переноса в составе фракции PM5.

Работа выполнена в рамках НИР ИГГД РАН (№ гос. регистрации 0153–2015–0013).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свистов П.Ф., Полищук А.И., Першина Н.А. Качественная оценка загрязнения окружающей среды (по данным о химическом составе атмосферных осадков) // Тр. ГГО. 2010. № 2. С. 4–17.
2. Фелицын С.Б., Алфимова Н.А., Богомолов Е.С. Изотопно-геохимические свидетельства изменения состава породообразующих минералов на начальных стадиях химического выветривания гранитоидов // Литосфера. 2013. № 6. С. 30–38.
3. Фелицын С.Б., Серебрицкий И.А., Алфимова Н.А. Накопление радионуклида ^{90}Sr в гранитоидах архитектурных сооружений Санкт-Петербурга. В сб. Минералогия во всем пространстве сего слова: проблемы укрепления минерально-сырьевой базы и рационального использования минерального сырья. Матер. Годичного собрания Российского минералогического общества и Федоровской сессии. СПб.: РМО, 2012. С. 309–310.
4. Avila A., Queralt-Mitjans I., Alarcon M. Mineralogical composition of African dust delivered by red rains over northeastern Spain // J. of Geophys. Res. 1997. V. 102. P. 21977–21996.
5. Drever J.I., Clow D.W. Weathering Rates in Catchments // Reviews in Mineralogy. 1995. V. 31. P. 463–481.
6. Duce R.A., Unni C.K., Ray B.J. et al. Long range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical north Pacific: temporal variability // Science. 1980. V. 209. P. 1522–1524.
7. Faure G., Powell J.I. Strontium isotope geology. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, and New York. 1972. 188 p.
8. Felitsyn S., Vidal G., Moczydlowska M. Trace elements and Sr and C isotopic signatures in late Neoproterozoic and earliest Cambrian sedimentary organic matter from siliciclastic successions in the East European Platform // Geol. Mag. 1998. V. 135. P. 537–551.
9. Gieré R., Querol X. Solid Particulate Matter in the Atmosphere // Elements. 2010. V. 6. P. 215–222.
10. Gorokhov I.M., Clauer N., Turchenko T.I. et al. Rb-Sr systematics of Vendian-Cambrian claystones from the east European Platform: implications for a multi-stage illite evolution // Chem. Geol. 1994. V. 112. P. 71–89.
11. Grousset F.E., Biscaye P.E. Tracing dust source and transport patterns using Sr, Nd and Pb isotopes. // Chem. Geol. 2005. V. 222. P. 149–167.
12. Kuenen Ph.H. Experimental abrasion 4: eolian action // Jour. of Geology. 1960. V.68. P. 427–449.
13. Marker B.R. Mineral dust: An overview // Episodes. 2012. V. 35. P. 337–341.
14. Nesbitt H.W., Young G.M. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic consideration // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1984. V. 48. P. 1523–1534.
15. Taylor S.R., McLennan A.M. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford. 1985. 312 p.
16. Tegen I., Lacis A.A., Fung I. The influence on climate forcing of mineral aerosols from disturbed soil // Nature. 2003. V. 380. P. 419–422.

REFERENCES

1. Svistov P.F., Polishchuk A.I., Pershina N.A. *Kachestvennaya otsenka zagryazneniya okruzhayushchei sredi (po dannym o khimicheskom sostave atmosfery* [Quantitative estimation of environment pollution (based on rainfall chemical composition)]. *Trudi GGO*. 2010, no 2, pp. 4–17 (in Russian).
2. Felitsyn, S.B., Alfimova, N.A. Bogomolov, E.S. *Izotopno-geokhimitscheskie svidetel'stva izmeneniya sostava porodoobrazuyushchikh mineralov na nachal'nykh stadiyakh khimicheskogo vyvetrivaniya granitoidov* [Isotope and geochemical evidences of main minerals composition changes on the early stage of granitoids chemical weathering]. *Litosfera*, 2013, no. 6, pp. 30–38 (in Russian).
3. Felitsyn, S.B., Serebrikskii, I.A., Alfimova, N.A. *Nakoplenie radionuklida ^{90}Sr v granitoidakh arkhitekturnykh sooruzhenii Sankt-Peterburga* [^{90}Sr accumulation in granitoids from buildings of Saint-Petersburg]. *Materialy Godichnogo Sobraniya Rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva i Fedorovskoi sessii* [Proc. of Annual meeting of the Russian mineralogical society]. St. Petersburg, RMO, 2012, pp. 309–310 (in Russian).
4. Avila, A., Queralt-Mitjans, I., Alarcon M. Mineralogical composition of African dust delivered by red rains over northeastern Spain. *Jour. of Geophys. Res.*, 1997, vol. 102, pp. 21,977–21,996.
5. Drever, J.I., Clow, D.W. Weathering Rates in Catchments. *Reviews in mineralogy*, 1995, vol. 31, pp. 463–481.
6. Duce, R.A., Unni, C.K., Ray, B.J. et al. Long range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical north Pacific: temporal variability. *Science*, 1980, vol. 209, pp. 1522–1524.
7. Faure, G., Powell, J.I. Strontium isotope geology. Berlin, Heidelberg, and New York, Springer-Verlag, 1972. 188 p.

8. Felitsyn S., Vidal G., Moczydlowska M. Trace elements and Sr and C isotopic signatures in late Neoproterozoic and earliest Cambrian sedimentary organic matter from siliciclastic successions in the East European Platform. *Geol. Mag.*, 1998, vol. 135, pp. 537–551.
9. Gieré R., Querol X. Solid Particulate Matter in the Atmosphere. *Elements*, 2010, vol.6, pp. 215–222.
10. Gorokhov, I.M., Clauer, N., Turchenko, T.I. *et al.* Rb-Sr systematics of Vendian-Cambrian claystones from the east European Platform: implications for a multi-stage illite evolution. *Chem. Geol.*, 1994, vol. 112, pp. 71–89.
11. Grousset F.E., Biscaye P.E. Tracing dust source and transport patterns using Sr, Nd and Pb isotopes. *Chem. Geol.*, 2005, vol. 222, pp. 149–167.
12. Kuenen Ph.H. Experimental abrasion 4: aeolian action. *Jour. of Geology*, 1960, vol. 68, pp. 427–449.
13. Marker, B.R. Mineral dust: An overview. *Episodes*, 2012, vol. 35, pp. 337–341.
14. Nesbitt, H.W., Young, G.M. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic consideration. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1984, vol. 48, pp. 1523–1534.
15. Taylor, S.R., McLennan, A.M. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford. 1985, 312 p.
16. Tegen, I., Lacis, A.A., Fung, I. The influence on climate forcing of mineral aerosols from disturbed soil. *Nature*, 2003, vol. 380, pp. 419–422.

STRONTIUM ISOTOPE COMPOSITION OF SOLID PARTICULATE MATTER IN THE ST. PETERSBURG ATMOSPHERE

S.B. Felitsyn, E.S. Bogomolov

Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, nab. Makarova 2, St.-Petersburg, 199034 Russia. E-mail: felitsyn@peterlink.ru

Strontium isotope composition of solid particulate matter (particle size less than 5 μm , PM5 fraction) display $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio ranging within 0.7157–0.7295. Such values are closely related to the mineral composition of urban dust, i.e., low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and enhanced Sr concentration typically for urban dust in St. Petersburg with predominance of particles emitted from local sources. The enhanced K-feldspars content in urban dust from St. Petersburg results in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ higher than 0.720 and could point to regional source of airborne particles. Large proportion of ^{90}Sr in fine fractions of St. Petersburg urban dust is linked to solid airborne minerals exfoliated during the weathering of granitoids.

Key words: urban dust (PM5 fraction), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio, mineral composition of solid particulate matter.