

Школа-семинар «Каменные волокна: фундаментальные и прикладные исследования, сырье (КВФиПС-08)», Пермский госуниверситет, 15 января 2008 г.,

лекция д.х.н, проф., чл.-корр. Российской академии естествознания Н.Е. Аблесимова

(сохранены особенности устной речи автора – устный вариант находится на сайте

http://www.basaltech.org/conference/workshop_quot_kvfiips_08_quot_quot_stone_fiber_basic_and_applied_research_raw_material_quot/new_page_2.php)

**Горные породы базальтового состава:
происхождение, химический и фазовый состав,
продукты изменения**



**Аблесимов
Николай Евгеньевич**
Доктор химических наук,
профессор,
НП «Базальтовые
технологии»
Ablesimov1@yandex.ru

1

Здравствуйте, коллеги. Почему такая тема возникла?

Опыт работы с базальтовыми волокнами у меня большой, с 2001 года, и практика участия в нашем интернетовском Форуме показала, что довольно часто при анализе сырья для производства базальтового волокна упор делается на стандартный силикатный анализ, на модуль кислотности, что, с моей точки зрения, совершенно недостаточно. Это, во-первых.

Во-вторых, неправильно используются геохимические термины, так как геохимический язык достаточно специфический и хотелось бы некоторые термины пояснить.

И, в-третьих, поделиться опытом опробования на современном уровне месторождения базальтов в Хабаровском крае и в Дагестане и призвать Вас, все таки, от стандартного силикатного анализа немножко отойти. То есть он нужен, конечно, но, свойства сырья и свойства волокон в конечном итоге определяются фазами. Химическим составом конечно тоже, опосредованно, но прежде всего **фазами**, которые состоят из этих химических элементов. На этом я введение заканчиваю и начнем непосредственно лекцию.

Во-первых, я приветствую участников школы-семинара и надеюсь на такое же тесное общение как показано на слайде. Видите, как тесно общаются здесь уважаемые ... существа! Цели лекции здесь обозначены.

Здесь представлена некоторая терминология. Замечу, что эта лекция сделана в тесном взаимодействии с Александром Николаевичем Земцовым, в особенности ее терминологическая часть. В этом отношении он очень большой и скрупулезный ученый. Итак терминология. *Вата... Минеральная вата... Минерал...* Минерал и фаза, в принципе, одно и то же. Фаза понятие термодинамическое и более широкое и строгое, минерал – геохимическое. Я использую их как синонимы (**хотя это и не очень строго – ниже я дам точно определение фазы**).

Минеральный... Горные породы... Поэтому общаясь с материаловедами в Институте материаловедения ДВО РАН в Хабаровске и здесь на Форуме часто встречаюсь с такими речениями: вот в данной горной породе (по даны силикатного анализа) есть SiO_2 – кварц, или Fe_2O_3 – гематит, или FeO – вюстит. Так я Вам ответственно заявляю В БАЗАЛЬТЕ ЭТИХ **ФАЗ** НЕТ. Запомните это на всю оставшуюся жизнь - особенно я обращаюсь к моим молодым слушателям.

Почему химический состав представляется в виде оксидов? Так сложилось исторически. Химический «мокрый» качественный и количественный силикатный анализ (кто классику в лабораториях вузов проходил тот помнит) состоит из определения, осаждения и прокаливания образцов до **оксидов**. И результат представлялся в виде суммы оксидов. Вот и все! И даже сейчас, определяя химсостав на современных спектроскопических приборах, результат представляется в виде суммы оксидов. Так вот, пожалуйста, не путайте. Этих оксидов **как фаз** в горных породах нет. Далее мы будем говорить об их фазовом (минералогическом) составе.

Это первое, на чем мне хотелось сконцентрировать Ваше внимание.

Далее *камень*... Вывод из этой картинке следующий. *Из приведенных сведений*... Поэтому, если вы заметили, в названии школы стоит термин *каменное* волокно... *каменная* вата. Я сторонник употребления термина *каменный*. Это строго. Минеральная вата... она не совсем минеральная.

Далее. Что является *исходной системой для производства каменной ваты*?... *Шлаковата*... *Следовательно* (еще одна терминологическая тонкость)... Часто говорят: базальтовое стекловолокно. Наши исследования показали, что оно не совсем стéкло... Там достаточно много кристаллических примесей. Если стремиться получать качественное волокно, например, непрерывное, надо уменьшать количество кристаллов до минимума. Тем не менее они там есть и впрямую назвать его стекловолокном терминологически неверно! На картинке показан кристаллический хризотил асбест (являющийся канцерогеном), который мы пытаемся заменить базальтовой ватой. Внизу вата Дмитровского завода (сканирующий электронный микроскоп).

Происхождение сырья... Здесь начинаются геохимические термины. Я хоть и химик по образованию, но мне пришлось 9 лет (1976-1985 гг.) работать в Институте тектоники и геофизики ДВО РАН в Хабаровске. И я три года изучал это тяжелый геохимический язык и постараюсь донести, что я из всего этого дела понял.

Собственно *базальтом*... *диабазов*. Они характерны для Урала, Карелии и Кавказа, т.е. это регионы, где у нас как раз и располагается большинство производств каменной ваты. Доступ к свежим базальтам Курил и Камчатки мы не имеем. На фото мы с моим коллегой Борисом Луневым сидим на одном из шлаковых конусов Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения 1975-1976 гг. Это прекрасны базальтовый вулканический пепел (тефра) на 30% стекловатый. Это идеальное сырье для базальтоволоконного производства. Но, сами понимаете, кому там эта вата нужна? Это примерно 500 км от Петропавловска- Камчатского. Может быть в Японии такая прямая переработка свежих шлаков и возможна – там плотность населения велика. На вулкане Тятя (о. Кунашир) есть аналогичные шлаковые поля. Наш уважаемый председатель А.Н. Земцов был на реальном извержении Тяти в 1973 г. Он видел реально как этот шлак «кружил и падал». Там тоже можно производить вату, но кому она сейчас там нужна на Кунашире (население около 8000 человек). Со временем, при колонизации этих островов японцами, возможно к этому замечательному сырью и обратятся.

Далее следующая терминология.

Эффузивные... *Базальт*... Здесь уже пошел фазовый состав пород. Наличие оливина существенно для производства волокон, о чем я поговорю ниже. Задавали вопрос на Форуме: что такое акцессорные минералы (я опираюсь на вопросы, которые поднимаются на Форуме). Это минералы которые всегда присутствуют в породе, но их относительно порообразующих минералов существенно меньше.

Диабаз... Поскольку она лежит в земной коре миллионы лет, стеклофаза (метастабильная неравновесная) уже перешла в кристаллическую (равновесную).

Долерит...

Термин «порфирит»... Ну и замечательная фотография – ее на Форум прислал некий Артур из Армении – базальтовый орган. Столбчатая отдельность. Он спросил сколько ему лет. Ну я навскидку ответил: сотни миллионов лет. Чему мне здесь некоторые коллеги не поверили (они склоняются к библейской версии происхождения Земли – 7500 лет)!? Это в XXI веке!!! Ха,ха...

У нас в России столбчатые базальтовые отдельности есть на Кунашире. Мыс столбчатый. Очень красиво, если будете (вместо Анталии), посетите – не пожалеете.

Вулкан Тятя, для примера, свеженький вулкан. По оценкам вулканологов ему около 10 тыс. лет. Красивейший вулкан. Находится на северо-востоке острова Кунашир на Курилах. Внешний старый конус, а в нем новый конус высотой 400 метров.

На плечах его сидишь и видишь: слева Итуруп, справа Хоккайдо, а прямо перед тобой опрокинутая чаша – Великий, он же Тихий, океан. И думаешь: букашка ты таракашка – океан лежит, вулкан стоит тысячи лет пока его гордую башку не снесет какое ни на есть катастрофической извержение.

Я привожу этот вулкан, чтобы показать в каком виде образуются свежие базальты.

Это прежде всего тефра. На фото поле вулканического пепла извержения 1973 года. Я привожу эту фотографию, когда рассказываю студентам о последствиях ядерной войны. Вулкан высотой 1800 метров покрыт вот такими полями в десятки квадратных километров. Это один из продуктов эффузивного вулканизма.

Второй продукт – лава, *край потока...* Компактный продукт. Метров пять высотой. Внизу это я для масштаба. Это один пример.

Второй пример. Это пример образования платобазальтов, которые нам на материке и дают сырье для волокна. Здесь на фото Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ) на Камчатке в 1975-1976 гг. Замечательное фото Вадима Гиппенрейтера. Видите здесь и молния в пепловой туче, и конус, и столб раскаленного базальта.

А справа вид из космоса на Толбачинский дол, который был расколот сетью трещин и из них изливалась базальтовая лава и извергалась тефра. Это единственное в историческое время хорошо изученное трещинное извержение, когда образуется действительно базальтовое плато. Такие плато еще называются *траппами*.

Вулкан извергался полтора года и был хорошо изучен вулканологами и геохимиками.

Что для нас важно в этом примере?

И еще – базальтовые бомбы летя на раскаленный шлаковый конус...

Слева картинка из монографии коллектива авторов из Института вулканологии ДВО РАН «Большое трещинное Толбачинское извержение». Конус Северного прорыва давал лавовые потоки различного состава. Что я этой картинкой хотел показать? Из одного конуса в разное время извергаются потоки базальтовой лавы разного химического состава и, естественно, разного фазового состава. Это о чем говорит?

Вас приводят поставщики на карьер и говорят: вот месторождение базальта. Десятки кв. километров и вот Вам средний химический состав. Эта картинка показывает, что из разных частей месторождения к Вам могут приходиться базальты существенно разного состава. Одна из причин этого на картинке и показана.

Аналогичную картину мы наблюдаем и на Южном прорыве БТТИ. Слева я у природного базальтового моста – тоже достаточно интересное природное образование.

Так. Это мы касались базальтов эффузивных пород. Эффузивные это породы выброшенные в результате извержения на поверхность.

В качестве сырья для волокон используются и *интрузивные породы* это породы не дошедшие до поверхности. Они образуются результате как бы инъекции магмы в кору или подкоровую область литосферы. Медленно остывают и полностью кристаллизуются (в отличие от эффузивных, в которых присутствует большая доля стекла). Формируются полнокристаллические породы. Какие?

Габбро... глубинный аналог базальта. *Оливиновое габбро...* *Троктолит...* *Норит...* *Амфиболит...* В них много измененных водо- и гидроксилсодержащих минералов. Поэтому в

технологии их переработки в волокно возникают проблемы связанные с повышенным газоотделением.

С горными породами мы закончили.

Теперь об элементном составе базальтов. Ранее было показано, что их химсостав может меняться даже в процессе одного извержения (БТТИ). А если их в данном районе было несколько?

Что такое базальты по химическому составу? *Базальты...* Примесные элементы (до 20), определяемые нейтронно-активационным анализом или с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии могут влиять на свойства материалов как катализаторы. Это тоже надо иметь в виду. То есть обычный силикатный анализ на 10 породообразующих элементов не исчерпывает тот набор химических составляющих, который реально имеется в породах базальтового состава. Вы знаете, что точность силикатного анализа составляет порядка 0,5%. Вот в эти 0,5% и входят следовые и примесные элементы. *Содержание SiO₂...*

Распространенная ошибка технологов - химсостав в виде оксидов дается просто потому, что так удобнее. При «мокром» химанализе все доводится (кроме Na и K) до оксидов и взвешивается - отсюда они в таблицах. В реальной породе этих оксидов как **ФАЗ** нет.

Вы видите, что «болтанка» по химическому составу колоссальная. Поэтому просто говорить, что данное месторождение пригодно для производства волокна без дополнительных фазово-элементных исследований ошибочно. Это называется минералого-технологическое опробование. Обычные геолого-геохимические работы по сдаче месторождения в запасы этого не предусматривает.

Химсостав... Дополним: кварц – температура плавления β-кварца 1610°C, α-тридимита 1680°C, β-кристобалита 1723°C (еще пример различия физических свойств разных фаз). Его наличие в сырье очень плохо для производства непрерывного волокна. Обратите внимание на T_{пл} некоторых фаз. Форстерит – магнезиальная разновидность оливина – T_{пл} = 1890° С. Хромит – T_{пл} хромита зависит от его состава 1545-1730°C (у чистого хромита T_{пл} = 2180°C). Магнетит - T_{пл} = 1591-1597 °С . Анортит - T_{пл} = 1550°C.

Если вспомнить, что температура раздува при волокнообразовании порядка 1300-1350°C, то понятно – эти минералы могут здорово мешать образованию волокна особенно непрерывного.

В этом состоит одна из тонкостей технологического процесса.

Далее. Это результаты исследования с помощью мессбауэровской спектроскопии (метод неразрушающего изучения железосодержащих фаз в твердых телах). Я узкий специалист в этой области и широко его применяю. Приведены спектры исходного сырья ЗАО «Дмитров-Стекло» и Хабаровского завода «Базалит-ДВ». Что из этих спектров видно?

Центральная часть дублеты двухвалентного железа в пироксене и оливине, а два секстета это титаномагнетит. *В исходной системе...*

Далее еще одна серия спектров. а)... б)... Вот он родной дублет железа в оливине. Никуда оливин не делся, не растворился!!! в)... Здесь в осадке железосодержащая составляющая полностью состоит из оливина! Таким образом, *это указывает...* Гомогенизации расплава нет!!!

Далее поговорим о соотношении химического элемента и фазы.

Хочется, особенно для молодых участников школы, этот вопрос заострить. Элемент это элемент. Их 83 стабильных элемента до висмута включительно. Остальные радиоактивные – в наших земных делах они не очень участвуют, кроме атомных электростанций и бомб. А 83 стабильных элемента образуют весь набор химических веществ – фаз.

Около 400 тыс. неорганических веществ. Число известных органических соединений намного превышает 10 млн. и увеличивается каждый год на 250-300 тыс. Вот сколько насинтезировали!!

Замечу, что химики единственные ученые из естествоиспытателей, которые сами создают себе объекты исследования. Это всего 83 химических элементов.

Я всегда говорю, что фаза подвижнее элемента. Итак о понятии **ФАЗА**. Строго.

Термодинамическая фаза – термодинамически однородная по составу и свойствам часть термодинамической системы, отделенная от других фаз поверхностями раздела (Абл. – не всегда, случай частичной аморфизации – см. разд. 4.2.1. моей монографии), на которых скачком изменяются некоторые свойства системы.

Другое определение: **Фаза – гомогенная часть гетерогенной системы.** В однокомпонентной системе разные фазы могут быть представлены различными агрегатными состояниями или разными полиморфными модификациями вещества. В многокомпонентной системе фазы могут иметь различный состав и структуру.

Газ всегда состоит из одной фазы, жидкость может состоять из нескольких жидких фаз разного состава (Ликвация, жидкостная несмешиваемость), но двух разных жидкостей одного состава в равновесии сосуществовать не может. Вещество в твердом состоянии может состоять из нескольких фаз, причем некоторые из них могут иметь одинаковый состав, но различную структуру (полиморфные модификации, аллотропия).

Например, реакционная способность повышается в ряду алмаз – графит – карбин – аморфный углерод. Алмаз и графит инертны, устойчивы к действию кислот и щелочей.

Поскольку разделение на термодинамические фазы – более мелкая классификация состояний, чем разделение по агрегатным состояниям вещества, то далеко не каждый фазовый переход сопровождается сменой агрегатного состояния. Однако любая смена агрегатного состояния есть фазовый переход.

При фазовом переходе первого рода скачкообразно изменяются самые главные, первичные экстенсивные параметры: удельный объём, количество запасённой внутренней энергии, концентрация компонентов и т. п. Подчёркнём: имеется в виду скачкообразное изменение этих величин при изменении температуры, давления и т. п., а не скачкообразное изменение во времени (на счёт последнего см. ниже раздел Динамика фазовых переходов).

Наиболее распространённые *примеры* фазовых переходов первого рода: плавление и кристаллизация, испарение и конденсация, сублимация и десублимация.

При фазовом переходе второго рода плотность и внутренняя энергия не меняются, так что невооружённым глазом такой фазовый переход может быть незаметен. Скачок же испытывают их производные по температуре и давлению: теплоёмкость, коэффициент теплового расширения, различные восприимчивости и т. д.

Как сказано выше, под скачкообразным изменением свойств вещества имеется в виду скачок при изменении температуры и давления. В реальности же, воздействуя на систему, мы изменяем не эти величины, а её объём и её полную внутреннюю энергию. Это изменение всегда происходит с какой-то конечной скоростью, а значит, что для того, чтобы «покрыть» весь разрыв в плотности или удельной внутренней энергии, нам требуется некоторое конечное время. В течение этого времени фазовый переход происходит не сразу во всём объёме вещества, а постепенно. При этом в случае фазового перехода первого рода выделяется (или забирается) определённое количество энергии, которая называется теплотой фазового перехода. Для того, чтобы фазовый переход не останавливался, требуется непрерывно отводить (или подводить) это тепло, либо компенсировать его совершением работы над системой.

В результате, в течение этого времени точка на фазовой диаграмме, описывающая систему, «замирает» (т.е. давление и температура остаются постоянными) до полного завершения процесса. Отсюда, то о чем я постоянно твержу на конференциях: гомогенизация высокотемпературного алюмосиликатного раствора это процесс (во времени). Одно дело печка в лаборатории на 300 грамм горной породы (20 часов на установление равновесия при испытаниях пород), другое дело объёмные

промышленные печи (там надо перегреть породу выше температуры плавления самой тугоплавкой фазы или интенсивно размешивать).

Теперь о Фазовых переходах второго рода – фазовые переходы, при которых первые производные термодинамических потенциалов по давлению и температуре изменяются непрерывно, тогда как их вторые производные испытывают скачок. Отсюда следует, в частности, что энергия и объём вещества при фазовом переходе второго рода не изменяются, но изменяются его теплоёмкость, сжимаемость, различные восприимчивости и т. д.

Пример. Переход парамагнетик-ферромагнетик или парамагнетик-антиферромагнетик (параметр порядка – намагниченность). Касается нас. Магнетит или титаномагнетит всегда присутствует в малоизмененных базальтах в качестве акцессорных минералов. Казалось бы сделай естественную магнитную мешалку (как в химлабораториях)! Ан нет. Низзя! Не получится – именно из-за фазового перехода второго рода. При температуре точки Кюри 858 К (585 С) он переходит из ферромагнитного в парамагнитное состояние. И все – мешалка не крутит.

Мало того! Если кристаллы магнетита в породе малы, то проявляется явление суперпарамагнетизма. Суперпарамагнетизм – форма магнетизма, проявляющаяся у ферромагнитных и ферримагнитных частиц. Если такие частицы достаточно малы, то они переходят в однодоменное состояние, т.е. становятся равномерно намагниченными по всему объёму. Магнитный момент таких частиц может случайным образом менять направление под влиянием температуры, и при отсутствии внешнего магнитного поля средняя намагниченность суперпарамагнитных частиц равна нулю. Но во внешнем магнитном поле такие частицы ведут себя как парамагнетики даже при температуре ниже точки Кюри или точки Нееля. Мешалка тоже не крутится!

Еще пример. Существуют две фазы Fe_2O_3 : маггемит (гамма – Fe_2O_3) и гематит (альфа – Fe_2O_3). Вот такие дела! Современная промышленность в больших количествах производит синтетический маггемит. Ее используют как звуконоситель в магнитофонных лентах. Красновато-бурый цвет магнитофонных лент обусловлен примесью тончайшего порошка маггемита, который получают, прокаливая гидроксид железа до 800-1000°C. Такая магнитная окись железа стабильна и не теряет своих магнитных свойств при повторном прокаливании. Гематит составляет широко распространенные на Земле руды железа, а маггемит среди земных горных пород встречается редко. Он образуется иногда при окислении магнетита. Маггемит – минерал неустойчивый, при нагревании выше 220°C он теряет свои магнитные свойства и превращается в гематит.

Теперь понятно, почему я употребляю термин **ФАЗА**, а не минерал или вещество.

На слайде приведен **пример с углеродом**. Один элемент. А сколько дает фаз? Девять!!! Первая **алмаз**. Очень твердый.

Вторая **графит**. Чем они отличаются? Структурой. В результате совершенно разные материалы. Карандашиком из графита мы можем писать записочки. Кстати, карандаш сыграл огромную роль в ликвидации неграмотности в России. Арманд Хаммер – американский бизнесмен – сделал себе состояние в послереволюционной России, построив карандашную фабрику им. Сакко и Ванцетти. С помощью этих карандашей Россия из почти полностью неграмотной страны превратилась в самую читающую, а с помощью СМСок и чата в Интернете превращается снова в неграмотную. Назад к карандашам!!!

Третья **карбин** – аллотропная форма углерода на основе sp-гибридизации углеродных атомов. Состоит из углеродных фрагментов с тройной $-C\equiv C-C\equiv C-$, или двойной кумулированной $=C=C=C=C=$ связью. Может быть линейным или образовывать циклические структуры.

Четвертая **фуллерен**. Полностью называется **бакминстерфуллерен**... Выпуклые замкнутые многогранники, составленные из чётного числа трёхкоординированных атомов углерода. Своим названием обязаны дизайнеру Ричарду Бакминстеру Фуллеру, применявшего для постройки куполов своих зданий пяти- и шестиугольники, являющиеся основными структурными элементами молекулярных каркасов всех фуллеренов. Внутри фуллеренов можно вводить различные металлы.

Получающиеся материалы демонстрируют свойства от диэлектриков до сверхпроводников! Это уникальная фаза углерода – будущее углеродного материаловедения.

Пятая – *аморфный углерод*.

Есть еще. Всего восемь аллотропов (фаз) углерода: а) алмаз, б) графит, с) лонсдейлит (самое твердое вещество, на 58% превосходящем по твердости алмаз), d) C₆₀ (фуллерены), e) C₅₄₀, f) C₇₀, g) аморфный углерод, h) однослойная углеродная нанотрубка, карбен.

Итак, повторяю, *фаза подвижнее элемента...*

Еще одна трудность... Волокна ваты... Известно. Что до 700°C они сохраняют свои свойства, а при дальнейшем прогреве начинают кристаллизоваться, сыпаться. *Твердый...* Аморфность понятие более широкое чем стекло. Стекло **всегда** получается при переохлаждении жидкости! Это принципиальная терминологическая тонкость. *Каменная вата...*

Аморфное состояние может быть получено различными способами.

Способы аморфизации твердых тел. $\Delta H_{пл}$ (исп., субли.) – энтальпия плавления, испарения или сублимации.

Теперь мы перейдем к объекту нашего исследования – каменной вате. Чем интересны эти волокна по отношению, скажем, к золоту и платине. В разговорах с пермскими коллегами оказалось, что геологический факультет университета занимается золотом, алмазами... У нас в Хабаровске институт тектоники и геофизики ДВО РАН озабочен проблемами дальневосточной платины. Ну, поскольку дуниты, хромиты – там может быть платина. Я над этим не то что смеюсь, так посмеиваюсь. Понятно, под драгметаллы дают деньги! Люди десятки лет бегают по нашей родной стране, по замечательным местам. Я сам был на Чукотке, Камчатке, Курилах в качестве «носильника и потаскуна» – имеются в виду полевые рабочие в геологических экспедициях. Тоже платину все разыскивали. Зачем это делать? Вот базальт. Лежит под ногами. Треть горных пород Земли это породы базальтового состава. Пожалуйста, сделайте из него вату и продавайте. Большинство из Вас этим и занимается.

Почему это лучше? Смотрите на слайд. Картинка из книжки Вайцеккера и К^о «Вайцеккер, Э. Фактор четыре. Затрат – половина, отдача – двойная. Новый доклад Римскому клубу. / Э. Вайцеккер, Э. Ловинс, Л. Ловинс – М.: Academia, 2000. – 400 с.». Базальт – природный камень. Базальтовые волокна обеспечивают минимальный экологический рюкзак, который составляет 1:1,2 (при получении единицы сырья необходимо переработать 1,2 единиц породы). Например: экологический рюкзак для асбеста составляет 1:5, а у золота и платины – 1:350000. Кстати, о платине. Я пять лет работал в артели «Амур» на добыче самородной платины и могу завтра показать Вам слайд-фильм о том, как это делается. Это варварская деятельность по отношению к природе. Никто там, конечно, никакой рекультивацией не занимается. Считается, что на золоте и платине можно зарабатывать деньги!? Но можно и сесть в тюрьму, и убитым можно быть!!! Платина и золото это не металлы – это сплошная судимость. У моего начальника, председателя артели «Амур» В.А. Лопатюка четвертую жену убили. Просто застрелили у подъезда дома. Заказное убийство и, естественно, никого не нашли. А сам он сейчас в бегах в Америке. Заслуженный человек, Почетный житель Хабаровска. Поэтому я очень не советую драгметаллами заниматься. Нет, конечно, в качестве фундаментальных научных исследований это плодотворно. Но, когда Вы непосредственно держите ее в руках, а через мои руки на шлихообогащительной фабрике прошло 10 тонн платины – это соблазн. Обычно спрашивают: не прилипло, сколько ни будь? Нет, отвечаю, не прилипло! Восемь лет с конфискацией! Не прилипло. Поэтому я очень рад, что на старости лет, к такому интересному делу прислонился. Справа на картинке трубы, которые делают из непрерывного базальтового волокна. Практически вечные. Не корродируют и не колются, в отличие от каменнолитых труб и керамических.