



УДК 504.064.36(571.5)  
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.36.3>

## **Пылевидная фракция гранитов, мигматитов, мраморизированных известняков, офиокальцитов как носитель наноразмерных частиц пыли**

А. Ю. Александрова, С. С. Тимофеева

*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Изучен дисперсный состав каменной пыли таких промышленных объектов, как месторождения мигматитов, гранитов, мраморизированного известняка и офиокальцитов. Пылевидная фракция перечисленных пород рассмотрена в качестве микроразмерных и наноразмерных элементов их структурообразования. Установлен наиболее перспективный метод разделения профессиональной (каменной) пыли горных карьеров – метод мембранной фильтрации. В ходе проведенных экспериментов проанализирован дисперсный состав пород, добываемых на карьерах каменного сырья Иркутской области. Определено процентное содержание частиц размерностью от 0,05 до 10 мкм в исследуемых образцах профессиональной пыли. Подтверждено наличие в них частиц наноразмеров, которые, в свою очередь, оказываются носителями негативной составляющей, способствующей развитию у горнорабочих профессиональных заболеваний.

**Ключевые слова:** пыль, нанофракции, пылевидная фракция, мембранная фильтрация, наночастицы, профессиональные заболевания, горная промышленность.

**Для цитирования:** Александрова А. Ю., Тимофеева С. С. Пылевидная фракция гранитов, мигматитов, мраморизированных известняков, офиокальцитов как носитель наноразмерных частиц пыли // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2021. Т. 36. С. 3–15. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.36.3>

### **Введение**

Каменная пыль горных карьеров – сложный полидисперсный компонент, состоящий из тонких микро- и наночастиц естественного и антропогенного происхождения. В большинстве случаев в ее составе содержатся минеральные частицы горных пород, добываемых на месторождениях. Поступление антропогенных частиц в каменную пыль может происходить в результате износа шин технологического транспорта, сгорания топлива при работе двигателей, истирания тормозных колодок, работы оборудования по измельчению горной породы и др. [Adachi, Tainosho, 2014; Use of physico-chemical signatures ... , 2015]. Продукты этих процессов вносят решающий вклад в токсичность каменной пыли горных карьеров.

Так, в [Ahmad, Khan, Patil, 2011] описано воздействие профессиональной каменной пыли на работников предприятий по производству гранита. Гранитная пыль в основном содержит кремнезем, а самое распространенное во всем мире заболевание у рабочих, занятых в производстве гранита, – силикоз, который проявляется в ухудшении функции легких, способном привести к раку легких (фиксируются даже случаи рака почек). Имеется лишь ограниченная информация о токсичности гранитной пыли. Так, выявлено, что при воздействии на человека даже незначительного количества гранитной пыли в течение длительного периода времени существует опасность возникновения у него различного рода серьезных респираторных заболеваний [The pulmonary toxicity ... , 2007]. Развитие заболеваний органов дыхания следует связать и с воздействием нанокристаллических структур чароитовой породы [Aleksandrova, Timofeeva, 2020]. Вероятность возникновения заболеваний органов дыхания у работников предприятия по добыче чароита зависит от места их работы и специфики выполняемых операций. Большему риску подвержены сотрудники, выполняющие работу на фрезеровочных, шлифовальных станках, использующие шлифовальную машинку, а также задействованные на взрывных работах. Чаще всего заболевания отмечаются у представителей таких профессий, как подсобный рабочий, взрывник, горнорабочий и обработчик сырья. Органами – мишенями возникновения заболевания под воздействием пыли вмещающих пород чаще всего оказываются глотка, бронхи, легкое и плевра.

Наночастицы кварца в зависимости от концентрации индуцируют различные сигнатурные маркеры стресса эндоплазматического ретикулума цитологического в клетках A549 (карциномы легкого человека). Эта токсичность усиливает выработку активных форм кислорода, что приводит к окислительному стрессу и воспалению органов дыхания и, как следствие, к развитию заболеваний легких [Sushma, Hridyesh, Iqbal ... , 2018]. Токсичность наночастиц обусловлена их поверхностной активностью, которая может быть причиной последствий более глобального характера, вызванных их попаданием в поверхностные воды, смыванием с дождем и миграцией в почву и грунтовые воды. Таким образом, изучение дисперсного состава каменной пыли является важной и актуальной задачей промышленной экологии, решению которой будет способствовать выявление признаков потенциальной опасности каменной пыли для здоровья человека.

Массовая доля наночастиц в большинстве случаев составляет десятые или сотые доли процента от общей массы частиц. Но основной вклад в токсичность вносят частицы именно наноразмеров, содержание которых изучено слабо. Данных о размерности каменной пыли недостаточно для исследования токсичности частиц, поэтому главной целью настоящего исследования является выделение наночастиц из полидисперсного образца каменной пыли.

Анализу будет подвержен дисперсный состав каменной пыли трех каменных месторождений мигматитов, гранитов, мраморизированного известняка и офиокальцитов, расположенных в Слюдянском и Черемховском районах Иркутской области.

Месторождение мигматитов и гранитов карьера «Ангасольский» находится в северо-восточной части Слюдянского района Иркутской области на расстоянии 1,2 км от пос. Ангасолка, здесь же располагается промышленная площадка по транспортировке и переработке добытого гранита и мигматита. Промышленная площадка граничит с естественным лесным массивом, в 2,5 км располагается оз. Байкал. Лицензия на пользование недрами карьера «Ангасольский» принадлежит ООО «Первая нерудная компания».

Мраморизированный известняк добывают на карьере «Перевал», расположенном в Слюдянском районе Иркутской области на хребте, разделяющем русла рек Слюдянки и Похабихи. От г. Слюдянки до отвалов карьера по долине р. Слюдянки – около 5 км. Промышленная площадка располагается в 2,4 км от карьера, в 8 км от него находится оз. Байкал. Лицензией на пользование недрами владеет ОАО «Ангарскцемент», являющееся крупнейшим поставщиком сырья для производства цемента в Иркутской области.

Алзагайское месторождение офиокальцитов располагается в Черемховском районе Иркутской области, в долине р. Онот, в 5 км от с. Онот. От города Черемхово до отвалов карьера по долине р. Онот – около 60 км. Промышленная площадка размещается на месте разработки карьера, со всех сторон ограничена лесным массивом. Лицензия на пользование недрами месторождения Алзагайского принадлежит ОАО «Байкалкварцсамоцветы», являющемуся крупным игроком на рынке реализации поделочных камней.

Предприятия имеют сходный технологический цикл, включающий в себя добычу, транспортировку и реализацию каменного материала в разных модификациях. Существенный вклад в образование пыли вносит такой технологический процесс, как дробление. В отсеве дробления мигматитов, гранитов, мраморизированного известняка и офиокальцитов на рассматриваемых предприятиях содержится до 10 % пылевидных частиц размером менее 0,15 мм. Доля наноразмерных частиц в пылевидной фракции, по оценкам [Макеев, 2010], – около 2 %. Количество наноразмерных частиц в пересчете на массу отсева каменного материала будет рассчитано в данной работе на основе экспериментальных данных.

Таким образом, на упомянутых выше объектах исследования в результате добычи и переработки каменного сырья образуется каменная пыль, оказывающая негативное влияние на биоту и человека, что требует дополнительных исследований ее дисперсного состава.

### **Методы исследования**

Существуют различные методы выделения «тончайших» частиц из образцов каменной пыли, среди которых следует особо упомянуть мембранную фильтрацию, центрифугирование и проточное фракционирование в поперечном силовом поле [Ermolin, Fedotov, 2016]. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, однако метод мембранной фильтрации является универсальным и эффективным при выделении частиц наноразмеров для пыли. Метод мембранной фильтрации позволяет выделять частицы размером от 10 нм до 100 мкм. Мембранная фильтрация применяется в большинстве отраслей народного хозяйства: для определения стерильно-

сти лекарственных средств, качества питьевой и технической воды, размеров пор; для удаления мелких частиц и растворенных солей из жидкостей, масел и других растворов; для контроля качества стерилизующих мембран и задержки бактерий; фильтрации молочных продуктов; применяется в воздушных фильтрах для очистки воздуха и др. По сути, мембранная фильтрация – это физический метод удаления ненужных веществ с помощью мембраны [Wagner, Chem, 2001]. В нашем случае ненужные частицы станут главным объектом исследования, и наоборот, будут удаляться частицы большей крупности, что даст возможность изучения частиц наноразмеров.

Самые распространенные промышленные мембранные процессы классифицируются по характеру движущей силы. Если движущей силой является градиент электрического поля, говорят об электродиализе и электрофорезе; если градиент концентрации – мембранные процессы делятся на пермеацию, диализ, газоразделение, первапорацию. В случае наличия градиента давления в роли движущей силы выделяют микрофильтрацию, ультрафильтрацию, нанофильтрацию и обратный осмос.

Нас интересует мембранная фильтрация, варьирующая в пределах от микрофильтрации до нанофильтрации. Такая фильтрация позволяет всесторонне охарактеризовать разделяемые частицы и добиться поставленной цели – впервые разделить каменную пыль данных месторождений на микро- и нанофракции (в том числе с целью дальнейшего изучения). Следует отметить, что применение с этой целью мембранной фильтрации в большинстве случаев увеличивает энерго- и трудозатраты для получения результата, но и позволяет в простых лабораторных условиях подтвердить эффективность метода как единого концептуального способа разделения профессиональной пыли, образующейся на предприятиях по добыче общераспространенных полезных ископаемых. Этот метод можно отнести к нетрадиционному способу разделения «тончайших» частиц минеральной пыли и оценки качественного и количественного состава частиц, которые вносят основной негативный вклад в развитие заболеваний человека, непосредственно связанного с добычей исследуемого сырья. Исходя из этого, становится очевидной постановка перед владельцами разрабатываемых карьеров следующих основных задач, решение которых позволит снизить степень вредного воздействия такого рода частиц на человека и окружающую среду в целом:

- выбор наиболее существенных технологических процессов, введение которых вполне достоверно может прогнозировать количество образующихся нано- и микрочастиц в технологическом цикле предприятия в целом;
- выявление основных закономерностей образования нано- и микрочастиц, позволяющих определять перспективность применения мембранной фильтрации на разных этапах их образования;
- использование наиболее перспективных особенностей мембранной фильтрации разделения профессиональной (каменной) пыли горных карьеров, которые необходимо учитывать при разработке технологии переработки сырья и технологии разделения частиц на фракции для дальнейшего использования в производстве конечного продукта.

Представляется, что общая концепция решения этих задач строится на основе применения мембранной фильтрации для разделения каменной пыли (на примере объектов исследования), а также определяется в зависимости от той или иной модели мембранных фильтров. В настоящее время наиболее подходящими мембранными фильтрами для разделения каменного материала являются:

1) мембранные фильтры Merck (Millipore) 10 мкм – нейлоновая сетка с отверстиями диаметром 10 мкм и мембраной диаметром 25 мм. Предназначены как для начальной стадии разделения частиц и количественного анализа, так и для последующей;

2) мембранные фильтры типа ФМСЕ-3,0 Sartorius с отверстиями диаметром 0,45 и 3 мкм производства ЗАО «Владисарт», состоящие из смеси эфиров целлюлозы (ФМСЕ). Сочетание смеси нитратов и ацетатов целлюлозы обеспечивает быструю скорость фильтрации и хорошую пропускную способность мембраны, сохраняя гидрофильные свойства и низкую экстрагируемость;

3) мембранные фильтры типа МФАС-Б с отверстиями диаметром 50 нм производства ЗАО НТЦ «Владипор» – микропористый пленочный материал, изготовленный на основе смеси ацетатов целлюлозы. Имеет высокие показатели удержания частиц наноразмеров.

При наиболее подходящем определении основных физико-химических свойств полидисперсной системы для фильтрации и при правильном подборе материала, из которого будут изготовлены мембранные фильтры, дальнейший процесс позволит не только исключить возможность химического взаимодействия «мембрана – разделяемая система», но и определиться с размерными характеристиками мембран. Это связано с тем, что для дальнейшего исследования (после фракционирования) наночастиц должно быть выделено максимально точное количество частиц для их последующего изучения открытым разложением с помощью масс-спектрометра с целью определения химического состава фракционированных частиц.

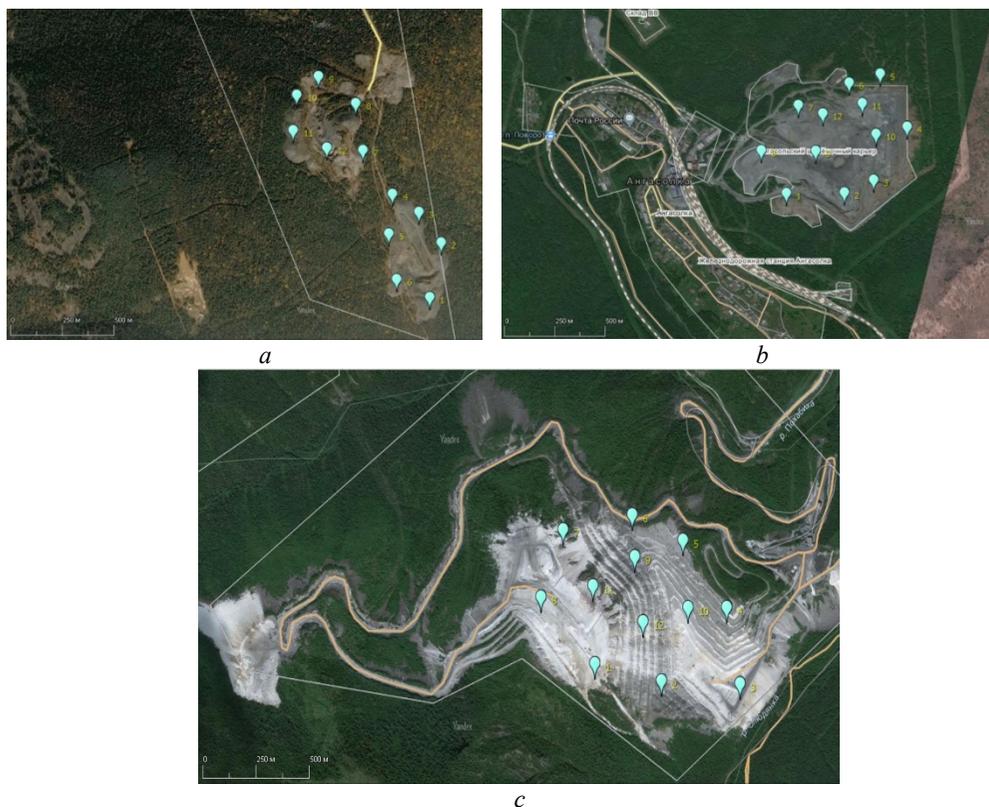
### **Экспериментальная часть. Фракционирование образцов**

Образцы пыли отобраны в июне – августе 2020 г. по периметру исследуемых месторождений (рис. 1, *a–c*) с помощью электрического аспиратора «Экотех-Урал» ПА-300М, предназначенного для забора проб воздуха из рабочей зоны в помещениях, а также на открытом пространстве. Метод исследования состава основан на пропускании большого объема воздуха через тонкодисперсионный фильтр.

На каждом месторождении отобрано 12 проб, всего – 36. Основные пробы отобраны по периметру месторождений с шагом в 300–400 м, часть по краю карьера, часть в центре карьера.

Фракционирование образцов пыли осуществляли методом многоступенчатой мембранной фильтрации (рис. 2). Использовали фильтрационную ячейку (Millipore) объемом 10 мл. Перед фильтрацией готовили суспензию из 100 мг пыли и 10 мл деионизированной воды. Затем суспензию диспергировали в ультразвуковой ванне в течение 5 мин. После отстаивали в тече-

ние 1 мин для удаления крупных частиц и декантировали супернатант. Полученный супернатант фильтровали через мембрану (Millipore) с порами, средний диаметр которых составлял 10 мкм. В результате на фильтре получили осажденную фракцию частиц с порами диаметром более 10 мкм. Частицы размерностью менее 10 мкм участвовали в следующем этапе мембранной фильтрации. Так, полученный фильтрат фильтровали через мембрану с порами, средний диаметр которых 2,5 мкм (Sartorius). На полученном фильтре получали осажденную фракцию частиц диаметром более 2,5 мкм. Частицы размерностью менее 2,5 мкм, аналогично другим этапам, фильтровались на следующем фильтре с порами среднего диаметра 0,45 мкм (Sartorius). В результате была получена осажденная фракция частиц на фильтре диаметром более 0,45 мкм. Частицы размерностью менее 0,45 мкм, прошедшие через фильтр, фильтровали через мембрану с порами среднего диаметра 0,05 мкм ( $< 50$  нм) («Владипор»). Осажденная фракция размерностью более 0,05 мкм осталась на фильтре, и в конечном итоге на последнем этапе мембранной фильтрации была выделена самая тонкая фракция пыли диаметром менее 0,05 мкм (менее 50 нм).



*Рис. 1.* Схема отбора проб:  
*a* – месторождение Алзагайское, *b* – месторождение Ангасольское,  
*c* – месторождение Перевал

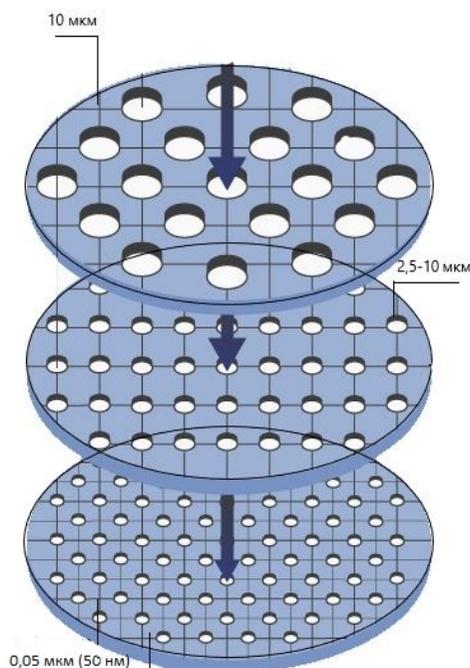


Рис. 2. Этапы фракционирования частиц профессиональной пыли

Фильтры с осажденными частицами сушили в эксикаторе для последующего определения концентраций пыли на каждом этапе фильтрации и их процентного содержания (результаты представлены в табл.). Из каждой пробы пыли массой 100 мг были получены осажденные частицы определенной массы, выделенные в определенном диапазоне частиц. Осажденные частицы, выделенные на каждом этапе фракционирования, планируется изучить методом открытого разложения на масс-спектретре (для определения концентраций химических элементов), методом рентгеноструктурного анализа минералов (для определения структуры минеральных наночастиц), а также рассчитать параметры элементарной ячейки для каждой из исследуемых фракций.

Таблица

Содержание частиц в пробах профессиональной пыли, исследуемых методом мембранной фильтрации (фракционирования)

Профессиональная порода	Размер частиц $d$ , мкм			
	$d < 0,05$	$0,05 \leq d < 0,45$	$0,45 \leq d < 2,5$	$2,5 \leq d \leq 10$
Содержание частиц, %				
Мигматит	2,1	38,7	14,2	45,0
Гранит	1,9	39,5	14,8	43,8
Мраморизированный известняк	1,8	38,0	15,8	44,2
Офиокальцит	2,0	38,1	16,8	43,1

### Результаты и их обсуждение

Получение фракционного состава методом мембранной фильтрации, находящейся в диапазоне от микрофильтрации до нанофильтрации, таких пород, как мигматит, гранит, мраморизированный известняк и офиокальцит, до наноразмерного состава происходит путем изначального механического разрушения горной породы под воздействием внешних факторов технологического процесса. Этот процесс сопровождается не только размерно-геометрическими, но и структурными изменениями исходной монолитной субстанции породы [Веттерген, Щербаков, 2016; Мансуров, Султанов, Рустамова, 2009; Шарков, 2016]. В итоге наноразмерные и микроразмерные частицы, получившие наиболее глубоко измененное состояние, отличаются по форме, минералогии, структуре [Виноградов, Хохлов, 2015] и, соответственно, по этой причине будут характеризоваться разным состоянием и разным воздействием на организм человека, как механически, так и физически влияя на него.

Мембранная фильтрация является универсальным способом разделения микро- и наночастиц на фракции. Как показывают данные таблицы, соотношение частиц размерностью более 2,5–10 мкм составляет от 43,1 до 45 % от общей массы частиц, частиц размерностью более 0,45–2,5 мкм – 14,9–16,8 % от общей массы частиц, частиц размерностью более 0,05–0,45 мкм – от 38 до 39,5 %. На частицы размерностью менее 0,05 мкм (< 50 нм), входящие в диапазон наночастиц, приходится порядка 2 % от общей массы профессиональной пыли. В целом в образующейся профессиональной пыли обследуемых в данной работе предприятий содержится до 10 % пылевидных частиц размером менее 0,13 мм. Для наноразмерных частиц пылевидной фракции отводится порядка 2 % от общей массы пылевидных частиц в пересчете на массу образующейся пыли в целом на предприятии. В килограмме профессиональной пыли может содержаться до 5 г наноразмерных частиц. Это значит, что при выбросах пыли примерно 72,4 т в год (по данным нормативов предельно допустимых выбросов, разработанных на рассматриваемых предприятиях) наноразмерных частиц выбрасывается порядка 1500 кг в год. За 10 лет работы одно предприятие, при отсутствии улучшений технологического процесса, выбрасывает в атмосферу около 10 т наноразмерных частиц.

С помощью программного обеспечения для манипулирования кристаллическими структурами и понимания структуры выделенных микро- и наночастиц был использован программный комплекс PowderCell (работает в комплексе с дифрактометром «ДРОН-4М») (рис. 3) и рентгеновский дифрактометр «ДРОН-4М» для уточнения экспериментальных кривых и расчета структуры полученных фракций. Как показывает опыт, наноразмерные частицы профессиональной пыли гранита, мигматита, мраморизированного известняка и офиокальцита по идентификационным характеристикам принципиально отличаются от входящих в нее микрочастиц. Значения продольного и поперечного размеров частиц, полученных на крайней стадии нанофильтрации, находятся в диапазоне от 0,02 до 0,05 мкм (20 до 50 нм) и ме-

нее. Отсюда следует вывод: чем меньше фракция, тем больше в ней частиц пластинчатой и игловидной форм, что в свою очередь негативно сказывается на человеческом организме при их попадании в него.

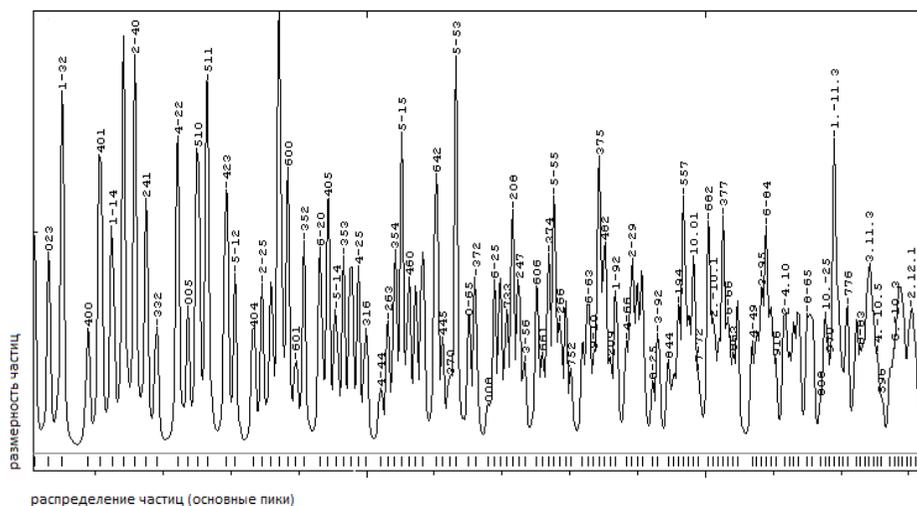


Рис. 3. Рентгенограмма частиц размером 50 нм – 10 мкм, выделенных мембранной фильтрацией из пылевидной фракции гранита

Рентгенографические исследования позволяют выявить поток высокоскоростных частиц, постепенно рассеивающихся в радиальном направлении, с лидирующей частицей, движущейся вдоль оси кумулятивного заряда, и распределить частицы по оси и в точках по размеру и форме. Преимущество данного способа заключается в том, что он дает возможность контролировать процесс рассеивания в режиме реального времени и является незаменимым в тех случаях, когда требуется получить результат за короткое время с минимальными погрешностями в каждой точке захвата частицы и фиксации ее на графике рентгенограммы.

Степень негативного влияния наноразмерных частиц на организм человека усугубляется их вредностью и токсичностью. Каменная профессиональная пыль – один из самых известных факторов вредности на рабочем месте. Однако существуют разногласия по поводу точной количественной связи между вдыханием пыли и развитием болезни, но научные исследования доказывают, что воздействие стандартной дозы  $0,1 \text{ мг/м}^3$  пыли на протяжении всей рабочей деятельности приводит к значительному ухудшению здоровья горняков и активному развитию силикоза, а впоследствии рака легких, что может стать причиной смерти [Mannetje, Steenland, Attfield, 2002]. В настоящее время собрано достаточно доказательств, позволяющих говорить о необходимости снижения уровня пыли до  $0,05 \text{ мг/м}^3$  в целях защиты горнорабочих, а в дальнейшем и вообще доведения ее содержания до  $0,01 \text{ мг/м}^3$  [Wong, 2002]. Несмотря на то что основным виновником развития

силикоза признана пыль, накапливаются свидетельства того, что другие сопутствующие продукты, такие как свежевзорванный мрамор и гранит, примеси других минералов в горной породе, глиняные компоненты, покрывающие поверхность породы, вносят существенный вклад в развитие заболевания.

Пылевидные фракции, образующиеся при переработке мигматита, гранита, мраморизированного известняка и офиокальцита, оказываются, таким образом, носителями негативной составляющей, которую можно рассматривать с точки зрения промышленной безопасности и охраны здоровья горнорабочих как фактор развития у них профессиональных заболеваний.

### **Выводы**

1. Показана возможность разделения пылевидной фракции гранитов, мигматитов, мраморизированного известняка и офиокальцитов методом мембранной фильтрации, находящейся в диапазоне от микро- до нанофильтрации.

2. Для мембранной фильтрации профессиональной каменной пыли исследуемых пород наиболее подходящими мембранами являются фильтры типа Merck (Millipore) диаметром 10 мкм, мембранные фильтры типа ФМСЕ-3,0 диаметром 0,45 и 3 мкм и мембранные фильтры типа МФАС-Б диаметром 0,05 мкм (50 нм).

3. Соотношение частиц в исследуемых образцах размерностью более 2,5–10 мкм составляет 43,1–45 % от общей массы частиц, частиц размерностью более 0,45–2,5 мкм – 14,9–16,8 % от общей массы частиц, частиц размерностью более 0,05–0,45 мкм – от 38 до 39,5 %. На частицы размерностью менее 0,05 мкм (< 50 нм), входящие в диапазон наночастиц, приходится порядка 2 % от общей массы профессиональной пыли. В килограмме профессиональной пыли может содержаться до 5 г наноразмерных частиц. Это значит, что при выбросах пыли примерно 72,4 т в год (по данным нормативов предельно допустимых выбросов, разработанных на рассматриваемых предприятиях) наноразмерных частиц выбрасывается около 1500 кг.

4. Минимальный размер обнаруженных частиц составляет 0,05 мкм (< 50 нм) и менее, что подтверждает наличие в общей массе пылевидной фракции частиц наноразмеров, а именно в профессиональной пыли, образующейся на предприятиях по добыче гранитов, мигматитов, мраморизированного известняка и офиокальцитов.

5. Значения продольного и поперечного размеров частиц, полученных на крайней стадии нанофильтрации, находятся в диапазоне от 0,02 до 0,05 мкм (20–50 нм) и менее. Отсюда следует, что чем меньше фракция, тем больше в ней частиц пластинчатой и игловидной формы, что в свою очередь негативно сказывается на человеческом организме при их попадании в него.

6. Отрицательное воздействие, приписываемое профессиональной каменной пыли горных карьеров, обуславливается наличием в ней наноразмерных частиц, негативно влияющих на человеческий организм.

7. Проведенное исследование подтверждает, что часть пылевидных частиц гранитной, мраморной, мигматитовой и офиокальцитовой пыли отно-

ся к частицам наноразмеров, что представляет чрезвычайную важность для дальнейшего исследования. Их способность легко проникать в живой организм и вживаться в его тончайшие клетки без возможности разрушения или разложения в организме, а также потенциальная токсичность таких частиц вынуждает нас дальше анализировать выделенные фракции исследуемых образцов. В будущем планируется рассмотрение такого рода фракций других пород, добываемых в Иркутской области, с углубленным изучением химического состава методом открытого разложения и определения параметров элементарной ячейки.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90096.*

### Список литературы

*Веттерген В. Я., Щербаков И. П.* Изменение структуры гетерогенного твердого тела (гранита) под воздействием ударной волны // Физика твердого тела. 2016. Т. 58, № 4. С. 681–684.

*Виноградов Ю. И., Хохлов С. В.* Вопросы об образовании отсева при добыче гранитного щебня // Взрывное дело. 2015. № 113/70. С. 118–125.

*Макеев А. Ю.* Глубокая переработка отсевов дробления гранитного щебня для их комплексного использования в производстве строительных материалов // Научный журнал строительства и архитектуры. 2010. № 1 (17). С. 92–99.

*Мансуров В. А., Султанов У. А., Рустамова М. З.* Структурные изменения при деформации природных гетерогенных материалов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2009. № 4. С. 55–59.

*Шарков М. Д.* Рентгеновские исследования формирования доменов в горных породах под взрывным воздействием // Физика твердого тела. 2016. Т. 58, № 11. С. 2248–2251.

*Adachi K., Tainosho Y.* Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust // Environ. International. 2004. Vol. 30. P. 1009–1017.

*Ahmad I., Khan M. I., Patil G.* Nanotoxicity of Occupational Dust Generated in Granite Stone Saw Mill // International Conference on Nanoscience, Technology and Societal Implications, Bhubaneswar, 2011. Vol. 8. P. 1–6.

*Aleksandrova A. Yu., Timofeeva S. S.* IOP Conf. Ser. Earth Environ. Science. 2020. Vol. 421. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/6/062011>.

The pulmonary toxicity of talc and granite dust as estimated from an in vivo hamster bioassay / B. D. Beck, H. F. Feldman, J. D. Brain, T. J. Smith, M. Hallock, B. Gerson // Toxicol Appl Pharmacol. 2007. Vol. 87. P. 222–234.

*Ermolin M. S., Fedotov P. S.* Separation and characterization of environmental nano- and submicron particles // Rev. Anal. Chem. 2016. Vol. 35, N 4. P. 185–186.

Use of physicochemical signatures to assess the sources of metals in urban road dust / S. Mummullage, P. Egodawatta, G. A. Ayoko, A. Goonetilleke // Science Total Environ. 2015. Vol. 541. P. 1303–1304.

*Mannetje A., Steenland K., Attfield M.* Exposure-response analysis and risk assessment for silica and silicosis mortality in a pooled analysis of six cohorts // Occup Environ Med. 2002. Vol. 59. P. 723–728.

*Sushma A., Kumarb H., Ahmad I.* In-vitro toxicity induced by quartz nanoparticles: Role of ER stress // Toxicology. 2018. Vol. 404. P. 1–9.

*Wagner J., Chem B. Sc.* Membrane Filtration Handbook. Practical Tips and Hints. 2<sup>nd</sup> ed., revision 2. Publ. by Osmoncis, 2000. P. 189–193.

*Wong O.* The epidemiology of silica, silicosis and lung cancer: some recent findings and future challenges. National Center for Biotechnology Information Ann Epidemiol, 2002. Vol. 12. P. 285–287.

## Dust-Fraction of Granites, Migmatites, Marbleized Limestones, Ophiocalcites as a Carrier of Nanosized Dust Particles

A. Yu. Aleksandrova, S. S. Timofeeva

*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation*

**Abstract.** In this work, we will discuss the study the dispersed composition stone dust such industrial objects as deposits migmatites, granites, marbleized limestone and ophiocalcites. The dust-like fraction the listed rocks is considered and evaluated as a micro-sized and nanosized component their structure formation. The main regularities of the formation nano- and micro-dust particles have been determined by the method membrane filtration. The most promising feature membrane filtration for the separation of professional (stone) dust mining quarries has been developed, which must be taken into account when developing a technology for processing raw materials, when separating particles into fractions for further use in the production the final product, when standardizing and qualitatively assessing the effect a nanosized fraction on the human body and environment. As a result the experiments carried out, the dispersed composition the rocks extracted at the quarries raw materials in the Irkutsk region was analyzed. The percentage particles with dimensions from 0.05 to 10 microns in the studied samples of professional dust was determined. The presence nanosized particles in them was confirmed, which, in turn, are the carrier a negative component, which can be considered from the point view industrial safety and health protection miners as a factor in the development such occupational diseases.

**Keywords:** dust, nanofractions, dust-like fraction, membrane filtration, nanoparticles, occupational diseases, mining.

**For citation:** Aleksandrova A.Yu., Timofeeva S.S. Dust-Fraction of Granites, Migmatites, Marbleized Limestones, Ophiocalcites as a Carrier of Nanosized Dust Particles. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2021, vol. 36, pp. 3-15. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.36.3> (in Russian)

### References

Vettergen V.Ya., Shcherbakov I.P. Izmenenie struktury geterogennogo tverdogo tela (granita) pod vozdeistviem udarnoi volny [Change in the structure of a heterogeneous solid (granite) under the influence of a shock wave]. *Fizika tverdogo tela* [Solid state physics], 2016, vol. 4, no. 58, pp. 681-684. (in Russian)

Vinogradov Yu.I., Khokhlov S.V. Voprosy ob obrazovanii otseva pri dobyche granitnogo shchebnaya [Questions about the formation of dropouts in the extraction of crushed granite]. *Vzryvnoe delo* [Blasting], 2015, no. 113/70, pp. 118-125. (in Russian)

Makeev A.Yu. Glubokaya pererabotka otsefov drobleniya granitnogo shchebnaya dlya ikh kompleksnogo ispolzovaniya v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Deep processing of crushing screenings of crushed granite for their complex use in the production of building materials]. *Nauchnyi zhurnal stroitelstva i arkhitektury* [Scientific journal of construction and architecture], 2010, no. 1 (17), pp. 92-99. (in Russian)

Mansurov V.A., Sultanov U.A., Rustamova M.Z. Strukturnye izmeneniya pri deformatsii prirodnykh geterogennykh materialov [Structural changes during deformation of natural heterogeneous materials]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and technical problems of mining], 2009, no. 4, pp. 55-59. (in Russian)

Sharkov M.D. Rentgenovskie issledovaniya formirovaniya domenov v gornykh porodakh pod vzryvnym vozdeistviem [Radiographical studies of the formation of domains in rocks under the explosive effect]. *Fizika tverdogo tela* [Solid state physics], 2016, vol. 58, no. 11, pp. 2248-2251.

Adachi K., Tainosho Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environ. International*, 2004, vol. 30, pp. 1009-1017.

Ahmad I., Khan M. I., Patil G. Nanotoxicity of Occupational Dust Generated in Granite Stone Saw Mill. *International Conference on Nanoscience, Technology and Societal Implications*, Bhubaneswar, 2011, vol. 8, pp. 1-6.

Aleksandrova A.Yu., Timofeeva S. S. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Science, 2020, vol. 421. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/6/062011>.

Beck B.D., Feldman H.A., Brain J.D., Smith, T.J., Hallock M., B. Gerson. The pulmonary toxicity of talc and granite dust as estimated from an in vivo hamster bioassay. *Toxicol Appl Pharmacol*, 2007, vol. 87, pp. 222-234.

Ermolin M.S., Fedotov P.S. Separation and characterization of environmental nano- and submicron particles. *Rev. Anal. Chem.*, 2016, vol. 35, no. 4. pp. 185-186.

Mummullage S., Egodawatta P., Ayoko G.A., Goonetilleke A. Use of physicochemical signatures to assess the sources of metals in urban road dust. *Science Total Environ*, 2015, vol. 541, pp. 1303-1304.

Mannetje A., Steenland K., Attfield M. Exposure-response analysis and risk assessment for silica and silicosis mortality in a pooled analysis of six cohorts. *Occup Environ Med*, 2002, vol. 59, pp. 723-728.

Sushma A., Kumarb H., Ahmad I., In-vitro toxicity induced by quartz nanoparticles: Role of ER stress. *Toxicology*, 2018, vol. 404, pp. 1-9.

Wagner J., Chem B.Sc. *Membrane Filtration Handbook. Practical Tips and Hints*. 2<sup>nd</sup> ed., revision 2. Publ. by Osmoncis, 2000, pp. 189-193.

Wong O. The epidemiology of silica, silicosis and lung cancer: some recent findings and future challenges. *National Center for Biotechnology Information Ann Epidemiol*, 2002, vol. 12. pp. 285-287.

**Александрова Ангелина Юрьевна**  
аспирант, кафедра промышленной  
экологии и безопасности жизнедея-  
тельности, Институт недропользования  
Иркутский национальный исследовате-  
льский технический университет  
664074, Россия, г. Иркутск,  
ул. Лермонтова, 83  
e-mail: aleksan-  
drova,angelina1993@yandex.ru

**Aleksandrova Angelina Yurievna**  
Postgraduate, Department Industrial Ecology  
and Life Safety, Institute of Subsoil  
Irkutsk National Research Technical  
University  
83, Lermontov st., Irkutsk, 664074,  
Russian Federation  
e-mail: aleksan-  
drova,angelina1993@yandex.ru

**Тимофеева Светлана Семёновна**  
доктор технических наук, профессор,  
заведующая, кафедра промышленной  
экологии и безопасности жизнедея-  
тельности, Институт недропользования  
Иркутский национальный исследовате-  
льский технический университет  
664074, Россия, г. Иркутск,  
ул. Лермонтова, 83  
e-mail: timofeeva@istu.edu

**Timofeeva Svetlana Semyonovna**  
Doctor of Sciences (Technics), Professor,  
Head, Department of Industrial Ecology and  
Life Safety of the Institute of Subsoil  
Irkutsk National Research Technical  
University  
83, Lermontov st., Irkutsk, 664074,  
Russian Federation  
e-mail: timofeeva@istu.edu

**Код научной специальности:** 25.00.36

**Дата поступления:** 15.04.2021