

7. Методы рентгеноспектрального анализа. Новосибирск: Наука, 1986. 175 с.
8. Migdisov A. A. О соотношении титана и алюминия в осадочных породах // Геохимия. 1960. № 2. С. 149–164.
9. Нестеров Е. М., Тимиргалеев А. И., Маслова Е. В. Оценка техногенного воздействия на городскую среду на основе изучения геохимии донных отложений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2008. № 2. С. 96–99.
10. Резников А. Н. Железо-марганцовый коэффициент как показатель обстановки осадконакопления // Нефть и газ. Известия высших учебных заведений. 1961. № 1. С. 19–22.
11. QAV. Программное обеспечение для спектрометров серии «Спектроскан». Количественный анализ. СПб.: ООО «НПО «Спектрон»», 2004. 140 с.

REFERENCES

1. Akul'shina E. P. Glinistoe veshchestvo i osadochnyj rudogenez. Novosibirsk: Nauka, 1985. 244 s.
2. Veselova M. A. Novaja metodika analiza ozernyh donnyh otlozhenij s vysokim sodержaniem hlora // Izvestija RGPU im. A. I. Gertsena: Estestvennye i tochnye nauki. 2012. № 144. S. 76–82.
3. Kazarinov V. P., Bgatov V. I., Gurova T. I. i dr. Vyvetrivanie i litogenez. M.: Nedra, 1969. 456 s.
4. Kul'kova M. A. Geohimicheskaja indikatsija landshaftno-klimaticheskikh uslovij v golotsene // Istoričeskaja geologija i evoljucionnaja geografija / Pod red. E. M. Nesterova. SPb.: NOU «Amadeus», 2001. S. 171–179.
5. Lukashev V. K. Geohimicheskie indikatory protsessov gipergeneza i osadkoobrazovanija. Minsk: Nauka i tehnika, 1972. 320 s.
6. Metodika vypolnenija izmerenija massovoj doli metallov i oksidov metallov v poroshkovyh probah pochv metodom rentgenfluorestscentnogo analiza M049-P/04. SPb.: ООО «NPO Spektron», 2002.
7. Metody rentgenospektral'nogo analiza. Novosibirsk: Nauka, 1986. 175 s.
8. Migdisov A. A. O sootnoshenii titana i aljuminija v osadochnyh porodah // Geohimija. 1960. № 2. S. 149–164.
9. Nesterov E. M., Timirgaleev A. I., Maslova E. V. Otsenka tehnogennoho vozdejstvija na gorodskuju sredu na osnove izuchenija geohimii donnyh otlozhenij // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region: Estestvennye nauki. 2008. № 2. S. 96–99.
10. Reznikov A. N. Zhelezo-margantsovyj koeffitsient kak pokazatel' obstanovki osadkonakoplenija // Neft' i gaz. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. 1961. № 1. S. 19–22.
11. QAV. Programmnoe obespechenie dlja spektrometrov serii Spektroskan. Kolichestvennyj analiz. SPb.: ООО «NPO «Спектрон»», 2004. 140 s.

А. Д. Власов

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РАЗРУШЕНИЯ ГРАНИТА-РАПАКИВИ И ОСОБЕННОСТИ ЕГО БИООБРАСТАНИЯ В НАРУШЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Разрушение горных пород в природных и антропогенных экосистемах является биосферным процессом, который затрагивает все типы камня. Граниты относятся к числу наиболее прочных горных пород, однако и они постепенно разрушаются в результате взаимосвязанных физико-химических и биологических процессов. Особенно это относится к граниту-рапакиви, который широко применялся в архитектуре Петербурга: фасады зданий, набережные рек и каналов, мостовые, скульптурные памятники, постаменты. В городской среде деструкция природного камня заметно ускоряется, что обусловлено влиянием антропогенного фактора, прежде всего, загрязнения окружающей среды. На этом фоне повышается агрессивность микроорганизмов, вызывающих процессы биоповреждения каменных материалов. Изучение форм выветривания и биологи-

ческой колонизации горных пород в заброшенных карьерах и в городской среде представляет большой интерес с точки зрения возможности сравнения этих явлений в экосистемах с различным уровнем антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: гранит-рапакиви, выветривание, биообрастание, биоразрушение, микроорганизмы, геоэкологические факторы.

A. Vlasov

Geocological Factors of Granite-rapakivi Destruction and the Features of Biodeterioration in Disturbed Ecosystems

The destruction of rocks in natural and anthropogenic ecosystems is a biosphere process that affects all types of stone. Granite is a durable rock, but this type of rock also is gradually destroyed as a result of interrelated physical, chemical and biological processes. It particularly applies to granite-rapakivi which is widely used in the architecture of St. Petersburg: the facades of buildings, embankments of rivers and canals, bridges, sculpted monuments, pedestals. In an urban environment degradation of natural stone is significantly accelerated due to the human impact, especially pollution. In this regard, the aggression of microorganisms that cause bio-deterioration processes of stone materials increases. The investigation of the forms of weathering and biological colonization of rocks in the abandoned quarries and in urban environment are of relevance as it allows to compare these effects in ecosystems with different levels of anthropogenic pressure.

Keywords: granite-rapakivi, weathering, bio-fouling, bio-deterioration, microorganisms, geocological factors.

Гранит-рапакиви широко встречается в архитектуре Санкт-Петербурга: фасады зданий, набережные рек и каналов, мостовые, скульптурные памятники, постаменты, облицовка станций метрополитена. Гранит-рапакиви (по-фински — «гнилой камень») свое название получил из-за быстрого выветривания, что связано, прежде всего, с особенностями его структуры. В этой породе калиевый полевой шпат частично представлен в виде овоидов различного размера в разном количестве, иногда окруженных каймой из плагиоказа [5]. Пространство между округлыми выделениями полевых шпатов заполнено другими минералами — кварцем, слюдой.

Выветривание гранита обусловлено физическими и химическими процессами. Физическое выветривание проявляется в результате воздействия на породу циклов замораживания и оттаивания. Одним из проявлений этих процессов является трещиноватость породы. При химическом выветривании особое значение имеет каолинизация — процесс, ведущий к формированию вторичных глинистых минералов за счёт преобразования алюмосиликатов. Глинистые минералы абсорбируют воду, повышая влажность гранита, которая, в свою очередь, способствует микробному росту по плоскостям спайности в слюдах и полевых шпатах или на границах между кристаллами. Выветривание минералов и рост микроорганизмов приводят к внутренней напряженности, способствуя ослаблению кристаллической решетки и разрушению связей между отдельными минералами [2; 9; 14].

На поверхности гранита часто образуются пленки и корки различной природы. В результате загрязнений в городской среде на поверхности гранитных памятников и зданий образуется черная пленка со сложным составом органических и неорганических соединений. Состав черных поверхностных наслоений достаточно изменчив в городских условиях и зависит от внешних факторов, прежде всего, — от загрязнения окружающей среды [10; 12]. Поверхностные железистые пленки часто встречаются на граните в природных обна-

жениях. Они богаты железом и чаще всего имеют бурый, оранжевый или красноватый цвет [11]. В образовании пленок и наслоений на поверхности гранита важную роль играют живые организмы [13]. Например, зеленую пленку образуют водоросли и цианобактерии, в формировании бурой пленки на поверхности гранита могут принимать участие железобактерии, а в составе черных пленок преобладают темноокрашенные микроскопические грибы. В целом выветривание гранита — сложный физико-химический процесс, значительный вклад в который вносит биологический фактор.

Биологическое обрастание гранита изучено недостаточно. Гораздо большее количество работ посвящено биоповреждениям карбонатных пород, а также искусственного (строительного) камня. Вместе с тем широкое применение гранита в архитектуре городов в последние годы привлекает внимание к проблеме его биологического разрушения. Причиной повреждений гранита могут выступать различные группы живых организмов. К деструкторам этой породы относят бактерии, микроскопические водоросли и грибы, мхи, лишайники, высшие растения, беспозвоночные и позвоночные животные. Однако, по мнению многих исследователей, основной ущерб гранитным сооружениям наносят микроорганизмы, обладающие высокой деструктивной активностью [6; 15]. Они оказывают на гранит физическое и химическое (прежде всего, выделение органических и неорганических кислот) воздействие [8]. Микробное поражение породы углубляет и ускоряет процесс выветривания, что выражается в осыпании поверхностного слоя камня, в формировании углублений (неоднородной поверхности) или поверхностных отложений (корок). Условия окружающей среды чаще всего являются определяющими для освоения каменистого субстрата микроорганизмами [13]. Техногенное воздействие сказывается на всех компонентах городских экосистем [3]. В промышленно загрязненных зонах на поверхности гранита в повышенных количествах оседают соли тяжелых металлов, алифатические и ароматические углеводороды, соединения серы, фосфора, хлора, азота, углерода и других элементов. Как показывает большинство проведенных исследований, аккумуляция загрязнений на граните чаще всего способствует появлению и росту поверхностных биопленок. Их развитие может приводить к изменению пористости породы и сопровождается нарушением циркуляции влаги в ее толще [7].

Карьеры, где добывался гранит-рапакиви для создания знаменитых памятников нашего города, располагаются в районе Выборга и на территории Финляндии. Изучение процессов выветривания породы в таких карьерах, а также в памятниках архитектуры Санкт-Петербурга, представляет интерес в сравнительном аспекте.

В качестве объекта исследования был выбран карьер Монферрана, расположенный на берегу Финского залива в районе Питерлахти (южная часть Финляндии). Гранит-рапакиви из этого карьера использовался при строительстве Александровской колонны. В настоящее время карьер подвергается естественному зарастанию, а гранит постепенному разрушению. Обследования карьера проводились в 2011 и 2012 годах на предмет описания основных форм разрушения гранита, а также выявления и идентификации основных биообразователей камня.

Для сравнения был выбран памятник В.П. Стасову из гранита-рапакиви, сходного с гранитом из карьера Монферрана. Памятник расположен в Центральном районе города в Некрополе мастеров искусств Александровской лавры. Загрязненность воздуха этого района (по данным лаборатории химии атмосферы Северо-западного управления Гидрометеослужбы) по содержанию сернистого газа, окиси углерода, двуокиси азота, фенола, сажи и пыли часто превышает предельно допустимые концентрации. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются автомобили, выбросы которых составляют

74% техногенных загрязнителей, а также расположенные в этом районе ТЭЦ. Высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха в Центральном районе во многом определяет интенсивность и динамику процессов разрушения природного и искусственного камня в зданиях, сооружениях и памятниках культурного наследия.

При описании повреждений гранита учитывались характеристика самой породы [4], внешние признаки повреждений, условия экспонирования объекта (освещенность, влажность, температура и др.) К внешним признакам повреждений относятся изменения цвета и структуры поверхностного слоя, различные формы обрастаний и новообразований, наличие трещин и полостей. Отбор образцов производился с наиболее типичных участков поврежденного субстрата.

При исследовании разрушения гранита использовали петрографический анализ, световую и сканирующую электронную микроскопию, методы выявления и идентификации микроорганизмов, рентгеноспектральный микрозондовый анализ, атомно-абсорбционную спектроскопию, а также хромато-масс-спектрометрию.

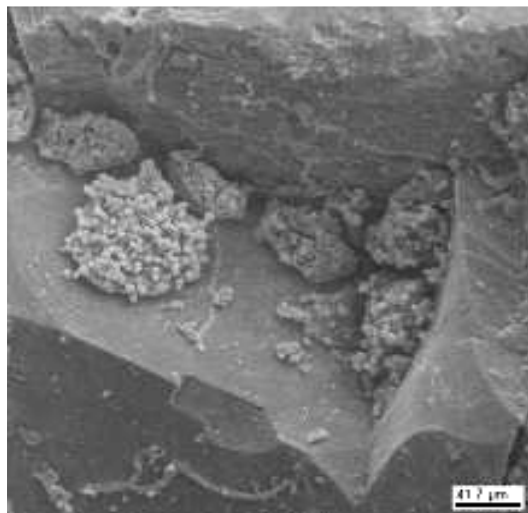
По результатам макроscopicого и микроскопического описания граниты-рапакиви из карьера Монферрана и памятника В. П. Стасову оказались сходны и представляют собой неравномерно-средне-крупнозернистую породу серо-розового цвета. Основная масса сложена розоватыми таблитчатыми кристаллами полевых шпатов величиной 2–5 см (65–70%) и мелкими кристаллами тёмно-серого кварца, образующими бесформенные скопления (20–25%). В значительно меньшем количестве (3–4%) присутствует слюда-биотит, мелкие пластинчатые кристаллы которой равномерно распределены в породе. В этой массе располагаются овоиды калиевого полевого шпата, размер которых достигает 5 см.

В результате исследований выявлены основные формы разрушения гранита в карьере Монферрана: трещиноватость, овоидальное выветривание, гранулярная дезинтеграция, поверхностные пленки и наслоения черного и бурого цвета в местах скопления влаги, поверхностные корки неоднородной цветности, биопиттинг (образование углублений в местах разрушения овоидов и развитие в них лишайников). Среди обрастаний на карьере доминировали лишайники, мхи, травянистые и древесные растения. Бактериологический анализ показал участие бактерий рода *Bacillus*, актиномицентов, бактерий нескольких физиологических групп в разрушении гранита. Наибольшая численность бактерий зафиксирована в образцах с выраженной гранулярной дезинтеграцией гранита, а также в образце первичной почвы, формирующейся под гранитом. Средняя численность бактерий составила $1,0 \times 10^5$ клеток на грамм субстрата. Кроме того, на карьере отмечено достаточно высокое разнообразие микроскопических грибов (микромикетов). Состав сообществ микромикетов на карьере близок к почвенной микобиоте, что свидетельствует о глубокой трансформации гранита в местах отбора микологических проб. Самым богатым по составу оказался род *Penicillium* (6 видов), что типично для почв этого региона. Выявленные грибы способны оказывать заметное влияние на гранит (за счет химического и физического воздействия) и накапливаться в больших количествах в местах повышенного увлажнения и скопления органического вещества. Для уточнения локализации грибов на поверхности гранита в карьере была проведена сканирующая электронная микроскопия (см. рис.).

Наблюдения за локализацией грибов на поверхности гранита показали, что на самой породе грибы аккумулируются в трещинах и углублениях, где формируются мелкие колонии (микроколони).

Гранит характеризуется большим видовым разнообразием эпилитных лишайников. В наибольшей степени каменистый субстрат подвергается разрушению накипными лишайниками из родов *Aspicilia*, *Rhizocarpon*, *Leparia*. На некоторых участках карьера накипные

лишайники образуют сплошные корки, которые с трудом удается отделить от каменистого субстрата. Это связано с тем, что накипные слоевища плотно срастаются с субстратом и проникают в глубь камня на несколько миллиметров.



Микроколонии темноокрашенных грибов в углублении поверхности гранита (СЭМ-анализ)

В городской среде в основном разрушение породы сопряжено с различными типами наслоений и биологическими обрастаниями поверхности гранита. Доминирующей формой обрастания является зеленый налет водорослей из отдела Chlorophyta. Среди основных форм повреждения гранита-рапакиви на памятнике В. П. Стасову было выявлено овоидальное выветривание. При этом, в отличие от карьера, где овоиды в основном обрастали лишайниками, в городской среде овоиды полевого шпата были окружены скоплениями аэрофильных водорослей. В целом на памятнике доминировали биологические наслоения с доминированием водорослей. Локально встречались мелкие дерновинки мхов. Среди наслоений преобладала корка черного цвета, образованная атмосферными загрязнениями и микроорганизмами. В целом на памятнике разнообразие форм повреждения камня оказалось ниже, чем в карьере. В образцах гранита с памятника отмечена высокая численность бактерий (средняя численность — $1,0 \times 10^6$ клеток на грамм субстрата). Полученные данные свидетельствуют о том, что загрязнения поверхности гранита способствуют формированию насыщенного бактериального сообщества с преобладанием слизистых и спорообразующих бактерий. Эти бактерии обладают высокой агрессивностью в отношении субстрата, прежде всего, за счет активной кислотопродукции. В отличие от карьера, актиномицеты в пробах с памятника В. П. Стасову были выявлены в незначительных количествах. Очевидно, что в карьере высокая численность актиномицетов была связана с глубокой дезинтеграцией гранита, с развитием макрообрастаний и с первичным почвообразованием в местах глубокого выветривания. Среди микроскопических грибов доминировали темноокрашенные микромицеты, обладающие повышенной устойчивостью к внешним воздействиям. Отметим, что на памятнике В. П. Стасову, в отличие от карьера, не были выявлены лишайники, которые характеризуются чувствительностью к атмосферным загрязнениям, а мхи развивались единично на границе памятника и постамента.

В целом по результатам исследования можно заключить, что разнообразие обрастаний памятника ниже, а численность микроорганизмов выше, чем в карьере. Доминирую-

щим типом обрастания на карьере являются биопленки с доминированием лишайников, а на памятнике В. П. Стасову — микробные пленки сложного состава.

Проведено исследование химического состава поверхностных пленок и наслоений на памятнике В.П. Стасову, а также почвы на границе с памятником (табл. 1). Полученные результаты указывают на превышение ПДК по Zn, Cu, Pb в изученных образцах. Однако известно, что микроорганизмы, в особенности микромицеты, проявляют устойчивость к тяжелым металлам и подобные концентрации не могут служить препятствием для их развития [1].

Таблица 1

Валовое содержание металлов в пробе поверхностных наслоений с памятника В. П. Стасову и в образце почвы на границе с памятником (атомно-абсорбционная спектроскопия)

Элемент	Концентрация, мкг/г	
	камень	почва
Fe	32280,6	5025,6
Mn	501,8	106,9
Zn	502,2	446,8
Cu	500,9	467,8
Pb	125,1	173,1
Cd	15,5	10,9

Следует отметить, что главные различия в составе загрязнений на памятнике и в почве состоят в содержании железа и марганца. Их количество в наслоениях на памятнике оказалось в несколько раз выше, чем в почве. Вероятно, это связано с биогенной аккумуляцией данных элементов, а также с их накоплением в продуктах разрушения породы. В то же время содержание свинца оказалось выше в почве, чем на поверхности гранита. Анализ состава органических веществ (хромато-масс-спектрометрия) выявил их высокое содержание в наслоениях на граните, что способствует развитию гетеротрофного микробного сообщества. Рентгено-спектральный микрозондовый анализ показал, что в черной пленке выше содержание железа, магния и кальция, тогда как в зеленой — алюминия, калия и натрия. Содержание кремния в этих пленках было сходным (табл. 2).

Таблица 2

Содержание элементов в черной и зеленой пленках на поверхности гранита-рапакиви в памятнике В. П. Стасову

Элемент	Процентное содержание элементов	
	Черная пленка	Зеленая пленка
Si	31,168	30,807
Al	6,951	9,055
Mg	0,788	0,435
Ca	1,474	0,254
Na	0,938	2,800
Mn	0,039	0,000
K	4,877	8,383
Fe	6,505	1,469
Ti	0,727	0,088

Полученные данные указывают на существенное влияние условий окружающей среды на состояние поверхности гранита и развитие литобионтного сообщества. В целом гранит-рапакиви подвергается интенсивной биологической колонизации в экосистемах с различной антропогенной нагрузкой. Состав и структура сообществ биообрастаний гранита могут использоваться в целях биоиндикации экосистем.

[Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития РГПУ им. А. И. Герцена на 2012–2016 годы (мероприятие 2.3.1)].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баринова К. В., Щипарев С. М., Власов Д. Ю. Влияние цинка и меди на образование органических кислот и рост *Penicillium citrinum* // Биомониторинг и охрана живой природы в Северо-Западном регионе. СПб.: ВВМ, 2010. С. 77–81.
2. Наймарк Е. Б., Ероцев-Шак В. А., Чижикова Н. П., Компанцева Е. И. Взаимодействие глинистых минералов с микроорганизмами: обзор экспериментальных данных // Журнал общей биологии. 2009. Т. 70. № 2. С. 155–167.
3. Нестеров Е. М., Тимиргалеев А. И., Маслова Е. В. Оценка техногенного воздействия на городскую среду на основе изучения геохимии донных отложений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский ун-т: Естественные науки. 2008. № 2. С. 96–99.
4. Нестеров Е. М., Тимиргалеев А. И., Дружинина А. А. Место магматизма в теоретической геологии // Отечественная геология. 2009. № 2. С. 72–78.
5. Тутакова А. Я., Романовский А. З., Булах А. Г., Лур Ю. В. Облицовочный камень Ленинградской области. СПб.: Русская коллекция, 2011. 80 с.
6. Berthelin J. Microbial weathering processes // Microbial Geochemistry. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1983. P. 223–262.
7. Dornieden T., Gorbushina A. A., Krumbein W. E. Patina — physical and chemical interactions of sub-aerial biofilms with objects of Art // In: Ciferri O., Tiano P., Mastromei G. (Eds.). Of Microbes and Art: The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 2000. P. 105–119.
8. Frey Beat, Stefan R. Rieder, Ivano Brunner, Michael Plotze, Stefan Koetzsch, Ales Lapanje, Helmut Brandl, Gerhard Furre. Weathering-Associated Bacteria from the Damma Glacier Forefield: Physiological Capabilities and Impact on Granite Dissolution // Applied and environmental microbiology. 2010. P. 4788–4796.
9. Härmä P., Selonen O. Surface weathering of rapakivi granite outcrops . implications for natural stone exploration and quality evaluation // Estonian Journal of Earth Sciences. 2008. Vol. 57. № 3. P. 135–148.
10. Pereira de Oliveira B., de la Rosa J. M., Miller A. Z., Saiz-Jimenez C., Gomez-Bolea A., Sequeira Braga M., Dionisio A. An integrated approach to assess the origins of black films on a granite monument // Environ Earth Sci. 2011. № 63. P. 1677–1690.
11. Prieto B., Aira N., Silva B. Comparative study of dark patinas on granitic outcrops and buildings // Science of the Total Environment. 2007. № 381. P. 280–289.
12. Saiz-Jimenez C. Biodeterioration and Biodegradation: the Role of Microorganisms in the Removal of Pollutants Deposited on Historic Buildings // International Biodeterioration and Biodegradation. 1997. Vol. 40. № 2–4. P. 225–232.
13. Sanjurjo-Sánchez J., Juan Ramón Vidal Romani, Carlos Alves. Comparative analysis of coatings on granitic substrates from urban and natural settings (NW Spain) // Geomorphology. 2012. № 138. P. 231–242.
14. Schiavon N. Kaolinisation of granite in an urban environment // Environ. Geol. 2007. Vol. 52. P. 399–407.
15. Warscheid Th., Braams J. Biodeterioration of stone: a review // International Biodeterioration and Biodegradation. 2000. № 46. P. 343–368.

REFERENCES

1. Barinova K. V., Shchiparev S. M., Vlasov D. Ju. Vlijanie cinka i medi na obrazovanie organicheskikh kislot i rost Penitsillium tsitrinum // Biomonitring i ohrana zhivoj prirody v Severo-Zapadnom regione. SPb.: VVM, 2010. S. 77–81.

2. *Najmark E. B., Eroshchev-Shak V. A., Chizhikova N. P., Kompantseva E. I.* Vzaimodejstvie glinistyh mineralov s mikroorganizmami: obzor eksperimental'nyh dannyh // Zhurnal obshej biologii. 2009. T. 70. № 2. S. 155–167.
3. *Nesterov E. M., Timirgaleev A. I., Maslova E. V.* Otsenka tehnogennogo vozdejstvija na gorodskuju sredu na osnove izuchenija geohimii donnyh otlozhenij // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij un-t: Estestvennye nauki. 2008. № 2. S. 96–99.
4. *Nesterov E. M., Timirgaleev A. I., Druzhinina A. A.* Mesto magmatizma v teoreticheskoj geologii // Otechestvennaja geologija. 2009. № 2. S. 72–78.
5. *Tutakova A. Ja., Romanovskij A. Z., Bulah A. G., Lir Ju. V.* Oblitsovochnyj kamen' Leningradskoj oblasti. SPb.: Russkaja kolleksija, 2011. 80 s.
6. *Berthelin J.* Microbial weathering processes // Microbial Geochemistry. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1983. P. 223–262.
7. *Dornieden T., Gorbushina A. A., Krumbein W. E.* Patina — physical and chemical interactions of sub-aerial biofilms with objects of Art // In: Ciferri O., Tiano P., Mastromei G. (Eds.). Of Microbes and Art: The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 2000. P. 105–119.
8. *Frey Beat, Stefan R. Rieder, Ivano Brunner, Michael Plotze, Stefan Koetzsch, Ales Lapanje, Helmut Brandl, Gerhard Furre.* Weathering-Associated Bacteria from the Damma Glacier Forefield: Physiological Capabilities and Impact on Granite Dissolution // Applied and environmental microbiology. 2010. P. 4788–4796.
9. *Härmä P., Selonen O.* Surface weathering of rapakivi granite outcrops . implications for natural stone exploration and quality evaluation // Estonian Journal of Earth Sciences. 2008. Vol. 57. № 3. P. 135–148.
10. *Pereira de Oliveira B., de la Rosa J. M., Miller A. Z., Saiz-Jimenez C., Gomez-Bolea A., Sequeira Braga M., A Dionisio A.* An integrated approach to assess the origins of black films on a granite monument // Environ Earth Sci. 2011. № 63. P. 1677–1690.
11. *Prieto B., Aira N., Silva B.* Comparative study of dark patinas on granitic outcrops and buildings // Science of the Total Environment. 2007. № 381. P. 280–289.
12. *Saiz-Jimenez C.* Biodeterioration and Biodegradation: the Role of Microorganisms in the Removal of Pollutants Deposited on Historic Buildings // International Biodeterioration and Biodegradation. 1997. Vol. 40. № 2–4. P. 225–232.
13. *Sanjurjo-Sánchez J., Juan Ramón Vidal Romaní, Carlos Alves.* Comparative analysis of coatings on granitic substrates from urban and natural settings (NW Spain) // Geomorphology. 2012. № 138. P. 231–242.
14. *Schiavon N.* Kaolinisation of granite in an urban environment // Environ. Geol. 2007. Vol. 52. P. 399–407.
15. *Warscheid Th., Braams J.* Biodeterioration of stone: a review // International Biodeterioration and Biodegradation. 2000. № 46. P. 343–368.

A. B. Воронцова, Е. М. Нестеров

ГЕОХИМИЯ ТВЕРДОЙ ФРАКЦИИ СНЕГОВОГО ПОКРОВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

[Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития
РГПУ им. А. И. Герцена на 2012–2016 годы (мероприятие 2.3.1)].

Анализируются результаты химического, фазового и дисперсного состава твердой фракции снегового покрова по шести районам Санкт-Петербурга. Данные получены с помощью рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализа и метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Выявляются основные источники загрязнения и оценивается их влияние на экологическое состояние районов.