УДК 622.271

А.Ю.ОБЛИЦОВ, *аспирант, antonoblitsov@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный университет
В.А.РОГАЛЕВ, *д-р техн. наук, профессор, maneb@mail.ru*
Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы

A.Yu.OBLITSOV, *post-graduate student, antonoblitsov@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining University
V.A.ROGALEV, *Dr. in eng. sc., professor, maneb@mail.ru*
International Academy of Ecology, Man and Nature

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗОНОСНОЙ ПОРОДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА

Рассмотрена ситуация с накоплением отходов, обогащения алмазоносной породы месторождения им. М.В.Ломоносова, перспективными путями их утилизации, подробно описана технология утилизации. Приведены данные по химическому составу хвостов обогащения, их кислотно-щелочному балансу, способности к раскислению почв.

***Ключевые слова*:** отходы обогащения, алмазоносная порода, утилизация, хвосты обогащения, смектиты, глина.

PROSPECTIVE WAYS OF DIAMONDIFEROUS ROCK ENRICHMENT WASTES UTILIZATION AT M.V.LOMONOSOV DIAMOND DEPOSIT

In this article a problem questions of diamondiferous rock enrichment wastes accumulation at M.V.Lomonosov diamond deposit, perspective ways of wastes utilization are stated. The current situation with wastes accumulation is passed in review. The technology of utilization is described in detail. The data on chemical composition, acid-base balance, ability to decrease soil acidity are given.

***Key words*:** enrichment wastes, diamondiferous rock, utilization, enrichment tailings, smectites, clay mineral.

В настоящее время основные мощности алмазодобывающей отрасли сосредоточены в Якутии, объем добычи на месторождениях Архангельской алмазоносной провинции, к которой относится месторождение им.М.В.Ломоносова, в настоящее время значительно меньше. Но такое положение дел в ближайшее время может измениться, так как основной объем алмазов уже добывается из нижних горизонтов кимберлитовых трубок Интернациональная, Мирная, Удачная. Причем в течение 10 последних лет от 80 до 90 % добычи алмазов обеспечивает карьер трубки Удачная. Увеличение добычи на месторождении алмазов им. М.В.Ломоносова влечет за собой ряд проблем, одна из которых – утилизация большого объема хвостов глинистой породы. Дело в том, что отличительной особенностью этого месторождения алмазов является высокое содержание ди- и триоктаэдрических глинистых минералов группы смектитов в кимберлитовой породе, что характерно для пород щелочно-ультраосновного состава Архангельской алмазоносной провинции. Данное явление называют глинизацией кимберлитов.

Присутствие глинистых минералов группы смектитов, к которым также относится монтмориллонит и сапонит отмечено в Южной Африке, сапонит в составе кимберлитовых пород встречается также и в Якутии, однако нигде кроме месторождений Архангельской алмазной провинции, монтмориллонит и сапонит не содержится в таком большом количестве в кимберлитовой породе. Это, скорее всего, объясняется не

морфогенезом и конкретными геологическими событиями, а особенностями геологического строения и режима грунтовых вод. Здесь кимберлитовые трубки прорывают песчаные, слабые отложения рифейского и вендского периода, хорошо проницаемые для грунтовых вод. В результате воздействия грунтовых вод произошла коррозия минералов, выразившаяся, в частности, в гидратации серпентина $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$, также широко представленного в трубках месторождения им.М.В.Ломоносова, что, вероятно, привело к образованию глинистых минералов [1].

Проблема происхождения смектитов и их присутствия в кимберлитовых породах не возникало бы, если бы они, являясь отходом обогащения, не направлялись бы в хвостохранилище в виде глинистой пульпы. Содержание смектитов в исходной породе зависит от глубины и достигает 30 %. В настоящее время трудно судить о закономерностях распределения и содержания конкретно монтмориллонита и сапонита. Однако можно сказать, что данные минералы содержатся в трудноразделимой смеси и отличаются незавершенностью кристаллического строения. Содержание глинистой фракции в хвостохранилище достигает 67 %. В процессе обогащения на обогатительной фабрике монтмориллонит и сапонит подвергаются водонасыщению в тяжелой среде и увеличивают свой объем в 5-6 раз.

Значительное увеличение объемов хвостов, связанное с повышенным водонасыщением смектитов, приводит к росту размеров хвостохранилища, выражающемуся как в наращивании дамбы, так и в занятии новых площадей. Складирование хвостов в течение первых двух лет эксплуатации (с 2005 по 2007 г.) осуществлялось в хвостохранилище 1-й очереди с отметкой гребня пионерной дамбы 116 м. В декабре 2007 г. введена в эксплуатацию 2-я очередь дамбы с отметкой гребня 120 м, обеспечивающая работу хвостохранилища и в 2011 г. (табл.1). Годовой объем переработки руды в 2009 г. составил 1050 тыс.т. Проектная плотность частиц для расчетов объема укладываемых хвостов принята 2,7 г/см^3. Как видно из табл.1, параллельно разработке месторождения растет объем хвостов, подлежащих складированию, и соответственно растет требуемая емкость заполнения хвостохранилища. Представляется естественным, что при таких объемах хвостов необходимо искать способы утилизации их наиболее интересной части – смектитосодержащей породы.

Таблица 1

График складирования хвостов до 2011 г.*

Год	Выход хвостов, млн т/год	Объем укладываемых хвостов, млн м^3	Требуемая емкость заполнения хвостохранилища на конец года, млн. м^3	Отметка уровня воды в пруде хвостохранилища на конец года, м	Требуемая отметка гребня дамбы на конец года, м
2008	1,0	0,34	4,00	115,90	116,90
2009	1,1	0,41	4,70	116,80	117,80
2010	1,3	0,48	5,47	117,50	118,50
2011	1,7	0,63	6,39	118,40	119,40

Примечание. Объем воды, аккумулированной в пруде хвостохранилища, 0,29 млн м^3/год.

Существует несколько широко известных способов утилизации минералов монтмориллонита и сапонита [4]. Так, породы с высоким содержанием указанных глинистых минералов могут быть использованы следующим образом:

- для производства строительных материалов (кирпич, цементный клинкер, панели и пр.);
- в сельском хозяйстве в качестве удобрения для раскисления и мелиорирования почв, в качестве кормовой добавки животных и природного консерванта кормов;
- при бурении нефтяных скважин в качестве бурового раствора;
- в качестве природного абсорбента, лечебной грязи и в противофильтрационных экранах на полигонах токсичных отходов.

Монтмориллонит и сапонит, являясь глинистым магнезиальным сырьем, могут быть применены в производстве таких строительных материалов, как керамический кирпич, прессованные стройматериалы, цемент и пр. Располагая отобранной с хвостохранилища глинистой пульпой, мы поставили задачу экспериментального получения образцов стройматериалов. Полученная пульпа усреднялась путем отбора проб в зоне водосборного колодца с разной глубины (с 3 до 7 м с интервалом 0,5 м). Пульпа была

залита в ванну для выпаривания осадка естественным испарением при комнатной температуре. Средняя плотность твердого осадка составила 1,14 г/см^3. Плотность глинистой пульпы, поступающей с хвостохранилища, близка к плотности воды – 1,04 г/см^3. Опыты по выпариванию осадка из раствора показали, что содержание твердых частиц в сухом виде составляет 11 % общей массы. Полученные показатели определялись по ГОСТ 5180-84.

Из получившейся глинистой массы компрессионным кольцом были изготовлены шайбы диаметром и высотой 32 мм. Пробы обжигались при разных температурах в муфельной печи «Поликон-613». Обжиг разделялся на несколько этапов:

- сушка при температуре 120 °С в течение 2-3 ч. За это время из образцов испаряется вода;
- дегидратация при плавном повышении температуры до 900 °С в течение 2-3 ч. За это время удаляется химически связанная вода;
- обжиг при температурах 800, 900 и 1000 °С в течение 4 ч;
- остывание до температуры 50 °С в течение 2-3 ч.

Как уже было сказано, полученные образцы обжигались при температурах 800, 900, 1000 °С. В обжиге каждого вида было получено по пять образцов. Все они были испытаны на одноосное сжатие на прессе с максимально прилагаемой силой F_{max} = 500 кН. На одноосное сжатие испытывались и пять образцов кирпича-сырца, полученных после сушки (табл.2).

Таблица 2

Давление разрушения при испытаниях на одноосное сжатие, МПа

Образец	Температура, °С			
	120	800	900	1000
1	2,00	11,81	12,44	8,08
2	2,36	16,17	13,18	9,70
3	2,11	8,7	20,02	8,83
4	2,24	8,08	9,95	11,44
5	2,27	18,28	9.95	10,07
Среднее	2,19	12,60	13,01	9,62

Итак, оптимальной температурой обжига для увеличения крепости кирпича является 900 °С. Обжиг допустимо проводить и при температуре 800 °С, но при 900 °С наблюдается некоторое увеличение прочности. Дальнейшее повышение температуры обжига повышает хрупкость образцов и снижает их прочность. Полученные образцы подтвердили способность смектитов к обжигу и возможость производства керамических изделий на его основе, в частности кирпича. В ходе дальнейших опытов был получен цементный клинкер марки 250 (75 % известняка, 25 % глина) для производства портландцемента. Изготовление керамических образцов и клинкера осуществлялось по методикам, описанным в работе [2].

Опыты по применению сапонита в сельском хозяйстве проводились еще в СССР. В настоящее время такие опыты ведутся в Украине. Сапонит может быть применен как кормовая добавка, консервант для кормов, в частности зеленых, сахарного жома, люцерны.

Таблица 3

Результаты химического анализа глинистой суспензии

Образец	Содержание, %									
	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	CaO	K_2O	TiO_2	MnO	Na_2O	P_2O_5
1	46,86	6,44	23,78	5,05	4,12	0,86	0,55	0,072	0,37	0,31
2	47,65	6,65	23,83	4,97	4,47	0,83	0,55	0,072	0,37	0,31
3	45,24	6,75	24,63	5,08	3,6	0,81	0,63	0,074	0,59	0,3
4	46,42	6,92	25,58	5,07	3,86	0,81	0,64	0,074	0,58	0,31
5	46,14	6,09	24,03	5,4	4,0	0,83	0,53	0,068	0,37	0,31
6	47,52	6,25	24,38	5,19	4,25	0,81	0,52	0,069	0,35	0,31
7	45,37	7,16	25,18	6,58	3,64	0,99	0,78	0,084	0,4	0,43
8	45,75	7,38	25,16	6,55	3,61	1,01	0,78	0,084	0,39	0,45

Как мелиорант сапонит в виде сапонитовой муки (по аналогии с доломитовой и известковой мукой) эффективен на песчаных и дерново-подзолистых почвах. Минерал сапонит содержит дефицитные для почв магний, алюминий, натрий, кальций, калий. Отобранные образцы глинистой суспензии были исследованы методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии (табл.3). Для контроля правильности анализа использовались образцы состава глины и дунита стандартного состава.

Как можно видеть, глинистая суспензия содержит в значительных количествах полезные для почвы макроэлементы Mg, AL, Ca, Na, а также некоторое количество микроэлементов, и близка по своему химическому составу к сапониту.

Сапонит известен также своей способностью к раскислению. На кислых песчаных почвах его применение обеспечивает нейтральную реакцию почвенного раствора (pH = 6,5÷7,0). Таким образом, одним из перспективных способов утилизации сапонитосодержащей породы на ОАО «Севералмаз» может быть ее использование в качестве естественного раскислителя кислых грунтов и приведения их к нейтральному, либо щелочному активному pH.

Ярким примером кислых грунтов являются торфяники, широко представленные на территории России и Архангельской области, подзолистые, дерново-подзолистые почвы со средним pH от 4,5 до 5,5. Раскисление торфов можно рассматривать как создание своего рода искусственного грунта, пригодного для сельского хозяйства, раскисление же подзолистых почв увеличивает их сельскохозяйственную ценность [3]. В рамках опытов по изучению свойств глин месторождения им.Ломоносова автором было проведено раскисление торфяной вытяжки глинистой пульпой с хвостохранилища обогатительной фабрики. Торфяная вытяжка являлась солевой с концентрацией 75 г на 1 л дистиллированной воды. Для моделирования естественных условий раскисления торфа пульпой в течение опыта создавались условия, приближенные к природным и отличающиеся от опытов, отвечающих ГОСТам. Торфяная вытяжка была изготовлена на основе влажного насыщенного торфа (влажность 70 %) массой 5 г, на которую приходилось 100 мл раствора KCL. Проведение 10 замеров pH торфяной вытяжки дало следующие результаты:

Номер замера	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH	3,54	3,55	3,73	3,68	3,69	3,54	3,54	3,50	3,49	3,55

Исходное pH пульпы было определено на основании пяти замеров:

Номер замера	1	2	3	4	5
pH	8,82	8,84	8,82	8,84	8,82

Раскисление проводилось при девяти разных соотношениях концентраций торфяной вытяжки и пульпы в пяти опытах. Варианты соотношений следующие, %:

Вариант	1	2	3	4	5
Вытяжка/Пульпа	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50
Вариант	6	7	8	9	
Вытяжка/Пульпа	40/60	30/70	20/80	10/90	

Для смешивания вытяжки и пульпы использовались стандартные пробирки мерной емкостью 75 мл. Замеры осуществлялись на pH-метр-иономере «Эксперт-001» с использованием магнитной мешалки (табл.4).

Таблица 4

Значения pH смесей торфяной вытяжки и пульпы

Опыт	Вариант								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	5,80	6,50	7,04	7,40	7,50	7,58	7,70	7,68	7,93
2	5,96	6,47	7,14	7,46	7,53	7,60	7,64	7,71	7,90
3	5,87	6,48	7,09	7,43	7,51	7,59	7,68	7,69	7,91
4	5,96	6,50	7,13	7,47	7,53	7,61	7,65	7,72	7,90
5	5,89	6,46	7,08	7,43	7,49	7,62	7,67	7,70	7,92

Согласно эксперименту процесс раскисления идет плавно без скачков и подтверждает закономерность раскисления кислого торфа щелочной пульпой. Нейтральной реакции смесь достигает уже при внесении 30 % пульпы, т.е. затраты пульпы невелики.

В настоящее время в рамках исследований совместно с кафедрой открытых горных работ Северного (Арктического) федерального университета на прилегающей к карье-

ру территории автором оборудована опытная площадка для изучения агрофизических свойств глинистых хвостов обогащения. Опытная площадка размещена на участке болотной залежи переходного типа. В снимаемом очесе (дерне) преобладает вересковая растительность. В составе растений-торфообразователей под снятым очесом на глубину штыка лопаты (25-30 см) установлены осоки, мох-сфагнум, древесные остатки. Степень разложения вскрытого торфа, т.е. содержание в торфе бесструктурной массы, потерявшей клеточное строение 10-15 %; по существующей классификации торф относится к слаборазложившемуся. Сумма первичной и вторичной зольности 4,3 %. Плотность торфяной залежи 0,960-1,010 г/см^3. Полная влагоемкость торфа 13,55 ед. Активная кислотность, определенная в водной вытяжке, pH = 4,15.

Задачей опытной площадки является образование искусственного грунта за счет внесения частей глинистой пульпы и торфа, раскисление естественных земель (кислые болотные залежи), выращивание растений, пригодных для рекультивации нарушенных земель, а также сельскохозяйственных культур для обоснования свойств данных смектитов как мелиорантов и удобрений в сравнении с доломитовой и известковой мукой. Опытная площадка заложена на несколько лет.

В заключение повторим, что смектиты и их производные могут быть успешно применены в различных отраслях производства, однако его практическое использование ничтожно. Переработка хвостов обогащения требует значительных вложений. Для «Севералмаза» существенной проблемой является обезвоживание глинистой суспензии хвостохранилищ, реализация на рынке несомненно перспективных материалов, изготовленных на основе хвостов обогащения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гаранин К.В.* Кимберлитовая трубка Архангельская месторождение высокомагнезиальных аломосиликатов / К.В.Гаранин, Д.В.Шпилевая, А.В.Подгаецкий // Экологические проблемы современности: Мат. 13-й Междунар. конф. М., 2008. С. 325-331.

2. *Горчаков Г.И.* Строительные материалы: Учебник для вузов / Г.И.Горчаков, Ю.М.Баженов. М., 1986. 688 с.

3. *Вержак Д.В.* Алмазные месторождения Архангельской области и экологические проблемы их освоения / Д.В.Вержак, К.В.Гаранин // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2005. № 6. С. 18-27.

4. Пат. 2206534 РФ. МПК^7 С 04 В20/06, С 04 В 18. Способ переработки отходов алмазодобывающей промышленности / С.М.Безбородов, В.В.Вержак, Д.В.Вержак, В.К.Гаранин, К.В.Гаранин, В.М.Зуев, Г.П.Кудрявцева, Н.Ф.Пылаев.Опубл. 20.06.03. Бюл. № 6.

REFERENCE

1. *Garanin K.V., Shpilevaya D.V , Podgaetskiy A.V* Kimberlitic pipe Arkhangelskaya as a high-magnesium aluminosilicate deposit // Environmental problems of modernity: Collection of scientific articles of the 13th international conference. Moscow, 2008. P.325-331.

2. *Gorchakov G.I., Bazhenov U.M.* Construction materials: Textbook. Moscow, 1968. 688 p.

3. *Verzhak D.V., Garanin K.V.* Diamond deposits of Arkhangelsk region and problems of their mining // Journal of Moscow State University. Series 4. Geology. 2005. N 6. P. 18-27.

4. Pat. 2206534 RU. MPK^7 C 04 B 20/06, C 04 B 18. Way of recycling diamond industry wastes / S.M.Bezborodov, V.V.Verzhak, D.V.Verzhak, V.K.Garanin, K.V.Garanin, V.M.Zuev, G.P.Kudryavtseva, N.F.Pylaev. Publ. 20.06.03. Bul. N 6.

Научный руководитель проф. *М.А.Пашкевич*