УДК 622.831; 622.352.1; 725.945

В.И. Морозов
д-р техн. наук
профессор
Геофизический центр РАН[1]
главный научный сотрудник
v.morozov@gcras.ru

Сохранить Александровскую колонну в Санкт-Петербурге

Григорий Гагарин. Александрийская колонна в лесах. 1832–1833 гг.

[1]Россия, 119296, Москва, ул. Молодежная, 3.

Александровская колонна, возведенная в Санкт-Петербурге в 1834 г. под руководством О. Монферрана, изготовлена из гранита-рапакиви. Особенностью интрузивных горных пород является высокий уровень остаточных микронапряжений. При отделении гранитного монолита от массива они стимулируют развитие микродеструкции и в сочетании с проникновением влаги и ее последующим замерзанием при отрицательных температурах приводят к образованию поверхностных макротрещин. Периодические сезонные и суточные перепады температуры (±30 °С), вызывают развитие объемных напряжений в теле колонны, которые нельзя исключить герметизацией макротрещин с поверхности. В настоящее время в колонне насчитывают 27 трещин общей протяженностью более 8 м. Ускоряющийся процесс деструкции Александровской колонны требует немедленного принятия эффективных мер по сохранению этого исторического памятника России. Автор статьи предлагает меры по стабилизации деструкции Александровской колонны, включая проект защиты от агрессивного влияния окружающей среды и техногенного воздействия

Ключевые слова: Александровская колонна; граниты; развитие трещины; остаточные напряжения; влага

Как известно, Александровская колонна в Санкт-Петербурге, возведенная на дворцовой площади под руководством О. Монферрана в 1832–1834 гг., и ее постамент изготовлены из блоков гранита-рапакиви, вырубленных из массива гранитов вблизи Выборга (район Летсаарма). «Рапакиви» в переводе с финского языка означает – «гнилой, крошащийся камень». По-видимому, это свойство гранитов-рапакиви было известно местным народам давно из исторической практики их использования в строительных целях (валуны гранитов рапакиви рассыпаются при относи-

тельно слабом механическом воздействии). В 1841 г. на колонне появились первые заметные трещины, а к 1861 г. они значительно увеличились в размерах. Это вызвало первое беспокойство. Александром II был учрежден специальный «Комитет для исследования повреждений Александровской колонны». Комитет пришел к выводу, что они существовали изначально, но число трещин возросло и «может породить обрушение колонны». Трещины замазали мастикой. Следующий этап «реставрации» колонны произведен в 1862 г., – трещины заделаны портландцементом. В начале

Рис. 1.
Александровская колонна, на врезке – трещины в теле колонны

XX в. по рекомендации Д.И. Менделеева трещины Александровской колонны были заполнены специальным клеем в надежде прекратить их дальнейший рост. В последующие годы (до конца XX в.) пять раз производились реставрационные работы, имевшие косметический характер.

Реставрация Александровской колонны с использованием лесов была произведена в 1963 г., включая заделку выбоин от осколков снарядов немецкой артиллерии при осаде Ленинграда. Обследование колонны летом 2001 г. показало наличие новых трещин: «Количество трещин, конечно, увеличилось. В общей сложности было зарегистрировано порядка 27 трещин разной длины ***(рис. 1***), а общая длина – около 8 метров» (Даяпов, 2001). Обнаружены трещины и в основании столба колонны. Такого развития событий опасался Монферран, предлагая заключить основание колонны в бронзовый обод, но это предложение не было реализовано (эти и более детальные сведения можно найти в интернете и в соответствующей литературе).

Трещины можно видеть и в основании памятника Петру I («Медный всадник») – изготовленного из аналогичной разновидности гранитов, но они менее опасны с позиции инженерной защиты основания от разрушения. А вот Порфировая ваза, установленная в Летнем саду Санкт-Петербурга в 1839 г. (подарок Карла XIV Николаю I), в марте 2008 г. «самопроизвольно» раскололась на две части ***(рис. 2***) из-за «усталости» камня, вызванной неблагоприятным климатом (Дементьева, 2008). Еще две шведские вазы того же периода, трещины на которых появились в наше время, реставрированы и в 2014 г. снова установлены на адмиралтейской набережной. К сожалению, следует признать, что в этих условиях им не избежать участи Порфировой вазы, – потребуется только время.

Вместе с тем на фоне совершенно очевидных фактов деструкции памятников исторического наследия России (включая разрушение колонн Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге) следует придать первостепенное значение неотложным мерам по сохранению Александровской колонны для будущих поколений.

Генезис и физико-механические свойства гранитов

Граниты – скальные интрузивные горные породы, выходы которых на поверхность (или под незначительным по мощности слоем осадочных пород) широко распространены на территории России. В настоящее время граниты добывают открытым способом и используют в строительстве в основном в каче-

Рис. 2.
Порфировая ваза в Летнем саду Санкт-Петербурга – до и после разрушения

стве декоративного облицовочного материала. Граниты обладают высокой прочностью: на сжатие – до 190 МПа, на растяжение – 12 МПа (при коэффициенте прочности по Протодьяконову порядка 18). Считается, что морозостойкость гранитов (определенная по ГОСТу) достаточно высока при коэффициенте морозостойкости порядка 16. Вместе с тем примеры неудачного использования в строительстве многочисленны.

На примере формирования трещин в колоннах Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге, разрушения облицовочных плит колонн главного входа Российской государственной библиотеки (до 1992 г. – «им. В.И. Ленина») в Москве и др. можно утверждать, что не только граниты-рапакиви, но и некоторые другие разновидности гранитов мало пригодны для наружного употребления в климатических условиях средней полосы России. Минералогический состав гранитов и механизм их формирования в термодинамических условиях земной коры в конечном счете определяют долговечность и сохранность строительных качеств гранитов, используемых в архитектуре и строительстве. Усредненный минералогический состав гранитов определяется высоким содержанием плагиоклазов, роговой обманки (до 40%), кварца (до 25–45%) и акцессорных минералов, в том числе радиоактивного циркона. Характерной особенностью гранитов-рапакиви является наличие в их структуре овоидальных зерен калиевого полевого шпата, достигающих в диаметре более 5 см, окаймленных оболочкой олигоклаза, сцементированной среднезернистой массой полевых шпатов, кварца, слюды и роговой обманки. Генезис гранитов рапакиви остается дискуссионным [1–2], предполагается, что овоидная структура рапакиви начинает формироваться при температуре порядка 900–950 °С при температуре солидуса 550 °С, в условиях высокого давления. Различие в упругих константах и коэффициентах линейного температурного расширения породообразующих минералов гранитов рапакиви только в процессе остывания от температуры солидуса до температуры поверхности земли, т.е. при перепаде температуры, как минимум, порядка 500 °С, в гранитах приводит к возникновению остаточных («замороженных») напряжений, величина которых в некоторых разновидностях достигает 50 МПа [3].

Рис. 3.
Блоковые отдельности гранитных интрузий (фото автора)

Другой причиной возникновения остаточных напряжений являются зерна радиоактивного циркона (акцессорного минерала). Распределенные центры жесткого гамма-излучения формируют локальные области деструкции, приводящие к образованию микро-, а затем макротрещин в гранитах наряду с релаксацией остаточных напряжений. И если в природных условиях литостатическое давление и тектонические напряжения препятствуют внутренней диспрегации гранитов, то в зоне выветривания и в блоках, отделенных от массива, эти процессы протекают более интенсивно. Ориентировочно скорость генетической диспергации гранитов рапакиви можно оценить, если воспользоваться кинетической теорией прочности твердых тел, основанной на фундаментальном уравнении С.Н. Журкова и развитой в теоретических работах его коллег (Куксенко, Петров и др.). Нами экспериментально определены термокинетические параметры гранитов, входящие в уравнение долговечности, – так, энергия активации процесса разрушения равна 170–190 $\frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$ при величине структурно-чувствительного коэффициента 14–17 $\frac{\text{кДж}}{\text{моль·МПа}}$ [4]. Также было показано, что величина энергии активации разрушения породообразующих минералов адекватна энтальпии, отнесенной к количеству атомов в молекуле [5].

А в реальных условиях верхней части земной коры гранитные интрузии представляют собой блоковую гетерогенную среду, образовавшуюся под действием тектонических напряжений, достигающих ~ 30–40 МПа [6–7]. Непрерывный процесс деструкции гранитов в природных условиях (производство энтропии) формирует широкий спектр развития повреждений от микро- до макротрещин [8–10], в конечном счете определяющих качество гранитов для их использования в строительстве.

Самопроизвольное разрушение гранитных интрузий, имеющих выходы на поверхность – распространенное явление. На ***рис. 3*** показан борт карьера для добычи бутового камня из гранитов Нижнекамского массива (Красноярск). В результате остывания гранитной интрузии за счет внутренних напряжений формируются блоковые отдельности от десятков сантиметров до нескольких метров (интенсивная диспергация прослеживается на глубине свыше 500 м от поверхности)

Многочисленны примеры растрескивания крупных гранитных валунов. Внутренние напряжения и климатические условия формируют макротрещины и расколы ***(рис. 4)***.

Возвращаясь к проблеме образования трещин в теле Александровской колонны, следует сказать о необходимости учета внешних факторов, создающих знакопеременные поля температурных напряжений за счет климатических вариаций температуры и разрушающего влияния влаги в многократно повторяющихся сезонных циклах замораживания-оттаивания, включая антропогенное воздействие, способствующее ускоряющемуся развитию макротрещиноватости.

Внешние негативные факторы и механизм развития трещин

Наиболее существенным негативным фактором, способствующим зарождению и последующему развитию трещин в теле Александровской колонны, является проникновение влаги в поры и микротрещины (генетические и техногенные, образовавшиеся в процессе вырубки колонны из массива и последующей механической обработки). Проникая в поры и микротрещины колонны, влага, превращаясь в лед в зимний период, увеличивает свой объем (до 10%) и вызывает сильный расклинивающий эффект, способствующий интенсивному росту микротрещин. Последующее слияние микротрещин приводит к образованию макротрещин, при этом следует обратить внимание, что процесс зарождения и развития трещины, – это интегральный эффект взаимодействия остаточных напряжений и напряжений растяжения, вызванных замерзанием влаги в порах и микротрещинах. Минимальная температура в Санкт-Петербурге зарегистрирована в январе 1883 г., она составляла -35,9 °С. Отрицательные температуры в городе держатся 3–4 месяца, средний сезонный перепад температуры составляет 73 °С, при этом среднее количество осадков составляет 661 мм. Таким образом, только с 1832 г. по настоящее время Александровская колонна испытала как минимум 183 сезонных циклов замораживания-оттаивания.

Заделка трещин в теле колонны клеевыми составами, разумеется, снижает возможность проникновения влаги к вершине трещины, но не решает проблемы в целом. Дело в том, что при отрицательной температуре воздуха приповерхностный слой колонны имеет отрицательную температуру, в то время как внутренние области имеют положительную. В результате, в приповерхностном слое колонны возникают значительные температурные напряжения растяжения, способствующие формированию продольных трещин в Александровской колонне ***(рис. 1)***. Этот процесс неотвратим, поскольку клеевой состав, заполняющий трещину, практически не препятствует концентрации напряжений в ее вершине, вызывающей подрастание трещины в радиальном направлении к центру колонны. К сожалению, в таком же положении находятся колонны Исаакиевского собора. Особенно негативны резкие суточные перепады температуры от плюса к минусу в зимний период. Расчеты показывают, что окружные температурные напряжений растяжения могут достигать 8–10 МПа. Принцип суммирования действующих напряжений (имея в виду остаточные напряжения) и принцип Бейли дают возможность ориентировочных теоретических прогнозных оценок долговечности Александровской колонны на основе кинетической теории прочности твердых тел.

Нами показано, что в условиях многократно повторяющихся циклов замораживания-оттаивания образцов горных пород при неизменной величине энергии активации, структурно-чувствительный коэффициент закономерно возрастает, а это означает зако-

Рис. 4.
Раскол гранитного валуна (Воттоваара, республика Карелия)

номерный рост размеров микротрещин [11]. Вместе с тем ряд антропогенных факторов существенно усложняет задачу. В первую очередь это касается высокой кислотности выпадающих осадков в пределах промышленного мегаполиса. Влага является поверхностно активным веществом (ПАВ), существенно снижающим прочность влагонасыщенных горных пород, а соляная кислота способна растворять плагиоклазные оболочки калиевого полевого шпата гранитов рапакиви. Пары соляной кислоты, поступающие в атмосферу в результате функционирования промышленных предприятий, конденсируются в осадках и стимулируют физико-химический процесс деструкции минеральной среды в вершине трещины во внешних полях напряжений и температур.

Известно влияние вибрации, ускоряющей рост трещин в различных инженерных конструкциях (резонансные эффекты, стоячие волны), – причиной круглосуточной вибрации Александровской колонны является метрополитен и наземный транспорт Санкт-Петербурга, исключить их влияние практически невозможно. Также нельзя исключить сейсмическое воздействие на колонну удаленных тектонических землетрясений Фено-Скандинавского щита величиной в 7 баллов [Никонов, 2006]. Попутно следует подчеркнуть отличие Александровской колонны (ее средней части) высотой 28,8 м с нижнем диаметром основания 3,7 м от основания «Медного Всадника», сделанного также из гранитов рапакиви, с позиции механизма деструкции под воздействием обсуждаемых факторов. Практически идеальная геометрическая форма колонны (цилиндра) с полированной поверхностью создает условия для когерентно устойчивых резонансных возбуждений внутри колонны по сравнению с основанием «Медного Всадника» – геометрически неправильной формы и ребристой поверхностью.

В заключение обратим внимание на наличие у поверхности Земли вертикальной составляющей электростатического поля, достигающего величины 120 В/м , в котором постоянно находится Александровская колонна. Электро-осмотические и коррозионные эффекты требуют специального изучения. Во время грозы напряженность электрического поля в канале молнии достигает 1 МВ/м. Кварц в гранитах рапакиви является пьезоэлектриком, – теоретически возможен механизм преобразования электромагнитного импульса в импульс механической нагрузки (~ 0,5 МПа) [12], способствующий диспергации зерен кварца, являющихся цементом, скрепляющим овоиды плагиоклазов. Таким образом, непрерывный процесс производства энтропии в теле Александровской колонны в конечном счете приведет к ее разрушению, если не принять соответствующих инженерных мер защиты, направленных на стабилизацию состояния этого уникального исторического памятника европейской культуры XIX в.

Как спасти Александровскую колонну

1. Первое, что необходимо сделать, – собрать и проанализировать имеющиеся архивные данные по изучению состояния колонны за весь исторический период ее существования, включая последние ультразвуковые исследования, оценить их уровень достоверности и информативности.

2. Спланировать и реализовать оптимальный комплекс неразрушающих методов контроля состояния колонны для выявления областей локализации микро- и макротрещин, включая построение 3D-модели трещиноватости и генетической неоднородности Александровской колонны. Это позволит определить места расположения металлических бандажных обручей (при расчетных стягивающих усилиях), препятствующих развитию внешней и внутренней деструкции колонны. Эстетический ущерб неизбежен, но пример такого решения имеется, – из-за выраженных пластических свойств мрамора колонны собора Св. Софии в Константинополе укреплены металлическими бандажными обручами. Вместе с тем бандаж не решает всю проблему. Александровскую колонну необходимо изолировать и поместить в прозрачный стеклянный или пластмассовый пенал, предназначенный для изоляции колонны от осадков и сохранения в теле колонны постоянной температуры порядка 10–12 °С. Диаметр пенала должен быть несколько больше диаметра колонны. В пенал подается нагретый воздух, обеспечивающий стабильный температурный режим колонны и регулируемую влажность. Система подачи теплого воздуха монтируется в колодце и не нарушает архитектурного вида Дворцовой площади. Скрытая система датчиков в пенале имеет обратную связь с системой вентиляции и нагрева, обеспечивая в автоматическом режиме стабильность температуры колонны и прозрачность оболочки пенала.

Таким образом, предлагаемая конструкция позволит:

– исключить проникновение влаги в тело Александровской колонны, а, следовательно, исключить механизм роста микро- и макро-

трещин за счет расклинивающего эффекта фазового перехода «вода – лед»;

– исключить возникновение суточных и сезонных радиальных температурных градиентов в теле колонны, а следовательно, и формирование окружных температурных напряжений, ответственных за образование и рост продольных микро- и макротрещин;

– исключить механизм физико-химического воздействия кислотных осадков на механизм деструкции поликристаллической среды;

– снизить эффект реализации остаточных напряжений на микро- и макроуровнях.

Как известно, вес столба колонны при высоте 28,8 м и нижнем диаметре 3,66 м принимается равным 600 т, вес вершины колонны с бронзовым Ангелом составляет 37 т – следовательно, напряжения сжатия в основании столба колонны составляют 0,6 МПа. Эти напряжения незначительны по сравнению с величиной предельных напряжений сжатия гранитов, превышающих 160 МПа, определяемых по ГОСТу. Являясь соавтором разработки Государственных стандартов на определение прочностных свойств горных пород, хочу обратить внимание на «масштабный фактор», т.е. зависимость прочности от объема образца. Площадь основания колонны в 10^4 раз больше площади стандартных образцов при испытаниях, следовательно, предельные напряжения сжатия и растяжения могут быть значительно меньше. Можно предположить, что наличие трещин в основании столба колонны вызвано при его установке на «попа», когда кратковременная нагрузка на его край значительно превышала предельно допустимую. Неразрушающие методы контроля в 3D-пространстве позволят дать представления об уровне дисперсии материала в основании колонны и разработать действенные меры по ее стабилизации. Открытым остается вопрос о причине отклонения колонны от вертикали на 29 мм. Необходимо обследование свайного основания и системный геофизический мониторинг грунтов с последующим принятием инженерных решения.

Выводы

Для реализации проекта необходимо заключение Государственной экспертной комиссии об аварийном состоянии Александровской колонны в Санкт-Петербурге, вместе с тем представляется целесообразным предварительная научная дискуссия специалистов и, возможно, научно-практическая конференция, посвященная данной проблеме. Это позволит выяснить весь спектр мнений и определить компетентный состав экспертной комиссии. Техническая реализация идеи проекта требует соответствующей проработки, но его практическая возможность не вызывает сомнений. В настоящее время имеется отечественный опыт изготовления стеклянных труб диаметром до 2 м. Составной пенал диаметром 4 м позволит существенно снизить агрессивное воздействие окружающей среды и процесс физико-химического разрушения колонны. «Ошибка Монферрана» в выборе природного геоматериала, а именно гранитов рапакиви, для основного столба Александровской колонны требует принятия и реализации незамедлительных технических решений, чтобы сохранить образ исторического величия России в его первозданном виде для будущих поколений.

Литература

1. Судовников Н.Г. Проблемы рапакиви и позднеорогенных интрузий. Л. 1967. 118 с.
2. Свиреденко Л.П. Граниты рапакиви феноскандинавского щита (на примере Карелии) //Труды Кольского научного центра. 2014. № 1. С. 17–27.
3. Морозов В.Н. Остаточные напряжения в минералах и горных породах //Геология и разведка. 1980. № 12. С. 14–25.
4. Емелин М.А., Морозов В.Н., Новиков Н.П. и др. Новые методы разрушения горных пород. М.: Недра. 1990. 240 с.
5. Морозов В.Н., Дмитриев А.П., Новик Г.Я. Энтальпия породообразующих минералов как показатель прочности горных пород. Доклады АН СССР. 1992. Т. 245. № 5.
6. Morozov V.N., Tatarinov V.N. Tectonic processed development with time in the areas at HLW disposal from expert assessment to prognosis. Int Nuclear Enerrge sience and Technology. 2006. Vol. 2. № 1/2. P. 65–74. DOI: 10.1504/IJNEST.2006.010648.
7. Морозов В.Н., Татаринов В.Н. Палеотектоническая реконструкция напряженно-деформированного состояния пород Стрельцовского уранового рудного поля //Горный журнал. 2009. № 5. С. 68–71.
8. Belov S.V., Gvishiani A.D., Kamnev E.N., Morozov V.N. and Tatarinov V.N. Development of complex mpdel of evolition of structural tectonic bloks of the Earthh's crust //Russian journal of rhe Earth scienses. – 2008. – vol. 10
9. Белов С.В., Румянцев В.Н., Силаев А.Е. Роль тектонических напряжений в развитии гранитоидного магматизма // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1989. № 3. С. 21–34.
10. Белов С.В. Напряженно-деформированное состояние геосреды, магматизм и рудогенез. М.: ВИМС. 2004. 194 с.

11. Морозов В.Н., Беньков В.Н. Исследование разрушения горных пород при воздействиях знакопеременных температур с позиции кинетической теории прочности. Тр. ВНИИГ. Л. 1981. С. 26–41.
12. Anisimov V.N., Morozov V.N. Ferruginous quartzite destruction under high explosion and magnetic effect //processing of the 6th inter conference on physical problems of rock destruction. – 2009. – pp. 209 – 213.

UDC 622.831; 622.352.1; 725.945

V.N. Morozov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Geophysical Center of Russian Academy of Sciences, v.morozov@gcras.ru

1. 3 Molodezhnaja street, Moscow, 119296, Russia.

Save Alexander Column in St. Petersburg

Abstract. The Eighth Wonder of the World – Alexander Column was erected in St. Petersburg under the direction of Auguste de Montferrand in 1834, is made of granite rapakivi (in Finnish – "rotten stone"). The peculiarity of granite as one of the varieties of intrusive rocks, is the high level of residual ("frozen") microstrain. Process of successive crystallization minerals granite intrusion from 1400 ° C ends the crystallization of quartz at ~ 600 ° C (Bowen number). Differentiation of elastic and thermal properties of minerals composing the granite leads to the formation of microstrain, reaching ~ 50 MPa under normal conditions. When separating of an array granite monolith, residual stresses mikro destruction stimulate the development and in conjunction with the penetration of moisture and its subsequent freezing at low temperatures lead to the formation of the surface macro–cracks. Periodic seasonal and daily temperature fluctuations, up to ± 30 ° C in St. Petersburg, cause the development of bulk stress in the body of the column, which can not be excluded sealing macro–cracks on the surface. A good example is the spontaneous destruction of granite vases in 2008 in the Summer Garden (a gift from Charles XIV Nicholas I, set in 1839). Accelerating the process of destruction of the Alexander Column (currently in the column there were 27 fractures, a total length of more than 8 meters) requires the immediate adoption of effective measures for the conservation of this magnificent historical monument of Russia. In this paper we propose measures to stabilize the degradation of the Alexander Column, including proposals for the draft protection from aggressive environmental influences and anthropogenic impacts.

Keywords: Alexander Column, granite, development of a crack, residual stresses, moisture.

Referents:

1. Sudovnikov N.G. *Problemy rapakivi i pozdneorogennykh intruzii* [Problems Rapakivi and Late Orogenic Intrusions], Leningrad, 1967, 118 p.
2. Sviredenko L.P. Granity rapakivi fenoskandinavskogo shchita (na primere Karelii) [Granites Rapakivi Fennoscandian Shield (on the Example of Karelia)]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra* [Proc. of the Kola Science Centre], 2014, no. 1, pp. 17–27.
3. Morozov V.N. Ostatochnye napriazheniia v mineralakh i gornykh porodakh [Residual Stresses in Rocks and Minerals], *Geologiia i razvedka – Geology and Prospecting*, 1980, no. 12, pp. 14–25.
4. Emelin M.A., Morozov V.N., Novikov N.P. i dr. *Novye metody razrusheniia gornykh porod* [New Methods of Destruction of Rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1990, 240 p.
5. Morozov V.N., Dmitriev A.P., Novik G.Ia. Ental'piia porodoobrazuiushchikh mineralov kak pokazatel' prochnosti gornykh porod [The Enthalpy of the Rock-forming Minerals as an Indicator of the Strength of Rock]. *Doklady AN SSSR* [Reports of the USSR Academy of Sciences], 1992, vol. 245, no. 5.
6. Morozov V.N., Tatarinov V.N. Tectonic Processed Development with Time in the Areas at HLW Disposal from Expert Assessment to Prognosis. In Nuclear Energy Science and Technology. 2006. Vol. 2. № 1/2. P. 65–74. DOI: 10.1504/IJNEST.2006.010648.
7. Morozov V.N., Tatarinov V.N. Paleotektonicheskaia rekonstruktsiia napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia porod Strel'tsovskogo uranovogo rudnogo polia [Paleotectonic Reconstruction of Stress-strain State of the Rocks Streltsovsky Uranium Ore Field], *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2009, no. 5, pp. 68–71.
8. Belov S.V., Gvishiani A.D., Kamnev E.N., Morozov V.N. and Tatarinov V.N. Development of Complex Model of Evolution of Structural Tectonic Bloks of the Earth's Crust //Russian Journal of the Earth Science. – 2008. – vol. 10.
9. Belov S.V., Rumiantsev V.N., Silaev A.E. Rol' tektonicheskikh napriazhenii v razvitii granitoidnogo magmatizma [The role of tectonic stress in the development of granitoid magmatism]. *Izvestiia AN SSSR. Seriia geologicheskaia* [Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. A Series of Geological], 1989, no. 3, pp. 21–34.
10. Belov S.V. *Napriazhenno-deformirovannoe sostoianie geosredy, magmatizm i rudogenez* [Stress-strain State Geoenvironment, Magmatism and Ore Genesis]. Moscow, VIMS Pubk., 2004, 194 p.
11. Morozov V.N., Ben'kov V.N. Issledovanie razrusheniia gornykh porod pri vozdeistviiakh znakoperemennykh temperatur s pozitsii kineticheskoi teorii prochnosti [The study of rock failure under alternating temperature impacts with kinetic theory of strength positions]. *Trudy VNIIG* [Proc. VNIIG]. L. 1981. S. 26–41.
12. Anisimov V.N., Morozov V.N. Ferruginous Quartzite Destruction Under High Explosion and Magnetic Effect //Processing of the 6th inter Conference on Physical Problems of Rock Destruction. – 2009. – pp. 209 – 213